

**ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO
CASO DE APLICACIÓN CANTERA “EL PILAR MUNICIPIO DE CHIPAQUE
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

MIGUEL ANGEL VARGAS ACOSTA

**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
ESCUELA INGENIERIA GEOLÓGICA
SEDE SOGAMOSO**

2017

**ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO
CASO DE APLICACIÓN CANTERA “EL PILAR MUNICIPIO DE CHIPAQUE
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.**

PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEÓLOGO

MIGUELANGEL VARGAS ACOSTA

50-044640

KRISTIAN RODRIGUEZ AMAYA

INGENIERO EN MINAS

DIRECTOR DEL PROYECTO

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA

ESCUELA INGENIERIA GEOLÓGICA

SEDE SOGAMOSO

2017

Nota de aceptación:

WILSON NARANJO MERCHÁN
Director de Escuela



KRISTIAN NORBERTO RODRÍGUEZ AMAYA
Director del Proyecto



HECTOR FONSECA PERALTA
Jurado



GERMAN HERRERA SALAMANCA
Jurado

Sogamoso, 04 de Noviembre de 2017

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1 PRELIMINARES	3
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivo General.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	4
1.3 ALCANCE Y LIMITACIÓN	4
1.3.1 Alcances	4
1.3.2 Limitaciones.....	5
1.4 METODOLOGÍA	5
1.4.1 Análisis de la información	5
1.4.2 Trabajo de campo.....	5
1.4.3 Trabajo de oficina	6
2 MARCO DE REFERENCIA.....	7
2.1 LOCALIZACIÓN.....	7
3 GEOLOGÍA	8
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	8
3.1.1 Formación Chipaque (Ksch)	8
3.1.2 Grupo Guadalupe (Ksg).....	8
3.1.2.1 Formación Arenisca Dura (Ksad)	8
3.1.2.2 Formación Plaeners (Ksp).....	9
3.1.2.3 Formación Labor y Tierna (kslti).....	9
3.1.3 Formación Guaduas (KPggu)	9
3.1.4 Formación Bogotá (Pgbo).....	9
3.1.5 Formación Regadera (Pgr)	9
3.1.6 Formación Usme (Pgu).....	10
3.1.7 Complejo de Conos (Qcc)	10
3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	10
3.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	12

3.3.1	Unidades de origen estructural.....	12
3.3.1.1	Sierra anticlinal.....	12
3.3.1.2	Loma Estructural.....	12
3.3.2	Unidad de origen denudacional.....	13
3.3.2.1	Ladera denudacional.....	13
3.3.3	Unidades de origen antropogenético.....	14
3.3.3.1	Cantera.....	14
3.4	ANÁLISIS DE PENDIENTES.....	15
3.5	GEOLOGÍA LOCAL.....	17
3.6	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	20
3.6.1	Unidades de origen estructural.....	20
3.6.1.1	Sierras Homoclinal.....	20
3.6.1.2	Ladera Estructural Homoclinal.....	20
3.6.1.3	Ladera Contrapendiente Estructural.....	20
3.6.2	Unidad de origen antropogenético.....	20
3.6.2.1	Cantera.....	20
3.6.2.2	Botadero.....	21
3.7	ANÁLISIS DE PENDIENTES LOCAL.....	22
4	MODELO GEOMECÁNICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	23
4.1	CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS.....	23
4.1.1	Características físicas y mecánicas.....	24
4.1.2	Análisis de discontinuidades.....	29
4.1.3	Clasificación de las rocas.....	31
5	AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO.....	34
5.1	AMENAZA.....	34
5.1.1	Método determinístico de la amenaza.....	34
5.1.2	Planteamiento del modelo geológico geotécnico para evaluar la amenaza.....	35
5.1.2.1	Geología.....	36
5.1.2.2	Geomecánica.....	36
5.1.2.3	Comportamiento hidráulico.....	37
5.1.2.4	Sísmica.....	37
5.1.2.5	Zonificación de la amenaza.....	37

5.2	VULNERABILIDAD	40
5.2.1	Identificación y localización de los elementos expuestos.	41
5.2.1.1	Identificación	41
5.2.1.2	Localización	43
5.2.2	Caracterización de los elementos expuestos: tipología, exposición y resistencia.....	43
5.2.2.1	Tipología	43
5.2.2.2	Exposición.....	44
5.2.2.3	Resistencia.....	44
5.2.2.4	Zonificación de la vulnerabilidad	44
5.3	RIESGO	46
5.3.1	Calculo del riesgo	47
5.3.1.1	Impactos directos.	47
5.3.1.2	Impactos indirectos	47
5.3.2	Evaluación del riesgo.....	47
6	CONCLUSIONES	49
7	RECOMENDACIONES	51
8	BIBLIOGRAFÍA	52
9	ANEXOS	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización de la Cantera El Pilar, Datum: Bogotá, Origen en la zona Bogotá.	7
Figura 2.	Mapa geológico regional.	11
Figura 3.	Mapa Geomorfológico Regional.	15
Figura 4.	Mapa de pendientes del área de estudio.	16
Figura 5.	columna estratigráfica del área de trabajo.	19
Figura 6.	Plano geología local	19
Figura 7.	Plano Geomorfológico Local.	21
Figura 8.	Plano de pendientes local.	23
Figura 9.	Puntos de levantamiento de discontinuidades.	30
Figura 10.	Vaciado de polos diagrama de contorno y planos de orientación de discontinuidades para unificado puntos 1, 2 y 3.	31
Figura 11.	Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos fracturados.	32
Figura 12.	Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos estratificados y heterogéneos.	32
Figura 13.	Zonificación de la amenaza propuesta por Varnes 1984.	34
Figura 14.	Diagrama de flujo para determinar la amenaza.	36
Figura 15.	Perfil A-A' condición extrema Pseudo estático + Ru.	38
Figura 16.	Perfil B-B' condición extrema Pseudo estático + Ru.	39
Figura 17.	Perfil C-C' condición extrema Pseudo estático + Ru	39
Figura 18.	Plano zonificación de la amenaza actual.	40
Figura 19.	Plano de vulnerabilidad actual cantera el Pilar.	45
Figura 20.	Plano del Riesgo actual	48

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.	Unidades Geomorfológicas.	12
Fotografía 2.	unidad estructural, Loma Estructural.	13
Fotografía 3.	Unidad Denudacional.	13
Fotografía 4.	Cantera Mina El Pilar	14
Fotografía 5.	Formacion Arenisca Dura.	17
Fotografía 6.	Intercalacion superior arenisca y lutita.	18
Fotografía 7.	Cantera Mina Pilar.	20
Fotografía 8.	Unidad Antropogenético. (Botadero de Material Estéril)	21
Fotografía 9.	Vista panorámica de la mina "el pilar".	46
Fuente:	Resultados del proyecto	46

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1.	Esfuerzo normal vs esfuerzo cortante CD plano de discontinuidad	
limolita	26
Grafica 2.	Esfuerzo normal vs esfuerzo cortante CD plano de discontinuidad	
Lutita	26
Grafica 3.	Círculos de resistencia de Mohr Limolita.....	28
Grafica 4.	Círculos de resistencia de Mohr Lutita	28
Grafica 5.	Círculos de resistencia de Mohr Lidita	29

LISTA DE TABLAS

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 – PLANOS

ANEXO 2 – RESULTADOS DE LABORATORIOS

DEDICATORIA

Quiero dejar impreso en este documento y en tu corazón, el profundo amor que siento por ti; Amor que se alimenta cada día con tu luz, porque eres mi orgullo y mi motivación, por haberle dado sentido a mi vida, por tener la fortuna de encontrar en ti el aliento para seguir adelante.

A ti, ofrezco el esfuerzo, la dedicación y las ganas con las que desarrolle este proyecto.

A ti, por quien todo tiene sentido.

A ti, por hacerme perder la cabeza y enloquecer por comerte a besos.

A ti mi amado hijo.

ESTEBAN VARGAS FONSECA.

AGRADECIMIENTOS

Espero que estos párrafos alcancen a expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su colaboración han hecho de este trabajo una realidad.

Especialmente presentar un enorme reconocimiento a la orientación, el seguimiento y la supervisión continua del director de este proyecto, el ingeniero **Kristian Rodríguez Amaya**, con el cual me encuentro totalmente agradecido por la confianza y el ánimo depositado en mí, por todas sus enseñanzas, colaboración, paciencia y especialmente por su amistad, durante el largo transcurso del desarrollo de mi proyecto de grado.

Es muy oportuno para mí agradecer a los jurados del proyecto, Msc Héctor Fonseca y a Msc German Herrera, quienes con sus aportes y correcciones contribuyeron en el desarrollo y conclusión de este documento.

También me gustaría agradecer las enseñanzas de los ingenieros y profesores de la escuela de ingeniería geológica, quienes influenciaron mi pasión por el conocimiento geológico dándome las herramientas necesarias para salir a delante en mi vida.

Un agradecimiento especial a mis padres **Amelia Acosta** y **Miguel Vargas** por inculcarme el amor por el aprendizaje y hacer de mí una persona honesta y trabajadora, a mi esposa **Carolina** por su colaboración, comprensión y el ánimo que día tras día me transmite, porque caminamos de la mano bajo el mismo ideal, siempre he sentido su gran amor y su apoyo incondicional.

Quiero hacer extensiva mi gratitud a los compañeros y amigos que estuvieron presentes en este periodo de mi vida, a los que se hicieron partícipes de mis logros durante nuestro paso por las aulas, los que hicimos de nuestro aprendizaje un grato vínculo de logros y metas por alcanzar.

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo fue dirigido hacia la determinación del riesgo en la cantera “El Pilar” ubicada en el municipio de Chipaque departamento de Cundinamarca, para tal propósito se desarrolló una metodología basada en la interpretación de la amenaza y la vulnerabilidad, estas variables se determinaron por medio de estudios físicos y mecánicos en laboratorio y campo, subsecuentemente analizados y representados en mapas a escala 1:2000 para su clara interpretación, teniendo en cuenta los parámetros determinados en la normativa que rige a Colombia.

Basado en metodologías recientes para la evaluación del riesgo e interpretando los parámetros de dichas metodologías, para direccionarlas hacia la problemática encontrada en el área del presente trabajo, se pudo establecer los parámetros esenciales en el desarrollo de la representación cualitativa y grafica de los factores que afectan y que son afectados en la zona de estudio para su identificación y valoración del riesgo, que fue el objetivo general de este trabajo, con el fin de determinar acciones oportunas que puedan mitigar dicho riesgo en los elementos vulnerables y así prevenir pérdidas que afecten el funcionamiento y producción de la cantera.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está elaborado con el fin de determinar, la amenaza, vulnerabilidad y riesgo, que se puede presentar en la cantera “El Pilar”, ubicada en el municipio de Chipaque departamento de Cundinamarca, debido a deslizamientos, teniendo en cuenta la identificación de la amenaza y la vulnerabilidad se determinará el riesgo en el área de la concesión minera.

Con este propósito se decidió desarrollar una metodología que pudiera satisfacer la necesidades y cumplir con las expectativas incluidas en la propuesta de este proyecto, basado en la recopilación de la información de la zona y los hallazgos hechos por el autor de este trabajo y así representar claramente la problemática con el fin de poder determinar las características más representativas de las rocas presentes, teniendo en cuenta sus caracterización fisicomecanicas y la forma en la que se encuentra los taludes actualmente, respecto al problema fundamental que es un posible deslizamiento en la mina, por fuerzas naturales o por fallas en la estructura geológica.

La principal característica de este trabajo se encuentra consignada y referenciada en el tratamiento y manejo que se dio a la evidencia geológica y geotécnica de la concesión minera para poder determinar los posibles efectos de un deslizamiento.

Utilizando las herramientas para el diseño, creación de modelos geológicos y aplicando los conceptos para recrear una simulación que determine todos los parámetros para la concepción de la problemática con el fin de adoptar la metodología que conlleve a un resultado coherente responsable y serio de las apreciaciones que aquí se presentan para la determinación del riesgo a una escala apropiada.

Para obtener el resultado específico de este proyecto, se decidió discriminar la información de tal forma que la metodología implementada se alimentará de dicha información generando punto a punto la propuesta del proyecto así. Basado en la geología y el modelo geomecanico, se determinó la amenaza y la vulnerabilidad, para tener los argumentos necesarios en la determinación del riesgo.

1 PRELIMINARES

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Elaborar el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, con el fin de determinar las posibles afectaciones de la mina en el área de la concesión minera y las zonas aledañas a dicho proyecto; caso de aplicación cantera “El Pilar” Municipio de Chipaque - Departamento de Cundinamarca.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información bibliográfica.
- Realizar el reconocimiento y levantamiento geológico de la zona de interés.
- Ejecución de ensayos de laboratorio para la caracterización de las litologías presentes.
- Establecer los parámetros geológicos, geotécnicos y geomorfológicos para el desarrollo del estudio en el área de aplicación del trabajo.
- Realización de la cartografía geológica regional a escala 1:10000, local a escala 1:2000 o la más pertinente.
- Usar metodologías aplicables en el desarrollo de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a pequeña escala (1:1.000 a 1:5.000) que se adecuen al área de interés.
- Determinar las zonas con mayor amenaza y vulnerabilidad para desarrollar una adecuada identificación, mitigación y prevención del riesgo.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La cantera “El Pilar” ubicada en el municipio de Chipaque departamento de Cundinamarca, se dedicó al aprovechamiento minero de rocas semi-duras beneficiables y utilizables como materiales de construcción. Como resultado de esta actividad se produjeron áreas intervenidas por la actividad minera, las cuales es necesario restaurar y recuperar ambientalmente y para ello se hace urgente y oportuno **hacer un estudio responsable y efectivo de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para así determinar los posibles impactos sobre el área y las afectaciones de dicha explotación.** Esto con el fin de obtener una adecuada rehabilitación de la zona, ya que dentro de los parámetros de la concesión para la explotación (minería responsable), exigen una recuperación del área explotada generando el menor impacto posible.

1.3 ALCANCE Y LIMITACIÓN

1.3.1 Alcances

La recopilación de información secundaria, regional y local, que involucre el área en donde se desarrollará el proyecto y partiendo de la misma se realizara la verificación de los datos obtenidos en la etapa de la visita de campo que permitirá corroborarla y complementarla.

Realizar la visita de campo para efectuar el reconocimiento del área del contrato de concesión.

Luego de la etapa de reconocimiento de la zona donde se definirá los puntos de muestreo, se desarrollará la recolección de muestras para someterlas a ensayos físico-mecánicos y conociendo las unidades existentes que presentan las rocas, se debe realizar ensayos como: Propiedades físicas, compresión simple, triaxial en roca, corte directo a lo largo del plano de discontinuidad, con esto se procederá a establecer parámetros tenso-deformacionales de las rocas presentes y elaborar la simulación de estabilidad en la zona, para determinar el modelo geológico geotécnico.

