CLASIFICADO



CONSORCIO HIMEC – CONSULCONS 2019

Carrera 26 No 37-36 Bogotá D.C.

ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE EMERGENCIA EN SITIOS DE INTERVENCIÓN PRIORITARIA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. ESTUDIO DELICIAS DEL CARMEN

CONTRATO DE CONSULTORIA No. 180 de 2019

Vol. 01 INFORME GEOTECNICO

ORIGINAL

OCTUBRE DE 2019

CLASIFICADO

Elaboración de estudios y diseños de obras de emergencia en sitios de intervención prioritaria en la ciudad de Bogotá D.C.
Estudio Delicias del Carmen

Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático
Dg. 47 #77a9, Bogotá D.C
Tel: 4292800
E mail: idiger@idiger.gov.co

Director: Ing. Richard Alberto Vargas Hernández
Subdirector área (Análisis de Riesgos y Efectos de Cambio Climático): Ing. Diana Patricia Arévalo Sánchez
Líder y/o Supervisor : Ing. Diana Carolina Moreno Moreno

CONSORCIO HIMEC – CONSULCONS 2019

CONTRATO DE CONSULTORIA No. 180 de 2019

Vol. 01 INFORME GEOTECNICO

ORIGINAL

OCTUBRE DE 2019

RESUMEN

Se genera un proceso de inestabilidad el día 02 de junio en el sector conocido como Delicias Del Carmen, el cual está asociado a desprendimientos de bloque de rocas ocurrido como consecuencia de la temporada invernal. El IDIGER asigna el estudio a esta consultoría como parte del contrato mencionado en la referencia. Procediendo con urgencia de atención al sitio, la consultoría realiza la visita al sitio el día 04 de junio del presente año.

Se definieron los componentes que harán parte de este estudio limitando a realizar únicamente los componentes técnicos necesarios para atender la emergencia del sitio. Así las cosas, el alcance de este concepto es atípico a los estudios objeto de este contrato de consultoría No. 180, debido a que se trata de un concepto técnico para la atención de la emergencia por inestabilidad del terreno en el barrio Las Delicias de la Localidad de Usaquén.

Para la elaboración del componente geológico a nivel regional, se consultó la información disponible en el servicio geológico colombiano –SGC, correspondiente a la plancha 228 Santa Fe de Bogotá

De acuerdo con la plancha 228 del Servicio geológico colombiano y con el mapa geológico Localidad de Usaquén resultante del estudio Zonificación de Riesgo por Inestabilidad del Terreno Para Diferentes Localidades de Santa Fe de Bogotá, la geología de la zona está conformada por unidades sedimentarias, de origen continental, cuya edad varía desde el Cretácico Superior hasta el Cuaternario.

Localmente, la zona de estudio yace, predominantemente sobre rocas de la Formación Arenisca de Labor (K2l), que forma parte del Grupo Guadalupe; así mismo se identificó un Saprolito (Qs), en la pata de los taludes rocosos se reconoce un Depósito de Bloques (Qdp), finalmente a los costados norte y centro oriental del área en estudio, se presenta, un relleno poco consolidado (Qra) producto de la actividad antrópica del sector.

De acuerdo con el Mapa Geomorfológico de la Localidad de Usaquén (zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá, INGEOCIM LTDA), en el barrio Delicias del Carmen, a nivel regional, se evidencia un tipo de rasgo genético del relieve correspondiente con relieve

Montañoso de Control Estructural.

Predominan las areniscas de grano grueso que forman bancos de mayor espesor y donde es notoria la estratificación cruzada. Las areniscas son ortocuarcitas con matriz caolinítica que hace de ellas areniscas friables, por lo cual, las areniscas de esta unidad se clasifican como rocas con flujo esencialmente intergranular, sistemas acuíferos de discontinuos de extensión regional, de productividad moderada a baja

Para el análisis preliminar de estabilidad se tuvo en cuenta el levantamiento de las discontinuidades sobre la cara de los taludes localizados a lo largo de la zona de interés en el barrio Delicias del Carmen, estadísticamente se obtuvieron los planos principales de las familias predominantes, que posteriormente son graficadas haciendo uso del estereograma propuesto por Hook & Brown. Se muestra la dirección de taludes tenidos en cuenta para el análisis de discontinuidades. De acuerdo con el levantamiento topográfico, se definieron 4 direcciones preferenciales de los taludes actuales, presentes en el área de estudio.

Se presentan los analisis y proyeccicon de las obras de emergencia, las cuales serán las mismas que se incluyen el presupuesto. Adicionalmente se presentan algunas recomedaciones de obras a mediano y largo plazo que no quedaran incluidas en el resupuesto de obra.

TABLA DE CONTENIDO.

1 GENERALIDADES 11
1.1 Introducción 11
1.2 Localizacion 15
2 TOPOGRAFÍA 16
2.1 Resultados 16
2.2 Levantamientos topográficos para diseño de obras de estabilización 16
2.2.1 Descripción de los trabajos 17
3 GEOLOGÍA 23
3.1 Consulta y Análisis de Información Secundaria 23
3.2 Geología Regional 23
3.2.1 Cretácico superior 24
3.2.2 Cuaternario 25
3.3 Geología Estructural 26
3.3.1 Anticlinal de Bogotá 27
3.3.2 Falla de Usaquén 27
3.4 Geología Local 27
3.4.1 Formación Arenisca de Labor (K2l) 28
3.4.2 Saprolito (Qs) 32
3.4.3 Depósito de Bloques (Qdp) 33
3.4.4 Relleno Antrópico (Qra) 34
4 GEOMORFOLGIA 36
4.1 Geomorfología Regional 36
4.2 Geomorfología Local 36
4.2.1 Ambiente Estructural 40
4.2.2 Ambiente Antropogénico 42
4.3 Procesos Morfodinámicos 45
4.3.1 Procesos erosivos 46
4.3.2 Procesos de remoción en masa 47
5 HIDROGEOLOGÍA 51
6 LEVANTAMIENTO DE DISCONTINUIDADES 55
6.1 Análisis preliminar de estabilidad por discontinuidades 56
7 GEOTECNIA 67
7.1 Análisis de afectación de construcciones por caída de bloques y medidas de remediación 67

7.1.1 Sección 1 – 1’....69
7.1.2 Sección 2 – 2’....70
7.1.3 Sección 3 – 3’....71
7.1.4 Sección 4 – 4’....72
7.2 Medidas a implementar para reducir el riesgo por la caída de bloques....73
7.2.1 Obras de emergencia (corto plazo)....74
Altura y conformación del Terraplén....74
Retiro de bloques con potencial de inestabilidad....75
7.2.2 Recomendaciones (mediano y largo plazo)....77
Retiro de bloques con potencial de inestabilidad....77
7.2.3 Conclusiones acerca de posibles caídas de bloques....79
7.3 Evaluación de estabilidad geotécnica y recomendaciones....81
7.3.1 Condiciones sísmicas....81
7.3.2 Evaluación de estabilidad geotécnica....82
7.3.3 Conclusiones acerca de evaluación de estabilidad geotécnica....86
7.3.4 Medidas a implementar de carácter de emergencia....87
7.3.5 Recomendaciones a mediano y largo plazo....88
8 PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN....89
9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....90
9.1 Geología....90
9.2 Geotecnia....90

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Comisión de topografía....17
Tabla 2 Coordenadas y cota punto de amarre....18
Tabla 3 Equipos de topografía....18
Tabla 4 Planos topográficos....21
Tabla 5 Cuadro de coordenadas planas gauss origen central época 1995.4 .21
Tabla 6 Relación de afloramientos rocosos donde se llevó a cabo el levantamiento de discontinuidades....56
Tabla 7 Relación de planos principales de familias resultantes para el talud 1. 57
Tabla 8 Relación de planos principales de familias resultantes para el talud 2. 58

Tabla 9 Relación de planos principales de familias resultantes para el talud 3. 58
Tabla 10 Relación de planos principales de familias resultantes para el talud 5. 58
Tabla 11 Definición de peso de bloques para análisis.....68

LISTADO DE FIGURAS.

Figura 1 Localización sitio de estudio. 15
Figura 2 Localización punto IGAC. 19
Figura 3 Posicionamiento NP 47-BGT IGAC. 20
Figura 4 Localización vértices GPS 1 Y2.....20
Figura 5 Entorno geológico regional del área de estudio en el barrio Delicias del Carmen. Adaptado del Mapa Geológico Localidad de Usaquén de INGEOCIM, 1998. 24
Figura 6 Columna litoestratigráfica de la Formación Arenisca de Labor, levantada en el Talud 1 localizado en el costado noreste del área de interés, en el barrio Delicias del Carmen.....29
Figura 7 Columna litoestratigráfica de la Formación Arenisca de Labor, levantada en el Talud 2 localizado en la parte central del área de interés, en el barrio Delicias del Carmen.....30
Figura 8 Columna litoestratigráfica de la Formación Arenisca de Labor, levantada en el Talud 3 localizado en el costado noroeste del área de interés, en el barrio Delicias del Carmen.....31
Figura 9 Columna litoestratigráfica de la Formación Arenisca de Labor, levantada en el Talud 5 localizado en el costado sur del área de interés, en el barrio Delicias del Carmen.....32
Figura 10 Esquema de Jerarquización Geomorfológica propuesto por el Servicio Geológico Colombiano. Fuente: Tomado y modificado de Velásquez (1999) e INGEOMINAS (1999), Carvajal (2002 – 2008).....37
Figura 11 Esquema de Jerarquización Geomorfológica propuesto por el Servicio Geológico Colombiano. Fuente: Tomado y modificado de Velásquez (1999) e INGEOMINAS (1999), Carvajal (2002 – 2008).....39
Figura 12 Mapa Hidrogeológico de la Sabana de Bogotá.....52
Figura 13 Isoyetas de precipitación total anual.....53
Figura 14 Recarga Potencial en la zona de estudio. 53
Figura 15 Izquierda: Isopiezas temporada de precipitación alta (1999 - 2010), Derecha: Isopiezas temporada de precipitación baja (1999 - 2010). Fuente: Sistema De Modelamiento Hidrogeológico Distrito Capital, Secretaría Distrital de Ambiente - Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo, Jairo Alfredo Veloza Franco 2013.

Figura 16 Localización de los taludes tenidos en cuenta para el análisis de estabilidad en el barrio Delicias del Carmen. 57
Figura 17 Representación estereográfica de las familias de discontinuidades resultante para el talud 1. 59
Figura 18 Representación estereográfica de las familias de discontinuidades resultante para el talud 2. 59
Figura 19 Representación estereográfica de las familias de discontinuidades resultante para el talud 3. 60
Figura 20 Representación estereográfica de las familias de discontinuidades resultante para el talud 5. 60
Figura 21 Representación estereográfica delos planos de intersección de las discontinuidades con probabilidad de falla para el talud 2. 61
Figura 22 Representación estereográfica delos planos de intersección de las discontinuidades con probabilidad de falla para el talud 3. 62
Figura 23 Representación estereográfica delos planos de intersección de las discontinuidades con probabilidad de falla para el talud 5. 62
Figura 24 Vista del talud No.1 63
Figura 25 Talud No.2 vista frontal 64
Figura 26. Vista talud No. 3 65
Figura 27. Vista de los taludes 4 y 5 66
Figura 28 Secciones de análisis para evaluar efecto de caídas de bloques y posible afectación sobre viviendas 67
Figura 29 Dimensión de los bloques tomada en campo 68
Figura 30 Sección 1-1'. Análisis de caída de bloques para la construcción 1. 69
Figura 31 Sección 1-1'. Histograma de posible ubicación de bloques al caer desde la parte alta de la ladera para la casa 1. 70
Figura 32 Sección 2-2'. Análisis de caída de bloques para las casas 2 y 3. 70
Figura 33 Sección 2-2'. Histograma de posible ubicación de bloques al caer desde la parte alta de la ladera para las casas 2 y 3. 71
Figura 34 Sección 3-3'. Análisis de caída de bloques para las casas 3 y 4. 71
Figura 35 Sección 3-3'. Histograma de posible ubicación de bloques al caer desde la parte alta de la ladera para las casas 3 y 4. 72
Figura 36 Sección 4-4'. Análisis de caída de bloques para las casas 2 y 3. 72
Figura 37 Sección 4-4'. Histograma de posible ubicación de bloques al caer desde la parte alta de la ladera para las casas 2 y 3. 73
Figura 38 Sector verde donde es posible la caída de bloques controladamente por la existencia del terraplén y en azul el sector donde no existe estructuras que amortigüen la caída de bloques. 74
Figura 39 Distribución de los dos terraplenes construidos como estructura para prevenir la caída de bloques 75
Figura 40 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. Sección 3 - 3. 76

Figura 41 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. Sección 3 - 3. Inclusión de arenas y gravas sueltas en la parte trasera del dique. 76
Figura 42 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. Sección 1 -1. 77
Figura 43 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. incluida una barrera de 1.5 m de altura. 78
Figura 44 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. Energía a resistir por parte de la barrera. 78
Figura 45 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. Sección 2 - 2. 79
Figura 46 Sectorización de limites hasta donde pueden llegar los bloques sin obras (color rojo) y con las intervenciones recomendadas (color azul). 80
Figura 47 Localización del área de estudio en el mapa de microzonificación sísmica de Bogotá D.C. 82
Figura 48 Talud 2. Análisis de falla planar. Condición actual 83
Figura 49 Talud 2. Análisis de falla planar. Condición con obras. Pernos 84
Figura 50 Talud 2. Análisis de falla en cuña 84
Figura 51 Talud 2. Análisis de falla en cuña. Condición estática. FS=1.11. 85
Figura 52 Talud 2. Análisis de falla en cuña. Condición pseudoestática. FS=0.96. 85
Figura 53 Talud 2. Análisis de falla en cuña. Se incluyen pernos. Condición pseudoestática. FS=1.28. 86

LISTADO DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1 Intercalaciones areniscas y niveles de lodolitas y arcillolitas de la Formación Areniscas de Labor, aflorante en el costado noroeste del área de estudio. 29
Fotografía 2 Roca intensamente meteorizada y fracturada correspondiente al saprolito generado a partir de las rocas de la Fonación Arenisca de Labor. 33
Fotografía 3 Depósito de bloques hasta de 3.5 m de diámetro, con ausencia de matriz, ubicado en la base del talud del frente inferior de la antigua explotación minera. 34
Fotografía 4 Relleno heterogéneo conformado como patio para labores mineras de la antigua cantera existente en el sector de las Delicias de Carmen. 35
Fotografía 5 Panorámica hacia un talud en roca de morfología escarpada en contraste con la topografía plana de la terraza antrópico ubicado al noroeste del área de estudio en el Barrio Delicias del Carmen. 41
Fotografía 6 Geoforma de morfología abrupta conformando una ladera constituida por materiales rocosos en contacto con un talud rocoso escarpado, localizada al costado sur del área de estudio. 42
Fotografía 7 Ladera modificada para la construcción de parte de las viviendas

que conforman el barrio Delicias del Carmen, ubicada al oriente del área de estudio. 43

Fotografía 8 Terraza antrópica localizada en la base del talud inestable, sobre la que se depositaron los bloques desprendidos durante el evento ocurrido recientemente en el área de estudio. 44

Fotografía 9 Diques perimetrales a la zona inestable, construidos para la protección de las viviendas del sector Delicias del Carmen. 45

Fotografía 10 Erosión diferencial, en estado avanzado, repetitiva a lo largo de la zona de interés. El proceso que se observa se presenta en el costado noroeste del área de estudio sobre un estrato blando que infrayace el nivel de areniscas coprolíticas. 47

Fotografía 11 Caída de bloques de roca arenisca de la Formación Arenisca de Labor localizada en la parte central del área de estudio en el barrio Delicias del Carmen. 48

Fotografía 12 Panorámica hacia las raíces de árboles del sector que contribuyeron con la generación del proceso de remoción en masa. 49

Fotografía 13 Caída de Bloques angulares de roca arenisca depositados en la terraza intermedia, desprendidos del talud superior al sur del área de estudio, la vegetación que cubre la zona evidencia la antigüedad del proceso. 49

Fotografía 14 Proceso de remoción en masa menor, relacionada con caída de detritos, ubicado en la parte posterior de una de las viviendas del barrio Delicias del Carmen al noreste del área de estudio. 50

Fotografía 15 Levantamiento de discontinuidades sobre la cara del talud 2 (izquierda) y sobre la cara del talud 5 (derecha). 55

1 GENERALIDADES

1.1 Introducción

El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) contrato al Consorcio Himec – Consulcons 2019 la ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE EMERGENCIA EN SITIOS DE INTERVENCIÓN PRIORITARIA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C., para el sitio identificado como DELICIAS DEL CARMEN, localizado en la Localidad de Usaquén en la ciudad de Bogotá.

Se genera un proceso de inestabilidad el día 02 de junio en el sector conocido como Delicias Del Carmen, el cual está asociado a desprendimientos de bloque de rocas ocurrido como consecuencia de la temporada invernal. El IDIGER asigna el estudio a esta consultoría como parte del contrato mencionado en la referencia. Procediendo con urgencia de atención al sitio, la consultoría realiza la visita al sitio el día 04 de junio del presente año.

El alcance de este concepto es atípico a los estudios objeto de este contrato de consultoría No. 180, debido a que se trata de un concepto técnico para la atención de la emergencia por inestabilidad del terreno en el barrio Las Delicias de la Localidad de Usaquén.

El desabombe del talud, retirando los bloques de roca con alto potencial de inestabilidad, constituye una medida complementaria a las medidas acertadas de parte del IDIGER en cuanto a la orden de evacuación de viviendas y conformación de un dique o Jarillón de amortiguamiento de los bloques de roca que puedan caer.

El presente informe contiene en el primer capítulo los aspectos generales tales como introducción, localización del área de análisis. El segundo capítulo presenta el levantamiento topográfico del área de estudio, el tercer y cuarto capítulo presenta los aspectos geológico y geomorfológico a nivel regional y local respectivamente mientras que el capítulo cinco se incluye el análisis geotécnico del sitio, que se desarrolla a partir de los trabajos de campo; análisis que contempla escenarios actuales y escenario con obras de mitigación de los procesos de inestabilidad.

Se incluye en el capítulo ocho, los comentarios respectivos de programación, presupuesto y especificaciones, producto de las obras o medidas a implementar.

Debido a la connotación de emergencia de este sitio, las obras proyectadas se definieron con el objetivo de la proteger la integridad de los habitantes de las viviendas ubicadas en la parte contigua a la ladera, así las cosas, se ejecutaron únicamente los volúmenes básicos necesarios para poder proyectar las obras, como son el estudio de Topografía, Geología, Geomorfología, Hidrogeología, Geotecnia, Presupuesto y programación.

A continuación, se mencionan las actividades y comentarios respectivos de cada área:

Topografía

Se tomaron tres perfiles topográficos con probables recorridos de los bloques de roca que puedan fallar. También se realizó la medición de 7 bloques de roca que representan alto potencial de inestabilidad con la ayuda de personal certificado en trabajo de alturas y experto en el uso de equipo de alturas; los resultados de la topografía de presentan como **Anexo 1**. Actualmente, se realiza el levantamiento topográfico de los taludes correspondientes a los dos antiguos frentes de explotación de agregados.

Geología

Se realizó visita técnica por parte del geólogo Eldibrando Patiño y se midieron las diaclasas maestras, así como la estratificación de las rocas y la dirección del talud de areniscas de la formación Labor y Tierna del Grupo Guadalupe. Estas actividades se realizaron durante los días 13 y 14 de junio de los corrientes.

En el capítulo tres se desarrolla el informe geológico del sitio.

Hidrología e Hidráulica

Teniendo en cuenta que las obras propuestas se proyectan para un periodo a corto plazo y por lo que se considera obra de emergencia, no se realiza estudio Hidrológico para un periodo de 50 años, se aclara que se tienen en cuenta las

condiciones desfavorables del agua en el sitio en estudio.

Informe Predial

No se incluyó este volumen, debido a que las medidas propuestas no se están proyectando sobre predios del área total levantada, es decir que no se requiere adquisición de predios para la implementación de las medidas.

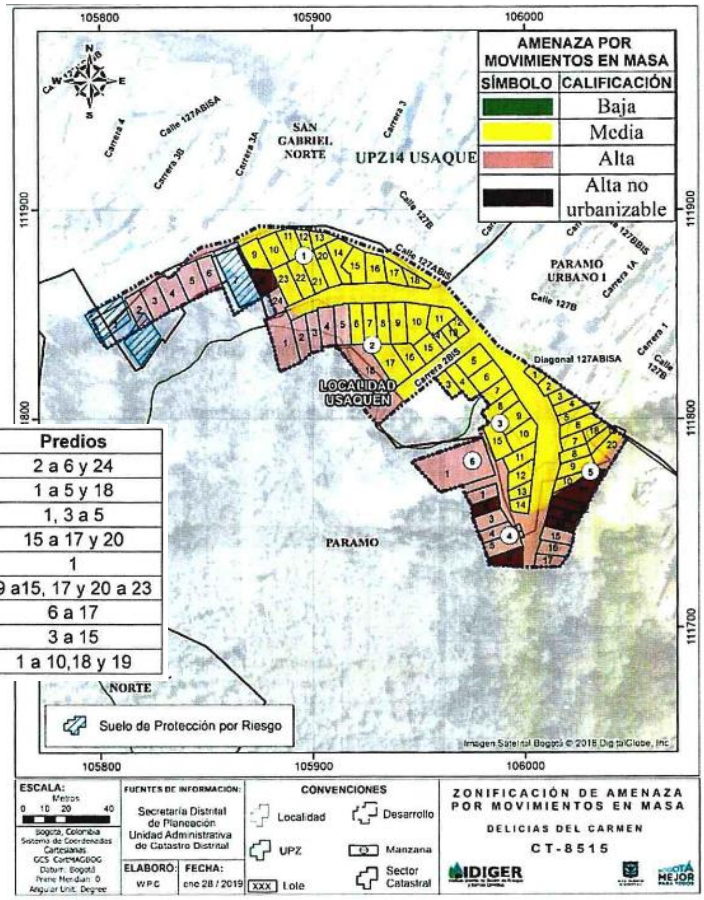
Informe Ambiental y Forestal

Se puede afirmar que como causa contribuyente de la inestabilidad están las raíces de los árboles de eucalipto, que penetran y se engrosan por las discontinuidades, en especial la que es paralela a la superficie del talud.

Parte del área que cubren estos taludes con riesgo de caída de bloques y flujos de roca están en área de protección ambiental por zona de páramo.

Informe social

Para el polígono en estudio se incluyeron seis manzanas dentro de la zonificación de amenaza por movimientos en masa, clasificadas como de media y alta. En la figura que se muestra a continuación, tomada de los antecedentes suministrado por el IDIGER, se muestran las manzanas y los predios que se verán beneficiados directa e indirectamente en función de su clasificación de amenaza, con las obras proyectadas en este estudio.



Vulnerabilidad	Manzana	Predios
Alta	1	2 a 6 y 24
	2	1 a 5 y 18
	4	1, 3 a 5
	5	15 a 17 y 20
	6	1
Media	1	9 a15, 17 y 20 a 23
	2	6 a 17
	3	3 a 15
	5	1 a 10,18 y 19

Figura 1 Mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa para el desarrollo de las Delicias Del Carme
Fuente: Antecedentes: "CONCEPTO TÉCNICO PARA PROGRAMA DE LEGALIZACIÓN Y REGULARIZACIÓN DE BARRIOS)

Exploración de subsuelo

Debido a que los materiales rocosos y un espesor delgado de suelos residuales (menor a 5 metros), se encuentran expuestos en la superficie de los taludes, no se considera necesario explorar el terreno mediante perforaciones, solamente se requiere toma de muestras y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos y rocas. Este componente no forma parte del alcance para este concepto.

Complementariamente, se puede llevar a cabo el levantamiento de la columna estratigráfica de los materiales allí presentes.

Geotecnia

Después del deslizamiento inicial en la parte alta del talud se observan bloques con elevado potencial de caída

En el capítulo 7 se desarrolla todo el análisis Geotécnico para el sitio.

1.2 Localizacion

El sitio se encuentra localizado en la calle 128 Bis y la carrera 2 Bis, en la localidad de Usaquén.



Figura 2 Localización sitio de estudio.

2 TOPOGRAFÍA

El objetivo de este estudio es realizar la elaboración de estudios y diseños de obra de emergencia en sitios de intervención prioritaria en la ciudad de Bogotá D.C

El presente Informe corresponde al levantamiento Topográfico, base para diseño de obras de estabilización en el proyecto Delicias del Carmen, en éste se describen los trabajos de campo, memorias de cálculo, elaboración de los planos base de topografía, según normas actuales para levantamientos topográficos en Colombia.

2.1 Resultados

Resultado, coordenadas Planas Cartesianas Origen Bogotá del punto denominado GPS 1 y GPS 2, luego de realizar el traslado de coordenadas desde el punto de nivelación geodésica, con cota geométrica y el cual hace parte de la red Magna Sirgas del IGAC, el posicionamiento se realizó con GPS doble frecuencia De precisión geodésica en modo RTK.

REFERENCIA	COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGATA		COTAS GEOMETRICA
	NORTE	ESTE	
GPS 1	1011813.314	1005964.391	2702.633
GPS 2	1011779.933	1005961.123	2711.598

Resultado, cota de los vértices posicionados, luego del traslado desde el NP 34-BGT

PUNTO	COTA GEOMÉTRICA
GPS 1	2702.633
GPS 2	2711.598

2.2 Levantamientos topográficos para diseño de obras de estabilización

Siguiendo los términos de referencia, el presente documento se rige según normas actuales para levantamientos topográficos en Colombia. La localización del levantamiento topográfico es presentada en la ilustración No 1, incluida en este Informe.

2.2.1 Descripción de los trabajos

2.2.1.1 Objetivo de los Levantamientos

Realizar el levantamiento topográfico, planimetría y altimetría a detalle del polígono asignado, teniendo especial atención en la topología del terreno. Estos levantamientos servirán de base para la generación de los diseños adecuados.

2.2.1.2 Descripción del Área del Proyecto

Los tramos presentados están localizados en la ciudad de Bogotá, en la localidad de Usaquén, en el barrio las Delicias del Carmen. El proyecto se desarrolló en una zona urbana de terreno ondulado y partes escarpadas.

2.2.1.3 Comisiones de Campo

Los trabajos de campo fueron ejecutados por una comisión de topografía, integrada por un coordinador de campo, un ingeniero topográfico, dos auxiliares operadores de GPS y expertos en Inspección de pozos. En la **Tabla 1**, se relaciona el personal principal que conformó la comisión de topografía.

Tabla 1 Comisión de topografía

NOMBRE	CARGO
Oscar Rondón Sáenz	Coordinador de campo
Hernán David Campos	Ingeniero topográfico
Elver Rondón	Auxiliar
Joan Edgardo Rojas	Auxiliar

El ingeniero topográfico contratado para la realización de los levantamientos topográficos está debidamente matriculado y registrado en el Concejo Profesional Nacional de Ingeniería COPINA, mediante matrícula No. 25335162012 CND. Copia de la Licencia se incluye en el Anexo No. 1 de este Informe.

2.2.1.4 Puntos de Amarre Topográfico

Tal como lo exige la Norma NS 030, los levantamientos topográficos fueron amarrados a la Red del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, mediante Posicionamiento de puntos con GPS doble frecuencia en modo RTK, utilizando el punto NP. 34-BGT el cual hace parte de la red de nivelación geometría de primer orden y de la red magna sirgas como punto geodésico. Por la cercanía con el sitio del levantamiento se realizó el traslado de coordenadas en modo RTK. se incluye copia de la certificación expedida por el IGAC en el Anexo No. 1.

La **Tabla 2** contiene los datos de coordenadas y cotas del vértice Geodésico utilizado en los levantamientos Planimétricos y Altimétricos.

Tabla 2 Coordenadas y cota punto de amarre

VÉRTICE	COORDENADAS PLANAS CARTESIANAS PROYECCIÓN BOGOTÁ ÉPOCA 1995.4		COTA GEOMÉTRICA
	NORTE	ESTE	
NP 34-BGT	1012291.139	1002580.384	2550.9591

2.2.1.5 Equipos Utilizados

En la ejecución de los levantamientos topográficos se utilizaron los equipos relacionados en la **Tabla 3**, estos equipos cuentan con sus debidos certificados de calibración, los cuales son incluidos en el Anexo No. 1.

Tabla 3 Equipos de topografía

NOMBRE	MARCA	REFERENCIA	No. SERIE
Estación Total	TOPCON	GPT3003W	430325
GPS	TRIMBLE	5700	0220278686
GPS	TRIMBLE	5800	4602105733
RADIO	TRIMBLE	TRIMARK 3	4546101254

Además de los equipos antes mencionados se utilizó igualmente el equipo convencional complementario.

2.2.1.6 Metodología de los Trabajos

Teniendo como base El punto NP 34-BGT del IGAC. Y el cual hace parte de la red de nivelación geométrica de primer orden al igual que de la red geodésica MAGNA

SIRGAS, se traslada coordenadas y cota a un punto dentro del polígono el cual se denominó GPS 1.

Por la cercanía al sitio de trabajo el método utilizado para el traslado de coordenadas se realiza con equipos GPS de precisión geodésica doble frecuencia, en modo RTK,

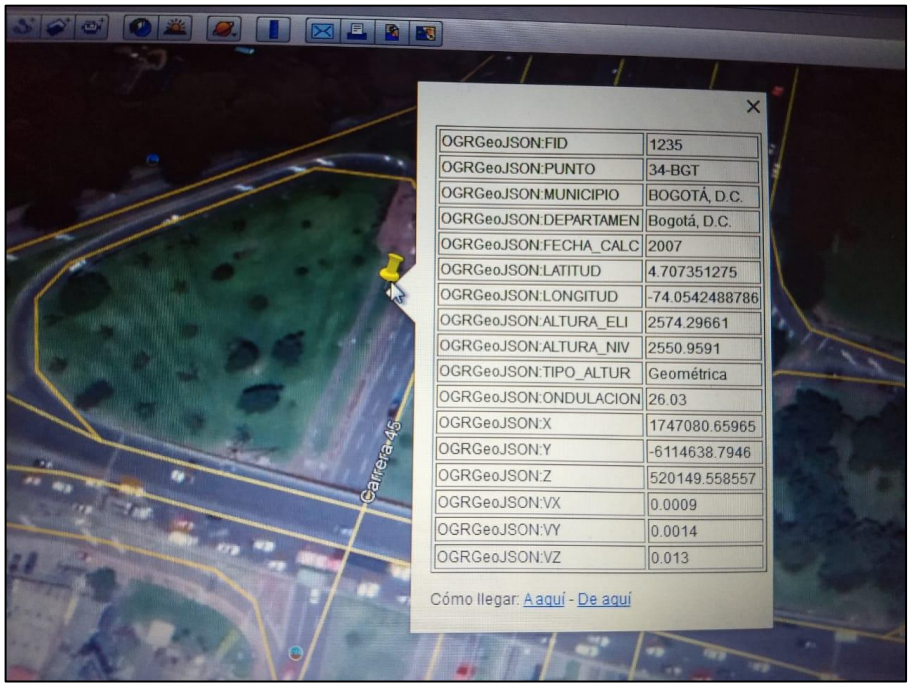


Figura 3 Localización punto IGAC.

- **Amarre Topográfico**

Esta labor se realizó mediante la técnica empleada por el sistema DGPS en método diferencial RTK, obteniendo una precisión de 1 cms.+ 1ppm, ubicando un Receptor estático en el punto de coordenadas conocidas, y un equipo Rover para realizar la medición de detalles, (El tipo de posicionamiento Geodésico empleado fue de tipo RTK **(Static)** con equipos GPS de doble frecuencia de fase portadora completa [L1 y L2), código adquirido C/A [CoarseAdquisition] y código P Preciso, esta clase de equipos junto con el método diferencial de posicionamiento permite la precisión requerida para el cálculo de vectores para este tipo de trabajo, eliminando errores en estimación de la órbita de los satélites, deriva de los relojes atómicos de los

satélites [Seudodistancia], ionosfera, Troposfera, y disponibilidad selectiva disponible S/A, además permite en el posterior Post-Proceso satelital mejorar disminuir mediante el tratamiento de señales el DGOP [Disolución Geométrica de la Precisión] con soluciones dobles fijas [FIX) que aplicarían en este caso.



Figura 4 Posicionamiento NP 47-BGT IGAC.



Figura 5 Localización vértices GPS 1 Y2

- **Levantamientos Plani altimétrico**

La planimetría y altimetría de los levantamientos topográficos fue desarrollada por metodología GPS En modo RTK lo cual nos evita las poligonales topográficas, en las zonas con dificultad de señal se ubicaron puntos de apoyo inter visibles para toma de detalles con estación total convencional.

Una vez ajustadas las coordenadas y cotas respectivas se obtienen los valores de NORTE, ESTE y COTA de cada uno de los puntos radiados sobre los detalles levantados, información básica para obtener el plano topográfico actualizado.
La información recolectada en campo se procesa y se calcula con el software Topcón Link, los resultados obtenidos son incluidos en el Anexo No. 1.

2.2.1.7 Planos Topográficos

La utilización de los equipos electrónicos garantiza la disminución de fuentes de error y proporciona funcionalidad en la transferencia de información para la elaboración de los planos topográficos.

Con base en la información recolectada en campo y el ajuste necesario, se procedió a la elaboración de los planos en formato dwg.

En la Tabla siguiente se relacionan los planos objeto de los levantamientos topográficos.

Tabla 4 Planos topográficos

No.	CONTENIDO
1	PLANO TOPOGRÁFICO LAS DELICIAS DEL CARMEN

Tabla 5 Cuadro de coordenadas planas gauss origen central época 1995.4

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA ORTOMETRICA
NP 34-BGT	1012291.139	1002580.384	2550.9591
GPS 1	1011813.314	1005964.391	2702.633

GPS 2	1011779.933	1005961.123	2711.598

2.2.1.8 Levantamiento de Detalles

El levantamiento de detalles se desarrolló utilizando como base el punto GPS 1 para la ubicación del equipo estático, con el Rover en modo RTK, Con esta metodología se levantaron todos los detalles físicos y artificiales adyacentes a los tramos del proyecto y se ubican parejas de puntos auxiliares para la utilización de la estación total en sitios donde la señal satelital no es buena.

El trabajo de campo fue realizado con la con los equipos descritos en el numeral 3.1.5, se capturaron 4151 detalles, los cuales fueron empleados para la configuración del modelo topográfico, por consiguiente, estos puntos tienen cota trigonométrica.

Los planos de topografía fueron elaborados en AutoCAD.

3 GEOLOGÍA

3.1 Consulta y Análisis de Información Secundaria

Para la elaboración del componente geológico a nivel regional, se consultó la información disponible en el servicio geológico colombiano –SGC, correspondiente a la plancha 228 Santa Fe de Bogotá Noreste escala 1:100:000 con su respectiva memoria explicativa en 2008, el mapa geológico Localidad de Usaquén resultante del estudio Zonificación de Riesgo por Inestabilidad del Terreno Para Diferentes Localidades de Santa Fe de Bogotá, elaborado por INGEOCIM Ltda. para la Unidad de Prevención y Atención de Emergencias UPES y el Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias FOPAE en el año de 1998 y el estudio geológico para la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá en el año de 1998.

En general, la información consultada da claridad sobre la geología regional que yace en la zona de estudio donde se pueden identificar las unidades geológicas, la estratigrafía predominante y las estructuras geológicas asociadas a los procesos morfodinámicos actuantes.

3.2 Geología Regional

Geológicamente, el barrio Las Delicias del Carmen se localiza sobre rocas de edad cretácica, sin embargo, en el presente capítulo se hará la descripción de las unidades geológicas que conforman el cuadrante enmarcado dentro de las coordenadas (N: 1011000 - 1012400 y E: 1005200 - 1006800) dando de esta forma una mayor cobertura de la geología. En la **Figura 6** se muestra el cuadrángulo seleccionado para la descripción del entorno geológico regional del barrio Delicias del Carmen ubicado en la localidad de Usaquén de la ciudad de Bogotá.

De acuerdo con la plancha 228 del Servicio geológico colombiano y con el mapa geológico Localidad de Usaquén resultante del estudio Zonificación de Riesgo por Inestabilidad del Terreno Para Diferentes Localidades de Santa Fe de Bogotá, la geología de la zona está conformada por unidades sedimentarias, de origen continental, cuya edad varía desde el Cretácico Superior hasta el Cuaternario. A continuación, se lleva la descripción de las unidades geológicas que conforman la zona de estudio de la más antigua a la más reciente a saber:

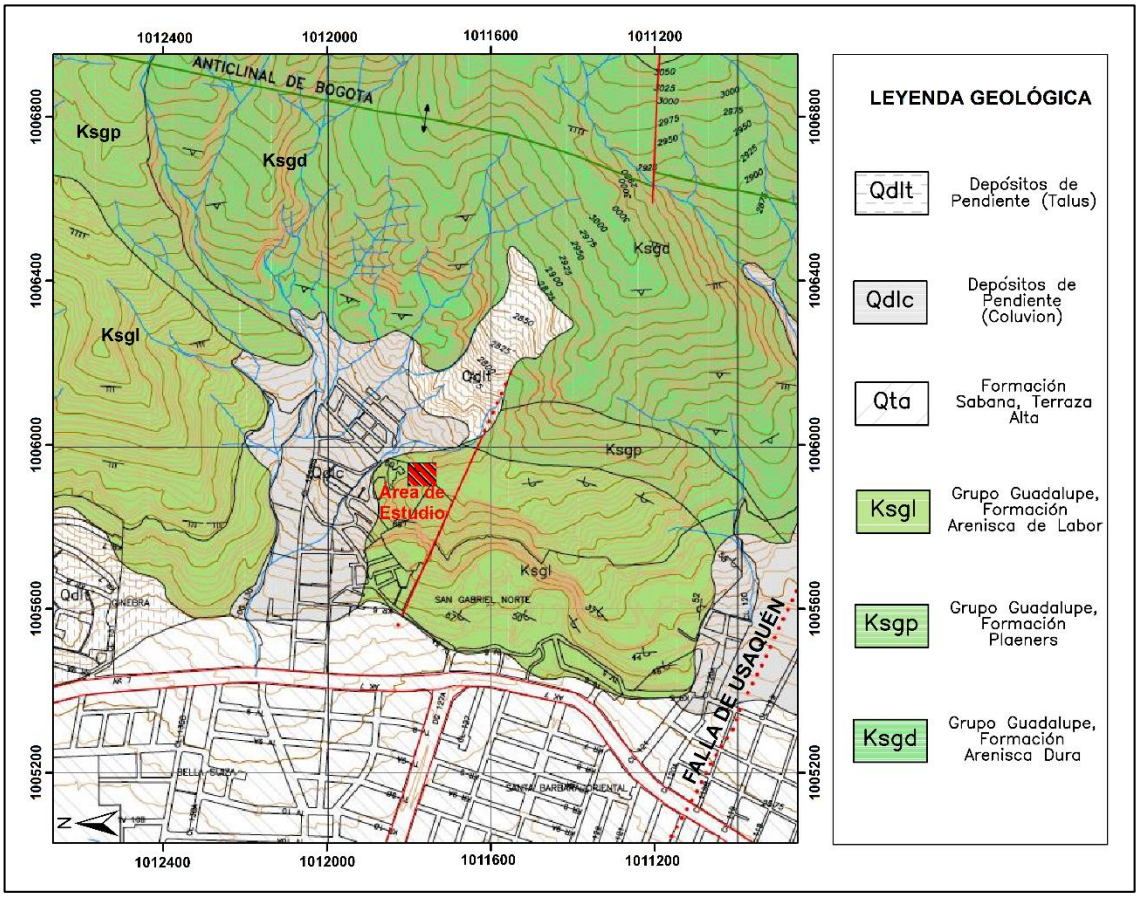


Figura 6 Entorno geológico regional del área de estudio en el barrio Delicias del Carmen. Adaptado del Mapa Geológico Localidad de Usaquén de INGEOCIM, 1998.

3.2.1 Cretácico superior

Formación Arenisca Dura (Ksgd)

Esta unidad forma parte del Grupo Guadalupe, aflora al costado oriental del área de estudio, está compuesta por una gruesa sucesión de areniscas en bancos muy gruesos con intercalaciones de limolitas, lodolitas, porcelanitas (chert) y arcillolitas de colores claros y en capas finas. Las areniscas están compuestas por ortocuarcitas de grano muy fino. Las areniscas de esta unidad son de alta compactación lo que hace que se destaque en la topografía formando crestas y escarpes bien marcados. El espesor de los bancos de arenisca fluctúa entre los 2 y 15 m. Esta formación aflora en ambos flancos del Anticlinal de Bogotá, desde el

sector de San Cristóbal hasta Usaquén donde forma el núcleo del anticlinal.

Formación Plaeners (Ksgp)

La Formación Plaeners aflora al sureste y noreste del área de interés, consta de una sucesión de limolitas silíceas, porcelanitas (chert), liditas y areniscas de grano fino. El conjunto presenta estratificación fina a media y sus colores son generalmente claros como blanco y gris. En los 25 m inferiores se concentran las porcelanitas, lo cual hace más compacta esta parte de la sección, aun cuando las porcelanitas presentan variaciones laterales a arcillolitas silíceas. En los 50 m superiores de la sección se concentran las arcillolitas y arcillolitas limosas con intercalaciones muy delgadas de porcelanitas. Las facies arenosas distribuidas en toda la sección, escasamente suman el 5% del espesor total. El predominio de la facie arcillosa en esta formación hace que los contactos inferior con la Formación Arenisca Dura y superior con la Formación Arenisca de Labor, sean abruptos.

Formación Arenisca de Labor (Ksgl)

La zona de estudio yace sobre esta unidad geológica, forma parte del grupo Guadalupe, está constituida en la parte inferior, por areniscas compactas, de grano fino, arcillosas, grisáceas a blancas. Ocurren en bancos gruesos separados por capas finas de arcillolitas blancas. La parte intermedia de la formación consta de una intercalación de estratos de espesor aproximadamente igual entre areniscas, lodolitas y arcillolitas. Las areniscas son arcillosas, de grano fino a medio a grueso de color blanco a pardo amarillento. En la parte superior de la formación las areniscas son arcillosas, con estratificación gruesa y compactación variable, son de color blanco a pardo amarillento, de grano medio a grueso. La Arenisca de Labor termina con un horizonte de espesor variable de una interestratificación fina, entre areniscas, lodolitas y arcillolitas, con colores grises a gris violáceo y amarillento. La expresión topográfica es más pronunciada que la de la Formación Plaeners pero menos pronunciada que la de la Formación Arenisca Dura.

3.2.2 Cuaternario

Formación Sabana Terraza Alta (Qta)

Esta unidad geológica aflora al costado occidental del área de interés, se caracteriza por estar referida al sector de piedemonte, generalmente constituida por diversidad de materiales transportados y depositados en la zona de transición entre las formaciones rocosas y la zona plana. La Formación Sabana está constituida en general por tres niveles de base a techo que son, unos limos rojos, unos limos marrones y un complejo de suelos negros.

Depósitos de Pendiente Coluvión (Qdlc)

Estos depósitos afloran a los costados norte, sur y oriental del área de interés. La mayoría de los depósitos coluviales se han originado por procesos de remoción en masa y aparecen principalmente en el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá, están compuestos por guijos y bloques de arenisca cuarzosa embebidos en una matriz que varía de arcillosa a arcillo-arenosa. Por su composición granulométrica, son algo permeables, captadores de agua y muy susceptibles a inestabilizarse, especialmente los localizados en zonas de pendiente alta.

Depósitos de Pendiente Talus (Qdlt)

Son el producto de acumulación de fragmentos grandes de roca, con matriz muy escasa en el pie de taludes escarpados no necesariamente de gran altura. Cuando estos talus conformados por bloques de arenisca de gran tamaño se localizan en laderas de pendiente alta, constituyen un gran riesgo para los habitantes de la parte baja de los cerros. En el área de interés están localizados a los costados oriental y suroriental.

3.3 Geología Estructural

El barrio Delicias del Carmen está localizado en la región de la Sabana de Bogotá, la cual, como consecuencia de la orogenia, se erige como un “horts” que se eleva sobre sus zonas adyacentes por medio de fallas inversas quedando limitada al oeste, por el Valle Medio del Magdalena y al este, por los Llanos Orientales. En su zona central se forman pliegues anticlinales estrechos y fallados y sinclinales amplios en cuyas depresiones se depositaron sedimentos fluviales y lacustres en una larga cuenca que se extiende desde la región de Nazaret, al sur, hasta las inmediaciones de Paz de Río y Jericó, al norte, con una longitud de unos 250 km.

Los sedimentos depositados en esta cuenca, forman hoy las extensas terrazas planas de la región sabanera que están limitadas por cerros en donde afloran los sedimentos cretáceos y algunos terciarios, plegados.

El área de estudio forma parte del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá orientado en dirección N-S, en el que suceden frecuentes inversiones, tales inversiones afectan los flancos completos de la estructura, además los pliegues están afectados por fallas longitudinales y transversales. Los rasgos tectónicos más importantes y de mayor influencia a nivel regional en el sitio de interés, son el Anticlinal de Bogotá y La Falla de Usaquén, cuyas características principales se describen a continuación.

3.3.1 Anticlinal de Bogotá

El Anticlinal de Bogotá se desarrolla principalmente en rocas del Grupo Guadalupe y en menor proporción en rocas del neógeno. Esta estructura forma parte del borde oriental de la Sabana de Bogotá, está acompañada por fallas paralelas y está cortada por fallas transversales que subdividen las estructuras paralelas en varios bloques. La Falla La Cuchilla y la Falla de Usaquén forman un bloque levantado en el que el anticlinal expone en el núcleo a la Formación Arenisca Dura y su eje cabecea hacia el norte.

3.3.2 Falla de Usaquén

Estructura de dirección general NW – SE a partir de la cual hacia el norte hay levantamiento del Anticlinal de Bogotá, también hay desplazamiento lateral derecho del eje del anticlinal. Esta falla afecta los cerros orientales, y continúa bajo los depósitos no consolidados hacia la parte media del Cerro de Suba.

3.4 Geología Local

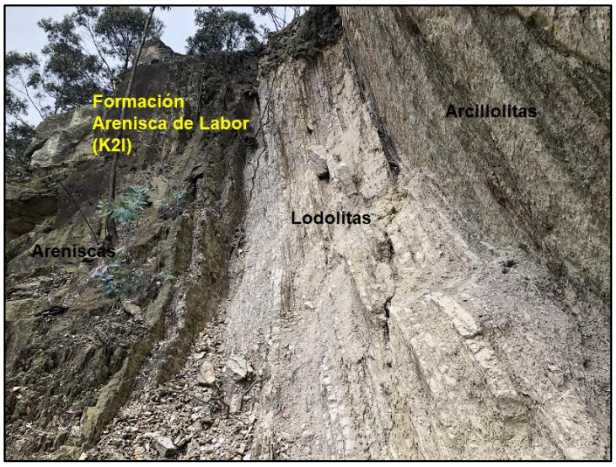
El contexto geológico local del sitio de influencia fue analizado y descrito en campo donde se recorrió el área del proyecto, se observó la composición de la roca, la relación temporal de los eventos, los contactos donde se encuentran contrastes litológicos, agrupando las unidades a escala de trabajo 1:200, adicionalmente se evaluó la presencia de discontinuidades, con el fin de realizar la caracterización

geomecánica del macizo rocoso, para lo cual se llevó a cabo un levantamiento de discontinuidades sobre los afloramientos rocosos , en la cara de los taludes, a lo largo del área inestable.