Realizar la cartografía geológica regional a escala 1:10000 y local a escala 1:2000 (o la más adecuada para la zona) respectivamente mediante el software Arcgis 10.1 y AutoCAD.

1.3.2 Limitaciones.

Dado que la explotación se encuentra en su última etapa, se hace difícil acceder a la toma de datos en la zona, debido al paso de la maquinaria y equipos mineros, generando cierto riesgo en el desarrollo de dicha tarea.

Las condiciones atmosféricas y climatológicas, ya que el área de trabajo se encuentra sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar, la neblina y lloviznas son frecuentes lo que puede ser una limitación en el momento de la toma de muestras y registros fotográficos.

El tiempo es otro factor, ya que se debe realizar el proyecto en un plazo admisible que permita su adecuada culminación y divulgación de resultados.

El factor económico se debe trabajar con responsabilidad financiera ya que algunos de los costos serán llevados por parte del autor del proyecto.

1.4 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta el siguiente proceso:

1.4.1 Análisis de la información

Para tener un mayor conocimiento del proyecto, se realizó una recopilación y revisión de la información bibliográfica relacionada con estudios de amenaza vulnerabilidad y riesgo, así como la identificación y verificación de la información de la cartografía geológica correspondiente a la zona.

1.4.2 Trabajo de campo

Visita de reconocimiento en la cual se pudo identificar el área de interés y obtener una idea más clara del trabajo a desarrollar.

Se recopilaron datos estructurales, muestras para los análisis físico-mecánicos, (Mines Solutions), registro fotográfico, se identificaron las diferentes formaciones y fallas presentes en la zona con el fin de generar la geología local y regional.

Levantamiento geológico. Por medio de la toma de datos estructurales y la información del modelo digital de terreno, se constató la presencia de fallas geológicas, la litología y las diferentes formaciones geológicas

Toma de muestras. La empresa “**Mines Solutions**” tomo las muestras tamaño bloque y tamaño puño cumpliendo el protocolo de muestreo que consistió en

recolectarlas, guardarlas en bolsas y marcarlas teniendo en cuenta su ubicación dentro de la malla de muestreo previamente organizada, con el fin de desarrollar los ensayos de laboratorio, para la obtención de parámetros representativos en el macizo rocoso.

1.4.3 Trabajo de oficina

Esta etapa se desarrolló de la siguiente forma:

El estudio y la selección de la información recopilada.

La interpretación de los datos obtenidos en el desarrollo de los diferentes trabajos realizados en campo.

La producción de la geología basada en la interpretación del trabajo de campo y la información recopilada de la empresa “**MINES SOLUTIONS**” con la encontrada en el portal del “**SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO S.G.C**”. Son la base del desarrollo geológico para evaluar los aspectos relevantes y la situación actual de la mina.

Con base en los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio se obtuvo los siguientes parámetros del macizo rocoso. Por medio del ensayo de propiedades físicas se obtuvieron los valores de densidad, peso específico y porosidad. Por medio del ensayo a compresión simple se obtuvo el parámetro de resistencia “*c*” para cada uno de los tipos de roca encontradas en la cantera. Por medio del ensayo triaxial se determinó el m_i para poder aplicar el criterio generalizado de Hoek y Brown Y así proporcionar una idea muy clara de las propiedades del macizo rocoso a tener en cuenta en el desarrollo y posterior entrega de los resultados.

El diseño de los planos escala 1:10.000 (regional) y 1:2000 (local).

La determinación de la amenaza y la vulnerabilidad con su respectiva representación en los modelos escala 1:2000 para la identificación del riesgo a la misma escala generan la organización de la información y depuración de todos los resultados con el fin de presentar de forma responsable, clara y efectiva el trabajo desarrollado con sus respectivas apreciaciones.

2 MARCO DE REFERENCIA

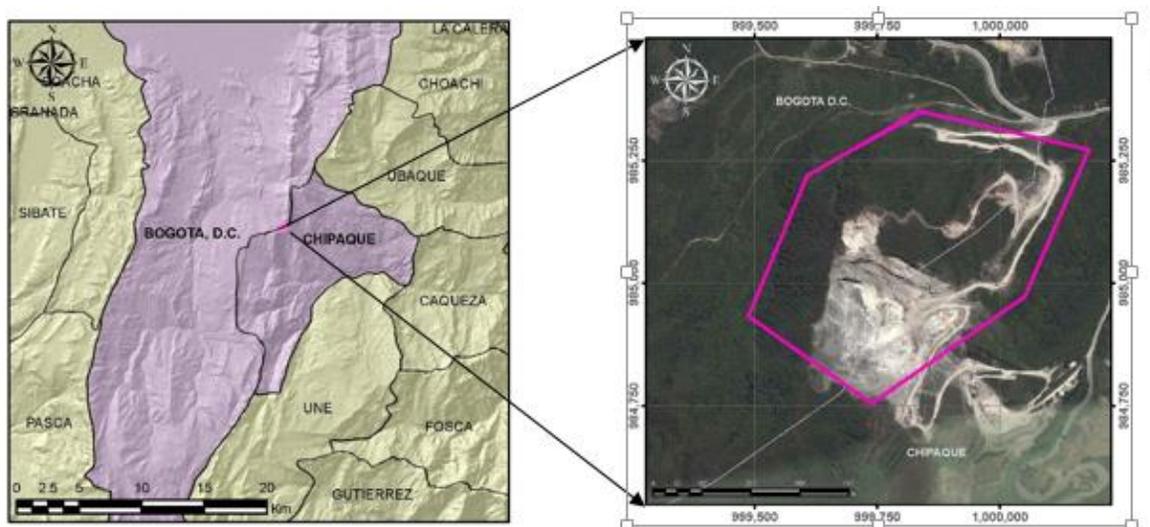
2.1 LOCALIZACIÓN

La cantera El Pilar se encuentra ubicada en la vía Usme km 7 botadero Doña Juana, entre el municipio de Chipaque y la Localidad anexa a Bogotá, Usme, el acceso se realiza por la antigua vía a Villavicencio en el kilómetro 15. En la Tabla 1 se relacionan las coordenadas del área de estudio (Ver Figura 1).

Tabla 1. Coordenadas del área de interés, Datum: Bogotá, Origen en la zona Bogotá.

PUNTO	COORDENADAS NORTE	COORDENADAS ESTE
1	985,271.97	1,000,982.26
2	984,972.47	1,000,051.00
3	984,755.42	999,739.09
4	984,932.82	999,487.35
5	985,218.88	999,606.79
6	985,350.21	999,835.78
1	985,271.97	1,000,982.26

Figura 1. Localización de la Cantera El Pilar, Datum: Bogotá, Origen en la zona Bogotá.



Fuente: Google Earth 2014.

3 GEOLOGÍA

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La zona de interés se encuentra enmarcada en la parte central de la Cordillera Oriental, esta área presenta una geología compleja y una topografía muy abrupta.

Geológicamente el área de desarrollo del proyecto, presenta alta complejidad, con un marcado estrechamiento con respecto a los sectores localizados al norte de Bogotá; en ella afloran rocas sedimentarias del Cretácico y Terciario cubiertas discordantemente por espesos depósitos del Cuaternario, Estas secuencias están separadas entre sí por fallas regionales de cabalgamiento y estratigráficamente está constituida por las formaciones, Chipaque, el Grupo Guadalupe que consta de los miembros, Formación Arenisca Dura, Formación Plaeners, Formación Labor y Tierna, Formación Guaduas, formación Bogotá dividida en dos miembros, Superior e Inferior, Formación Regadera y Formación Usme. (Figura 2).

3.1.1 Formación Chipaque (Ksch)

Hubach (1931), designó como Conjunto Chipaque a la parte superior del Grupo Villeta que aflora al Oriente de la Sabana de Bogotá y está constituida por esquistos piritosos con intercalaciones de areniscas calosas, arenisca lajosa y niveles de cal a la base y techo y con gran abundancia de fauna. El mismo autor en 1957, la denomina Formación Chipaque y como límites establece a la Formación Une en la base y el techo lo marca en el nivel de *exogyra squamata*, este nivel separa en el sentido de Hubach (1931) a la Formación Chipaque del conjunto inferior esquistoso del Grupo Guadalupe.

3.1.2 Grupo Guadalupe (Ksg)

El Grupo Guadalupe es definido formalmente al oriente de Bogotá por Pérez & Salazar, (1978) y está conformado por las Formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna. En la Sabana de Bogotá, este grupo se reconoce por encima de la Formación Chipaque al oriente y sobre la Formación Conejo al occidente y es suprayacida en toda la Sabana por la Formación Guaduas.

3.1.2.1 Formación Arenisca Dura (Ksad)

Nombre propuesto formalmente por Pérez & Salazar (1978), para la unidad Litoestratigráfica que reposa concordante y transicionalmente sobre una sucesión monótona de lutitas fósiles y grises de la Formación Chipaque y que es suprayacida por una secuencia de arcillolitas, arcillolitas silíceas y liditas de la Formación Plaeners.

3.1.2.2 Formación Plaeners (Ksp)

Nombre propuesto formalmente por Pérez & Salazar (1978) para la unidad litoestratigráfica que reposa concordantemente sobre la Formación Arenisca Dura y suprayace a la Formación Arenisca de Labor; en la sección tipo presenta un espesor de 73 m, está representada por arcillolitas, liditas, limolitas y en menor proporción areniscas de grano muy fino. En general presenta una morfología suave y genera una hondonada debido a su litología fina que contrasta con las pendientes abruptas de las unidades geológicas que la circundan.

3.1.2.3 Formación Labor y Tierna (kslti)

Pérez & Salazar (1978) al oriente de Bogotá, formalizaron a las Formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna. La Arenisca de Labor, presenta un espesor de 177 m, comienza con capas muy gruesas de areniscas que se intercalan con capas muy delgadas de arcillolitas. La Formación Arenisca de Labor es separada de la Formación Arenisca Tierna por 19 m de lodolitas y arcillolitas; la Arenisca Tierna con un espesor de 49 m, se diferencia de la Labor por presentar capas muy gruesas de areniscas de tamaño más grueso.

3.1.3 Formación Guaduas (KPggu)

La Formación Guaduas fue descrita originalmente por Hettner (1892, en De Porta, 1974) para referirse a los materiales que afloran en la región de Bogotá y que están por encima del Grupo Guadalupe. Hubach (1931), denomina piso Guaduas a la secuencia que suprayace al Grupo Guadalupe y es infrayacida por el piso de Bogotá, por intermedio del horizonte del Cacho que sería para este autor la parte más baja del piso de Bogotá.

3.1.4 Formación Bogotá (Pgbo)

En el área de estudio, la Formación aflora al norte de la cantera El Pilar. Esta unidad se divide en dos partes, una inferior que consta de una secuencia alternante de lodolitas rojas y arenitas líticas y feldespáticas, medias y gruesas, levemente conglomeráticas, grises oscuras y verdosas, en capas gruesas a muy gruesas, convergentes. La parte superior, aunque se presenta cubierta en un alto porcentaje, está conformada por una sucesión monótona de arcillolitas rojas.

3.1.5 Formación Regadera (Pgr)

Se localiza al occidente de la Cantera El Pilar. Esta formación está dividida en 4 segmentos, así: el Segmento 1 está compuesto por areniscas de cuarzo y feldespato, finas hasta conglomerados de gránulos, blancas, amarillentas y violáceas, con cemento silíceo, en capas medias, gruesas y muy gruesas, cuneiformes, con estratificación plana e inclinada. A continuación, y estratigráficamente más arriba, se tiene el Segmento 3 constituido por una secuencia de arcillolitas grises, verdosas, que por meteorización dan coloraciones violáceas y rojizas, con intercalaciones de areniscas cuarzo-feldespáticas, medias

a gruesas, en capas gruesas. La parte superior de la Formación La Regadera (Segmento 4) está constituido por una sucesión de capas de areniscas cuarzosfeldespáticas, gruesas, blancas y amarillentas, con cemento silíceo, en capas delgadas a gruesas, con óxido de hierro e intercalaciones de arcillolitas grises, en capas delgadas.

3.1.6 Formación Usme (Pgu)

Hubach (1957) define como Formación Usme a la secuencia de origen marino que aflora en el sinclinal del Tunjuelo (sinclinal de Usme en este trabajo), representada por areniscas intercaladas con cascajos y arcillas grises claras. Julivert (1963), distingue dos niveles, el inferior lutítico, con intercalaciones de areniscas y la parte superior areniscas de grano grueso y conglomerados Hoorn, *et al* (1987) le asigna un espesor de 300 m y diferencia dos miembros con base en la litología y ambiente de deposición; **El inferior** son 100 m de arcillolitas cafés y grises y se considera como el tope la aparición de la primera arenisca. **El miembro superior** compuesto por 200 m de arcillolitas limosas varicoloreadas y areniscas amarillas; en la parte superior hay numerosas capas de lignito y remanentes orgánicos.

3.1.7 Complejo de Conos (Qcc)

Son depósitos recientes que se presentan en los pies de las laderas, en especial en aquellas generadas por el grupo Guadalupe; normalmente son depósitos caóticos denominados conos de derrubio; estos se forman cuando se arrastran sedimentos de las partes altas, por acción de agentes erosivos como el agua el viento y la gravedad dichos sedimentos se depositan en sectores de pendientes medias siguiendo las geoformas presente en la zona y la parte media de la microcuenca que la forma. Estos conos de derrubio se localizan al occidente del área en estudio con grandes espesores; caracterizados por bloques angulosos y gravas angulosas, embebidas dentro de una matriz areno arcillosa.

3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Regionalmente la zona oriental del área en estudio consta de dos grandes bloques separados por la Falla de Bogotá; al oriente de esta falla ocurre un sistema de fallas de cabalgamiento, imbricadas, con planos que buzcan al oriente, que repiten secuencias de la Formación Une y que montan esta unidad sobre la Formación Chipaque.

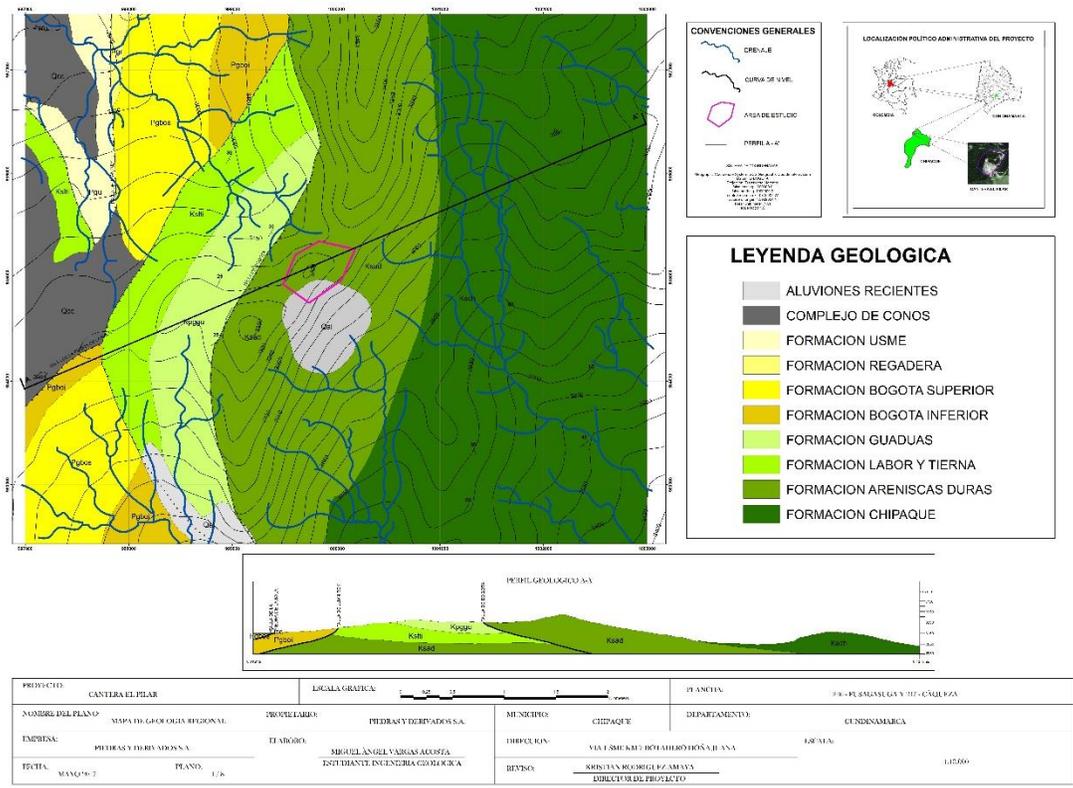
Al occidente de la Falla de Bogotá se presentan dos sistemas principales de fallas de cabalgamiento; el primero, representado por fallas con dirección N-S a N20°E, con el plano que buza al oriente, las cuales se presentan asociadas a pliegues

apretados; estas estructuras cambian de dirección hacia el norte en un rango que varía entre N-S a N30°W; el segundo sistema de fallas está representado por fallas con dirección N15°E a N40°W y planos que buzcan al occidente.

La zona oriental de la falla de Bogotá, se interpreta como un sistema de cabalgamientos, en donde las fallas con dirección N10°W a N35°E posiblemente se comportaron como fallas de desgarre, con desplazamiento lateral; mientras que las fallas con dirección N10°W a N40°W y planos de falla que buzcan al suroccidente, representan frentes de cabalgamiento.

La Falla de Bogotá corresponde a una estructura con dirección aproximada N10°E y con el plano de falla inclinado hacia el oriente; se evidencia en campo debido a que rocas del Grupo Guadalupe cabalgan sobre rocas de la Formación Bogotá; sin embargo, es interesante anotar que en cercanías del Alto de Chipaque esta falla deja cuñas del Grupo Guadalupe y de la Formación Guaduas.(figura 2)

Figura 2. Mapa geológico regional



Fuente: Planchas 246 y 247 escala 1:100.000 del S.G.C.

3.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

En la zona se diferencia cuatro unidades predominantes dentro de las cuales se encontraron dos unidades de tipo morfoestructural, una unidad correspondiente a un ambiente antropogenético y una unidad de tipo denudacional, en el área predominan las estructuras de montañas generando un paisaje de montaña con lomerío.

3.3.1 Unidades de origen estructural.

3.3.1.1 Sierra anticlinal

Unidad de morfología colinada y montañosa con cimas agudas a redondeadas que se extiende de norte a sur en el área de estudio, presenta inclinaciones de 30 grados, se presenta un terreno de ladera superior. De origen estructural con fuerte plegamiento y fallamiento. (Fotografía 1).

Fotografía 1. Unidades Geomorfológicas.



Fuente: resultados del proyecto.

3.3.1.2 Loma Estructural

Unidad delimitada por elevaciones de terreno menores a 200 m con cimas amplias y de formas redondeadas con inclinaciones entre 4 y 10 grados, localizada hacia el este del área de estudio, se presenta un terreno de ladera media homogéneo. De origen estructural con plegamiento y asociado a presencia de fallas. (Fotografía 2).

Fotografía 2. unidad estructural, Loma Estructural.



Fuente: resultados del proyecto.

3.3.2 Unidad de origen denudacional.

3.3.2.1 Ladera denudacional

Ladera originada por procesos exógenos ubicada hacia el costado occidental del área de estudio, con presencia de diversos tipos de materiales producto de los procesos denudacionales generadores, presenta un terreno de ladera inferior (falda) que se extiende hacia el occidente del área de estudio, caracterizado por la presencia de pendientes ligeras. Asociada a sistemas de fallas presentes en la zona. (Fotografía 3).

Fotografía 3. Unidad Denudacional.



Fuente: resultados del proyecto.

3.3.3 Unidades de origen antropogénico.

3.3.3.1 Cantera

Excavaciones escarpadas producto de ejecución de minería a cielo abierto (extracción de materiales de construcción), con alturas superiores a 20 metros en las terrazas, Con pérdida de cobertura vegetal (suelos expuestos). Se presenta en la mina El Pilar (Área de estudio). (Fotografía 4).

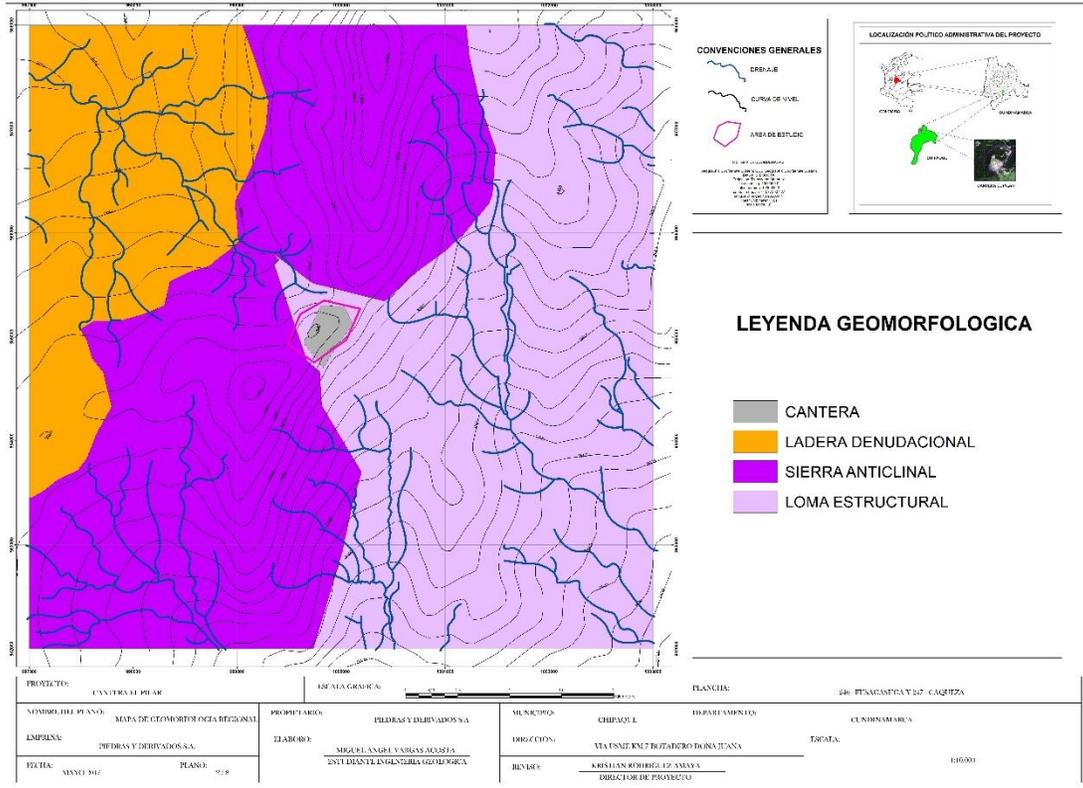
Fotografía 4. Cantera Mina El Pilar



Fuente: resultados del proyecto.

En la Figura 3 se presenta el plano geomorfológico regional elaborado para el proyecto a escala 1:10000.

Figura 3. Mapa Geomorfológico Regional.



Fuente: resultados del proyecto.

3.4 ANÁLISIS DE PENDIENTES.

Como parte del análisis geomorfológico realizado para el área de estudio, se presenta la siguiente clasificación de rango de pendientes realizado por el autor con la utilización de software de procesamiento digital, Arcgis 10.3 y su posterior exportación al software AutoCAD para su presentación.

La zona de estudio se caracteriza por tener una topografía fuertemente inclinada a ligeramente inclinada, la mayor parte del área está asociada a un paisaje de tipo lomerío.

La clasificación morfométrica del área del proyecto se realizó siguiendo los parámetros utilizados y recomendados para evaluación ambientales por la Agencia Nacional De Licencias Ambientales (ANLA), donde se recomienda que se haga una clasificación de pendientes con rangos en porcentaje que van desde

3.5 GEOLOGÍA LOCAL

La cantera “El Pilar” se ubica en la parte central de la cordillera oriental, en el límite político del distrito capital de Santafé de Bogotá y el municipio de Chipaque Cundinamarca, con un relieve que presenta cambios drásticos en la elevación del terreno, pues la concesión minera oscila entre los 3200 y los 3380 metros sobre el nivel del mar.

Con base en el levantamiento geológico realizado en la mina “El Pilar” y la información recopilada del área de estudio, se encontró, que esta se ubica dentro de la formación guadalupe exactamente sobre su miembro inferior “Arenisca Dura”, se pudo determinar gracias a la comparación con columna estratigráfica de la zona, encontrada en el documento “**GEOLOGIA DE LA SABANA DE BOGOTA** realizado por Diana Montoya y German Reyes en 2005 para el INGEOMINAS”, que la mina se encuentra en su sobre dicha formación, por esta razón la geología local se direcciono con respecto a esta.

A continuación se encuentran fotografías de la zona y la tabla que relaciona los puntos de control y su respectiva ubicación con datos estructurales, estos últimos sirvieron de origen para el desarrollo de las trazas de los contactos con el fin de desarrollar una geología local acorde a lo encontrado en campo y que pudiese dar una idea clara direccionada a los estudios de amenaza y vulnerabilidad teniendo en cuenta los detalles más relevantes de la mina y su geología para así poder determinar el riesgo a una escala muy detallada. (Fotografías 5 y 6).

Fotografía 5. Formación Arenisca Dura.



Fuente: resultado del proyecto.

Fotografía 6. Intercalacion superior arenisca y lutita.



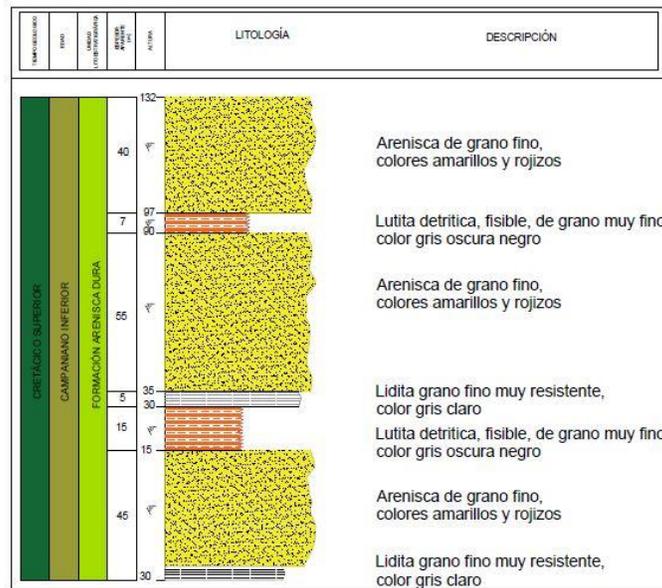
Fuente: resultado del proyecto.

Tabla 3. Puntos de muestreo para el levantamiento geológico local

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DATO ESTRUCTURAL
1	999.641	984.866	3.311	
2	999.643	984.855	3.307	
3	999.664	984.964	3.366	N 42° E ; 40° S -E
4	999.692	985.015	3.339	N 51° E ; 36° S-E
5	999.739	985.015	3.329	N 37° E ; 33° S -E
6	999.998	985.112	3.267	
7	1.000.013	985.138	3.259	N 29° E ; 37°S-E
8	999.858	984.986	3.223	
9	999.905	984.817	3.152	N 39° E ; 57° S-E
10	999.690	985.015	3.333	N 33° E ; 48 S - E
11	999.666	984.978	3.319	
12	999.654	984.881	3.336	
13	999.693	985.016	3.357	

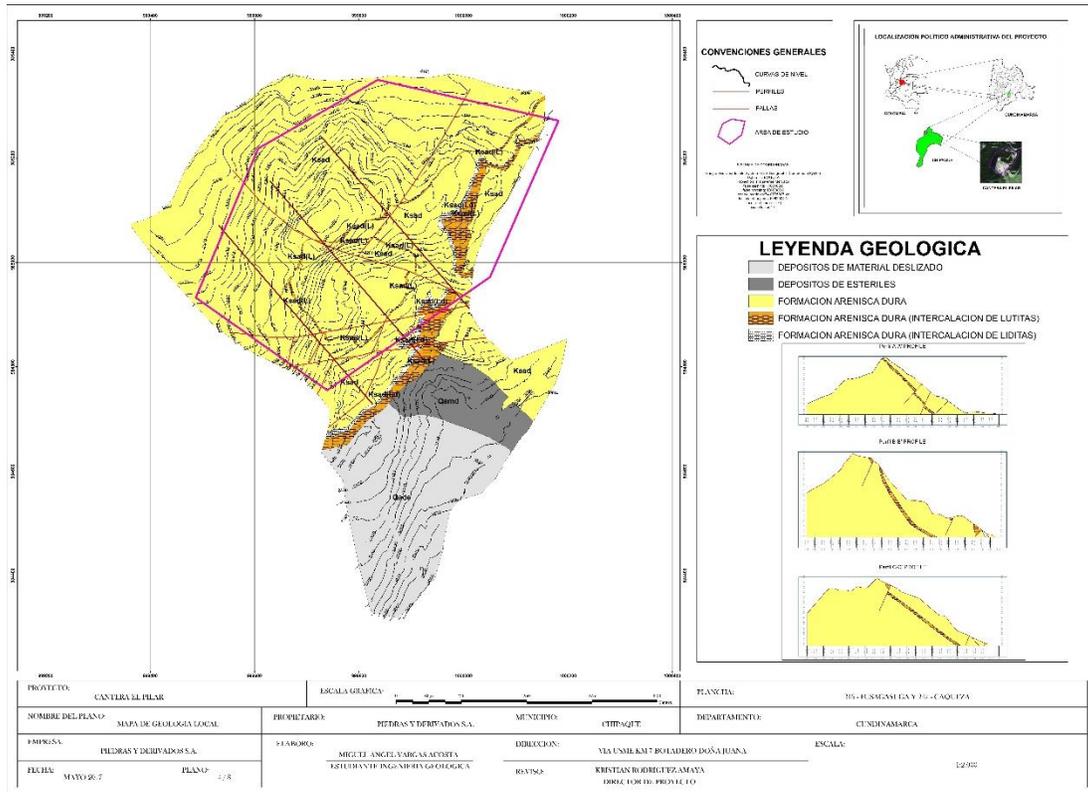
A continuación se muestra la columna estratigráfica desarrollada en el área de estudio para así desarrollar geología local. (Figura 5)

Figura 5. columna estratigráfica del área de trabajo.