Localmente, la zona de estudio yace, predominantemente sobre rocas de la Formación Arenisca de Labor (K2l), que forma parte del Grupo Guadalupe; así mismo se identificó un Saprolito (Qs), en la pata de los taludes rocosos se reconoce un Depósito de Bloques (Qdp), finalmente a los costados norte y centro oriental del área en estudio, se presenta, un relleno poco consolidado (Qra) producto de la actividad antrópica del sector. Las unidades geológicas superficiales se describen a continuación de la más antigua a la más reciente, el mapa geológico local resultante se presenta en el Plano 1, **Anexo 2.**

3.4.1 Formación Arenisca de Labor (K2l)

Esta unidad geológica aflora a lo largo de toda la zona de interés, principalmente hacia la parte norte se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios. Presenta una morfología escarpada a muy escarpada, se encuentra parcialmente cubierta por vegetación arbórea. Litológicamente está constituida por paquetes masivos de areniscas con espesores hasta de 8 m, tamaño de grano fino a medio de color blanco, gris claro, pardo amarillento y naranja por procesos de oxidación, poco fracturadas con diaclasas rellenas de óxidos de hierro. Intercaladas con arcillolitas abigarradas y lodolitas con coloraciones como blanco y violeta, laminadas con fracturamiento ortogonal, oxidadas, fisibles, fácilmente erosionables, con espesores que pueden alcanzar de 3 a 4 m. En el sector de estudio los estratos presentan un rumbo preferencial N6°E buzando 69°NW. Sobre la unidad se desarrollan suelos residuales areno arcillosos de muy poco espesor. En la **Fotografía 1** se presenta un afloramiento de la Formación Arenisca de Labor localizado en el talud inestable objeto del presente estudio.



Fotografía 1 Intercalaciones areniscas y niveles de lodolitas y arcillolitas de la Formación Areniscas de Labor, aflorante en el costado noroeste del área de estudio.

Durante los trabajos de campo se llevó a cabo el levantamiento de 4 columnas litoestratigráficas de la Formación en cada una de los taludes rocosos que forman parte del área de estudio. En la **Figura 7** a la **Figura 10** se presentan los esquemas de las columnas mencionadas.

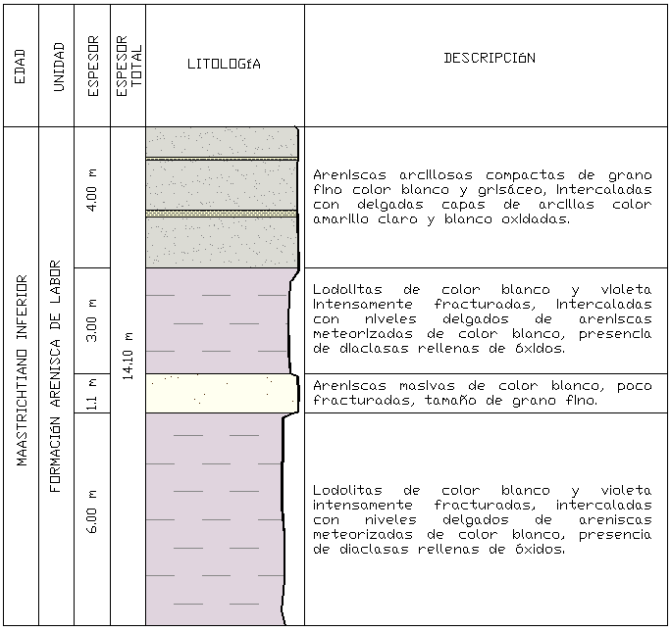


Figura 7 Columna litoestratigráfica de la Formación Arenisca de Labor, levantada en el Talud 1 localizado en el costado noreste del área de interés, en el barrio Delicias del Carmen.

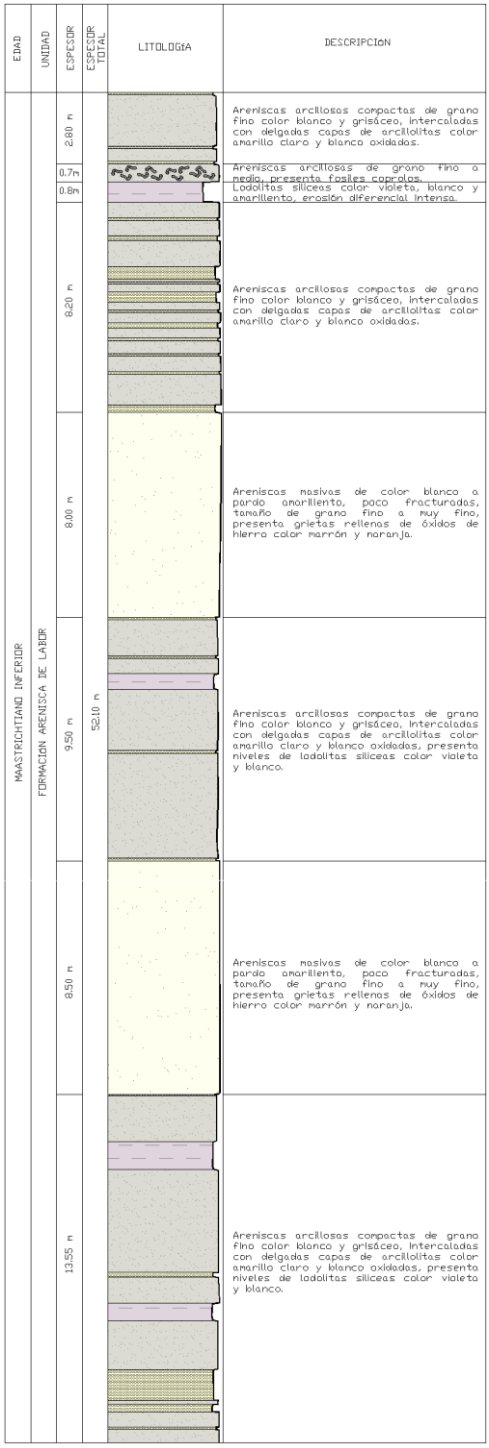


Figura 8 Columna litoestratigráfica de la Formación Arenisca de Labor, levantada en el Talud 2 localizado en la parte central del área de interés, en el barrio Delicias del Carmen.

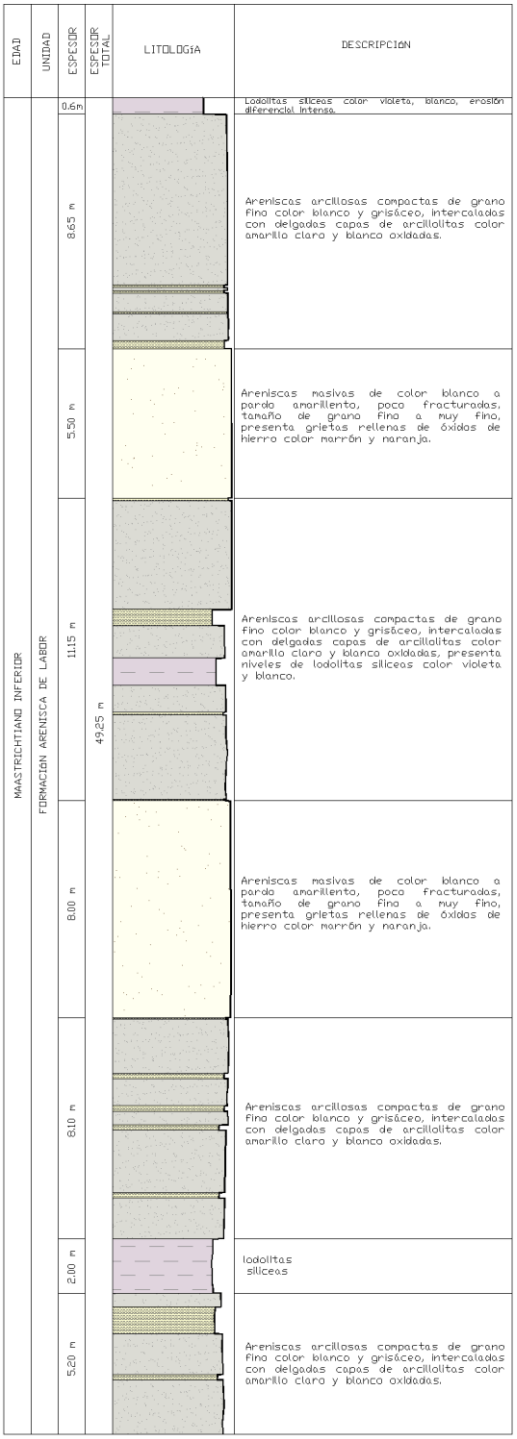


Figura 9 Columna litoestratigráfica de la Formación Arenisca de Labor, levantada en el Talud 3 localizado en el costado noroeste del área de interés, en el barrio Delicias del Carmen.

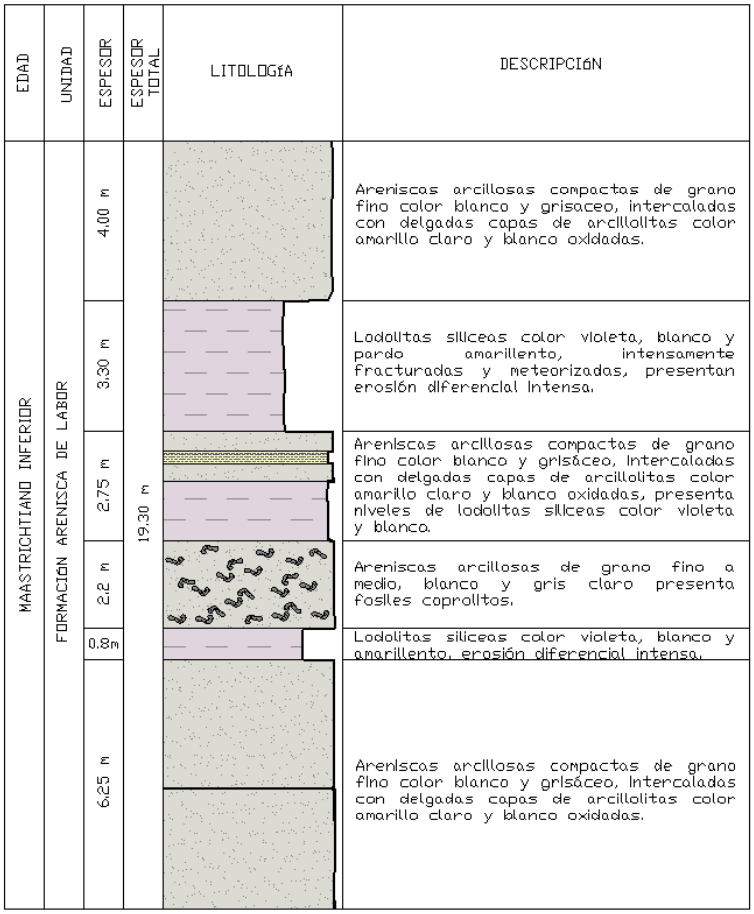


Figura 10 Columna litoestratigráfica de la Formación Arenisca de Labor, levantada en el Talud 5 localizado en el costado sur del área de interés, en el barrio Delicias del Carmen.

3.4.2 Saprolito (Qs)

Se trata de una unidad geológica superficial producto de la meteorización y fracturamiento intenso de las rocas que conforman la Formación Arenisca de Labor, constituida por una fracción de suelo areno arcillosa de color gris y pardo amarillento tamaño de grano fino a grueso, alto contenido de humedad y compacidad suelta, en la que se conservan estructuras heredadas de la roca madre. Y por una fracción rocosa comprendida por guijos, cantos y bloques de forma angular, de arenisca meteorizada. En la **Fotografía 2** se observa un afloramiento del saprolito presente al noroccidente del área de estudio. Esta unidad conforma laderas de morfología inclinada a abrupta.



Fotografía 2 Roca intensamente meteorizada y fracturada correspondiente al saprolito generado a partir de las rocas de la Fonación Arenisca de Labor.

3.4.3 Depósito de Bloques (Qdp)

Este tipo de depósito aflora principalmente, en la base de los taludes ubicados en la zona central del área de estudio, como resultado de la actividad antrópica e hidrogravitacional, están constituidos por bloques de arenisca de forma angular, hasta de 3.50 metros de diámetro, depositados con ausencia de matriz, en los sitios relacionados presentan un ancho aproximado hasta de 14 m y un espesor que oscila entre 2 y 3 m, en algunos sitios se observa una matriz arenosa, pero en general los depósitos son sueltos y no consolidados. Los materiales que lo conforman son el producto de desprendimientos por fallas en el macizo rocoso adyacente y de acumulación de estériles provenientes de la explotación de una antigua cantera. La **Fotografía 3** muestra la unidad geológica perteneciente al área de estudio. Esta unidad presenta una morfología plana a suavemente inclinada, en la parte baja esta desprovista de cobertura vegetal y en la parte alta está parcialmente cubierta por pastos.



Fotografía 3 Depósito de bloques hasta de 3.5 m de diámetro, con ausencia de matriz, ubicado en la base del talud del frente inferior de la antigua explotación minera.

3.4.4 Relleno Antrópico (Qra)

Se identificaron rellenos antrópicos en la base del talud 1 ubicado al costado noreste, la base del talud 2 ubicado en la parte central norte y en la base del talud 4 localizado en el centro la zona de interés. Esta unidad geológica conforma terrazas de morfología plana a suavemente inclinada y diques con topografía inclinada.

Litológicamente están conformados por materiales pobremente seleccionados, que corresponden con escombros, recebo y bloques de arenisca provenientes de antiguas explotaciones mineras y de desprendimientos de la cara del talud, entre otros, embebidos en una matriz fina, color café oscuro de humedad alta, con presencia de raíces y gravas tamaño granulo a guijo. La **Fotografía 4** muestra la unidad geológica de rellenos antrópicos aflorante en el área de estudio, la cual conforma laderas de pendiente levemente inclinada a inclinada.

Parte de los rellenos (diques) fueron conformados por el IDIGER para contrarrestar el riesgo sobre las viviendas del sector, ante la caída de bloques de roca, el área restante corresponde a un patio de la antigua cantera, que posteriormente se convirtió en parqueadero.



Fotografía 4 Relleno heterogéneo conformado como patio para labores mineras de la antigua cantera existente en el sector de las Delicias de Carmen.

4 GEOMORFOLGIA

4.1 Geomorfología Regional

Las unidades geomorfológicas representan el elemento fundamental del análisis y resultan de las características litológicas e historia tectónica de la región, y de los procesos denudativos y morfogenéticos que han estado actuando hasta el presente acelerados por la influencia antrópica.

De acuerdo con el Mapa Geomorfológico de la Localidad de Usaquén (zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá, INGEOCIM LTDA), en el barrio Delicias del Carmen, a nivel regional, se evidencia un tipo de rasgo genético del relieve correspondiente con relieve Montañoso de Control Estructural. La zona de interés principal está localizada sobre la geoforma denominada Escarpes y Frentes Estructurales, habitualmente en contrapendiente que forma crestas agudas con pendientes altas y laderas irregulares o rectas dependiendo del desarrollo de la erosión diferencial y de otros procesos morfodinámicos latentes como la caída de bloques por desconfinamiento de los macizos rocosos, sobre materiales de la Formación Arenisca de Labor.

4.2 Geomorfología Local

La geomorfología local presentada en este documento corresponde a la identificación de los cambios físicos a partir de las formas de relieve, los procesos formadores o transformadores del paisaje o del relieve a través del tiempo y la relación de los diferentes agentes del medio con los distintos tipos de roca en la zona de estudio; el componente estructural, la topografía de la zona, la inclinación de las laderas, el tipo de drenaje y los procesos morfodinámicos que han desarrollado geoformas de gran importancia en el área de influencia, la escala de trabajo será a 1:200. Para la realización del presente trabajo se adoptó la metodología de Carvajal (2008), basados en el texto “Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia”, donde se expone inicialmente una jerarquización geomorfológica adoptada por INGEOMINAS (2002) con base en la propuesta hecha por Velásquez, (1999) y posteriormente ajustada por Carvajal (2002, 2003 y 2005), se indica el nivel de escala en que se realiza el trabajo y la génesis de cada una de las geoformas de acuerdo con el ambiente morfogenético.

Teniendo en cuenta la escala de trabajo (1:200), el análisis geomorfológico llevado a cabo sobre el área de estudio corresponde a nivel de componente geomorfológico, ver **Figura 11**, la cual está determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos, con la correspondiente topografía del terreno. Igualmente está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos o determinados. En el área de estudio se observaron geoformas de origen estructural y antropogénico respectivamente.



Figura 11 Esquema de Jerarquización Geomorfológica propuesto por el Servicio Geológico Colombiano. Fuente: Tomado y modificado de Velásquez (1999) e INGEOMINAS (1999), Carvajal (2002 – 2008)

La descripción de las geoformas se fundamenta en la expresión morfológica o de relieve y la Morfometría llevada a cabo con base en estándares y rangos de uso común a nivel internacional, ver **Figura 12.**

Siguiendo la metodología propuesta por Carvajal (2008), se realiza una recopilación y análisis de información temática del área de estudio, en donde las unidades geomorfológicas son corroboradas en campo con el fin de tener un control puntual del trabajo de oficina, además se levantó información acerca del tipo de geoforma, formas de relieve, inclinaciones de ladera y tipos de material entre otros.

La finalidad de la cartografía geomorfológica es identificar caracterizar y describir las unidades geomorfológicas desde el punto de vista de la Morfogénesis,

Morfoestructura, Morfodinámica y Morfometría sobre el área de estudio, las cuales describen las siguientes características:

Morfogénesis: Origen de las formas del terreno.
Morfoestructura: Rasgos asociados a la deformación tectónica que incide en el modelado del paisaje.
Morfometría: Características de las geoformas con base en criterios métricos.
Morfodinámica: Procesos morfodinámicos que han modelado y continúan modelando las geoformas.

INDICES DE INCLINACIÓN DE LADERA		
ID	INCLINACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	< 5O	Plana o suavemente inclinada
2	6o - 10o	Inclinada
3	11o - 15o	Muy Inclinada
4	16o - 20o	Abrupta
5	21o - 30o	Muy Abrupta
6	31o - 45o	Escarpada
7	> 45o	Muy escarpada

INDICE DE CONTRASTE DE RELIEVE		
ID	ELEVACIONES	DESCRIPCIÓN
1	< 29 m	Muy bajo
2	30 - 74 m	Bajo
3	75 - 149 m	Moderado
4	150 -249 m	Alto
5	250 -499 m	Muy Alto
6	> 500 m	Extremadamente Alto

TIPO RELIEVE		
ID	TIPO	ELEVACION
1	Montañoso	> 500 m
2	Colina	201 -499 m
3	loma	50 - 200 m
4	Montículos	0 - 49 m

TIPOS DE FORMA DE LADERA		
ID	FORMA LADERA	CALIFICACIÓN
1	Cóncava - Divergente	
2	Cóncava - Convergente	
3	Convexa - Divergente	
4	Convexa - Convergente	

FORMA DE CRESTA		
ID	TIPO	CALIFICACIÓN
1	Aguda	
2	Redondeada	
3	Convexa amplia	
4	Convexa Plana	
5	Plana	
6	Plana Disectada	

LONGITUD DE LADERA		
ID	LONGITUD	DESCRIPCIÓN
1	< 50 m	Muy Corta
2	51 - 250 m	Corta
3	251 -500 m	Moderada
4	501 -1000 m	Larga
5	1001 - 2500 m	Muy Larga
6	> 2500 m	Extremadamente Larga

FORMAS DE VALLE		
ID	TIPO	CALIFICACIÓN
1	Artesa	
2	Forma de V	
3	Forma de U	

DENSIDAD DRENAJE		
ID	RANGOS	CUALIFICACIÓN
1	< 0.5 km/ km2	Baja
2	0.51 - 1 km/ km2	Moderada
3	> 1 km/ km2	Alta

FORMAS DE LADERA		
ID	CLASE	CALIFICACIÓN
1	Recta	
2	Cóncava *	
3	Convexa *	
4	Irregular	
5	Compleja	

INDICE DE FRECUENCIA DE DRENAJE		
ID	NoF/ km2	CUALIFICACIÓN
1	> 40	Muy Alta
2	21 - 40	Alta
3	20-nov	Media
4	10-may	Baja
5	< 5	Muy Baja

TEXTURA DE DRENAJE			
ID	DENSIDAD	FRECUENCIA DE DRENAJE	TEXTURA DRENAJE
1	Baja	Baja a muy baja	Gruesa
2	Moderada	Media	Mediana
3	Alta	Alta	Fina
4	Muy Alta	Muy alta	Muy fina

Figura 12 Esquema de Jerarquización Geomorfológica propuesto por el Servicio Geológico Colombiano. Fuente: Tomado y modificado de Velásquez (1999) e INGEOMINAS (1999), Carvajal (2002 – 2008)

En el área de estudio se reconocen principalmente geoformas de ambiente estructural y antropogénico conformando taludes de pendiente escarpada a muy escarpada que se desarrollan sobre rocas de la Formación Arenisca Labor. Esta situación presenta variaciones debido a la intervención antrópica por lo cual se han generado geoformas locales como laderas y terrazas antrópicas. A continuación se describen las geoformas observadas. El plano resultante de la cartografía geomorfológica se presenta en el Plano 2 del **Anexo 3**.

4.2.1 Ambiente Estructural

Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos, cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural, al plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación. En el área de estudio se identificaron 2 geoformas de este origen las cuales se describen a continuación:

Taludes en roca (Str)

En esta unidad geomorfológica se clasifican los taludes rocosos de pendiente escarpada a muy escarpada, loa lo largo y ancho del área de estudio, generados por la disposición de estratos en contra de la pendiente del terreno. La 0 muestra una panorámica hacia un talud de roca localizada sobre el costado sur de la zona de estudio.

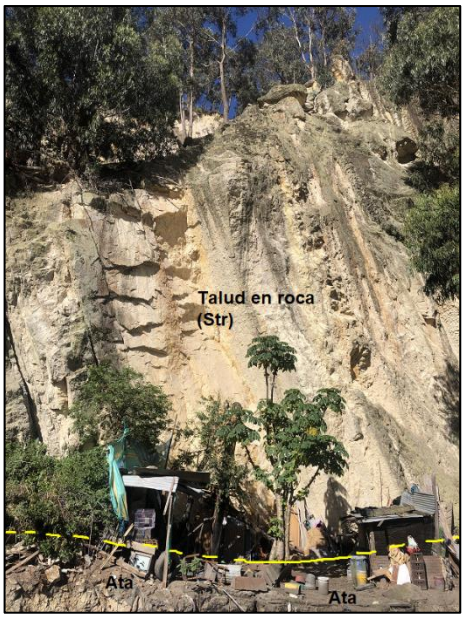
Morfogénesis: Su origen obedece a una estructura anticlinal, en una secuencia de estratos duros y algunos más blandos dentro de un área afectada por fallamiento regional.

Morfoestructura: Esta subunidad se ve afectada tectónicamente por la Falla de Usaquén con dirección preferencial NW-SE, de carácter regional y algunas discontinuidades transversales de carácter local.

Morfometría: Taludes entre 8 y 30 m de altura de acuerdo con la topografía de detalle, de forma recta con pendientes entre 59° y 88° y buzamientos de los estratos

rocos de aproximadamente 69°.

Morfodinámica: Se evidencia la acción de procesos morfodinámicos asociados principalmente a caída de bloques y erosión diferencial.



Fotografía 5 Panorámica hacia un talud en roca de morfología escarpada en contraste con la topografía plana de la terraza antrópico ubicado al noroeste del área de estudio en el Barrio Delicias del Carmen.

Ladera en roca (Slr)

Consiste en una superficie de morfología irregular o escalonada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno. Puede presentarse con longitud corta y se desarrolla sobre intercalaciones de areniscas, lodolitas y arcillolitas de la Formación Arenisca de Labor. En la **Fotografía 6** de presenta la unidad geomorfológica correspondiente con ladera estructural localizada al costado suroeste del área de estudio.

Morfogénesis: Se origina por procesos de meteorización, erosión y tectonismo que cortan y moldean una estructura anticlinal regional.

Morfoestructura: Esta subunidad forma parte del flanco occidental del Anticlinal de

Bogotá y puede verse afectada algunas discontinuidades transversales de carácter local.