Fuente: resultados del proyecto.

Figura 6. Plano geología local



Fuente: resultados del proyecto.

3.6 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

3.6.1 Unidades de origen estructural.

3.6.1.1 Sierras Homoclinal.

Geoformas simétricas a ligeramente simétricas con morfología montañosa y origen estructural debido a la presencia de plegamiento y fallamiento en el área con pendientes medias a ligeramente altas, se presenta hacia el costado noroeste del área de estudio. Principalmente ubicado en el área de protección del título minero evaluado.

3.6.1.2 Ladera Estructural Homoclinal.

Ladera generada en un ambiente estructural ligeramente simétrica, formada por una secuencia de estratos inclinados en una misma dirección por efecto de replegamiento intenso.

3.6.1.3 Ladera Contrapendiente Estructural

Unidad de morfología colinada a alomada, con cimas redondeadas, definida por la inclinación de los estratos con longitud moderadamente larga, ubicada hacia el sureste de la zona de estudio.

3.6.2 Unidad de origen antropogénico.

3.6.2.1 Cantera

Excavaciones escarpadas producto de ejecución de minería a cielo abierto (extracción de materiales de construcción), con alturas superiores a 20 metros en las terrazas, Con pérdida de cobertura vegetal (suelos expuestos). Se presenta al costado oeste del área de estudio en la mina El Pilar. (Fotografía 7)

Fotografía 7. Cantera Mina Pilar.



Fuente: resultados del proyecto.

3.6.2.2 Botadero

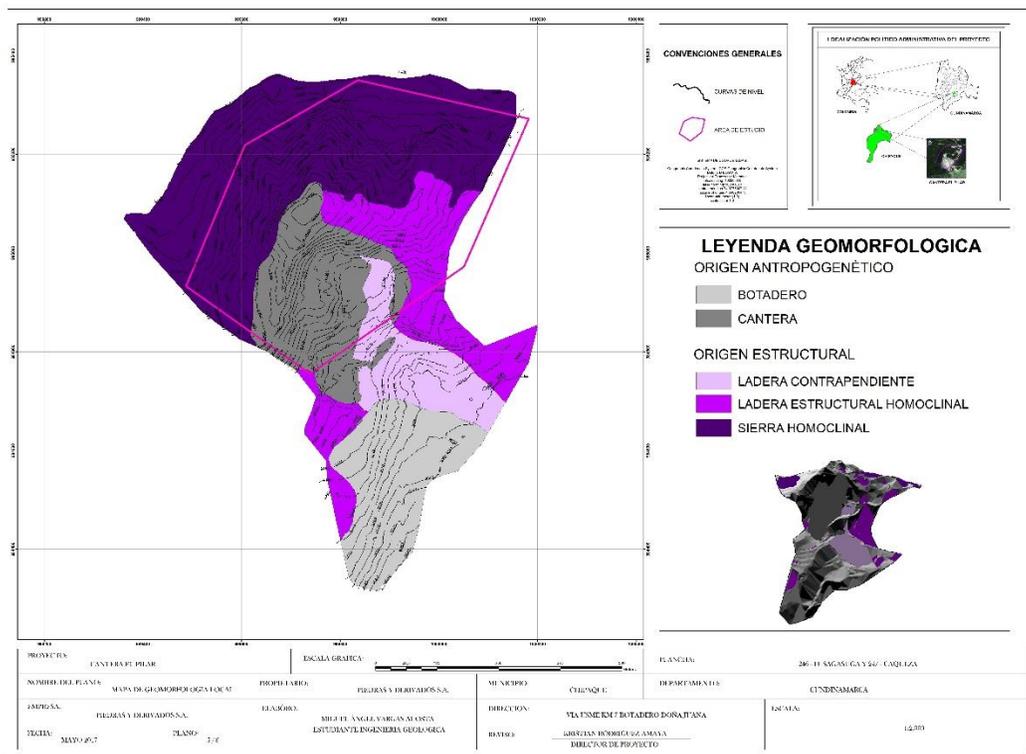
Montículo formado por la acumulación de material estéril generado en el frente de la mina, producto de las labores de arranque realizadas. Morfología asimétrica. En la Figura 7 presenta la imagen del mapa geomorfológico local a escala 1:2000, elaborado para el proyecto y anexo a este documento. (Fotografía 8).

Fotografía 8. Unidad Antropogenético. (Botadero de Material Estéril)



Fuente: resultados del proyecto.

Figura 7. Plano Geomorfológico Local.



Fuente: resultados del proyecto.

3.7 ANÁLISIS DE PENDIENTES LOCAL.

Como parte del análisis geomorfológico realizado para el área de estudio, se presenta la siguiente clasificación de rango de pendientes realizado por el autor con la utilización de software de procesamiento digital, Arcgis 10.3 y su posterior exportación al software AutoCAD para su presentación.

La clasificación morfométrica local se realizó siguiendo los parámetros utilizados y recomendados para evaluaciones de pendientes según la “F.A.O” (Food and agricultura organization), donde se recomienda que se haga una clasificación de pendientes con rangos en porcentaje de la siguiente forma, de 0 a 3% de pendiente se denomina plana, de 3 a 7% ondulada, de 7 a 12% ligeramente inclinada, de 12 a 25% inclinada, de 25 a 50% muy inclinada, de 50 a 75% escarpada, mayores al 75% muy escarpada.

Dentro del contexto local se clasificaron los rangos con las denominaciones que se presentan en la siguiente tabla. (tabla 3).

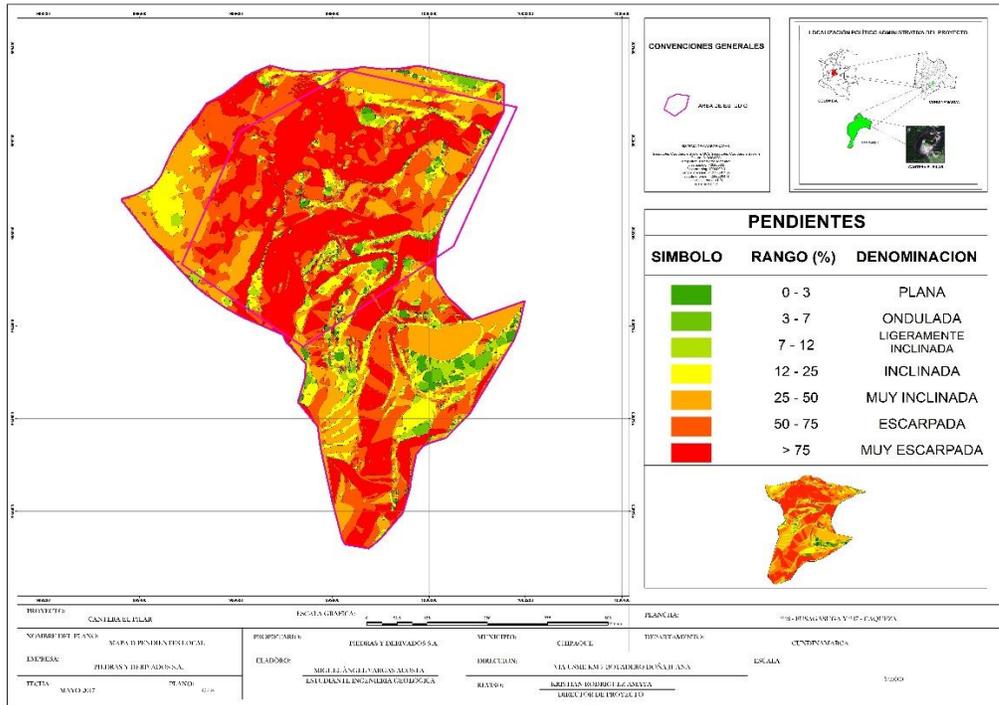
Tabla 4. Denominaciones generales para la evaluación de las pendientes a escala local.

SÍMBOLO	RANGO (%)	CATEGORÍA
	0 - 3	PLANA
	3 - 7	ONDULADA
	7 - 12	LIGERAMENTE INCLINADA
	12 - 25	INCLINADA
	25 - 50	MUY INCLINADA
	50 - 75	ESCARPADA
	>75	MUY ESCARPADA

Fuente: F.A.O food and agricultura organization.

A partir de la anterior clasificación presentada en la tabla 3 se realizó el plano de pendientes regional.

Figura 8. Plano de pendientes local.



Fuente: resultados del proyecto.

4 MODELO GEOMECÁNICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS.

La clasificación de las rocas para usos ingenieriles es una tarea compleja, ya que se debe cuantificar sus propiedades con el fin de emplearlas en los cálculos de diseño. Así, los términos cualitativos de roca dura o resistente, blanda o débil deben acotarse mediante determinados valores de su resistencia a compresión simple. La dificultad para la clasificación geotécnica estriba tanto en el hecho de la alta variabilidad de las propiedades rocosas como en las limitaciones de los métodos y procedimientos para su determinación, (Gonzales, Vallejo 2002).

Para el caso puntual de este trabajo, esta clasificación y caracterización se desarrolló teniendo en cuenta las litologías presentes, basados en el levantamiento geológico que se realizó y confrontándolo con la columna estratigráfica levantada en el área (*Informe geología de la sabana de Bogotá por Montoya, Reyes 2005*), en la cual se encontró arenisca e intercalaciones de lutitas y liditas, estas fueron sometidas a ensayos de laboratorio y pruebas de campo para lograr su identificación, con el fin de obtener una caracterización idónea puesto que era necesario tener claras las propiedades de dichos materiales, ya que con base en estos resultados se propondrían las condiciones iniciales que condujeran a el desarrollo del presente estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

4.1.1 Características físicas y mecánicas

Las características físicas de las rocas son el resultado de su composición mineralógica, fabrica e historia geológica, deformacional y ambiental, incluyendo los procesos de alteración y meteorización. La gran variabilidad de estas propiedades se refleja en comportamientos mecánicos diferentes frente a las fuerzas que se aplican sobre las rocas, comportamientos que quedan definidos por la resistencia del material y por su modelo de deformación. (Gonzales, Vallejo 2002).

Las características físicas de las rocas encontradas en el área de estudio fueron determinadas en laboratorio por ensayos de:

- 1- Relación de vacíos
- 2- Humedad
- 3- Densidad seca y natural
- 4- Peso específico y natural.
- 5-

Los resultados se encuentran consignado en la Tabla 1, los cuales arrojaron resultados efectivos y necesarios para poder proponer las condiciones iniciales del terreno y así comenzar con el estudio de la amenaza de la zona.

Tabla 1. Tabla resumen Propiedades Físicas.

Las características físicas de las rocas encontradas en el área de estudio fueron determinadas en laboratorio por ensayos de:

PROPIEDADES FISICAS PARA ROCA (ASTM D 2166-91)																
Descrip	Muestra	Pw(g/cc)	M(g)	Ms(g)	Msat(g)	V(cc)	P(g/cc)	Pd(g/cc)	Psat(g/cc)	W %	S %	n %	e	y (KN/m3)	yd (KN/m3)	ysat (KN/m3)
LUITTA	1	1	94,9	93,1	95,1	34	2,79	2,74	2,80	1,93	90,00	5,88	0,0563	27,5	27,0	27,6
	2	1	79,8	77,9	80,6	34	2,35	2,29	2,37	2,44	70,37	7,94	0,0607	23,1	22,6	23,4
	3	1	93,9	92,3	94,7	38	2,47	2,43	2,49	1,73	66,67	6,32	0,0449	24,4	23,9	24,6
	4	1	51,4	49,7	53,4	20	2,57	2,49	2,67	3,42	45,95	18,50	0,1043	25,3	24,5	26,3
PROMEDIO:							2,54	2,49	2,58	2,38	68,25	9,66	0,067	25,09	24,51	25,46
LIDITA	1	1	68,4	67,3	70,2	28	2,44	2,40	2,51	1,63	37,93	10,36	0,044	24,09	23,70	24,72
	2	1	87,3	86,2	89,5	35	2,49	2,46	2,56	1,28	33,33	9,43	0,035	24,59	24,28	25,21
	3	1	66,5	64,3	68,6	26	2,56	2,47	2,64	3,42	51,16	16,54	0,101	25,22	24,38	26,02
	4	1	76,4	75,3	78,4	34	2,25	2,21	2,31	1,46	35,48	9,12	0,036	22,16	21,84	22,74
PROMEDIO:							2,44	2,39	2,50	1,95	39,48	11,36	0,0539	24,01	23,55	24,67
ARENISCA	1	1	64,7	60	65,8	30	2,1567	2,0000	2,1933	7,8333	81,0345	19,3333	0,1942	21,2647	19,7200	21,6263
	2	1	58,7	54,5	55,7	25	2,3480	2,1800	2,2280	7,7064	350,0000	4,8000	0,1765	23,1513	21,4948	21,9681
	3	1	90,5	86	92,4	40	2,2625	2,1500	2,3100	5,2326	70,3125	16,0000	0,1339	22,3083	21,1990	22,7766
	4	1	67,3	62,8	68,4	30	2,2433	2,0933	2,2800	7,1656	80,3571	18,6667	0,1844	22,1193	20,6403	22,4808
	5	1	85,9	81,6	87,3	38	2,2605	2,1474	2,2255	5,2696	-17,6955	-63,9474	0,0690	22,2888	21,1731	14,8678
	6	1	89,9	84,1	91,3	40	2,2475	2,1025	2,2825	6,8966	80,5556	18,0000	0,1768	22,1604	20,7907	22,5055
PROMEDIO:							2,25	2,11	2,13	6,68	107,43	2,14	0,1558	22,22	20,83	21,04

Pw = Densidad del agua M = Peso natural de la muestra Ms = Peso seco de la muestra Msat = Peso saturado de la muestra V = Volumen de la muestra P = Densidad total de la muestra Pd = Densidad seca de la muestra Psat = Densidad saturada de la muestra	W % = Porcentaje de humedad S % = Porcentaje de saturacion n % = Porosidad e = Relacion de vacios y (KN/m3) = Densidad total yd (KN/m3) = Densidad seca ysat (KN/m3) = Densidad saturada
---	---

Fuente: Resultados de laboratorio obtenidos en el Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

Las características mecánicas definen la capacidad del material para resistir acciones externas o internas que implican la aplicación de fuerzas sobre el mismo. Esencialmente, estas fuerzas son de compresión, tensión (o extensión), flexión y de impacto.