Morfometría: Ladera corta a muy corta con una longitud promedio de 50 m, pendientes entre 35° y 45° escarpadas a muy escarpadas.

Morfodinámica: Se evidencia la acción de procesos morfodinámicos asociados principalmente a caída de rocas y detritos, erosión diferencial.



Fotografía 6 Geoforma de morfología abrupta conformando una ladera constituida por materiales rocosos en contacto con un talud rocoso escarpado, localizada al costado sur del área de estudio.

4.2.2 Ambiente Antropogénico

Corresponden a geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, con el objetivo de adecuar las laderas para construcción de viviendas y para explotaciones mineras, que modifican la morfología natural del terreno. En el sitio de interés se identificaron dos geoformas de este origen que corresponden con Ladera Antrópica (Ala), Terrazas Antrópicas (Ata) y Diques (Adi), cuyas características principales se presentan a continuación.

Ladera antrópica (Ala)

Esta unidad geomorfológica corresponde con las formas de relieve que se han generado por intervención del hombre, cuando se han ejecutado movimientos de

tierra adecuando la ladera para construcción de viviendas, principalmente. La **Fotografía 7** muestra la unidad geomorfológica de laderas antrópicas localizadas sobre el costado oriental del área de estudio.

Morfogénesis: El origen de esta unidad corresponde a la adecuación, con medios manuales y mecánicos de los terrenos dispuestos para construcción de viviendas.

Morfoestructura: Esta unidad no está afectada por procesos de fallamiento, pues se trata de unidades muy recientes.

Morfometría: Laderas rectas a cóncavas, de pendiente suavemente inclinada a muy escarpada con valores que oscilan entre 8° y 45°, de longitud muy corta de 28 m aproximadamente, de acuerdo con la topografía de detalle.

Morfodinámica: Se presentan procesos morfodinámicos asociados a erosión laminar.



Fotografía 7 Ladera modificada para la construcción de parte de las viviendas que conforman el barrio Delicias del Carmen, ubicada al oriente del área de estudio.

Terraza antrópica (Ata)

Geoformas con topografías planas a suavemente inclinadas producto de la intervención del hombre para ejecutar actividades mineras y su posterior uso como sitio de parqueadero vehicular. En el área de estudio esta geoforma fue identificada en la base de los taludes ubicados al costado norte del área de interés tal como se

muestra en la **Fotografía 8**.

Morfogénesis: Se origina como producto de una antigua explotación minera que a la fecha ya se encuentra revegetalizada. Sobre esta terraza se depositan los bloques que están siendo arrastrados por erosión hídrica desde la parte alta de la ladera.

Morfoestructura: Esta subunidad no se encuentra afectada por procesos de fallamiento ni plegamientos pues se trata de geoformas de edad reciente.

Morfometría: Zonas planas a muy inclinadas con pendientes entre 3° y 18°, de forma regular con ancho aproximado de 50 m y largo de 28 m en promedio.

Morfodinámica: Se evidencia la acción de procesos morfodinámicos asociados erosión laminar.



Fotografía 8 Terraza antrópica localizada en la base del talud inestable, sobre la que se depositaron los bloques desprendidos durante el evento ocurrido recientemente en el área de estudio.

Dique (Adi)

Esta unidad corresponde a zonas modeladas recientemente para la construcción de diques perimetrales a los procesos de inestabilidad con el fin de proteger las viviendas aledañas a los mismos. En el área de estudio esta geoforma fue se localiza en el costado norte del área de interés tal como se muestra en la 0.

Morfogénesis: Su origen corresponde a la conformación de diques de protección por parte del IDIGER, después de la ocurrencia de las caídas de bloques en el sitio de interés.

Morfoestructura: No se evidencia afectación por procesos de fallamiento ni plegamientos pues se trata de geoformas de edad reciente.

Morfometría: Dique con ancho de base aproximado de 8 m, altura de 3 m, ancho de corona promedio de 3 m e inclinación de los taludes que oscila entre 36° y 45°.

Morfodinámica: Sobre esta unidad no se identificaron procesos morfodinámicos actuantes.



Fotografía 9 Diques perimetrales a la zona inestable, construidos para la protección de las viviendas del sector Delicias del Carmen.

4.3 Procesos Morfodinámicos

En la zona de estudio se identificaron procesos morfodinámicos cuyas causas condicionantes han sido principalmente determinadas por las condiciones topográficas y geológicas, como factor detonante se reconocen las precipitaciones y como principal factor contribuyente la actividad antrópica. Durante los trabajos de campo se identificaron 4 procesos morfodinámicos asociados a procesos erosivos (1 erosión diferencial), y procesos de remoción en masa (2 caídas de rocas y 1 caída de detritos). En el **Anexo 2** se presentan los formatos del inventario de los procesos

morfodinámicos actuantes en la zona objeto del presente. A continuación se describen las características de los procesos predominantes en la zona de interés.

4.3.1 Procesos erosivos

Se entiende por erosión, el movimiento y desprendimiento de las partículas del suelo o roca, por efecto de los agentes meteóricos, su manifestación depende de factores, tales como el tipo de roca o sedimento constituyente de las geoformas y las pendientes de las mismas, las características climáticas (principalmente, pluviosidad y temperatura), y la cobertura vegetal.

Los procesos erosivos presentes dentro del área de influencia corresponden con erosión diferencial la cual afecta a estratos de menor resistencia en contraste con estratos más competentes.

Erosión diferencial

Este proceso morfodinámico se presenta sobre rocas finas meteorizadas en este caso sobre arcillolitas y lodolitas que infrayacen areniscas masivas más competentes, el desgaste de las rocas se produce por erosión hídrica sobre la cara de los taludes rocosos y como consecuencia de la actividad antrópica relacionada con antiguas explotaciones mineras. La erosión diferencial que se presenta en el área de estudio es severa, muy avanzada con desgastes que alcanzan 1.5 m de espesor de acuerdo con las mediciones de campo, causando la perdida de soporte del estrato competente y generando alto riesgo de desprendimiento de los bloques de arenisca. El proceso descrito se evidencia en los taludes 2, 3 y 5 tal como se muestra en la **Fotografía 10**.



Fotografía 10 Erosión diferencial, en estado avanzado, repetitiva a lo largo de la zona de interés. El proceso que se observa se presenta en el costado noroeste del área de estudio sobre un estrato blando que infrayace el nivel de areniscas coprolíticas.

4.3.2 Procesos de remoción en masa

Los procesos de remoción en masa, en general, son el producto de las condiciones geomecánicas de las unidades geológicas, aflorantes en el área, y de la topografía asociada a las laderas de las mismas, generando de acuerdo al grado de inestabilidad los diferentes procesos. Dentro del área de estudio se identificaron dos tipos de procesos de remoción en masa, que corresponden con caída de rocas y caída de detritos sobre la cara de los afloramientos de roca existentes.

Caída de rocas

Se originan por el humedecimiento y posterior colapso de bloques de rocas sobre la cara de un talud y posterior descenso mediante caída libre. Los factores detonantes principales son el intemperismo, vientos, lluvias o actividad sísmica, con la contribución de la gravedad (Escobar y Duque-Escobar, 2016).

En el área de estudio se identificaron varias caídas causadas principalmente por las altas precipitaciones, localizadas de la base de los taludes generados como frente de explotación de una antigua cantera que operaba en el barrio Delicias del Carmen.

En el talud rocoso de 12 m de altura aproximada localizado en la parte central del área de estudio cuya corona da contra la terraza intermedia de la antigua

explotación minera, se presenta una caída de rocas reciente cuyo largo aproximado es de 12 m y su espesor promedio de 2.50 metros, afectando un área aproximada de 90 m², se compone de bloques de arenisca friable, de forma angular a subangular, meteorizada, con diámetros hasta de 3.50 metros, desprendidos de la cara del talud constituido por una secuencia de areniscas, lodolitas y arcillolitas esta ultimas muy fracturadas, con ausencia de matriz. En el sitio se identifica un diaclasamiento paralelo a la superficie del talud, por el cual se produce infiltración de agua de escorrentía y consecuente aumento en la presión de poros, lo que sumado al desgaste de los materiales finos por acción de la erosión hídrica que genera la perdida de soporte de los materiales competentes, desencadena el proceso de remoción en masa, ver **Fotografía 11.** Son causas contribuyentes para la inestabilidad el crecimiento de las raíces de árboles de eucalipto de gran porte a través de los planos de diaclasamiento, las cuales alcanzan los 20 cm de diámetro y su acción se ve reflejada en la corona del talud, y la pendiente escarpada del talud (ver **Fotografía 12**).



Fotografía 11 Caída de bloques de roca arenisca de la Formación Arenisca de Labor localizada en la parte central del área de estudio en el barrio Delicias del Carmen.



Fotografía 12 Panorámica hacia las raíces de árboles del sector que contribuyeron con la generación del proceso de remoción en masa.

En base del talud 4 sobre la terraza intermedia se reconoce una caída de rocas antigua relacionada con el frente de explotación superior de la antigua cantera, la complejidad estructural del sitio, sumada a la pendiente escarpada, y el aporte de aguas de escorrentía, se consideran como principales factores contribuyentes, para la ocurrencia de este proceso. La zona en la que se acumularon los bloques de roca se encuentra cubierta por vegetación herbácea, pastos y rastrojo, tal como se muestra en la **Fotografía 13**. En la parte alta del talud se observan bloques inestables a causa del fracturamiento del macizo rocoso y la erosión diferencial que potencialmente podrían causar una nueva caída.



Fotografía 13 Caída de Bloques angulares de roca arenisca depositados en la terraza intermedia, desprendidos del talud superior al sur del área de estudio, la vegetación que cubre la zona evidencia la antigüedad del proceso.

Finalmente, en el talud 1 de 6 m de altura aproximada, localizado al costado noreste del área de interés se presenta una caída de detritos de forma angular, tamaño de diámetro hasta de 30 cm, que afecta una zona de 5 m de ancho, el espesor de la masa movilizada es de 1 m, que involucra materiales finos fracturados constituidos por lodolitas y arcillolitas (ver **Fotografía 14**). Este movimiento en masa limita contra la parte posterior de una de las viviendas del sector, donde se produce la acumulación de material. El proceso se presenta en una zona desprovista de vegetación y ocurrió como consecuencia de las precipitaciones y la pendiente abrupta de la ladera.



Fotografía 14 Proceso de remoción en masa menor, relacionada con caída de detritos, ubicado en la parte posterior de una de las viviendas del barrio Delicias del Carmen al noreste del área de estudio.

5 HIDROGEOLOGÍA

El área de estudio está ubicada en sobre rocas de la Formación Arenisca de Labor, la cual está constituida por una sucesión predominante de areniscas de grano fino a grueso, de color amarillento a blanco, algunas veces rojizas por presencia de óxidos de hierro, que se presenta en bancos potentes separados por estratos delgados de lodolitas y arcillolitas.

Predominan las areniscas de grano grueso que forman bancos de mayor espesor y donde es notoria la estratificación cruzada. Las areniscas son ortocuarcitas con matriz caolinítica que hace de ellas areniscas friables, por lo cual, las areniscas de esta unidad se clasifican como rocas con flujo esencialmente intergranular, sistemas acuíferos de discontinuos de extensión regional, de productividad moderada a baja (ver **Figura 13**). La Formación Areniscas de labor corresponde a areniscas cretácicas con un espesor promedio de 120 m que puede producir caudales del orden de 20 lps. A pesar de ser el acuífero más importante en el área, su explotación es limitada y localizada en aquellos lugares cerca a los afloramientos (Veloza J, 2013). Por otra parte, durante el recorrido de campo se identificó la presencia de algunas zonas de infiltración y zonas humedad, que pueden contribuir con la generación de procesos de inestabilidad.

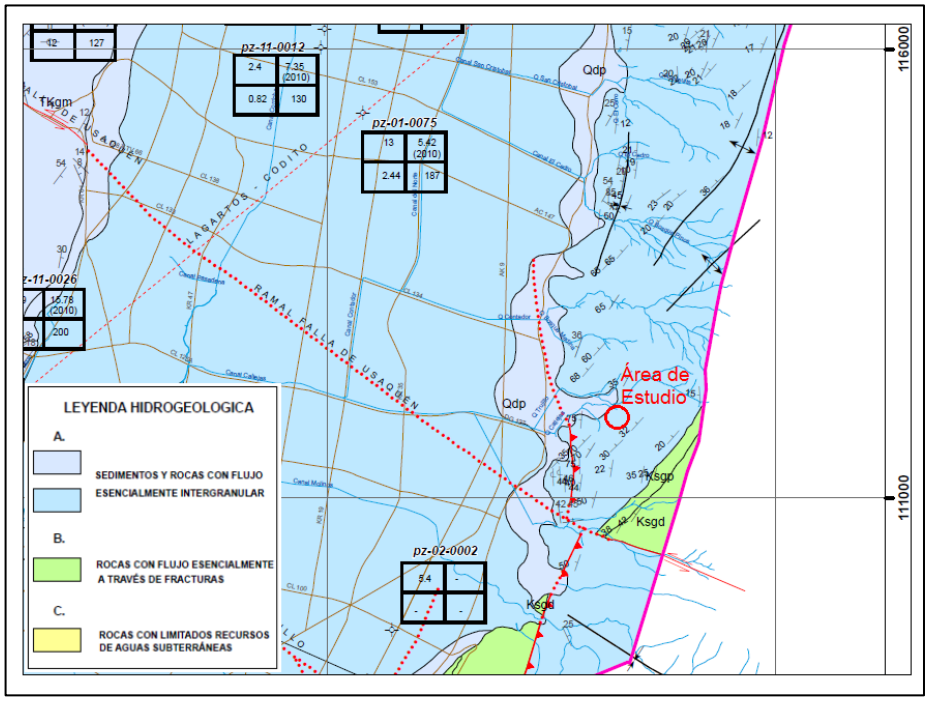


Figura 13 Mapa Hidrogeológico de la Sabana de Bogotá.
Fuente: Sistema de Modelamiento Hidrogeológico Distrito Capital, Secretaria Distrital del Ambiente - Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo, Jairo Alfredo Veloza Franco (2013)

De acuerdo con el mapa de isoyetas (ver 0) de precipitación anual, en la zona de estudio se precipitan alrededor de 800 mm/año, sin embargo, los resultados del balance hídrico calculan 100 mm/año, es decir, el 12.5% de la precipitación. En el área de estudio se estima que la recarga sucede en la parte alta de la ladera a través de discontinuidades, grietas y fracturas del macizo rocoso, principalmente (ver 0), no se evidenciaron zonas de descarga.

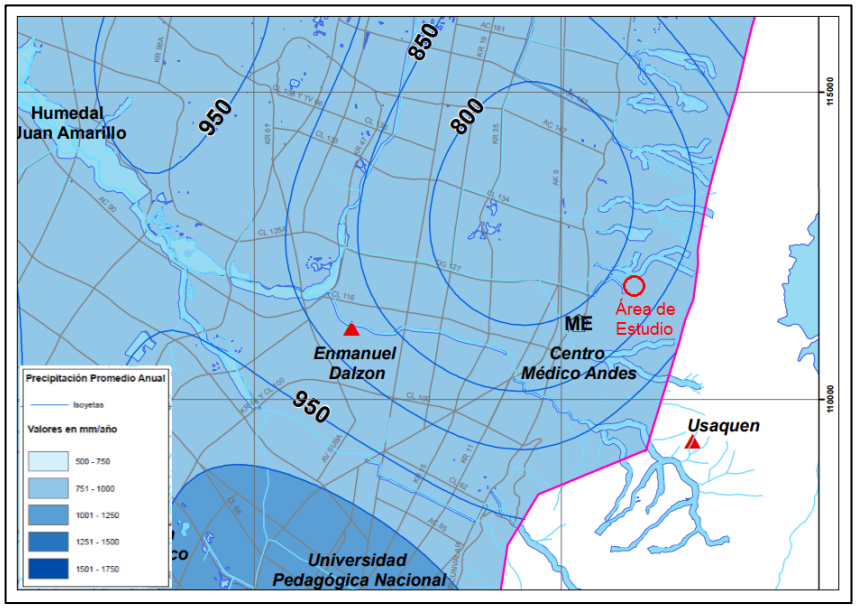


Figura 14 Isoyetas de precipitación total anual

Fuente: Sistema De Modelamiento Hidrogeológico Distrito Capital, Secretarí-a Distrital de Ambiente - Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo, Jairo Alfredo Veloza Franco 2013

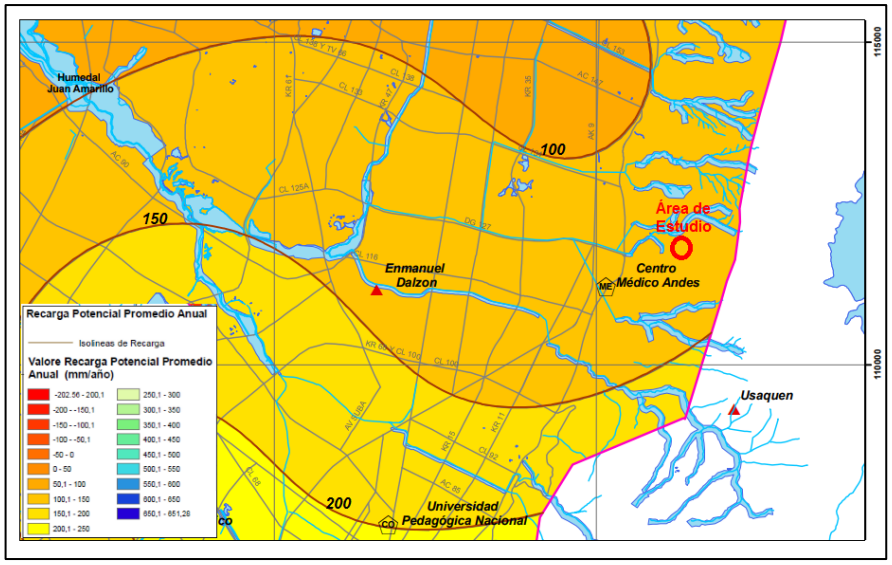


Figura 15 Recarga Potencial en la zona de estudio.

Fuente: Sistema De Modelamiento Hidrogeológico Distrito Capital, Secretarí-a Distrital de Ambiente - Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo, Jairo Alfredo Veloza Franco 2013

En el barrio Delicias del Carmen el valor de la izopieza calculada para la temporada

de precipitación alta es del orden de 2565 m.s.n.m., y el valor de la izopieza calculada para la temporada de precipitación baja es del orden de 2563 m.s.n.m. (ver **Fotografía 15**). Por lo anterior, y considerando las pendientes escarpadas a muy escarpadas de la superficie topográfica se estima que el nivel piezómetro en esta unidad se encuentra muy profundo (> 50 m de profundidad). Por lo tanto, para la evaluación de los procesos de deterioro del terreno en el área de estudio se recomienda utilizar condiciones de humedad baja en condiciones normales y moderada para condiciones extremas, puede ser mediante la adopción del factor Ru entre 0.1 y 0.4 respectivamente.

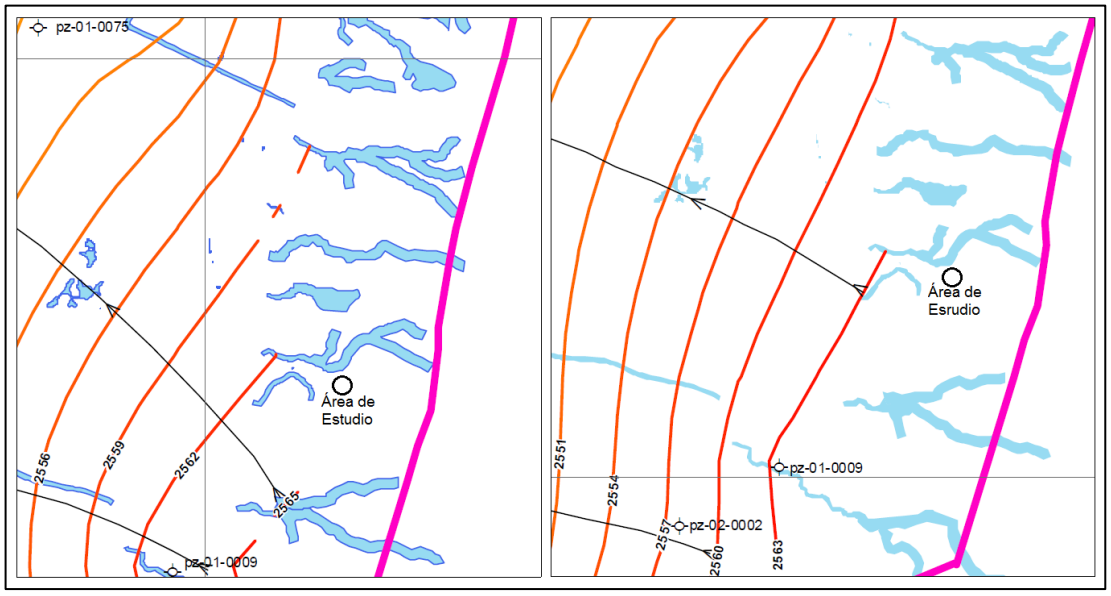


Figura 16 Izquierda: Isopiezas temporada de precipitación alta (1999 - 2010), Derecha: Isopiezas temporada de precipitación baja (1999 - 2010). Fuente: Sistema De Modelamiento Hidrogeológico Distrito Capital, Secretaría Distrital de Ambiente - Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo, Jairo Alfredo Veloza Franco 2013.

6 LEVANTAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

Con la finalidad de caracterizar el macizo rocoso se llevó a cabo el levantamiento de discontinuidades, sobre los afloramientos del talud en roca localizado en el barrio Delicias del Carmen, obteniendo información sobre los parámetros de las discontinuidades (ver **Fotografía 15**).

En los formatos de campo empleados para el levantamiento de discontinuidades se valoraron los parámetros de: Tipo de discontinuidad, espaciamiento, rugosidad, rumbo y buzamiento de los estratos, apertura, continuidad, resistencia, tipo de relleno entre diaclasas, presencia de agua y dirección (**Anexo 2**). En la **Tabla 6** se relaciona la información de discontinuidades levantada durante las visitas a campo, en total se levantaron 45 datos estructurales. Para efectos del análisis de ingeniería se dividió el área de interés en 5 zonas, de acuerdo con la dirección preferencial de cada talud.



Fotografía 15 Levantamiento de discontinuidades sobre la cara del talud 2 (izquierda) y sobre la cara del talud 5 (derecha).

Tabla 6 Relación de afloramientos rocosos donde se llevó a cabo el levantamiento de discontinuidades.

Talud	Coordenadas		Dirección del talud	Número de discontinuidades
	X	Y		
1	1005970	1011803	N19E/59NW	45
2	1005941	1011779	N82E/88NW	
3	1005903	1011813	N9W/83NE	
5	1005925	1011741	N76W/81NE	

6.1 Análisis preliminar de estabilidad por discontinuidades

Para el análisis preliminar de estabilidad se tuvo en cuenta el levantamiento de las discontinuidades sobre la cara de los taludes localizados a lo largo de la zona de interés en el barrio Delicias del Carmen, estadísticamente se obtuvieron los planos principales de las familias predominantes, que posteriormente son graficadas haciendo uso del estereograma propuesto por Hook & Brown. En la **Figura 17** se muestra la dirección de taludes tenidos en cuenta para el análisis de discontinuidades. De acuerdo con el levantamiento topográfico, se definieron 4 direcciones preferenciales de los taludes actuales, presentes en el área de estudio.

Dentro del estereograma se graficaron los planos de Estratificación, diaclasas maestras, planos de discontinuidades secundarias y el ángulo de fricción asumido para los materiales presentes en el sitio de 35°, analizando la estabilidad con respecto a la posición de los taludes actuales. En la **Figura 18** se presenta el análisis cinemático de los planos de diaclasas correspondientes al talud 1, la **Figura 19** presenta el análisis cinemático de los planos de diaclasas correspondientes al talud 2, la **Figura 20** presenta el análisis cinemático de los planos de diaclasas correspondientes al talud 3 y la **Figura 21** presenta el análisis cinemático de los planos de diaclasas correspondientes al talud 5. La **Tabla 7** a la **Tabla 10** relacionan los planos principales de las familias resultantes y la dirección preferencial de los taludes existentes.