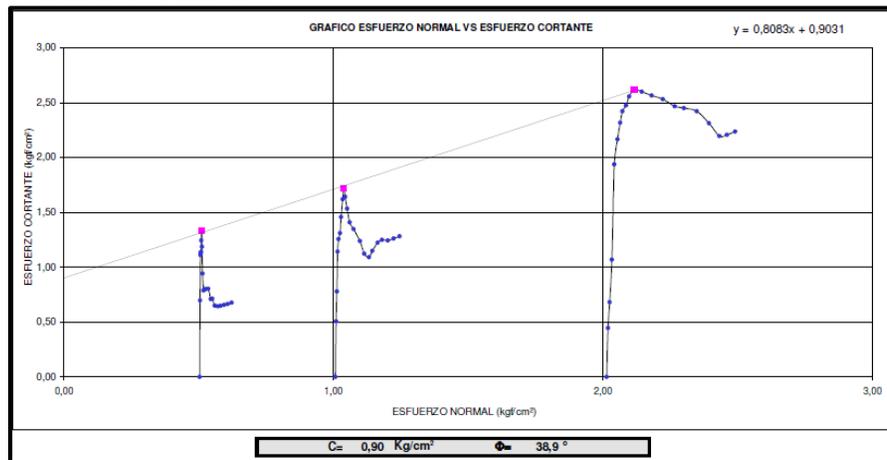
Prueba de resistencia al cortante en discontinuidad: Con el ánimo de establecer la resistencia al corte de los planos de discontinuidad presentes en el área de estudio, se llevaron a cabo pruebas de corte directo sobre la arenisca y la lutita.

Tabla 2. Resultado prueba de corte directo.

Material	C (Kg/cm ²)	φ (°)
Lutita	0,9	38,9
Arenisca	0,43	45,4

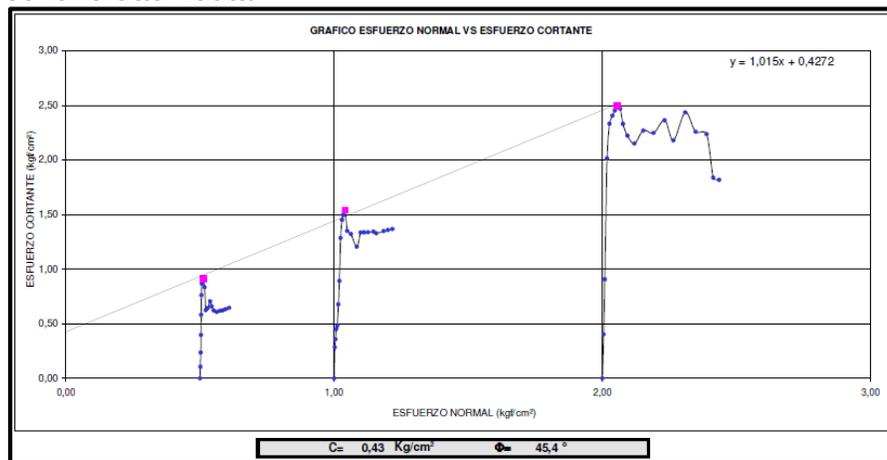
Fuente: Resultados de laboratorio obtenidos en el Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

Grafica 1. Esfuerzo normal vs esfuerzo cortante CD plano de discontinuidad limolita



Fuente: Resultados de laboratorio obtenidos en el Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

Grafica 2. Esfuerzo normal vs esfuerzo cortante CD plano de discontinuidad Lutita



Fuente: Resultados de laboratorio obtenidos en el Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

Prueba de resistencia a la compresión simple: Para el estudio se realizaron se realizaron 13 pruebas de compresión simple con medida de deformación, de las cuales se obtuvieron las resistencias máximas y módulos de elasticidad de las rocas (areniscas, lidita y lutita). Las pruebas de compresión simple sobre especímenes cilíndricos con dimensiones regulares los cuales fueron recuperados de bloques por medio de un taladro en laboratorio. Los resultados promedio por banco se presentan en las Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5.

Tabla 3. Resumen de resultados compresión simple en la arenisca.

Resumen					Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Promedio
MUESTRA		M7-1	M7-2	M7-3				
Arenisca	σ_{ci} (MPa)	55.48	22.74	35.61	16.49	55.48	22.74	37.94
	Ei (MPa)	2865.02	2395.14	1560.03	660.96	2865.02	1560.03	2273.40

Tabla 4. Resumen de resultados compresión simple en la lidita.

Resumen					Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Promedio	
MUESTRA		M3-1	M3-2	M3-3					M3-4
Lidita	σ_{ci} (MPa)	29.57	78.33	24.66	68.62	27.13	78.33	24.66	50.30
Cuarzosa	Ei (MPa)	1796.16	3710.33	2120.13	4324.09	1222.10	4324.09	1796.16	2987.68

Tabla 5. Resumen de resultados compresión simple en la lutita.

Resumen							Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Promedio	
MUESTRA		M4-1	M4-2	M4-3	M4-4	M4-5					M4-6
Lutita	σ_{ci} (MPa)	6.18	7.2	6.57	11.68	10.43	4.65	2.70	11.68	4.65	7.79
	Ei (MPa)	325.41	231.72	541	537.55	484.61	55.08	195.14	541.00	55.08	362.56

Fuente: Resultados de laboratorio obtenidos en el Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

Los resultados presentados indican una tendencia en orden de magnitud tanto de la resistencia a la compresión simple y del módulo de elasticidad de la roca intacta. En general los materiales presentaron una resistencia a la compresión simple promedio de 37.94 MPa en la Limolita, 7.79 MPa en la Lutita y 50.30 MPa en la Lidita.

Prueba de resistencia a la compresión triaxial: Para el estudio se realizaron dos pruebas de compresión triaxial en roca, las cuales se realizaron en la limolita, lidita y lutita esto con el fin de establecer parámetros importantes de la

roca como lo son el m_i y poder aplicar el criterio generalizado de Hoek y Brown, los resultados de las pruebas se observan en las Grafica 3, Grafica 4 y Grafica 5.

Grafica 3. Círculos de resistencia de Mohr Limolita



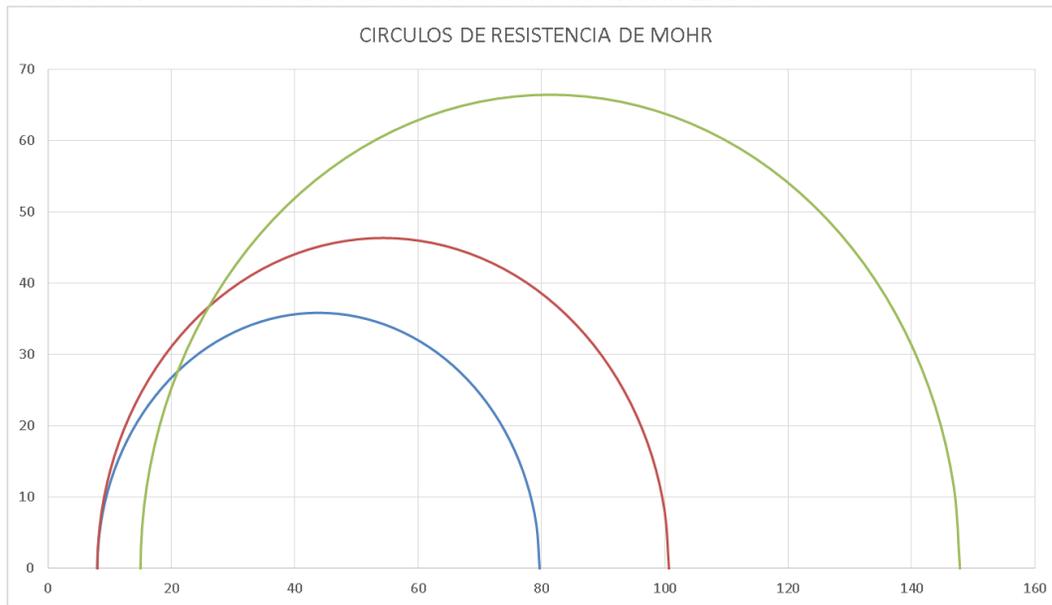
Fuente: Resultados de laboratorio obtenidos en el Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

Grafica 4. Círculos de resistencia de Mohr Lutita



Fuente: Resultados de laboratorio obtenidos en el Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

Grafica 5. Círculos de resistencia de Mohr Lidita



Fuente: Resultados de laboratorio obtenidos en el Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

4.1.2 Análisis de discontinuidades

Las superficies o planos de discontinuidad de los macizos rocosos condicionan de una forma definitiva sus propiedades y comportamiento resistente, deformacional e hidráulico. Las discontinuidades imprimen un carácter discontinuo y anisótropo a los macizos, haciéndolos más deformables y débiles, lo que supone una gran dificultad para evaluar el comportamiento mecánico de los mismos frente a las obras de ingeniería. Las discontinuidades representan planos preferentes de alteración, meteorización y fractura, que permiten el flujo de agua. Su reconocimiento, descripción y caracterización es fundamental para el estudio del comportamiento mecánico del macizo rocoso (Gonzales; Vallejo 2002).

Para determinar las familias de discontinuidades, se realizó el vaciado de polos en el software Dips y se determinaron el número de familias presentes y sus características generales. Se realiza el levantamiento en cinco estaciones de trabajo las cuales se relacionan en Tabla 6 y Figura 9.

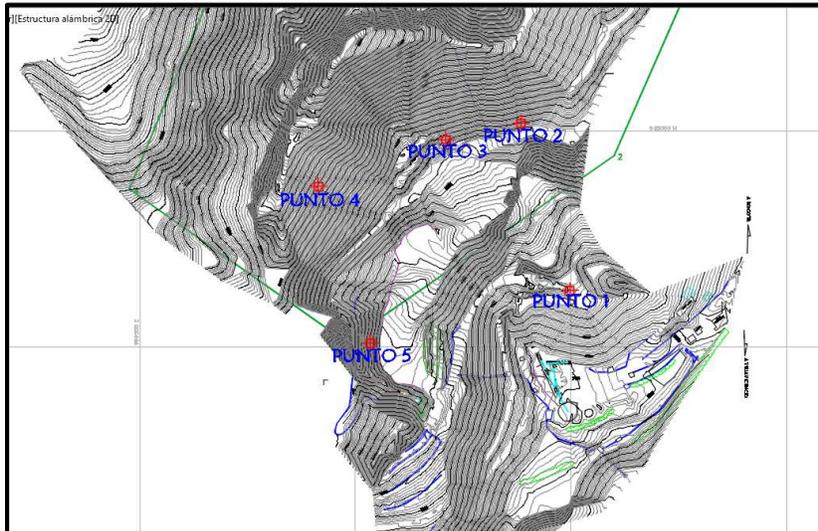
En la Figura 10 se relaciona el unificado de los puntos 1, 2 y 3 en cuanto a contornos polos y planos mayores y su resumen se menciona en la Tabla 7.

Tabla 6. Coordenadas de los puntos de levantamiento de discontinuidades

COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ		
Punto de Levantamiento	Este	Norte
1	999.999,0	984.815,0
2	999.942,0	985.009,0
3	999.855,0	984.990,0
4	999.707,0	984.936,0
5	999.767,0	984.745,0

Fuente: Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

Figura 9. Puntos de levantamiento de discontinuidades



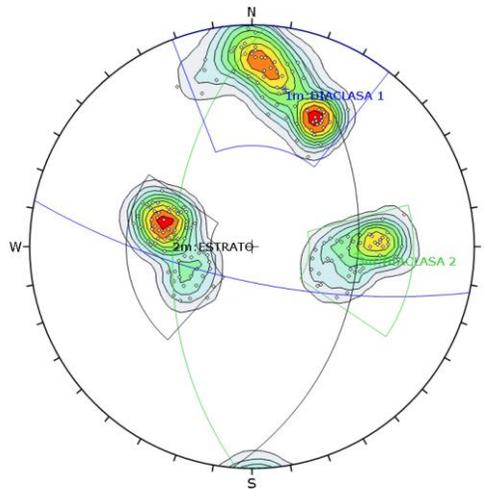
Fuente: Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

Tabla 7. Resumen de orientación de Discontinuidades unificado punto 1, 2 y 3.

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		72	192	DIACLASA 1
2m		39	95	ESTRATO
3m		51	274	DIACLASA 2

Fuente: Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

Figura 10. Vaciado de polos diagrama de contorno y planos de orientación de discontinuidades para unificado puntos 1, 2 y 3.



Fuente: Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

4.1.3 Clasificación de las rocas

Para el caso local de la cantera el pilar se tuvo en cuenta el índice de resistencia geológica “GSI”; Este fue desarrollado por Hoek (1994) para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR y evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos.

La determinación directa en terreno del índice GSI no requiere de cálculos, ya que el valor de GSI se obtiene directamente de la carta de la Figura 11, por comparación de la situación in situ con los casos que se muestran en esta carta y en casos especiales, como macizos rocosos heterogéneos, puede ser necesario desarrollar una versión especial de la tabla de calificación del índice GSI. Un ejemplo de esto se muestra en Figura 12, donde se presenta una tabla desarrollada por Marinós & Hoek (2000) para el caso de macizos heterogéneos estratificados.

El resumen de resultados se relaciona en la Tabla 5, donde se ilustra la descripción geológica dada las coordenadas planas origen Bogotá y el valor del GSI dado según la situación observada.

Figura 11. Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos fracturados

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS FRAGMENTADOS (Marinos & Hoek 2000)		CONDICION DE LAS ESTRUCTURAS				
<p>Estime el valor tipico de GSI considerando el tipo de roca, la estructura del macizo rocoso, y la condicion de las discontinuidades.</p> <p>NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que considerar $GSI = 35$. Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural. Si hay estructuras desfavorablemente orientadas, ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso.</p> <p>En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para GSI.</p> <p>La presión del agua no se considera al evaluar el rango de GSI, ya que la misma se incorpora posteriormente en los análisis geotécnicos, los que se desarrollan considerando esfuerzos efectivos.</p>		MUY BUENA Muy rugosas, cañes frescos o no interrumpidos	BUENA Rugosas, cañes ligeramente interrumpidos y algo oxidados.	REGULAR Lisas, cañes moderadamente interrumpidos y algo alterados	MALA Pálidas, cañes meteorizadas, con pátinas o con refellos y/o fragmentos angulosos	MUY MALA Pálidas, cañes muy meteorizadas, con pátinas o con refellos de arcilla blanda
ESTRUCTURA DEL MACIZO		DISMINUYE LA CALIDAD				
INTACTA o MASIVA Problemas de roca intacta. Macizos masivos o con pocas y muy espaciadas estructuras.		90			N/A	N/A
BLOCOSA Macizos con 3 sets de estructuras, que definen bloques cúbicos, bien trabados entre sí.		80			50	40
MUY BLOCOSA Macizos con 4 sets de estructuras, o más, que definen bloques angulosos y trabados, pero que están parcialmente perturbados.		70				20
BLOCOSA VETEADA Macizos pliegados y con bloques angulosos formados por la intersección de muchas estructuras. Los planos de estratificación y/o esquistosidad son persistentes.		60				10
DESINTEGRADA Macizo fuertemente fracturado, con una mezcla de bloques angulosos y redondeados, pobremente trabados.						
LAMINADA / CIZALLADA Macizo con planos débiles (cizalle y/o esquistosidad), muy poco espaciados entre sí y que no definen bloques.		N/A	N/A			
		DISMINUYE TRABAZON ENTRE BLOQUES				

Fuente: tomada de Marinos & Hoek, 2000.

Figura 12. Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos estratificados y heterogéneos.

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS ESTRATIFICADOS HETEROGENEOS (Marinos & Hoek 2000)		CONDICION DE LAS ESTRUCTURAS (PLANOS DE ESTRATIFICACION)				
<p>En base a una descripción de la litología, la estructura del macizo y la condición de las estructuras (especialmente los planos de estratificación), seleccione una zona en la tabla. Ubique en esa zona la posición correspondiente a la condición de las estructuras y estime el valor medio de GSI. NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que suponer $GSI = 35$. Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural. Si hay estructuras desfavorablemente orientadas ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso. En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para GSI para condiciones regular, mala o muy mala de las estructuras. La presión del agua no se considera al evaluar el GSI (análisis en esfuerzos efectivos).</p>		MUY BUENA Muy rugosas, superficie fresca o no meteorizadas.	BUENA Rugosas, superficies algo meteorizadas.	REGULAR Lisas, superficies moderadamente meteorizadas y laminadas.	MUY MALA Muy lisas, ocasionalmente pulidas, con pátinas compactas o refellos con fragmentos angulosos.	MUY MALA Muy lisas, con pátinas o refellos de arcilla blanda.
COMPOSICION Y ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		DISMINUYE LA CALIDAD				
A. Estratos gruesos de arenisca de mucha blocosidad. El efecto de posibles pátinas pelíticas en los planos de estratificación se ve minimizado por el confinamiento del macizo rocoso, sin embargo, en lúmenes poco prolongados y/o taludes, estos planos de estratificación pueden generar inestabilidades controladas estructuralmente.		70		A		20
B. Arenisca con lentes delgadas de limonita.	C. Arenisca y limonita, en estratos de similar potencia.	60		B, C, D, E		
D. Limonitas o esquistos limosos con estratos de arenisca.	E. Limonitas débiles o esquistos arcillosos con estratos de arenisca.	50				10
F. Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente, muy pliegados y Cizallados, con estratos de arenisca deformados y quebrados, definiendo una estructura casi caótica.		40				
G. Esquistos limosos o arcillosos no perturbados, con o sin intercalaciones de estratos delgados de arenisca.	H. Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente, con una estructura caótica y bolsones de arcilla. Estratos delgados de arenisca quebrados en pequeños bloques de roca.	N/A	N/A		G, H	
		DISMINUYE TRABAZON ENTRE BLOQUES				

Fuente: tomada de Marinos & Hoek, 2000.

Tabla 5. Resumen de valuación del GSI,

Name	Descripción	COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ COLOMBIA		G.S.I
		ESTE	NORTE	
1	Lutita	999,905.00	984,830.00	45
2	Arenisca	999,792.00	984,715.00	50
3	Arenisca	999,781.00	984,734.00	40
4	Lidita	999,783.00	984,767.00	60
5	Arenisca	999,790.00	984,804.00	65
6	Lutita	999,769.00	984,881.00	70
7	Arenisca	999,817.00	984,916.00	60
8	Arenisca	999,907.00	984,949.00	50
9	Lidita	999,794.00	984,966.00	55
10	Arenisca	1,000,020.00	985,145.00	55
11	Arenisca	999,796.00	985,090.00	45
12	Lidita	999,737.00	985,056.00	45
13	Lutita	999,741.00	985,077.00	40

Fuente: Estudio de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo para la cantera el Pilar, Mines Solutions S.A.S. 2015.

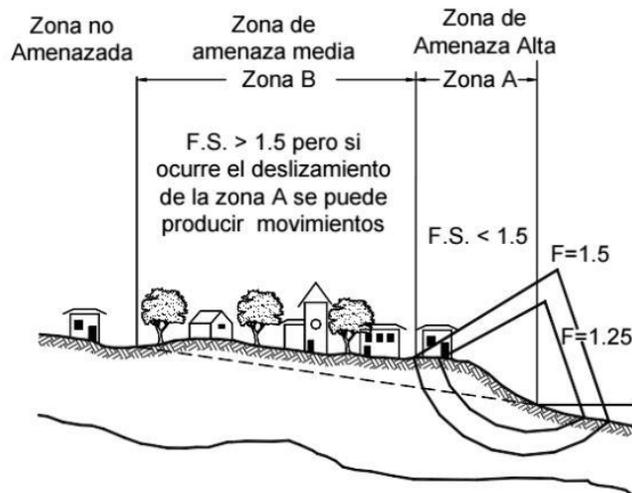
Como resultado se puede definir que la valoración del GSI varía desde unas condiciones desfavorables de 40 hasta una condición muy favorable 65 con un valor medio de 50, para el caso de la lidita un valor de mínimo de 45 y máximo de 60 con un promedio de 53 puntos de valuación y para el material menos desfavorable la lutita la variación del GSI está en el rango de 40 a 50 por lo que para este material se considerara un valor de GSI de 45.

5 AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

5.1 AMENAZA

Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo (Varnes, 1984), en la Figura 13, se observa el concepto de amenaza por deslizamiento,

Figura 13. Zonificación de la amenaza propuesta por Varnes 1984.



Fuente: Zonificación de amenaza a los deslizamientos según Varnes 1984 tomado de zonificación de susceptibilidad, amenaza y riesgo. Jaime Suarez.

5.1.1 Método determinístico de la amenaza.

En el método determinístico el grado de amenaza se expresa con el factor de seguridad de la ladera. Se elaboran los modelos de análisis de estabilidad de taludes con base en la información obtenida y se calculan los factores de seguridad para el deslizamiento. Estos modelos requieren información específica sobre la estratificación, estructura, propiedades de resistencia de los materiales y modelos de simulación de niveles freáticos, de acuerdo con los períodos de retorno.

El objetivo es crear un mapa cuantitativo de amenaza de acuerdo con los factores de seguridad. Utilizando el análisis de talud infinito, se puede analizar pixel por pixel y realizando el análisis con superficies de falla definidas. (Zonificación de susceptibilidad, amenaza y riesgo. Jaime Suarez.).

Para el desarrollo de este trabajo se decidió utilizar la evaluación de la amenaza por el método determinístico; Existe una gran bibliografía de modelos para determinar la zonificación de la amenaza, pero la mayoría de estos modelos solo se ajustan a condiciones inherentes al terreno o área de desarrollo para las cuales fueron creados e implementados. De tal forma que el método más apropiado para evaluar el comportamiento del terreno bajo factores determinantes que conducen a la obtención de un modelo preciso, dirigido a una valoración que pueda determinar los procesos idóneos a seguir en el área de estudio.

Para lo cual se hace necesario utilizar:

- 1- Análisis de equilibrio límite.
- 2- Información de las estructuras geológicas.
- 3- Modelo de estabilidad de taludes.
- 4- Técnica de análisis y mapeo.

5.1.2 Planteamiento del modelo geológico geotécnico para evaluar la amenaza

El planteamiento del modelo geológico está determinado por los parámetros geológicos, geomecánico, el comportamiento hidráulico y sísmico. Así se determinó la forma adecuada para aplicar los conceptos, los estudios y los hallazgos de la zona intervenida en aras de documentar y desarrollar la percepción idónea de dichos parámetros concluyendo en un cálculo del modelo de estabilidad del talud y su factor de seguridad exacto, lo cual permite zonificar la amenaza.

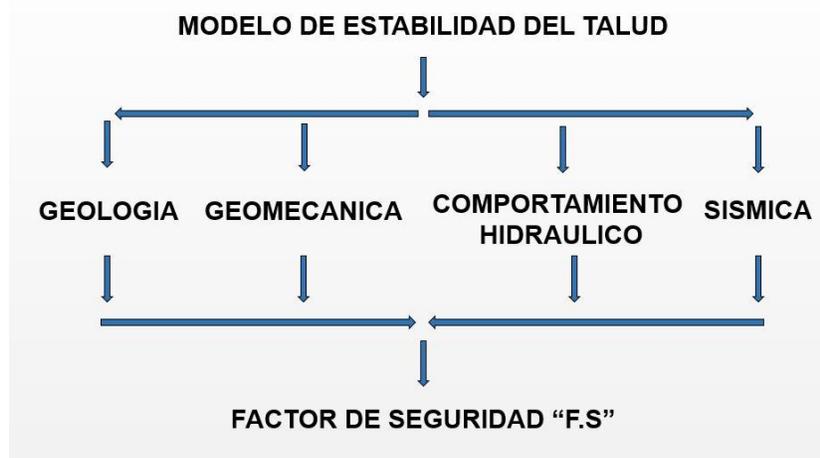
Teniendo en cuenta que en esta explotación se determinaron las posibles causas de un derrumbe y que en la planeación de la explotación se generó un modelo para evitar la caída del talud, basado en este diseño se determinó que la explotación debería desarrollarse desmontando el material de la parte superior y creando bancos para evitar la falla en la pata del talud.

También se generó un sistema de drenaje superficial con el fin dar manejo de las aguas proveniente de las lluvias que se generen durante las temporadas invernales, con una red de cunetas para evacuar la escorrentía superficial del área y el entorno y unos drenajes subsuperficiales como medida para abatir la presión de poros que puedan causar inestabilidad por filtración de aguas de manera secundaria por medio de las discontinuidades y así disminuir el empuje hidrostático en la cara de los taludes.

Basado en esta información y la situación actual de la mina el estudio de amenaza se genera a partir de un posible sismo de gran magnitud puesto que en el estudio de amenaza se debe tener en cuenta los factores más relevantes que puedan producir un siniestro o simplemente la destrucción parcial o total de la mina.

De esta forma este estudio está orientado al desarrollo de la evaluación de la amenaza bajo el factor más relevante para el caso general de la mina que son los sismos ya que en la planeación de esta se tuvo en cuenta los otros factores que son determinantes en el momento de evaluar las características presentes en la concesión minera.

Figura 14. Diagrama de flujo para determinar la amenaza.



Fuente: Resultados del Proyecto.

5.1.2.1 Geología

Por medio de la adecuada construcción y desarrollo de los perfiles geológicos se pudo incorporar la representación geológica en la herramienta de cálculo software Slide una aproximación a las condiciones geológicas que presenta la zona de influencia de este trabajo aportando una información precisa del comportamiento geológico del talud y sus posibles afectaciones al área.

5.1.2.2 Geomecánica

De acuerdo con el capítulo 4 del presente trabajo en el cual se desarrolla una evaluación cuantitativa de la calidad del macizo rocoso por medio del índice geológico de resistencia "GSI" en el que se considera la estructura de la roca y las condiciones de la superficie rocosa.

5.1.2.3 Comportamiento hidráulico

El cálculo de las presiones intersticiales en la superficie de rotura supone la determinación previa de la red de flujo en el talud, lo que no siempre es fácil; se puede obtener a partir de un nivel freático estático equivalente o introduciendo en los cálculos valores del coeficiente $ru = u/\gamma H$, adecuados, (Gonzales; Vallejo 2002).

Bajo los lineamientos del reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10). Parágrafo H.5.2 estabilidad de taludes en laderas naturales ó intervenidas.

H.5.2.4 Presiones de poros: Para el análisis y diseño de taludes, se debe evaluar el efecto del agua en la disminución del esfuerzo efectivo del suelo y la resistencia al corte, incluyendo los aspectos sísmicos de la sección H.6.2.5 para tal efecto, el ingeniero geotecnista debe aplicar una o varias de las siguientes metodologías.

c) Red de flujo: ***Ru*** cociente entre presión de poros y el esfuerzo vertical tota. Este valor puede variar para el mismo material, dependiendo de su posición relativa respecto a la superficie del terreno. Por tal motivo se recomienda calcular tantos valores como sean necesarios de acuerdo con la complejidad del problema, para el caso de estudio se definió un Ru igual a 0.15.

5.1.2.4 Sísmica

Teniendo en cuenta la normatividad exigida en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NRS-10), para la amenaza sísmica se tuvo en cuenta el literal “**H.5.2.5. EXCAVACIONES Y ESTABILIDAD DE TALUDES**”. “Para efectos de análisis y diseño de taludes, se debe emplear la aceleración máxima del terreno, obtenida bien sea de un espectro o por medio de análisis de amplificación de ondas unidimensionales o bidimensionales correspondiente a los movimientos sísmicos definidos”.

5.1.2.5 Zonificación de la amenaza

En los métodos determinísticos el grado de amenaza se expresa con el factor de seguridad de la ladera. Se elaboran los modelos de análisis de estabilidad de taludes con base en la información obtenida y se calculan los factores de seguridad para el deslizamiento.

El objetivo es crear un mapa cuantitativo de amenaza de acuerdo con los factores de seguridad. Utilizando el análisis de talud infinito, se crean isolíneas. La valoración de la amenaza se relaciona en la Tabla 8. Los perfiles geotécnicos en los que se basó para realizar la zonificación se relacionan en la Figura 15, Figura

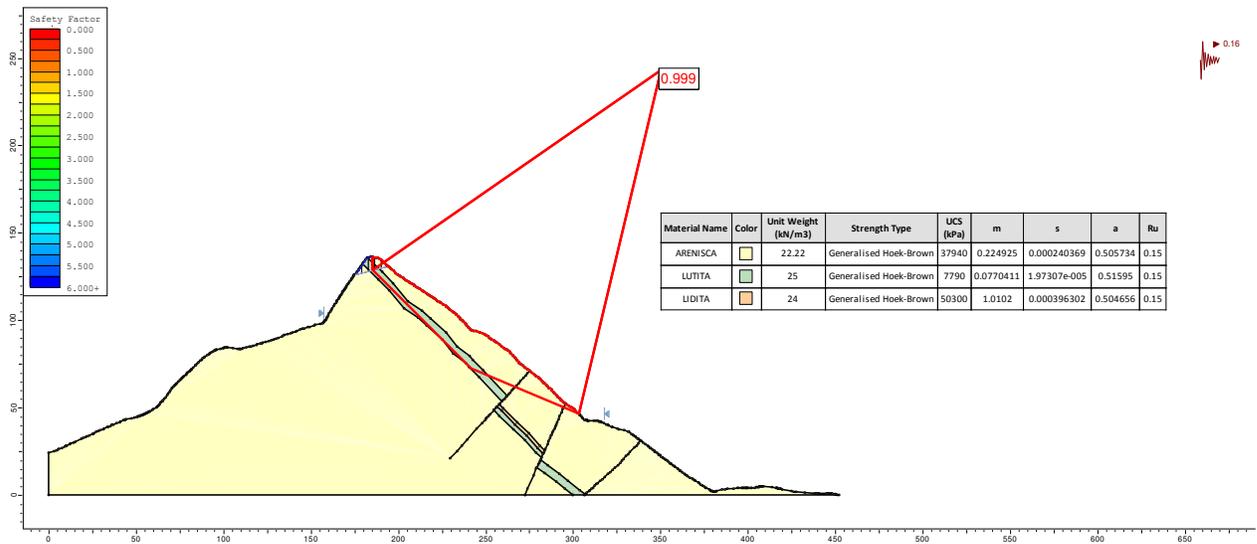
16 y Figura 17 y en la Figura 18 se relaciona el resultado de este análisis en el mapa de zonificación de la amenaza por deslizamientos.