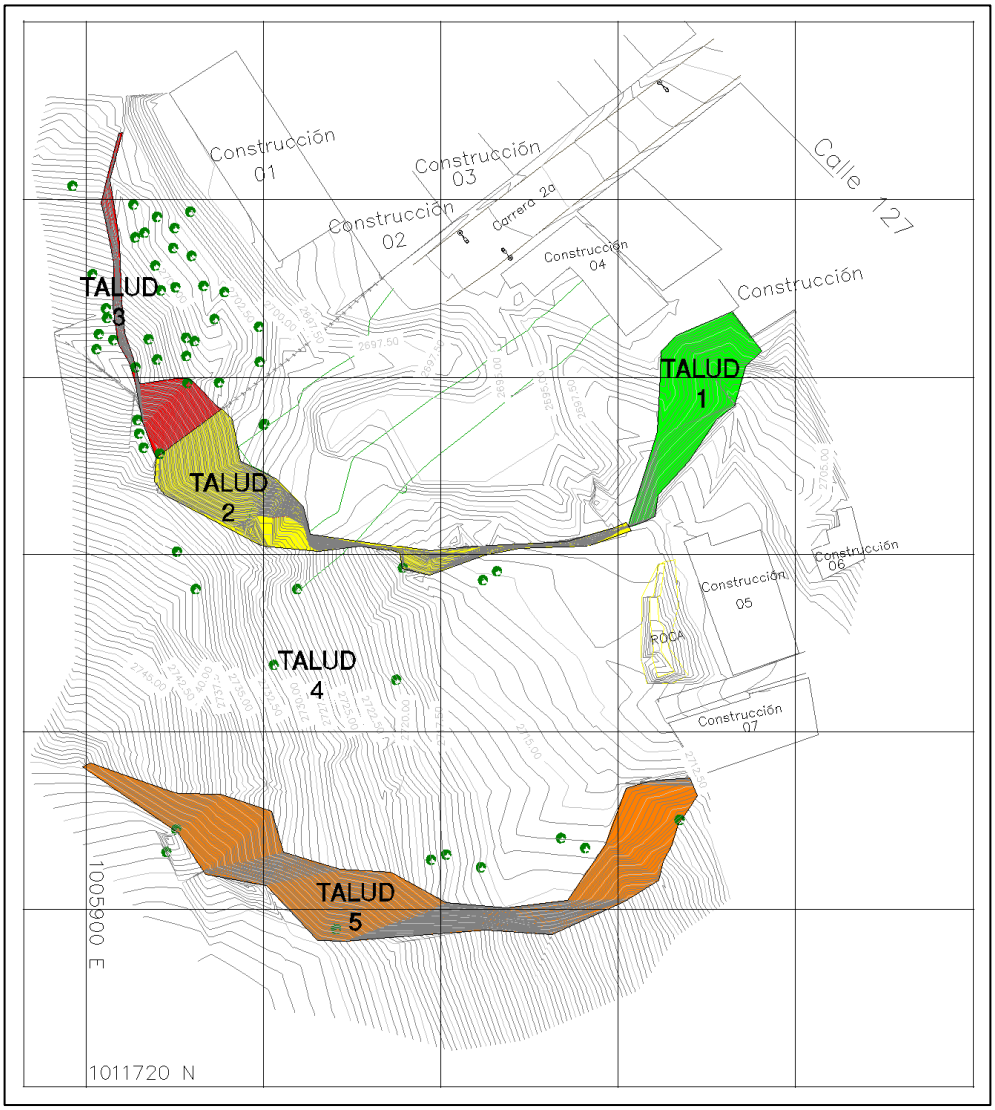


Figura 17 Localización de los taludes tenidos en cuenta para el análisis de estabilidad en el barrio Delicias del Carmen.

Tabla 7 Relación de planos principales de familias resultantes para el talud 1.

Tipo de discontinuidad	Rumbo	Buzamiento
Talud de análisis	N19E	59NW
Estratificación	N9E	69NW
Diaclasa maestra 1	N7W	60NE
Diaclasa maestra 2	N85E	70NW

Tipo de discontinuidad	Rumbo	Buzamiento
Diaclasa maestra 3	N66W	34SW
Diaclasa maestra 4	N76E	41SR

Tabla 8 Relación de planos principales de familias resultantes para el talud 2.

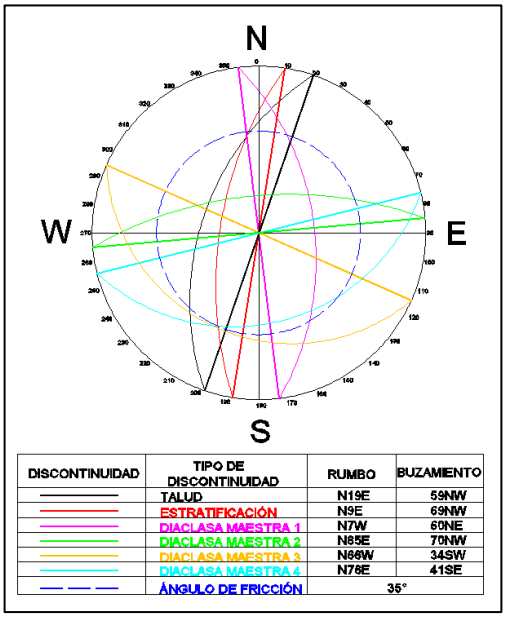
Tipo de discontinuidad	Rumbo	Buzamiento
Talud de análisis	N82E	88NW
Estratificación	N9E	69NW
Diaclasa maestra 1	N60W	52NE
Diaclasa maestra 2	N69E	65NW
Diaclasa maestra 3	N35W	54SW
Diaclasa maestra 4	N79E	55SE

Tabla 9 Relación de planos principales de familias resultantes para el talud 3.

Tipo de discontinuidad	Rumbo	Buzamiento
Talud de análisis	N9W	83NE
Estratificación	N9E	69NW
Diaclasa maestra 1	N58W	52NE
Diaclasa maestra 2	N64E	55NW

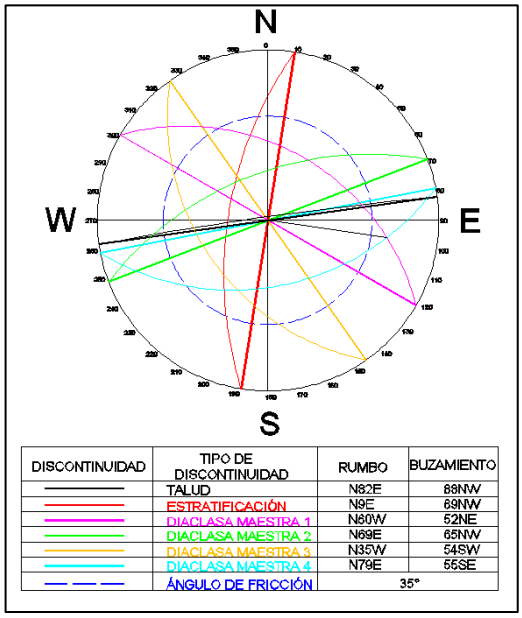
Tabla 10 Relación de planos principales de familias resultantes para el talud 5.

Tipo de discontinuidad	Rumbo	Buzamiento
Talud de análisis	N76W	81NE
Estratificación	N9E	69NW
Diaclasa maestra 1	N6W	49NE
Diaclasa maestra 2	N79E	83NW



DISCONTINUIDAD	TIPO DE DISCONTINUIDAD	RUMBO	BUZAMIENTO
	TALUD	N19E	59NW
	ESTRATIFICACIÓN	N9E	69NW
	DIACLASA MAESTRA 1	N7W	60NE
	DIACLASA MAESTRA 2	N85E	70NW
	DIACLASA MAESTRA 3	N66W	34SW
	DIACLASA MAESTRA 4	N76E	41SE
	ÁNGULO DE FRICCIÓN	35°	

Figura 18 Representación estereográfica de las familias de discontinuidades resultante para el talud 1.



DISCONTINUIDAD	TIPO DE DISCONTINUIDAD	RUMBO	BUZAMIENTO
	TALUD	N82E	88NW
	ESTRATIFICACIÓN	N9E	69NW
	DIACLASA MAESTRA 1	N80W	52NE
	DIACLASA MAESTRA 2	N69E	65NW
	DIACLASA MAESTRA 3	N35W	54SW
	DIACLASA MAESTRA 4	N79E	55SE
	ÁNGULO DE FRICCIÓN	35°	

Figura 19 Representación estereográfica de las familias de discontinuidades resultante para el talud 2.

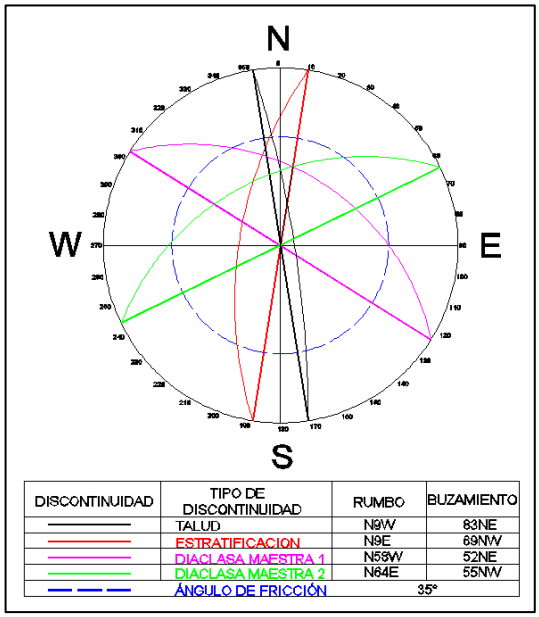


Figura 20 Representación estereográfica de las familias de discontinuidades resultante para el talud 3.

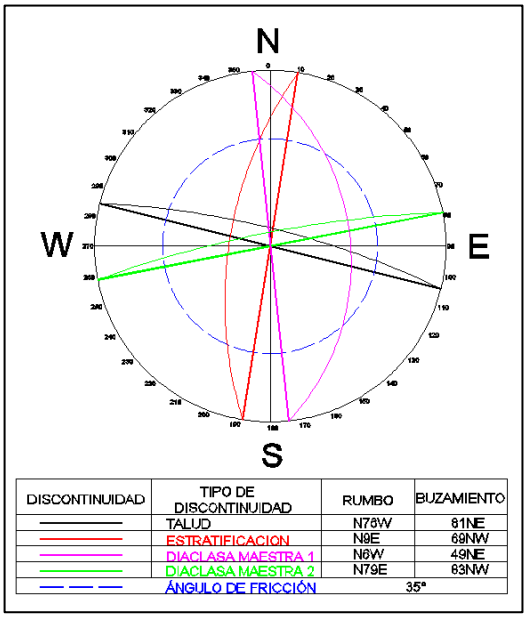
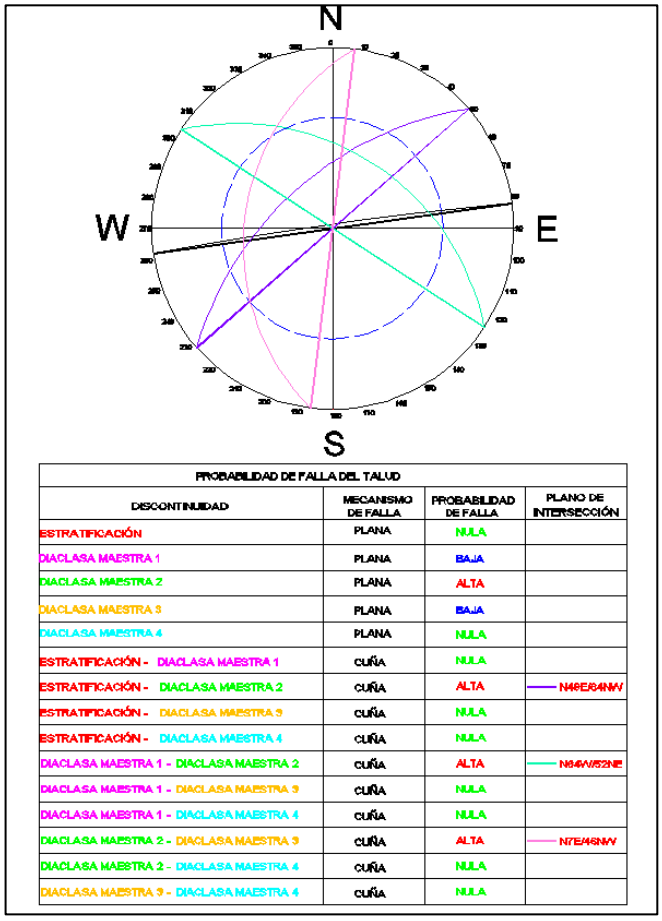


Figura 21 Representación estereográfica de las familias de discontinuidades resultante para el talud 5.

Una vez graficadas las familias principales de las discontinuidades para los taludes analizados, se procede con la identificaron de los planos que eventualmente podrían

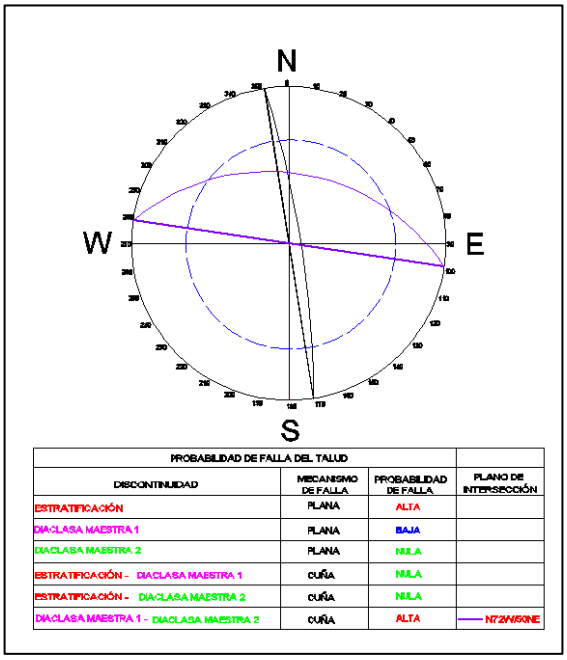
provocar falla plana, falla en cuña o falla por volcamiento respectivamente para su posterior análisis de estabilidad. En la **Figura 22**, **Figura 23** y **Figura 24** se presenta el análisis preliminar de estabilidad representando las intersecciones de las discontinuidades que podrían provocar la falla en los taludes analizados bajo condiciones actuales.



PROBABILIDAD DE FALLA DEL TALUD

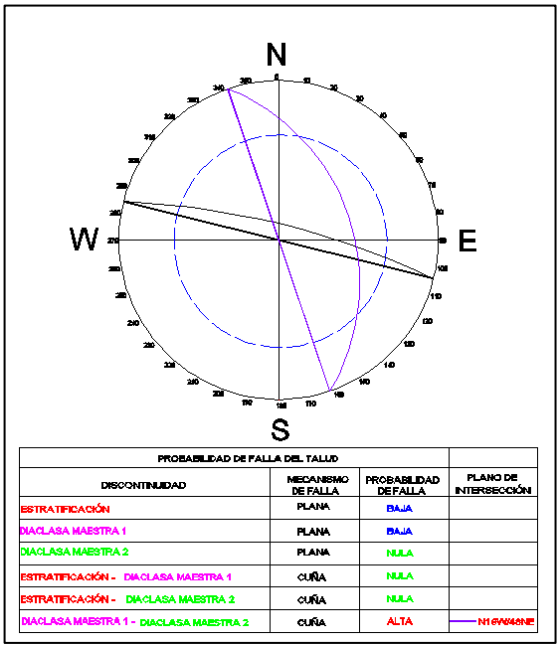
DISCONTINUIDAD	MECANISMO DE FALLA	PROBABILIDAD DE FALLA	PLANO DE INTERSECCIÓN
ESTRATIFICACIÓN	PLANA	NULA	
DIACLASA MAESTRA 1	PLANA	BAJA	
DIACLASA MAESTRA 2	PLANA	ALTA	
DIACLASA MAESTRA 3	PLANA	BAJA	
DIACLASA MAESTRA 4	PLANA	NULA	
ESTRATIFICACIÓN - DIACLASA MAESTRA 1	CUÑA	NULA	
ESTRATIFICACIÓN - DIACLASA MAESTRA 2	CUÑA	ALTA	N46E/84NW
ESTRATIFICACIÓN - DIACLASA MAESTRA 3	CUÑA	NULA	
ESTRATIFICACIÓN - DIACLASA MAESTRA 4	CUÑA	NULA	
DIACLASA MAESTRA 1 - DIACLASA MAESTRA 2	CUÑA	ALTA	N64W/52NE
DIACLASA MAESTRA 1 - DIACLASA MAESTRA 3	CUÑA	NULA	
DIACLASA MAESTRA 1 - DIACLASA MAESTRA 4	CUÑA	NULA	
DIACLASA MAESTRA 2 - DIACLASA MAESTRA 3	CUÑA	ALTA	N7E/46NW
DIACLASA MAESTRA 2 - DIACLASA MAESTRA 4	CUÑA	NULA	
DIACLASA MAESTRA 3 - DIACLASA MAESTRA 4	CUÑA	NULA	

Figura 22 Representación estereográfica delos planos de intersección de las discontinuidades con probabilidad de falla para el talud 2.



PROBABILIDAD DE FALLA DEL TALUD			
DISCONTINUIDAD	MECANISMO DE FALLA	PROBABILIDAD DE FALLA	PLANO DE INTERSECCIÓN
ESTRATIFICACIÓN	PLANA	ALTA	
DIACLASA MAESTRA 1	PLANA	BAJA	
DIACLASA MAESTRA 2	PLANA	NULA	
ESTRATIFICACIÓN - DIACLASA MAESTRA 1	CUÑA	NULA	
ESTRATIFICACIÓN - DIACLASA MAESTRA 2	CUÑA	NULA	
DIACLASA MAESTRA 1 - DIACLASA MAESTRA 2	CUÑA	ALTA	N72W/50NE

Figura 23 Representación estereográfica delos planos de intersección de las discontinuidades con probabilidad de falla para el talud 3.



PROBABILIDAD DE FALLA DEL TALUD			
DISCONTINUIDAD	MECANISMO DE FALLA	PROBABILIDAD DE FALLA	PLANO DE INTERSECCIÓN
ESTRATIFICACIÓN	PLANA	BAJA	
DIACLASA MAESTRA 1	PLANA	BAJA	
DIACLASA MAESTRA 2	PLANA	NULA	
ESTRATIFICACIÓN - DIACLASA MAESTRA 1	CUÑA	NULA	
ESTRATIFICACIÓN - DIACLASA MAESTRA 2	CUÑA	NULA	
DIACLASA MAESTRA 1 - DIACLASA MAESTRA 2	CUÑA	ALTA	N16W/46NE

Figura 24 Representación estereográfica delos planos de intersección de las discontinuidades con probabilidad de falla para el talud 5.

Talud 1: Con base en el análisis cinemático de estabilidad y con los planos de

discontinuidad levantados, este talud, localizado al extremo noreste del área de estudio, se considera estable, dado que la probabilidad de ocurrencia de falla tanto plana como en cuña son nulas a muy baja probabilidad.



Figura 25 Vista del talud No.1

Talud 2: La probabilidad de ocurrencia de falla plana es alta con el plano de la diaclasa maestra 2 (N69E/88NW), existe probabilidad de falla en cuña con los planos de la estratificación (N9E/69NW) y la diaclasa maestra 2 (N69E/ 65NW) formando un plano de falla con dirección N49E/64NW; entre la diaclasa maestra 1 (N60W/ 52NE) y la diaclasa maestra 2 (N69E/ 65NW) formando un plano de falla con dirección (N64W/52NE); finalmente entre la diaclasa maestra 2 (N69E/ 65NW) y la diaclasa maestra 3 (N35W/54SW) formando un plano de falla con dirección (N7E/46NW). De acuerdo con lo anterior, estos planos se consideran críticos razón por la cual se realizará el análisis de estabilidad teniendo en cuenta la dirección del talud actual y considerando las medidas de protección.



Figura 26 Talud No.2 vista frontal

Talud 3: La probabilidad de ocurrencia de falla plana es alta con el plano de la estratificación (N9E/69NW), existe probabilidad de falla en cuña con los planos de la diaclasa maestra 1 (N58W/52NE) y la diaclasa maestra 2 (N64E/55NW) formando un plano de falla con dirección N72W/50NE. De acuerdo con lo anterior, estos planos se consideran críticos razón por la cual se realizará el análisis de estabilidad teniendo en cuenta la dirección del talud actual y considerando las medidas de protección.

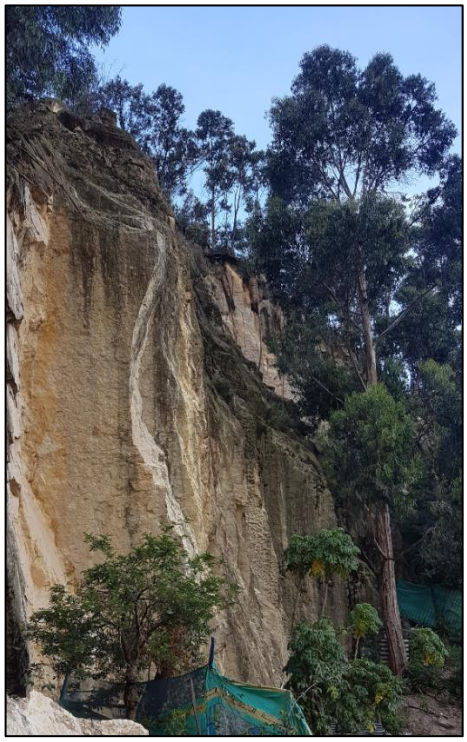


Figura 27. Vista talud No. 3

Talud 4: Como se mencionó**,** el talud 4 es una ladera uniforme en la que no existen afloramientos rocosos, razón por la cual no fue posible llevar a cabo levantamiento de discontinuidades en el mismo. Por lo anterior este talud no se incluyó en el análisis cinemático de estabilidad.

Talud 5: La probabilidad de ocurrencia de falla plana en este talud es baja, existe probabilidad de falla en cuña con los planos de la diaclasa maestra 1 (N6W/ 49NE) y la diaclasa maestra 2 (N79E/83NW) formando un plano de falla con dirección N19W/48NE. De acuerdo con lo anterior, estos planos se consideran críticos razón por la cual se realizará el análisis de estabilidad teniendo en cuenta la dirección del talud actual y considerando las medidas de protección.



Figura 28. Vista de los taludes 4 y 5

7 GEOTECNIA

7.1 Análisis de afectación de construcciones por caída de bloques y medidas de remediación

Para evaluar la posible afectación de las viviendas existentes en la zona por la caída de bloques se plantean secciones de análisis de acuerdo con lo observado en campo acerca del posible origen de bloques que puedan afectar a las viviendas. Además, se tiene en cuenta el tipo de materiales existentes superficialmente y coberturas existentes en cada zona.