Tabla 8. Categorización de la amenaza criterio de la resolución 227 FOPAE (Ahora IDIGER) 2006

Amenaza por Procesos de Remoción en Masa	Factor de Seguridad en Condiciones Normales	Factor de seguridad para Condicion Extrema (50 Años)
Baja	> 1,9	> 1,3
Media	1,2 - 1,9	1,0 - 1,3
Alta	< 1,2	< 1,0

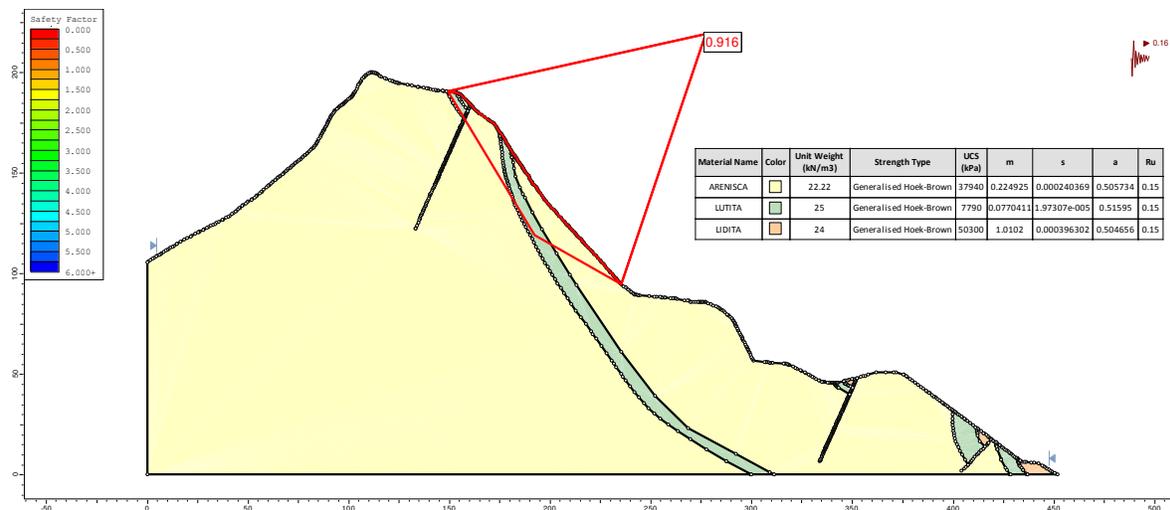
Fuente: resolución 227 FOPAE (ahora IDIGER) del 2006.

Figura 15. Perfil A-A' condición extrema Pseudo estático + Ru



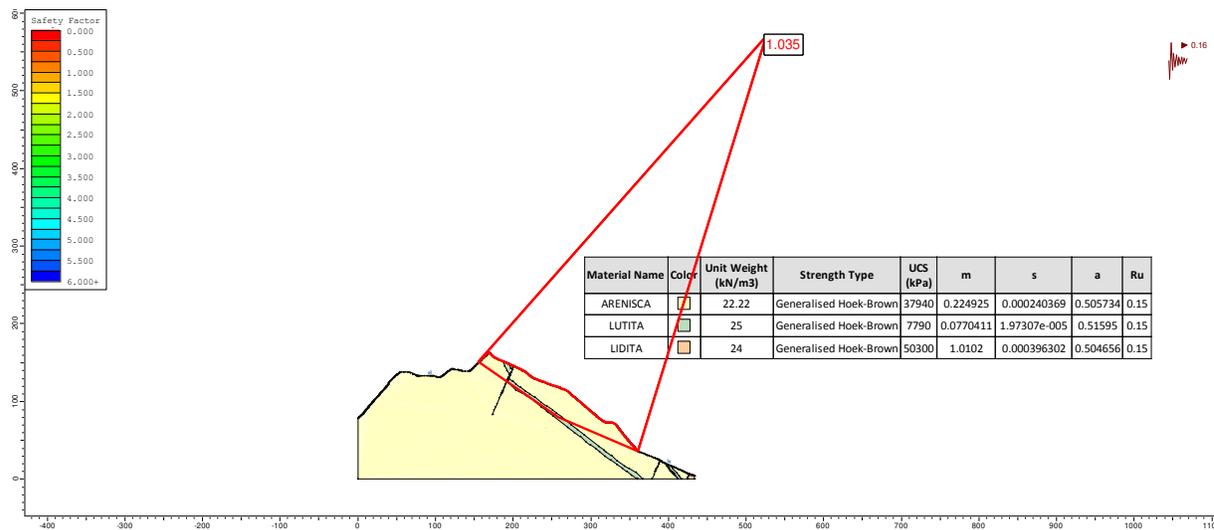
Fuente: Resultados del Proyecto.

Figura 16. Perfil B-B' condición extrema Pseudo estático + Ru



Fuente: Resultados del Proyecto.

Figura 17. Perfil C-C' condición extrema Pseudo estático + Ru



Fuente: Resultados del Proyecto.

intensidad determinada. Depende de las características del elemento considerado (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno; suele evaluarse entre 0 (sin daño) y 1 (perdida o destrucción total del elemento) o entre 0 % y 100% de daños. (Gonzales, Vallejo 2002).

Basado en el Decreto 1807 de 2014, promulgado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, las etapas generales que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad son:

- 1- Identificación y localización de los elementos expuestos.
- 2- Caracterización de los elementos expuestos: tipología, exposición y resistencia.
- 3- Tipos de daño o efectos esperados como resultado de los escenarios de vulnerabilidad.
- 4- Zonificación de la vulnerabilidad.

5.2.1 Identificación y localización de los elementos expuestos.

De acuerdo con la zonificación de la amenaza y el procedimiento expuesto en función de la determinación de la vulnerabilidad, se identificaron y localizaron las zonas y elementos vulnerables en el área de estudio bajo los parámetros a continuación explicados.

5.2.1.1 Identificación

Para poder desarrollar una identificación idónea de los elementos vulnerables adopte la valoración de la vulnerabilidad como el nivel potencial de daño o grado de pérdida de un determinado elemento. Este regido bajo la formulación y valores descritos en la guía de deslizamientos y análisis geotécnico del doctor Jaime Suarez, en la cual se determina la fórmula y los valores adecuados para la evaluación propuesta.

$$V = VS \times Vt \times Vi \text{ Ecuación (1)}$$

Donde:

V = valor de vulnerabilidad

V_s = Probabilidad del impacto espacial del deslizamiento sobre el elemento.

V_t = Probabilidad en el tiempo donde se encuentre el elemento durante el impacto.

V_i = Probabilidad de pérdida o proporción de valor del elemento.

Tabla 6. Valores de vulnerabilidad física al impacto de deslizamientos de tierra (Imiriland 2007).

Descripción de la vulnerabilidad	Rango de perdidas	Índice
Estructuras intactas.	0	0
Daños locales.	De 1 hasta 25 %	0,25
Daños serios pero posibles de reparar.	De 26 hasta 50 %	0,5
Destruído en su mayoría y difícil de reparar.	De 51 hasta 75 %	0,7
Destrucción total.	De 76 hasta 100 %	1

Tomado de (Zonificación de susceptibilidad, amenaza y riesgo. Jaime Suarez).

Tabla 7. Tabla de vulnerabilidad ambiental. (Imiriland 2007).

Descripción de vulnerabilidad	Rango de pérdida	Índice
Elementos ambientales intactos.	0	0
Pérdidas ambientales locales.	De 1 hasta 25 %	0,25
Pérdidas ambientales serias pero reparables.	De 26 hasta 50 %	0,5
Daños ambientales muy serios, difíciles de reparar.	De 51 hasta 75 %	0,7
Destrucción total del medio ambiente físico	De 76 hasta 100 %	1

Tomado de (Zonificación de susceptibilidad, amenaza y riesgo. Jaime Suarez).

Tabla 8. Valores de vulnerabilidad debida a la interrupción de una carretera por deslizamientos de tierra (Imiriland, 2007).

Descripción de vulnerabilidad	Rango de pérdida	Índice
No hay interrupciones en las actividades.	0	0
Interrupciones cortas, temporales. Desde horas hasta un día.	De 1 hasta 25 %	0,25
Interrupciones temporales de días, hasta una semana.	De 26 hasta 50 %	0,5
Interrupciones temporales largas, de semanas hasta meses.	De 51 hasta 75 %	0,7
Interrupción permanente.	De 76 hasta 100 %	1

Tomado de (Zonificación de susceptibilidad, amenaza y riesgo. Jaime Suarez).

Se logró obtener una identificación de los elementos vulnerables relacionando el mapa de amenaza generado en el presente estudio con la aplicación de las tablas de valores para la amenaza anteriormente citados, para así definir sus respectivos valores de vulnerabilidad y poder tener argumentos significativos en la ubicación de dichos elementos en el mapa de vulnerabilidad, que es, en este aparte un objetivo fundamental y conclusión de este trabajo.

Los elementos que se tuvieron en cuenta como aporte para esta evaluación ese encuentran consignados en la siguiente tabla donde se relacionan directamente con sus valores de vulnerabilidad bajo los parámetro de la *Ecuación (1)* para desarrollar la localización y generación del mapa de vulnerabilidad.

5.2.1.2 Localización

Los elementos vulnerables se ubican en el marco del diseño de la amenaza, en la cual se pondero el valor de cada uno, determinando la proximidad a la zona de mayor amenaza, con el fin de su determinación y generalización en el mapa de vulnerabilidad.

5.2.2 Caracterización de los elementos expuestos: tipología, exposición y resistencia

5.2.2.1 Tipología

Como tal la tipología de los objetos vulnerables para este caso concreto se referirá al tipo y clase de estos dependiendo de su resistencia ante un determinado colapso o deslizamiento de las estructuras geológicas determinadas como de alto riesgo en el mapa que para tal propósito fue desarrollado en el anterior literal de este capítulo.

Generalizando los potenciales objetos vulnerables estos fueron divididos teniendo en cuenta el tipo de estructura el costo y su utilidad

Tipo 1 construcciones en ladrillo con bases y estructuras fuertes, cuyo costo para el propietario de la mina es relevante, ya que en etas se ejecuta, controla, cuida y se establece la parte operativa de la mina.

Entre los objetos de tipo uno se encontraron: la administración, dos almacenes, una vivienda, el campamento y la caseta de la portería.

Tipo 2 construcciones de carácter menos rígidos estructuralmente que los del tipo uno (1) usados para la producción de la cantera y el mantenimiento de la maquinaria.

Tipo 3 vía interna de la concesión minera, para este caso se hizo necesario subdividir la vía en tramos puesto que en el área de trabajo se puede determinar solo una vía que conduce al interior de toda la explotación, pero como tal la amenaza se ubica en una sección de toda la concesión.

Para este caso la vía fue dividida de la siguiente forma. Vía 1 se ubica en la parte superior de la explotación, vía 2 la dividí en tres tramos basado en los cortes que dio la valorización de la amenaza.

Tipo 4 zonas de carácter ambiente ya sea el invernadero o la reserva forestal.

5.2.2.2 Exposición

Todos los elementos mencionados dentro del área de trabajo presentan una exposición cercana a la zona determinada como amenaza alta, por esta razón los elementos presentan un factor alto de exposición a la amenaza y su valor en la identificación será alta pensando en la categorización de la vulnerabilidad.

5.2.2.3 Resistencia

Esta resistencia se tiene registrada en la evaluación de la fórmula de vulnerabilidad, que para el caso de esta evaluación depende de la fragilidad y su apreciación se determinó mediante la definición encontrada en la guía metodológica para el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, creada por el servicio geológico colombiano con apoyo del ministerio de minas en 2015.

Fragilidad: Por fragilidad se entiende la respuesta de los elementos expuestos frente a las sollicitaciones generadas por la interacción de los movimientos en masa con dichos elementos. En bienes materiales, esta respuesta depende de las características del elemento expuesto, y en personas, de la capacidad de respuesta y la posición relativa con respecto al área afectada por el evento. (Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. 2015). (Tabla 9).