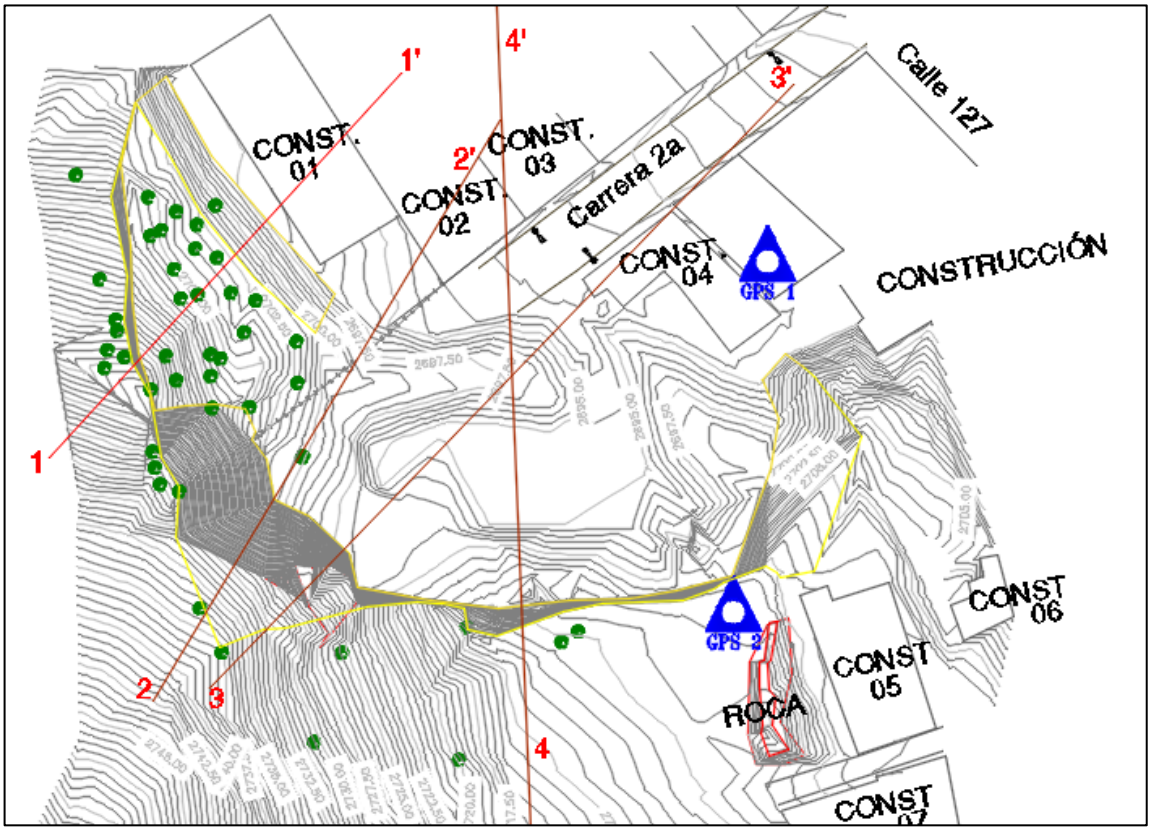


Figura 29 Secciones de análisis para evaluar efecto de caídas de bloques y posible afectación sobre viviendas

A continuación, se enumera las secciones planteadas y para cuales construcciones aplica el análisis realizado:

- Sección 1 – 1’. Análisis para verificar posible afectación de la construcción 1.
- Sección 2 – 2’. Análisis para verificar posible afectación de las construcciones 2 y 3.
- Sección 3 – 3’. Análisis para verificar posible afectación de las construcciones 3 y 4.
- Sección 4 – 4’. Análisis para verificar posible afectación de las construcciones 2 y 3.

La dimensión de los bloques con potencial inestable identificados en la parte alta del talud y dimensionados en el sitio se muestra en la siguiente figura. Además, en la siguiente tabla se resume el peso de los bloques definiendo el valor promedio y la desviación estándar para realizar el análisis de viaje (en el software RocFall) en caso de caída considerando un peso de 2.6 t/m3. El valor promedio y la desviación estándar se utiliza para la totalidad de los análisis.

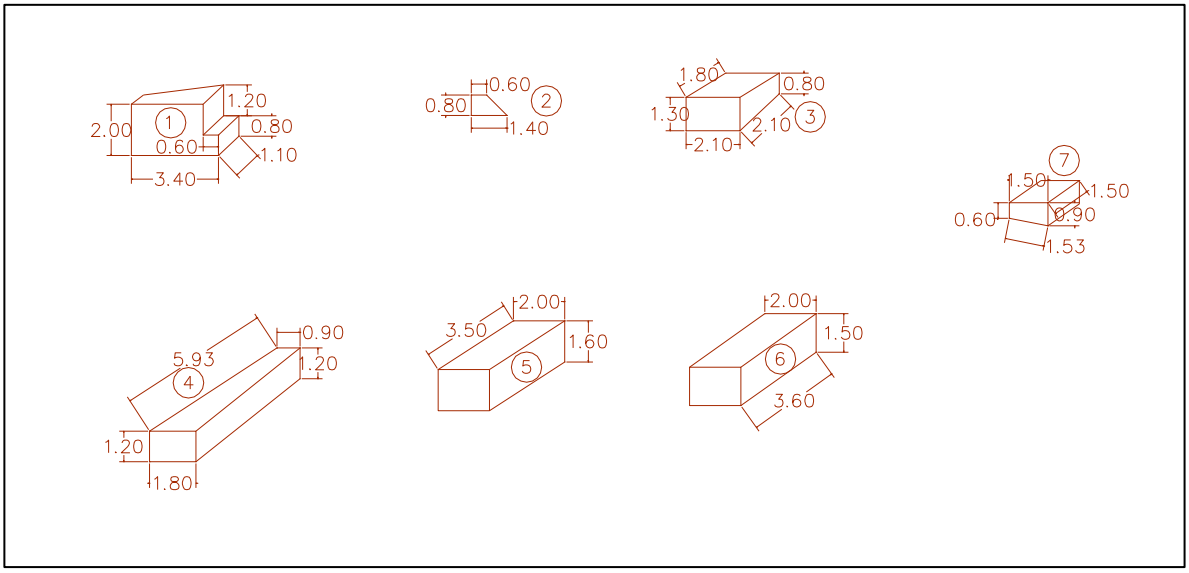


Figura 30 Dimensión de los bloques tomada en campo

Tabla 11 Definición de peso de bloques para análisis

BLOQUE	DIMENSIÓN 1	DIMENSIÓN 2	DIMENSIÓN 3	VOLUMEN	PESO	PESO
	m	m	m	m3	toneladas	kilogramos
1	2	3.4	1.1	7.5	19.4	19448
2	0.8	0.8	1	0.6	1.7	1664
3	2.1	1.95	1.15	4.7	12.2	12244
4	1.35	6	1.2	9.7	25.3	25272
5	3.5	2	1.6	11.2	29.1	29120
6	2	1.5	3.6	10.8	28.1	28080
7	0.75	1.5	1.5	1.7	4.4	4388
				PROMEDIO	17.2	17174
				MÁXIMO	29.1	29120
				MÍNIMO	1.7	1664
				DESV. EST	11.3	11260

7.1.1 Sección 1 – 1’

En la siguiente figura se muestra el perfil de estudio real en el sector de la sección 1-1’. En la parte baja se muestra la ubicación de la vivienda. De acuerdo con el análisis realizado de un total de 100 bloques analizados llegan hasta los linderos de la vivienda 62 bloques.

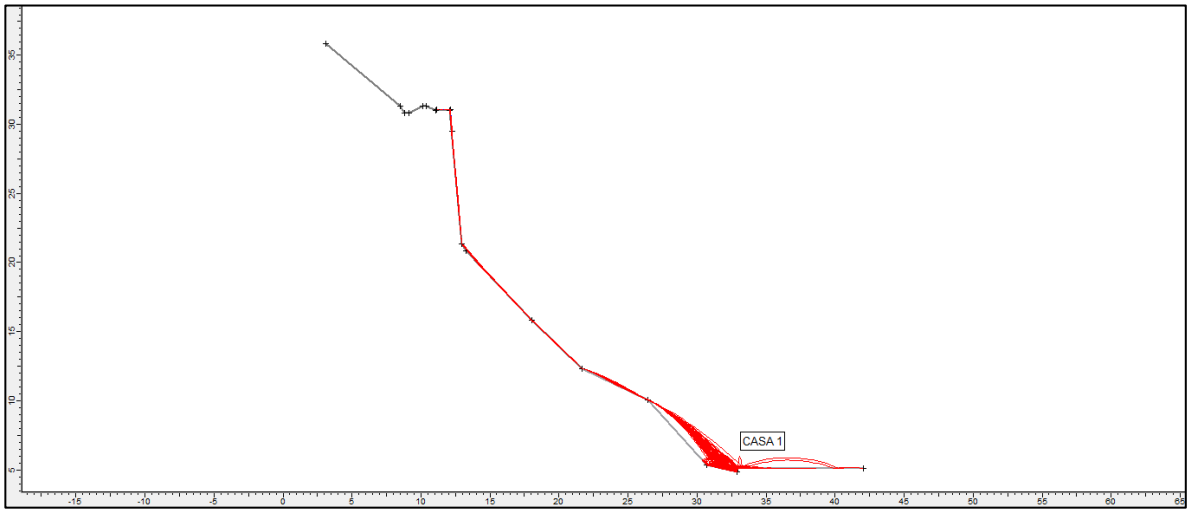


Figura 31 Sección 1-1’. Análisis de caída de bloques para la construcción 1.

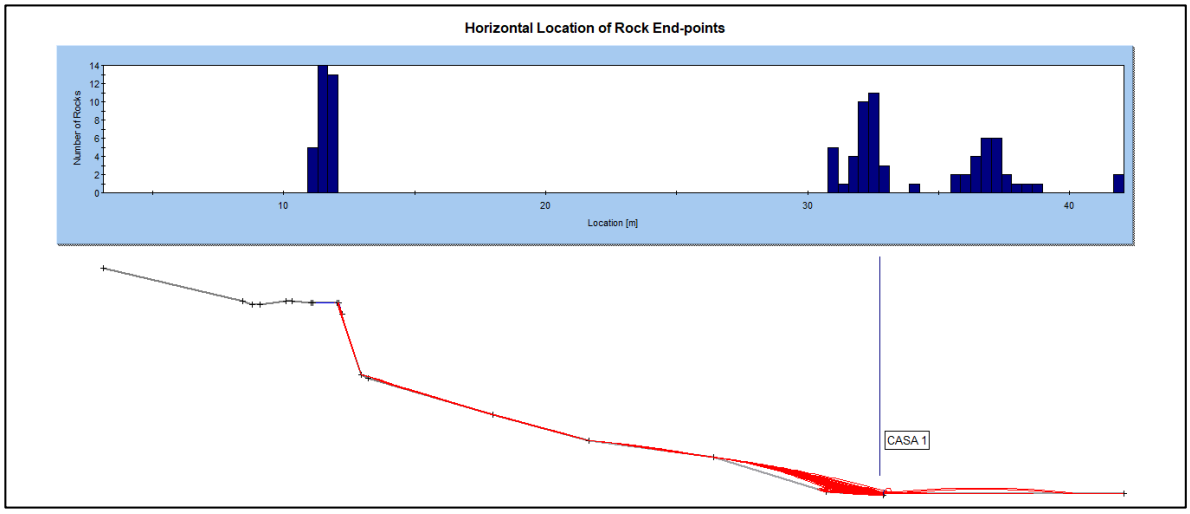


Figura 32 Sección 1-1'. Histograma de posible ubicación de bloques al caer desde la parte alta de la ladera para la casa 1.

7.1.2 Sección 2 – 2'

En la siguiente figura se muestra el perfil de estudio real en el sector de la sección 2-2'. En la parte baja se muestra la ubicación de las viviendas. De acuerdo con el análisis realizado de un total de 100 bloques analizados llegan hasta los linderos de las viviendas 100 bloques.

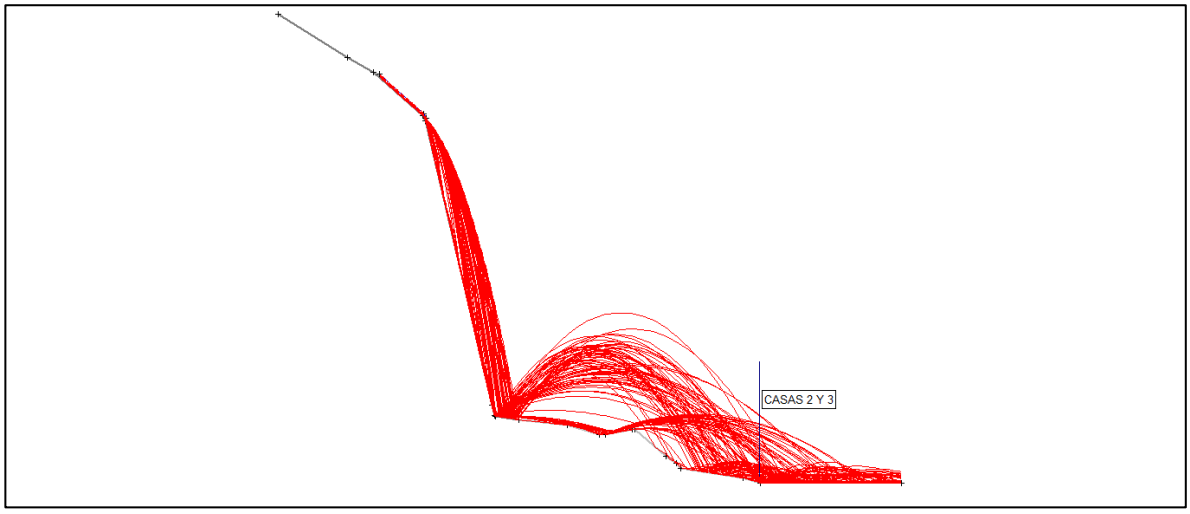


Figura 33 Sección 2-2'. Análisis de caída de bloques para las casas 2 y 3.

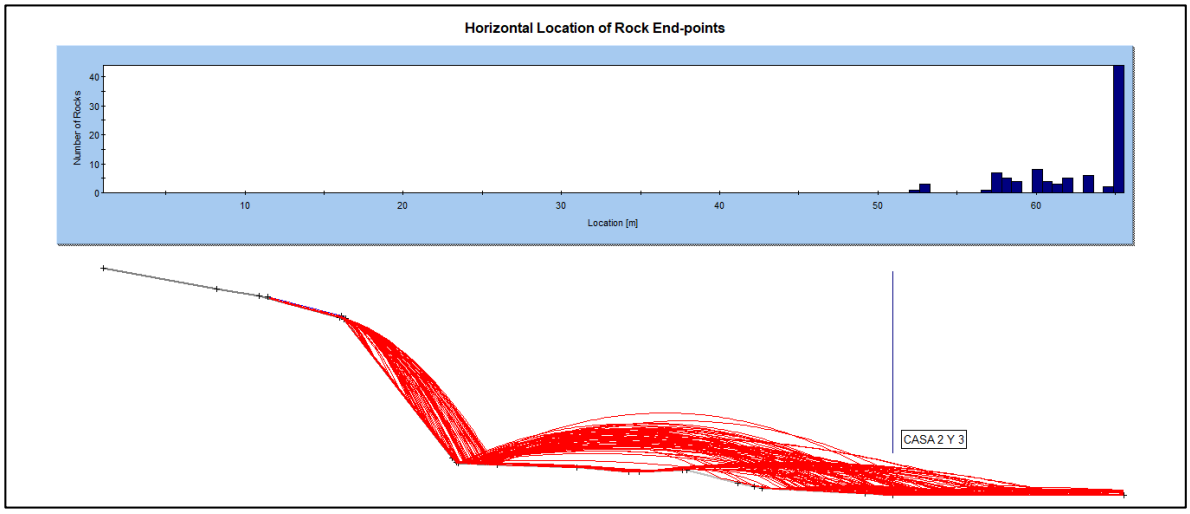


Figura 34 Sección 2-2'. Histograma de posible ubicación de bloques al caer desde la parte alta de la ladera para las casas 2 y 3.

7.1.3 Sección 3 – 3'

En la siguiente figura se muestra el perfil de estudio real en el sector de la sección 3-3'. En la parte baja se muestra la ubicación de las viviendas. De acuerdo con el análisis realizado de un total de 100 bloques analizados llegan hasta los linderos de las viviendas 9 bloques.

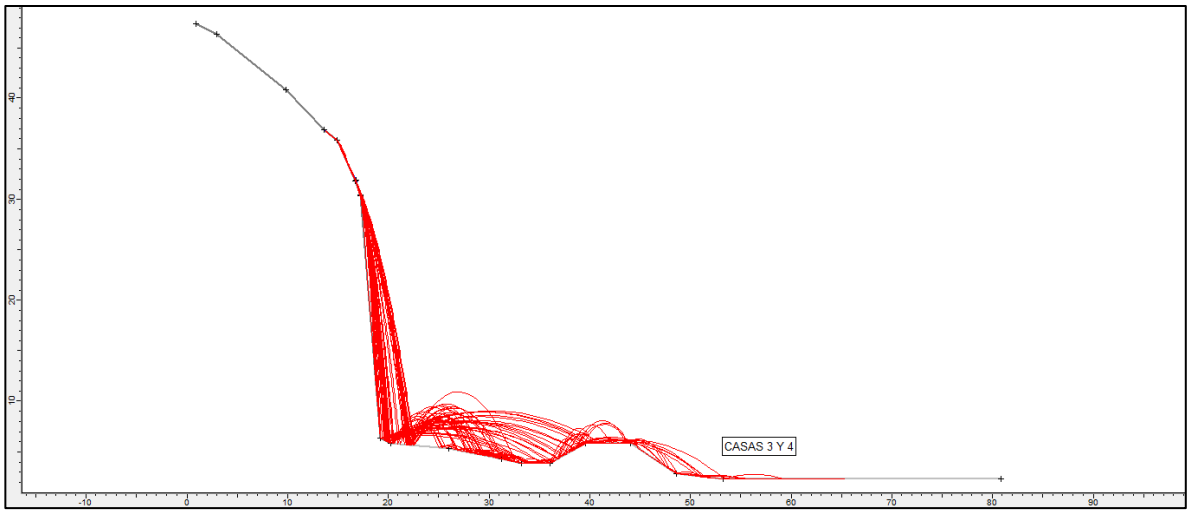


Figura 35 Sección 3-3'. Análisis de caída de bloques para las casas 3 y 4.

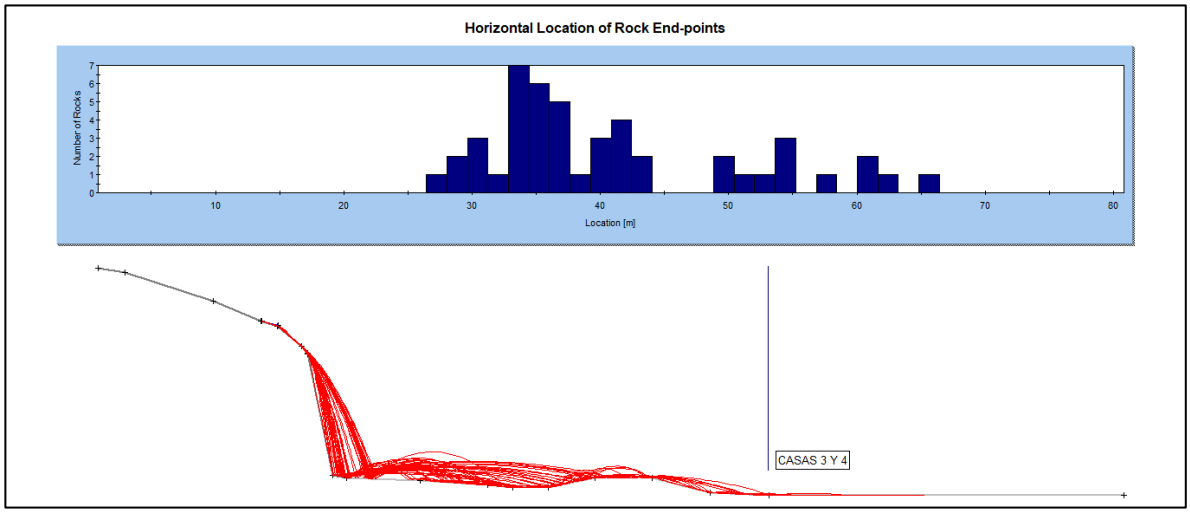


Figura 36 Sección 3-3'. Histograma de posible ubicación de bloques al caer desde la parte alta de la ladera para las casas 3 y 4.

7.1.4 Sección 4 – 4'

En la siguiente figura se muestra el perfil de estudio real en el sector de la sección 4-4'. En la parte baja se muestra la ubicación de las viviendas. De acuerdo con el análisis realizado de un total de 100 bloques analizados ninguno sobre pasa el dique conformado en la parte baja de la ladera.

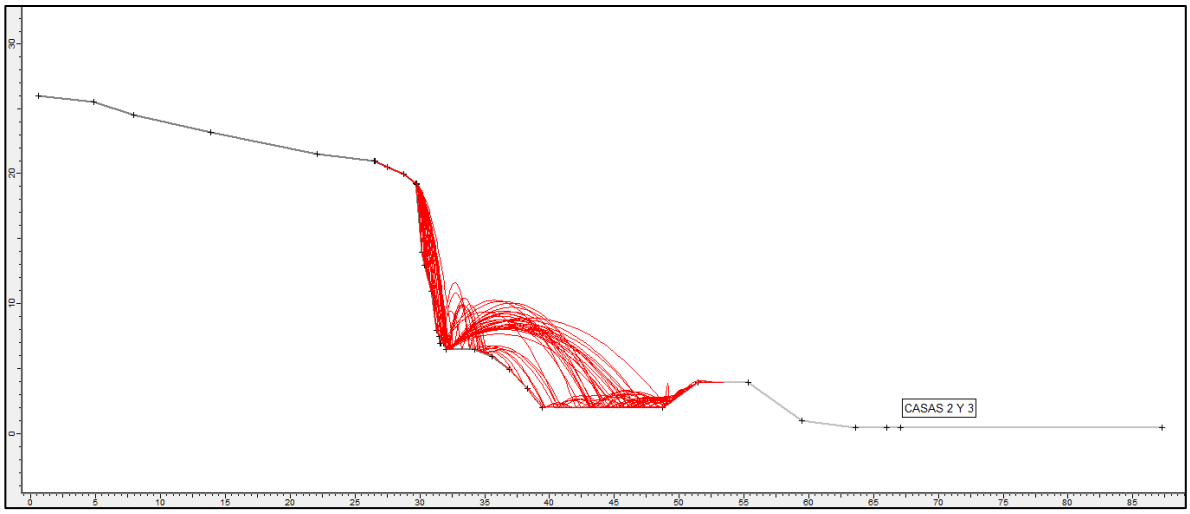


Figura 37 Sección 4-4'. Análisis de caída de bloques para las casas 2 y 3.

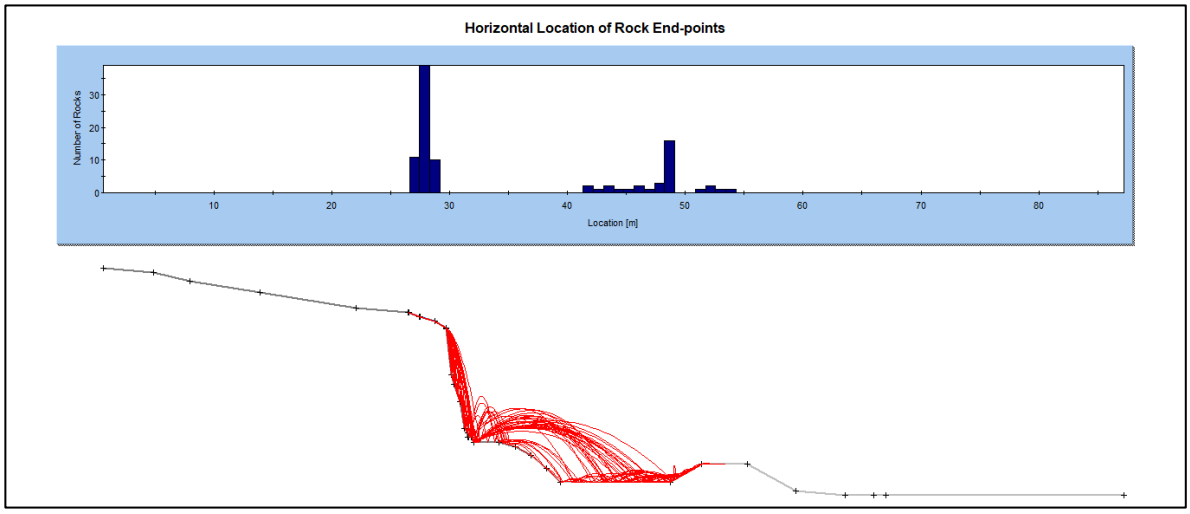


Figura 38 Sección 4-4'. Histograma de posible ubicación de bloques al caer desde la parte alta de la ladera para las casas 2 y 3.