Tabla 9. Categorización de la vulnerabilidad

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE LA VULNERABILIDAD	NIVEL DE DAÑO
ALTA	De 50 hasta 100 %	DE MUY GRAVE HASTA COLAPSO TOTAL
MEDIA	De 25 hasta 50 %	GRAVE
BAJA	De 10 hasta 25 %	MODERADO
	De 0 hasta 10%	LEVE

5.2.2.4 Zonificación de la vulnerabilidad

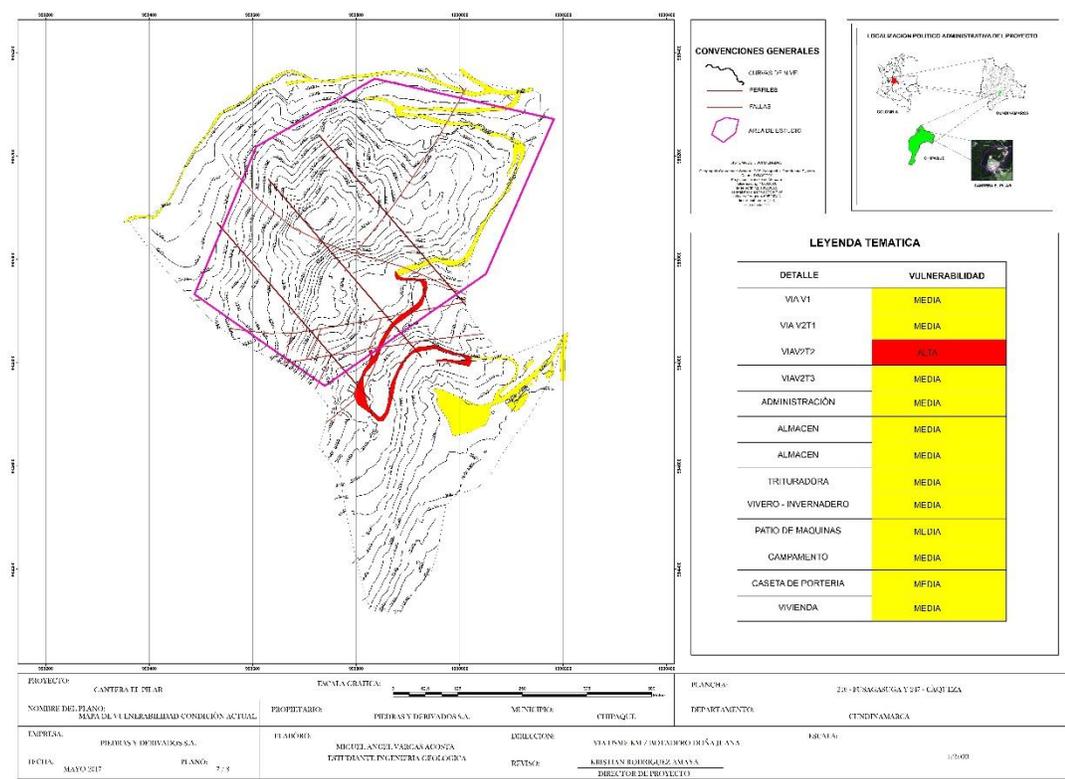
Con lo descrito en los numerales anteriores se puede evaluar la vulnerabilidad de los elementos expuestos, el resultado del cálculo se relacionan en la Tabla 10 y la representación gráfica se observa en la Figura 19.

Tabla 10. Resultados del análisis de vulnerabilidad en la cantera el Pilar.

ELEMENTO VULNERABLE	Vs	Vt	VI	V= Vs X Vt X VI
VÍA 1	0,6	1	0,7	0,42
VÍA 2 TRAMO 1	0,6	1	0,7	0,42
VIA 2 TRAMO 2	1	1	0,8	0,8
VÍA 2 TRAMO3	0,6	1	0,7	0,42
ADMINISTRACIÓN	0,6	1	0,5	0,3
ALMACÉN 1	0,6	1	0,5	0,3
ALMACÉN 2	0,6	1	0,5	0,3
CAMPAMENTO	0,6	1	0,5	0,3
VIVIENDA	0,6	1	0,5	0,3
CASETA PORTERÍA	0,6	1	0,5	0,3
PATIO MAQUINAS	0,6	1	0,5	0,3
TRITURADORA	0,6	1	0,5	0,3
VIVERO INVERNADERO	0,5	1	0,5	0,25
RESERVA FORESTAL Z1	0,6	1	0,5	0,3
RESERVA FORESTAL Z2	0,1	1	0,2	0,02
RESERVA FORESTAL Z3	0,1	1	0,2	0,02

Fuente: Resultados del Proyecto.

Figura 19. Plano de vulnerabilidad actual cantera el Pilar.



Fuente: Resultados del Proyecto.

Fotografía 9. Vista panorámica de la mina “el pilar”.



Fuente: Resultados del proyecto

5.3 RIESGO

Medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, salud, propiedad o el ambiente. Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a eventos físicos peligrosos de origen natural, socio natural, o antrópico no intencional, en un periodo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad. Según la manera como se defina el elemento en riesgo, el riesgo puede medirse según la pérdida económica esperada, según el número de vidas perdidas o según la extensión del daño físico a la propiedad. (Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. 2015).

Riesgo es el número esperado de vidas humanas perdidas, personas heridas, daño a la propiedad y pérdidas económicas y ambientales, relacionadas con la ocurrencia de un determinado fenómeno (Varnes 1984). En la práctica, el riesgo está definido por la magnitud de las consecuencias de la amenaza.¹

Para el desarrollo de este numeral se hizo necesario incorporar la metodología de la guía metodológica para el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, creada por el servicio geológico colombiano con apoyo del ministerio de minas en 2015.

¹ Deslizamientos. (Zonificación de susceptibilidad, amenaza y riesgo. Jaime Suarez)

En esta se establece que se debe determinar dos procesos para la óptima interpretación del riesgo así:

- 1 - Calculo del riesgo
- 2 - Evaluación del riesgo

5.3.1 Calculo del riesgo

Las pérdidas económicas directas e indirectas asociadas al impacto de los movimientos en masa, son aquellas que se pueden estimar en términos económicos o monetarios, debido a que es posible establecer un valor comercial de los elementos. La estimación de pérdidas económicas se dirigió únicamente a pérdidas en bienes físicos.

Los criterios que se evaluaron para tener un cálculo adecuado frente al riesgo se determinaron teniendo en cuenta los impactos directos e indirectos.

5.3.1.1 Impactos directos.

Se refiere a los daños causados por movimientos en masa sobre los bienes físicos tales como. Construcciones, infraestructura, instalaciones, equipos. Cuyos valores son calculables fácilmente y generalmente reemplazables en periodos cortos de tiempo.

5.3.1.2 Impactos indirectos

Se refiere a los daños causados por movimientos en masa sobre los bienes que afecten directamente las operaciones y servicios, que generen efectos adversos relevantes en la producción, daños irreversibles en el ecosistema de las áreas cercanas a la explotación y algún tipo de contaminación. Estos se denominan impactos indirectos o de largo plazo, los valores de perdida de estos son generalmente difíciles de calcular por sus elevados costos y no se puede recuperar o habilitar en rápidamente.

5.3.2 Evaluación del riesgo

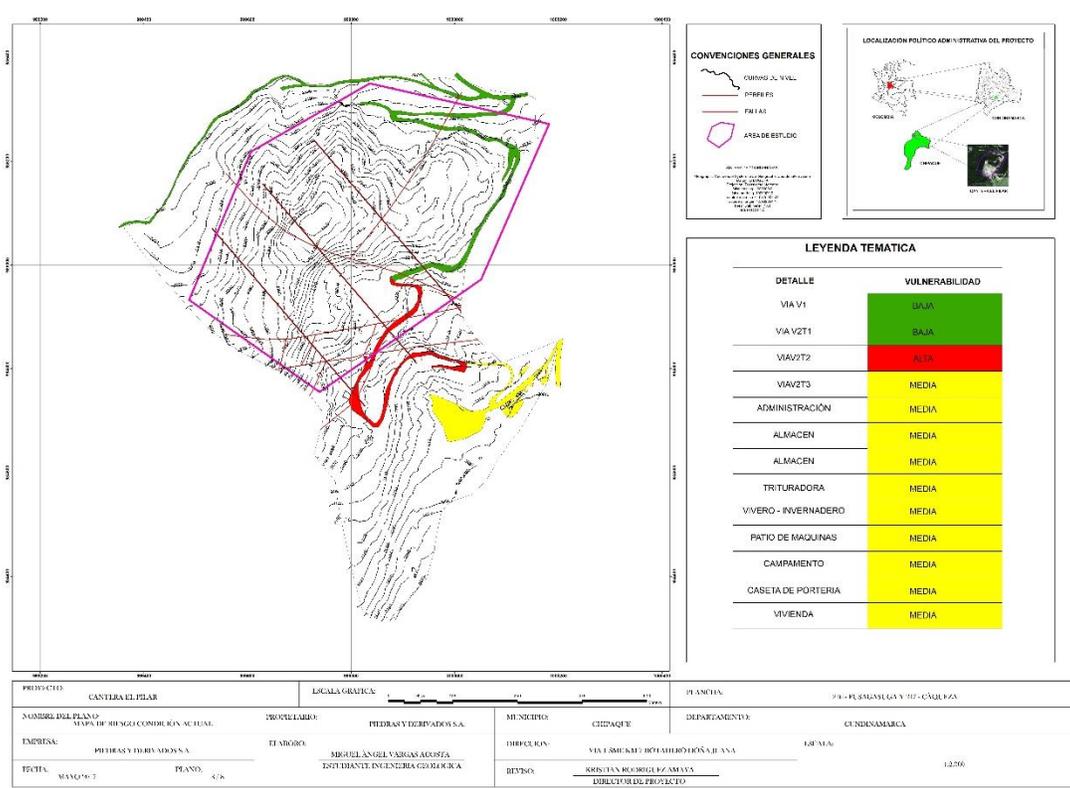
Se definió la existencia de situaciones de riesgo localizado o generalizado. En este caso el riesgo fue localizado, se identificaron los puntos y las áreas de riesgo dentro de la zona de estudio del proyecto. Todos los elementos en riesgo se han inventariado teniendo en cuenta la amenaza y su respectivo grado de vulnerabilidad, para este caso en particular el riesgo se representara en la siguiente tabla, esta relaciona directamente el valor de la amenaza para cada elemento con respecto al valor de vulnerabilidad desarrollado y estas valoraciones se representaron en el mapa de riesgo.

Tabla 11. Determinación del riesgo a partir de la amenaza y la vulnerabilidad

DETALLE	AMENAZA	VULNERABILIDAD	RIESGO $R=A \times V$
VIA V1	0,3	0,42	0,126
VIA 2 TRAMO 1	0,3	0,42	0,126
VIA 2 TRAMO 2	0,8	0,8	0,64
VIA 2 TRAMO 3	0,35	0,42	0,147
ADMINISTRACION	0,45	0,3	0,135
ALMACEN 1ALMACEN 2	0,45	0,3	0,135
CAMPAMENTO	0,45	0,3	0,135
VIVIENDA CASETA PORTERIA	0,45	0,3	0,135
PATIO DE MAQUINAS	0,4	0,3	0,12
TRITURADORA	0,4	0,3	0,12
INVERNADERO FORESTAL	0,3	0,25	0,075
RESERVA FORESTAL	0,3	0,3	0,09

Fuente: Resultados del Proyecto.

Figura 20. Plano del Riesgo actual



Fuente: Resultados del Proyecto.

6 CONCLUSIONES

Con base en la recopilación bibliográfica y los aportes proporcionados por la empresa, se identificaron las partes más relevantes de la geología para así poder presentar un modelo característico del área y reconocer la zona a escala 1:10000 que para este trabajo fue determinada con un carácter regional.

La geología estructural, la geomorfología regional y el análisis de pendientes hacen parte del desarrollo inicial en la fase del reconocimiento de la geología, con dicha información se genera una identificación apropiada que conduce al desarrollo del estudio más objetivo denominado de carácter local.

Con el fin de generar los modelos que sirvan de guía para obtener el objetivo general de este trabajo, se desarrolló el modelo geológico a escala local (1:2000). Estos modelos fueron la base inicial del reconocimiento de la amenaza en la zona de estudio, pues basados en esta se empieza a dar forma desarrollo de este trabajo.

El modelo geomecánico le porta a este trabajo el carácter técnico más relevante, basado en este se determinaron claramente las características de resistencia del macizo rocoso que por medio del desarrollo de este proyecto se pueden cuantificar.

Por medio del programa Slide se evaluó la amenaza respecto a un posible sismo de magnitud 0.16g y se generó el modelo que hace parte del primer gran objetivo para determinar el riesgo.

Se logró identificar los elementos vulnerables relacionando el mapa de amenaza generado en el presente estudio con la aplicación de las tablas de valores para la amenaza anteriormente citados, para así definir sus respectivos valores de vulnerabilidad y poder tener argumentos significativos en la ubicación de dichos elementos en el mapa de vulnerabilidad, que es, en este aparte un objetivo fundamental y conclusión de este trabajo.

De acuerdo a los análisis realizados se tiene que actualmente el macizo rocoso está expuesto a fallas de tipo planar especialmente generadas por la dinámica de explotación de mineral en la cantera. La falla se produce en el contacto de las estructuras geológicas al retirar el soporte en la base de éstas.

Se pudo determinar luego del estudio y zonificación de la amenaza que la vía 2 en el tramo 2 es el elemento más vulnerable, con un índice de 0.8 y efectivamente es el elemento que presenta mayor nivel de riesgo, por lo cual es necesario adoptar las recomendaciones que se consignan en este proyecto.

7 RECOMENDACIONES

Se recomienda verificar el comportamiento de los anclajes y los drenes horizontales a través de una inspección visual de los mismos y en la corona del talud identificar si se han generado grietas en el terreno para tomar las medidas pertinentes y evitar colapsos.

Teniendo en cuenta el resultado final que es la evaluación del riesgo y a sabiendas que el elemento con mayor índice de este. Es la vía 2 en el tramo, 2 se recomienda que el tránsito de las volquetas por dicho tramo sea más fluido evitando estacionar en esta área y por ningún motivo se debe permitir construcciones eventuales.

Ya que es claro que el riesgo es latente en la vía 2 y aún más en el tramo 2, se debe prohibir el tránsito de personas y se recomienda hacer una señalización pertinente con el fin de alertar y así evitar posibles sucesos o accidentes en la vida de las personas que por alguna razón se encuentren en la zona afectada.

8 BIBLIOGRAFÍA

GONZALES DE VALLEJO, Luis. Ingeniería geológica. Pearson educación. Madrid. 2002. 774. ISBN: 84-205-3104-9.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Guía metodológica para el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Imprenta nacional de Colombia. Bogotá. 2015. ISBN: 978-958-99528-5-6

SUAREZ, Jaime. Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Ingeniería de suelos Ltda. Bucaramanga. 1998.

REYES, Italo. Estratimetría aplicada. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. 1998. ISSN 958-660-033-5.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC. Página oficial en la web. www.igac.gov.co. Dirección Oficina Sede Central Bogotá - Carrera 30 N° 48-51.

COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NRS-10. Bogotá, 1997.

JULIVERT, M. (1963): Los rasgos tectónicos de la Sabana de Bogotá y los mecanismos de formación de las estructuras: Boletín Geológico Universidad Industrial de Santander, v. 13-14. 5-102 p.

HUBACH, E., 1931. Geología petrolífera del departamento de Norte de Santander. Ingeominas. CECO, 12:1-337. Bogotá.

PÉREZ, G. & SALAZAR A. 1978. Estratigrafía y facies del Grupo Guadalupe. U. Nal. Geol. Col., 10:7-113. Bogotá.

HOORN, C., KAANDORP, M. & ROELE, J. (1987): Tertiary sediments of the Usme Valley, Colombia: A palynological and stratigraphical approach. University of Amsterdam. 1-15 p.

HETTNER, A. (1982): Die Kordillere von Bogotá> Peterm. Mitt. Erg.- Bd 22, Heft 104, 131 pp., 9 Fig., 2 tablas. Trad. Esp., Ed. Banco de la Republica, 351 pp., 9 Fig., 2 tablas, Bogotá.

VARNES, D.J. (1984). Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. Commission on landslides of the IAEG, UNESCO. Natural Hazards No. 3, 61 pp.