7.2 Medidas a implementar para reducir el riesgo por la caída de bloques.

Una vez identificados los bloques potencialmente inestables se realizó un análisis en función de la connotación de riesgo que genera su posible desprendimiento y llegada a las construcciones. De esta manera se presentan las medidas de emergencia (corto plazo) y las recomendaciones (mediano y largo plazo)

En la **Figura 39** se muestra las zonas para las cuales se realiza el análisis, el área verde corresponde al sector de las obras de emergencia, y el área azul al sector de las obras a mediano y/o largo plazo.

Se considera como obra de emergencia las marcadas en color verde por la presencia de bloques que se pueden desprender y afectar directamente a las viviendas. Esta condición desde el inicio de la emergencia se conoce y por esta razón el IDIGER construyo un terraplén con material del sitio.

En los sitios marcados con color azul en planta se observan sectores con condiciones similares a las que presentaron fallas recientemente sin que a la fecha se hubiese generado una emergencia. Las condiciones geológicas, de intervención antrópica y de presencia de arboles son similares a la zona donde el material cayó sobre los vehículos pero de momento no muestran actividad. Por esta razón se considera que las obras se pueden plantear a mediano y largo plazo.

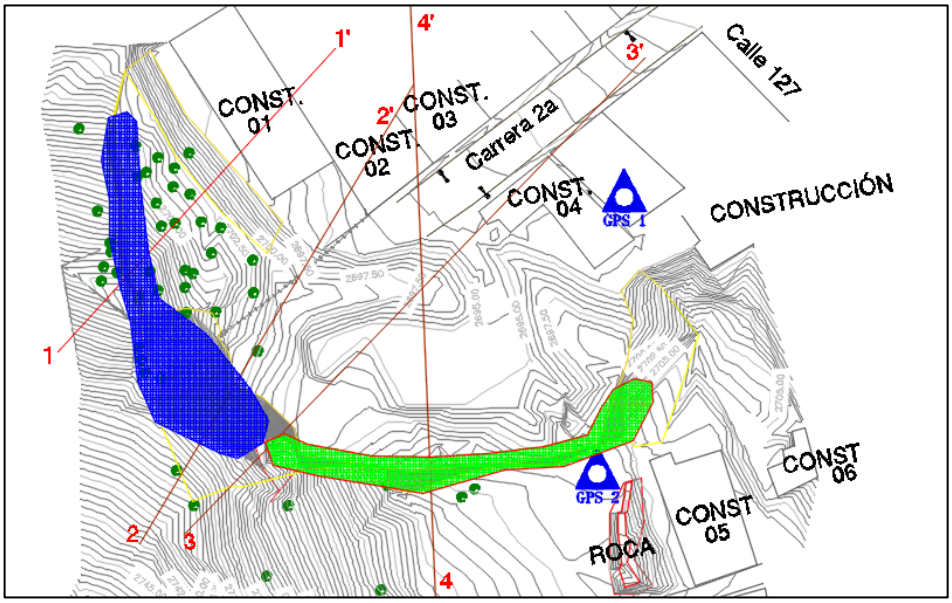


Figura 39 Sector verde donde es posible la caída de bloques controladamente por la existencia del terraplén y en azul el sector donde no existe estructuras que amortigüen la caída de bloques.

En la **Figura 39**, el área de color azul corresponde al sector donde no existe un terraplén que pueda recibir los bloques que caigan y en color rojo el área que posee el terraplén en la parte baja donde se pueden generar condiciones de seguridad para la caída de bloques.

7.2.1 Obras de emergencia (corto plazo)

Altura y conformación del Terraplén

El terraplén tiene una altura variable debido al espacio disponible y configuración durante construcción. El terraplén conformara un barrera para el posible desprendimiento de bloques.

La línea roja en la siguiente figura muestra la base del terraplén donde se observa un espacio generado posiblemente para permitir el paso de maquinaria. Hacia las esquinas de cada uno de los terraplenes construidos la cota disminuye y de acuerdo con los análisis previos mostrados se requiere garantizar al menos llegar hasta la cota 2698.

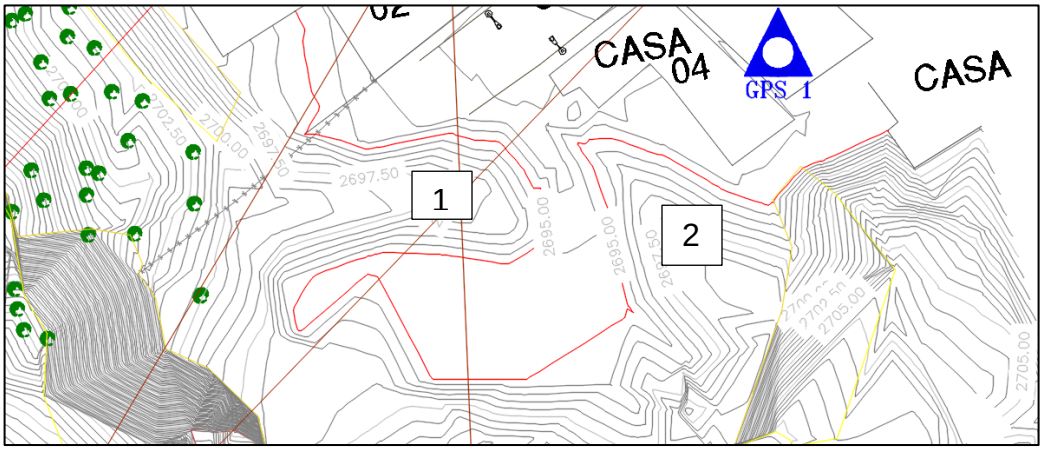


Figura 40 Distribución de los dos terraplenes construidos como estructura para prevenir la caída de bloques

En la **Figura 40**, la área delimitada por la línea de color rojo es área que posee el terraplén en la parte baja donde se pueden generar condiciones de seguridad para la caída de bloques.

Retiro de bloques con potencial de inestabilidad identificados en campo

De acuerdo con los análisis previos los bloques con su tamaño actual al caer pueden afectar directamente las construcciones aledañas.

Para realizar el procedimiento de dejar caer los bloques se realizan las siguientes precisiones:

En el sector donde se encuentra el terraplén se requiere generar las condiciones para que las condiciones del suelo del sitio ayuden a amortiguar (absorción de energía) la caída de los bloques. Se propone conformar una zona con material tipo rajón para minimizar el rebote de los bloques. Por lo cual se propone ubicar entre el terraplén y el talud material tipo arena o grava suelta o rajón. En la siguiente figura se muestra su efecto. Es de aclarar que el análisis considera bloques de 0.6x0.6x0.6 m.

De acuerdo con experiencias previas los bloques se pueden llevar hasta un tamaño variable entre 0.5x0.5x0.5 m y 0.6x0.6x0.6 m. Los análisis se realizan con estas dimensiones debido a la facilidad de movilizarlos por su peso y dimensión. Mover los bloques existentes de hasta 17 toneladas de peso no se considera viable.

En la siguiente figura se observa que los bloques reducidos superan el terraplén. Sin embargo, al incluir por ejemplo arena o grava en el foso los bloques caen y no

superan el terraplén.

Es de aclarar que todas estas actividades de reducir los bloques en el sitio con altas pendientes aledañas, suelos irregulares e inestabilidad al moverse requerirán de personal especializado en montañismo, líneas de vida y la asesoría correspondiente para realizar el procedimiento.

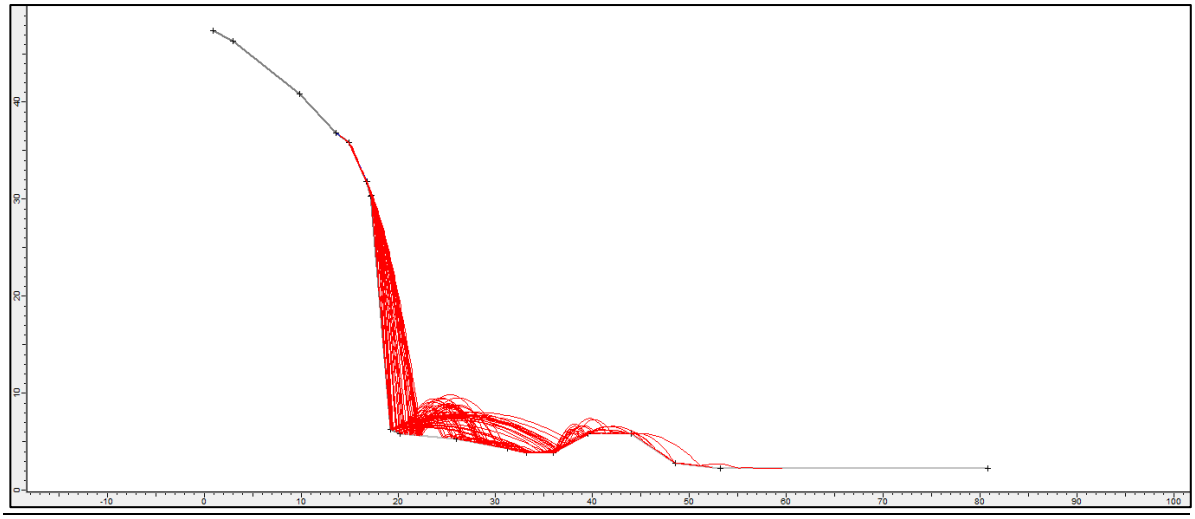


Figura 41 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. Sección 3 - 3.

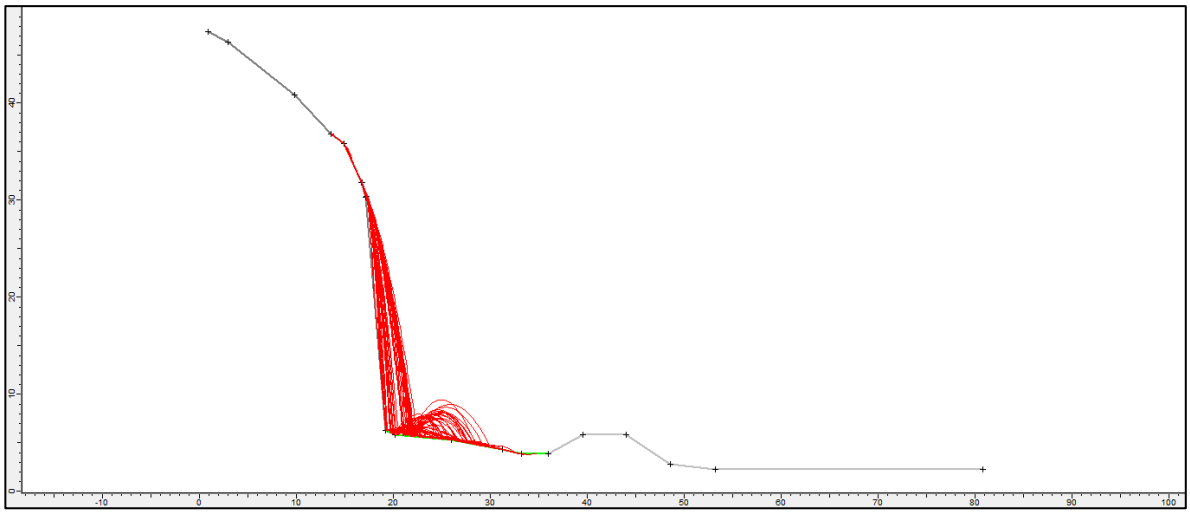


Figura 42 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. Sección 3 - 3. Inclusión de arenas y gravas sueltas en la parte trasera del dique.

7.2.2 Recomendaciones (mediano y largo plazo)

Retiro de bloques con potencial de inestabilidad

Es de aclarar que por fuera del área del terraplén (secciones 3 y 4) no se identifican bloque específicos con potencial de caída. Debido a las condiciones similares de los sectores aledaños con el sector donde se dio la caída de bloques se asumen que pueden existir bloques con potencial de caída y debido a las pendientes abruptas y el riesgo de caída que existe en el sector no fue posible una identificación precisa de bloques en campo, se realiza un análisis evaluando los efectos de similares características a los identificados en la zona por la presencia de viviendas hacia la base de la ladera. Por esta condición se realizan análisis en la sección 1-1 y 2-2 ubicadas hacia el sur del sitio de estudio con el objetivo de generar recomendaciones en todo el sector.

Una primera opción es disponer de mallas y cables que permitan soportar la caída de los bloques que se plantea desprender desde la parte alta del talud.

En las secciones 1 y 2 se evalúa la caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m con un peso de 0.5 toneladas o 500 kilogramos.

En la sección 1 de los 100 bloques del tamaño reducido al caer un total de 77 bloques llegan hasta las construcciones.

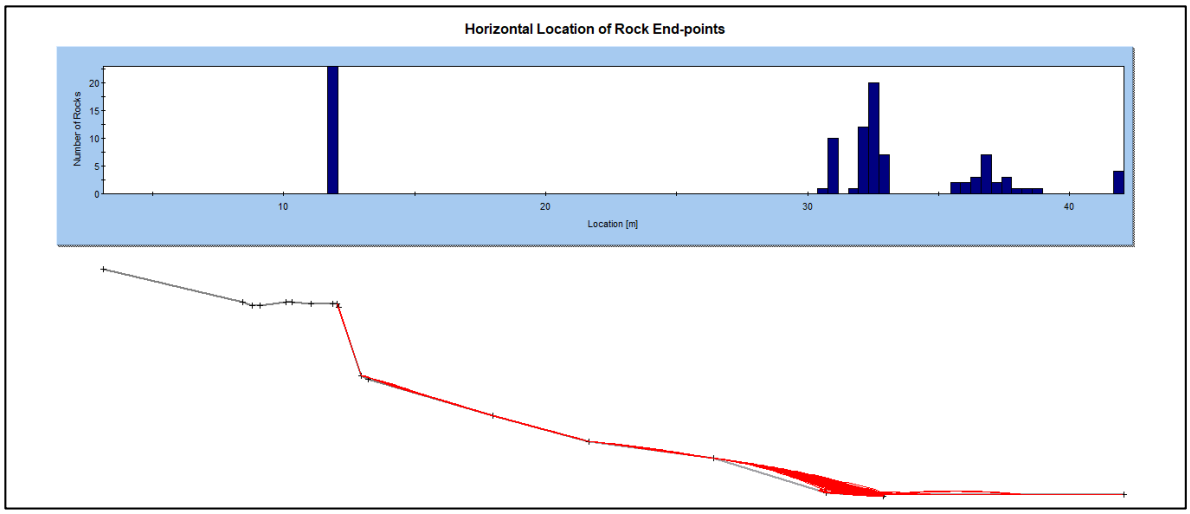


Figura 43 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. Sección 1 -1.

Al incluir una barrera de 1.5 metros de altura se logra contenerla totalidad de los bloques.

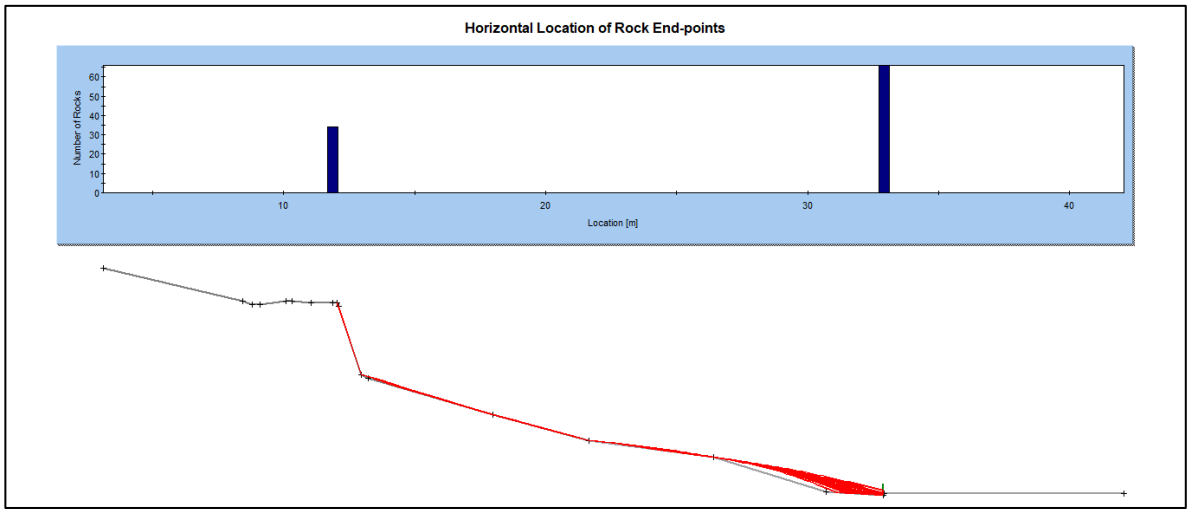


Figura 44 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. incluida una barrera de 1.5 m de altura.

La barrera debe lograr resistir la energía mostrada en la siguiente figura.

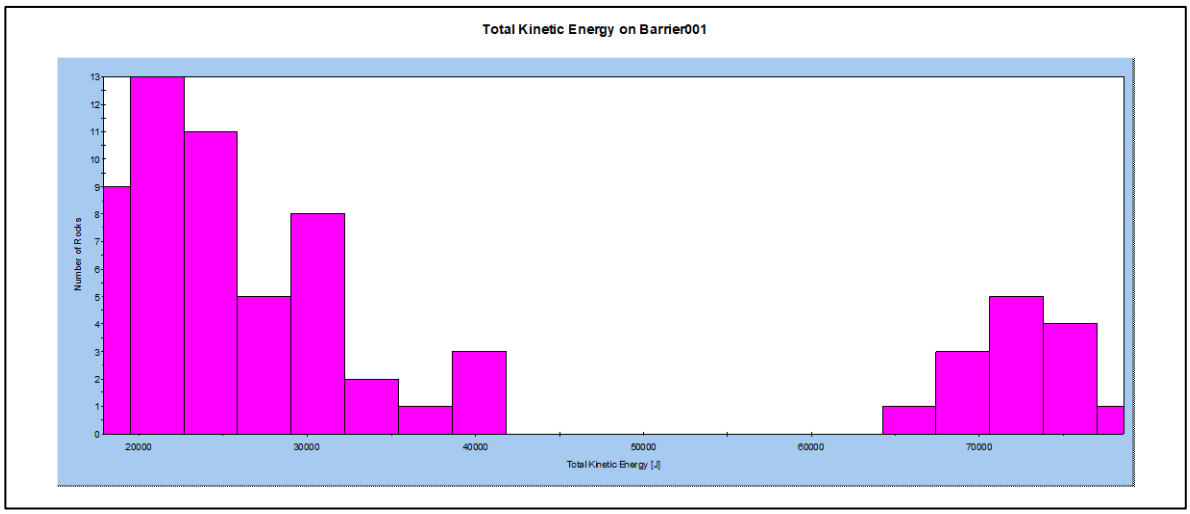


Figura 45 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. Energía a resistir por parte de la barrera.

En la sección 2 de los 100 bloques del tamaño reducido al caer un total de 100 bloques llegan hasta las construcciones.

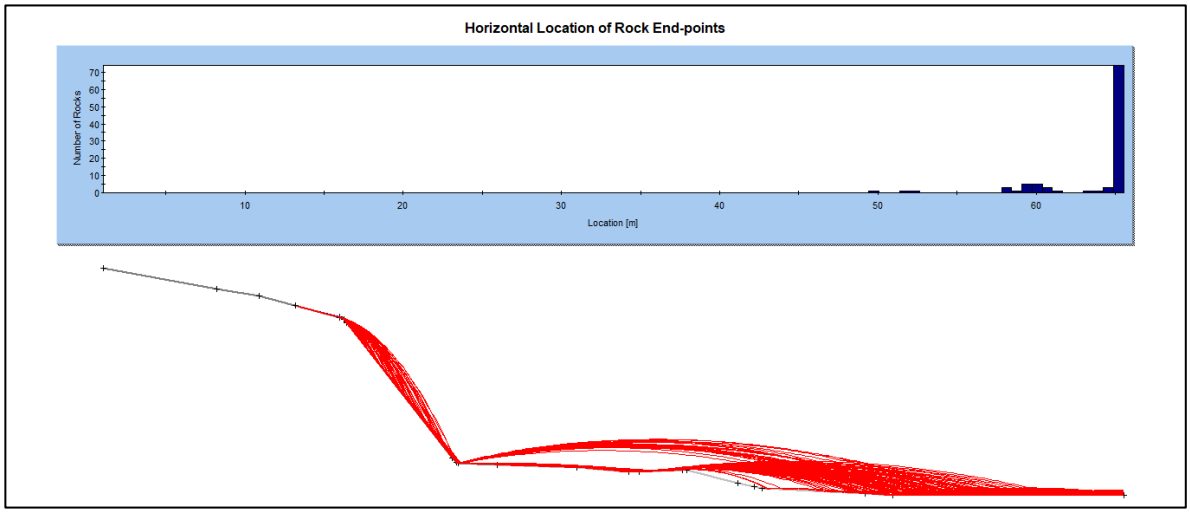


Figura 46 Caída de bloques de 0.6x0.6x0.6 m. Sección 2 - 2.

Al evaluar la altura probable de una barrera (en la base de la ladera antes de golpear las casas) para que logre retener los bloques se confirma un total de 7 metros. Los bloques en este sector requerirán una menor dimensión y colocar materiales sobre la ladera que disminuyan la energía de los bloques. Sin embargo, dada la complejidad de garantizar que cada uno de los elementos funcione y la alta posibilidad de afectación de las viviendas se propone la construcción de pernos en conjunto con mallas que soporten en el sitio los bloques con potencial de inestabilidad.

7.2.3 Conclusiones acerca de posibles caídas de bloques

Medidas a corto plazo (emergencia)

Los bloques con potencial de caída en su condición actual afectan directamente las construcciones y sin realizar el bajado de los bloques de manera controlada no se pueden ocupar las construcciones 1 a 4 de la **Figura 47**

Se recomienda llevar los terraplenes hasta la cota 2698. Además, perfilar internamente el foso para caída de bloques garantizando una profundidad homogénea y colocar en toda el área arenas, gravas o rajón. Lo anterior requiere garantizar el drenaje del sector para no generar un reservorio de agua. Por lo que se propone una tubería de 18” que drene la acumulación de agua.

Los árboles ubicados hacia las coronas de los taludes se recomiendan retirarlos ya que pueden ayudar a la inestabilidad del sector por la acción de las raíces sobre las diaclasas o estratificación.

Medidas a mediano y largo plazo

De acuerdo con la evaluación de caída de bloques en cada una de las secciones de análisis se requiere reducir los bloques a por lo menos 0.6 x 0.6 m x 0.6 m para evitar que los bloques lleguen hasta las viviendas. Sin embargo, se requiere construir una barrera (1.5 m de altura) como seguridad para evitar afectaciones a las viviendas en uno de los sectores (construcción 1) y en otro sector se recomienda pernar los bloques al sitio en conjunto con mallas para evitar su caída (sector de sección de análisis 2).

Después de realizar las actividades mencionadas anteriormente se debe evaluar por parte de la entidad de riesgo las condiciones para restringir o no el acceso a las viviendas en el sector.

En la siguiente figura se muestra en línea roja hasta donde pueden llegar los bloques en las condiciones actuales y hasta donde pueden llegar implementando las medidas recomendadas en el presente informe. Es necesario aclarar que el sector achurado en color azul los bloques pueden ubicarse lejos de la construcción dependiendo de la ubicación de la barrera recomendada.

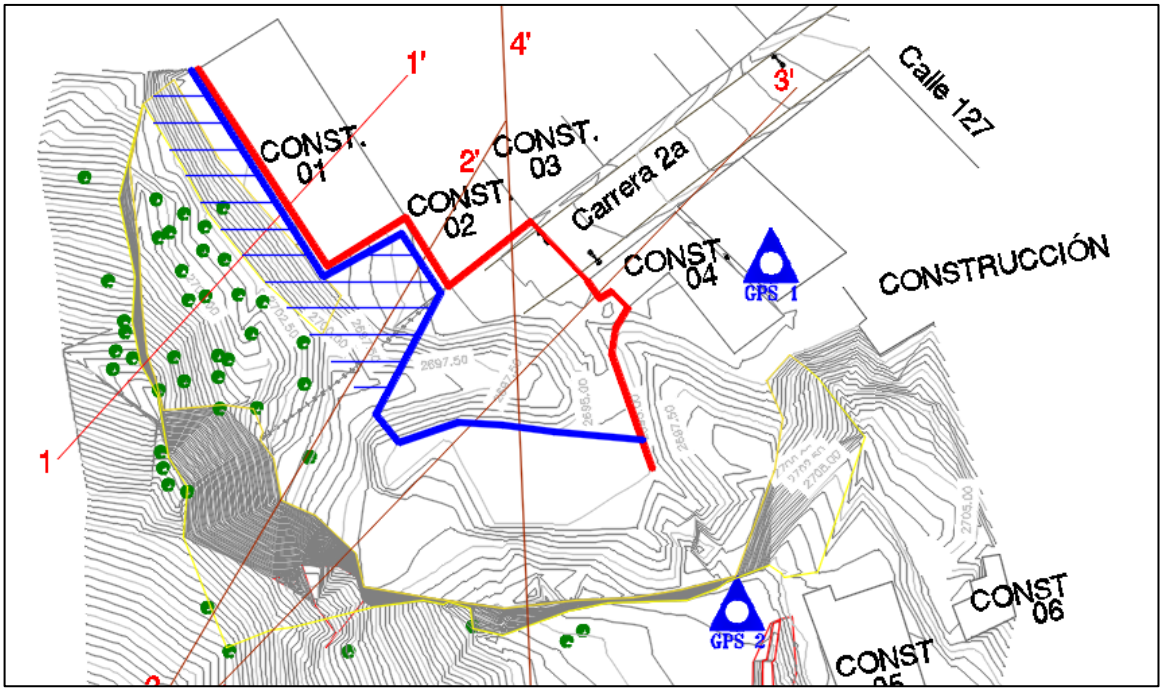


Figura 47 Sectorización de limites hasta donde pueden llegar los bloques sin obras (color rojo) y con las intervenciones recomendadas (color azul).

7.3 Evaluación de estabilidad geotécnica y recomendaciones

En el capítulo anterior se evaluó las actividades a realizar respecto a los bloques con potencial de inestabilidad. En el presente numeral se verifica la estabilidad geotécnica de la totalidad del sector y se dan recomendaciones para mejorar sus condiciones de estabilidad. Es de aclarar que no se realiza diseño geotécnico de detalle dado el alcance de los estudios y diseños.

En el informe geológico se definieron cinco sectores y el análisis se realiza en específico sobre el sector dos donde se dio recientemente la caída de bloques.

7.3.1 Condiciones sísmicas

De acuerdo con el estudio de microzonificación sísmica de Bogotá (2010) y el Decreto 523 de 2010, la zona de estudio se localiza en la zona Cerros con aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie, Ao (475) =0.18g.

Según la NSR-10 el coeficiente sísmico de diseño para análisis pseudoestático de taludes KST para el caso de suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%), se puede obtener a partir de la relación de KST/amax=0.80.

De acuerdo con lo anterior, el coeficiente de aceleración para análisis pseudoestático se obtiene de la siguiente forma: Kst= 0.18g * 0.80 = 0.144g



Figura 48 Localización del área de estudio en el mapa de microzonificación sísmica de Bogotá D.C.
Fuente IDIGER (2019)

7.3.2 Evaluación de estabilidad geotécnica

De acuerdo con la evaluación geotécnica en el talud 1 y 4 no se da falla por análisis cinemático, en el talud 2 se tiene falla plana y falla en cuña en tres planos de falla, en el talud 3 se tiene falla planar y un plan de falla en cuña y en el talud 5 se tiene falla en cuña en un plano de falla. Teniendo en cuenta lo anterior se realiza una evaluación geotécnica del talud 2 donde recientemente se presentó la falla.

Esta revisión se realiza en el talud 2 y se replica a los demás taludes teniendo en cuenta que todos los taludes se presenta falla planar y falla en cuña. Es de aclarar que en la zona se requiere exploración, caracterización de los materiales en cada uno de los sectores de análisis, y un estudio geotécnico de detalle que permita generar los diseños de obras definitivas en los taludes. Este requerimiento de obras permanentes en los taludes son conclusión del análisis realizado para establecer obras de emergencia, objeto del contrato, y los dimensionamientos y tipo de obra planteada dentro del presente informe deberá ser evaluado por parte del responsable del diseño de la obra final.

Al evaluar la falla planar en talud 2 se encuentra factores de seguridad de 1.14 en condiciones estáticas con presencia de agua. Al incluir el sismo ocurre falla por falla planar.

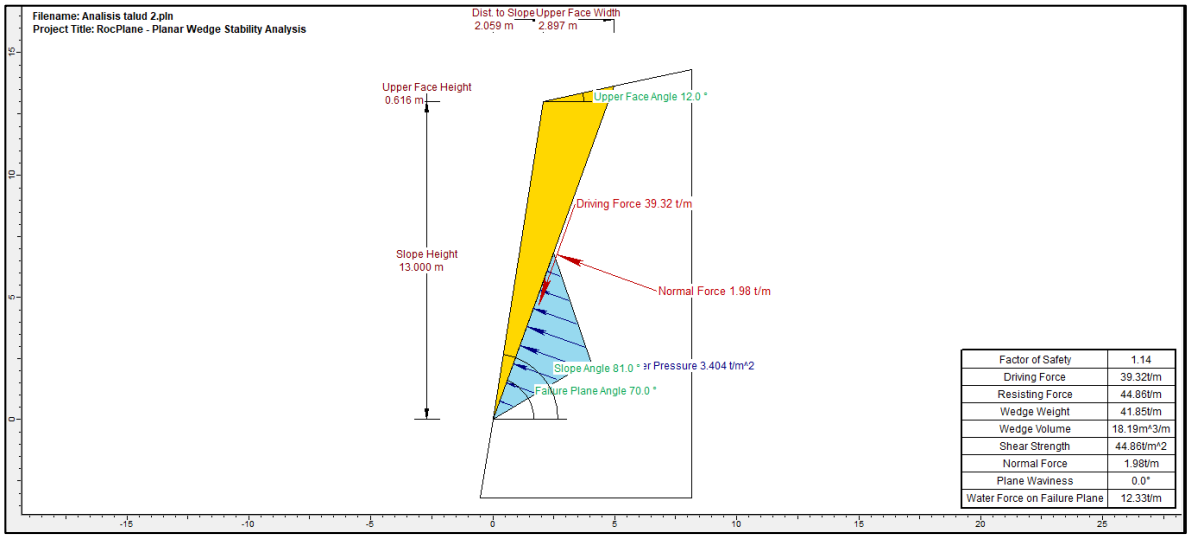


Figura 49 Talud 2. Análisis de falla planar. Condición actual

Teniendo en cuenta que el talud tiene 13 metros de altura en la sección de análisis se evalúa la inclusión de pernos de anclaje que ayuden a estabilizar el talud en roca. De acuerdo con el análisis se requieren 5 anclajes para garantizar la estabilidad del sector en condiciones de sismo y para condiciones críticas de saturación.

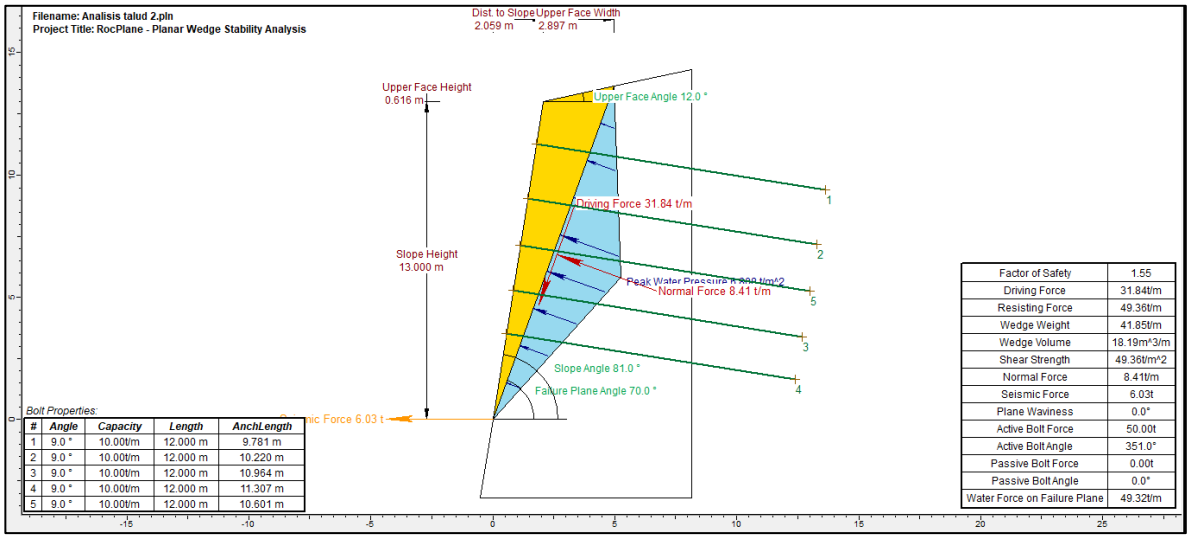


Figura 50 Talud 2. Análisis de falla planar. Condición con obras. Pernos

De acuerdo con la cantidad de anclajes mencionada anteriormente el talud 2 requiere pernos con separación de 2.5 metros para garantizar la estabilidad por fallar planar. Los pernos considerados son de 12 metros de longitud y de 1 pulgada de diámetro.

Además, se analiza la falla en cuña del talud 2 correspondiente a la estratificación y la diaclasa 2. En condiciones estáticas el factor de seguridad es de 1.11 y en condiciones dinámicas el factor de seguridad es de 0.96.

Se incluye pernos cada 2.5 metros para estabilizar los taludes obteniendo factor de seguridad de 1.28 en condiciones dinámicas.

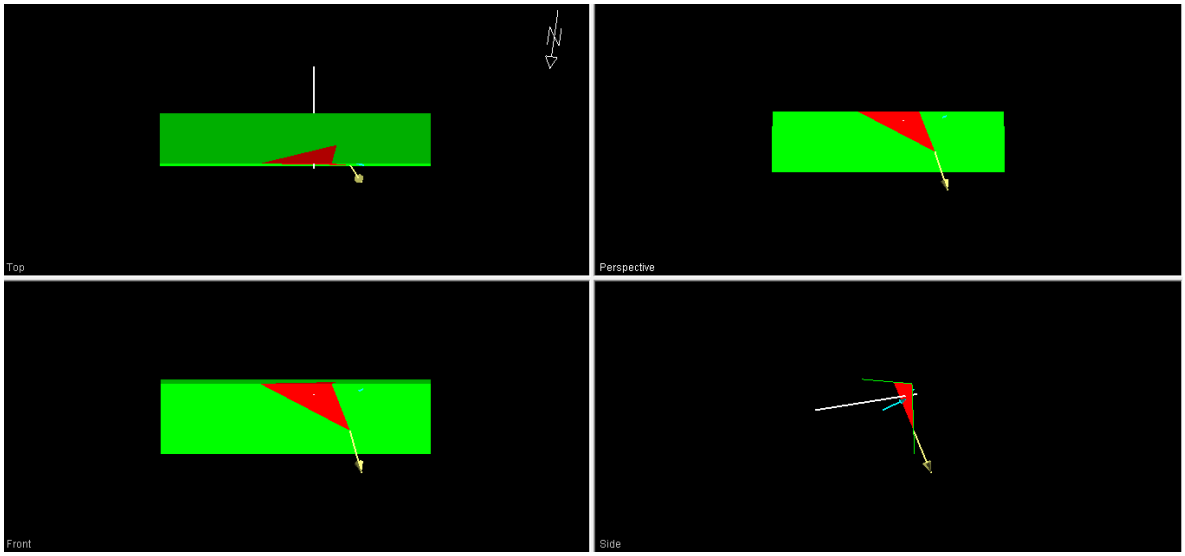


Figura 51 Talud 2. Análisis de falla en cuña

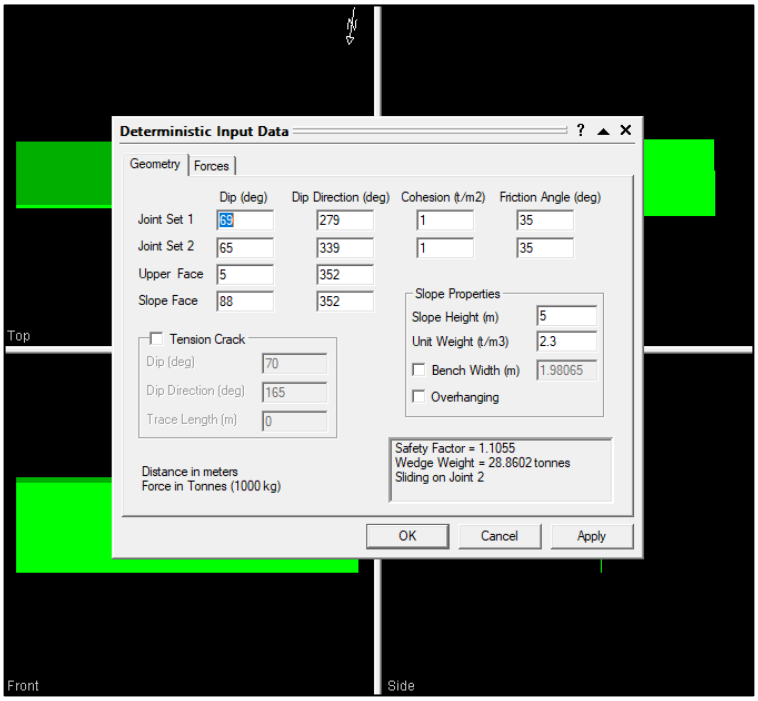


Figura 52 Talud 2. Análisis de falla en cuña. Condición estática. FS=1.11.

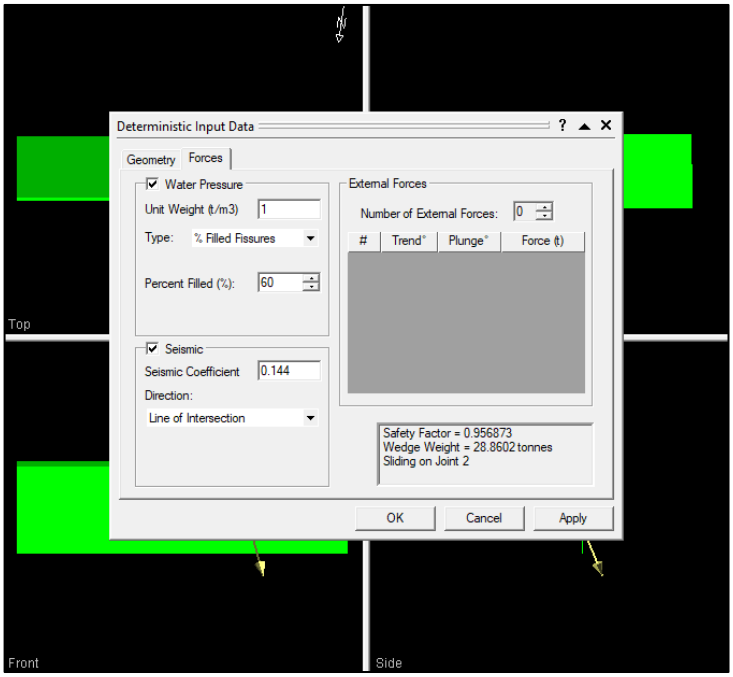


Figura 53 Talud 2. Análisis de falla en cuña. Condición pseudoestática. FS=0.96.

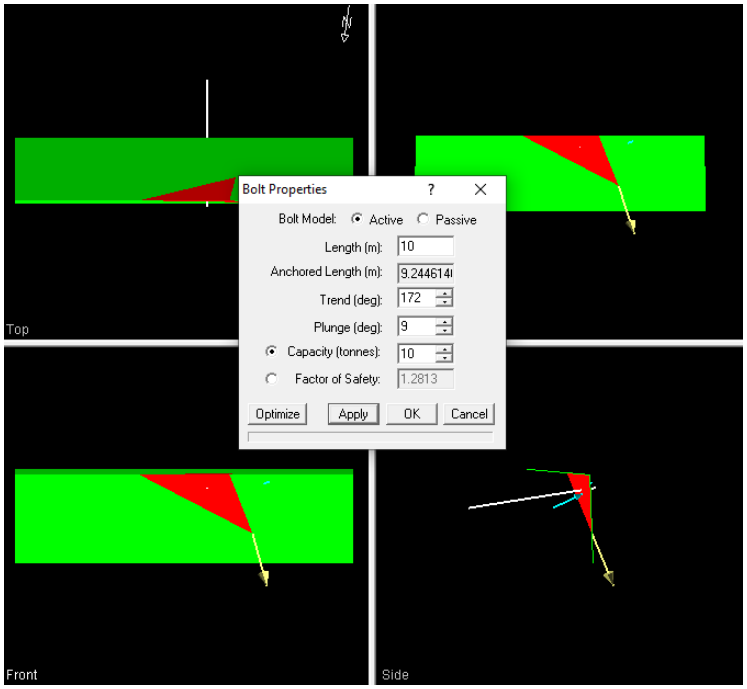


Figura 54 Talud 2. Análisis de falla en cuña. Se incluyen pernos. Condición pseudoestática. FS=1.28.

Las obras propuestas a partir de los análisis anteriores descritas en este capítulo se dan como recomendaciones y hacen parte de las obras proyectadas a mediano y largo plazo.

7.3.3 Conclusiones acerca de evaluación de estabilidad geotécnica

De acuerdo con los análisis realizados en el sector 2 se confirman las condiciones de estabilidad referenciadas en el informe geológico respecto a la inestabilidad en taludes y se concluye en el requerimiento de pernos para sostener los taludes inestables en la zona.

Además, después de retirar los bloques con potencial de inestabilidad y para garantizar que otros bloques no se desprendan de la parte alta del talud se requiere la construcción de obras como mallas tipo Tecco adosada al talud con pernos de anclaje. Otra opción es la instalación de pernos de anclaje y concreto lanzado en todo el sector.

Lo anterior aplica para los taludes 2, 3 y 5. En el talud 4 se requiere la construcción de obras de drenaje que permitan ordenar el drenaje en la zona y eviten que el agua

de escorrentía afecte los taludes aledaños.

Se aclara que las recomendaciones dadas en el presente informe como medidas definitivas (pernos, mallas y obras de drenaje) requieren un diseño de detalle para su implementación.

7.3.4 Medidas a implementar de carácter de emergencia

En su orden las actividades a realizar son:

- Conformación del terraplén en la base hasta la cota definida en el presente informe: Se propone cerrar el Jarillon o terraplén que actualmente se encuentra conformado en la parte de la pata de la ladera, de los resultados de los análisis de caída de bloques se propone conformar todo el tramo del terraplén hasta la cota 2898, con el fin de bloquear bloques que puedan caer y tengan la probabilidad de sobrepasar esta barrera.

  La pendiente del talud interno podrá ser de 0.75:1 (V:H), mientras que la del externo será de 1H:1,5V, se recomienda que la cara exterior del terraplén se proteja por medio de empradización y geomalla.

- Adecuación del foso en la parte trasera del terraplén para la caída de bloques correspondiente a retirar material y generar la mayor profundidad que se logre garantizando condiciones de drenaje del sector. Después de realizar esta actividad colocar una capa de arena de peña suelta de 50 cm de espesor en toda el área para que sirva como amortiguamiento en la caída de bloques. (Ver plano Anexo 4)

  Se recomida dejar una leve inclinación en la explanación de la capa de arena con el objetivo de bombear el agua que pueda caer en esta área. Con el fin de evacuar las aguas que se puedan acumular se propone colocar una tubería de 18” de diámetros de PVC para evacuar estas aguas. (Ver plano Anexo 4)

- Se realizará la rotura de bloques identificados con potencial de caída a un tamaño mínimo de 0.6x0.6x0.6 m y descarga de los mismos dentro del foso del terraplén. El procedimiento consiste en el fracturamiento mecánico mediante barrenos 1 ½”, en 80 cm de profundidad taladro eléctrico y cemento expansivo, hasta obtener bloques de las dimensiones mencionadas en el párrafo anterior, por último, se induce el colapso de los bloques de menor tamaño en caída libre.

- Tala de árboles y bajado de troncos y ramas. En el plano Anexo 4, se identifican en color gris y se numeran los árboles, raíces y troncos a retirar.

- Perfilado de los taludes de la parte alta de la ladera después de realizar las actividades. En caso de identificar bloques que por su posición y tamaño no fue posible garantizar su remoción de la parte alta de la ladera, confinarlos en el sitio mediante la construcción de mallas y pernos instalados en el sitio.

- El perfilado corresponde a quitar las partes sueltas de la parte alta del talud de manera manual. Se considera que de la parte alta del talud caerá un máximo de 1 m3 por metro lineal y permitirá identificar bloque con potencial de inestabilidad que a la fecha no se han observado.

- Se aclara que no se propone perfilar todo el talud desde la base. (Ver esquema 2 del plano Anexo)

7.3.5 Recomendaciones a mediano y largo plazo

En los sectores mencionados previamente, construcción de una barrera en malla y cables para evitar que los bloques alcancen las construcciones en el sitio mediante la construcción de mallas y pernos.

Protección de los taludes 2, 3 y 5 del presente informe mediante malla tipo Tecco soportada con pernos de anclaje de 12 metros de largo separados cada 2.5 metros entre sí.

Construcción de obras de drenaje en todo el sector. Incluye el sector 4 donde no se plantea intervención.

Por último, se aclara que las recomendaciones dadas en el presente informe como medidas definitivas (pernos, mallas y obras de drenaje) requieren un diseño de detalle para su implementación.

Con el fin de evitar asentamientos cerca o sobre el talud 4, se recomienda cerrar complementado la barrera natural que se encuentra al acceso de esta zona.

8 PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN.

Se incluye en el Anexo 5, la programación, especificaciones y presupuesto correspondiente a las medidas a implantar de carácter de emergencia.

En el presupuesto únicamente se incluyen las obras de carácter de emergencia, las recomendaciones no se incluyen en el presupuesto.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1 Geología

Plancha 228 Santafé de Bogotá Noreste, escala 1:100:000 con su respectiva memoria explicativa en 2008 servicio geológico colombiano –SGC.

Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santa Fe de Bogotá D.C. INGEOCIM Ltda para la Unidad de Prevención y Atención de Emergencias UPES y el Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias FOPAE, 1998.

Estudio geológico para la microzonificación sísmica para la ciudad de Bogotá, 1998.

Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia", Ingeominas (2002) con base en la propuesta hecha por Velásquez, (1999) y posteriormente ajustada por Carvajal (2002, 2003 y 2005)

Sistema De Modelamiento Hidrogeológico Distrito Capital, Secretaría Distrital de Ambiente - Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo, Jairo Alfredo Veloza Franco 2013.

9.2 Geotecnia

Plancha 228 Santafé de Bogotá Noreste, escala 1:100:000 con su respectiva memoria explicativa en 2008 servicio geológico colombiano –SGC.

Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santa Fe de Bogotá D.C. INGEOCIM Ltda para la Unidad de Prevención y Atención de Emergencias UPES y el Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias FOPAE, 1998.

Estudio geológico para la microzonificación sísmica para la ciudad de Bogotá, 1998.

Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia",

Ingeominas (2002) con base en la propuesta hecha por Velásquez, (1999) y posteriormente ajustada por Carvajal (2002, 2003 y 2005)

Sistema De Modelamiento Hidrogeológico Distrito Capital, Secretaría Distrital de Ambiente - Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo, Jairo Alfredo Veloza Franco 2013.