Bogotá D.C., Noviembre 22 de 2004
EYR-S 5147

Señores
INACAR S.C.A.
Atn. Dr. Mauricio Jaramillo
Ciudad

Estimados Señores:

Por medio de la presente y atendiendo las observaciones realizadas por la **DPAE** y la **SCG** les estamos entregando el informe modificado correspondiente a la evaluación de fenómenos de remoción en masa para el **Conjunto Residencial BELVEDERE** a construirse entre la Avenida Circunvalar y la Transversal 1ª con Calle 42 de Bogotá.

Este informe reemplaza el anteriormente entregado a ustedes con fecha de 19 de agosto de 2004.

Sin otro particular,

Atentamente

ESPINOSA Y RESTREPO Y CIA LTDA

Ing. Carlos Restrepo G
Matrícula No. 2520222127
AYR/acb

GENERALIDADES

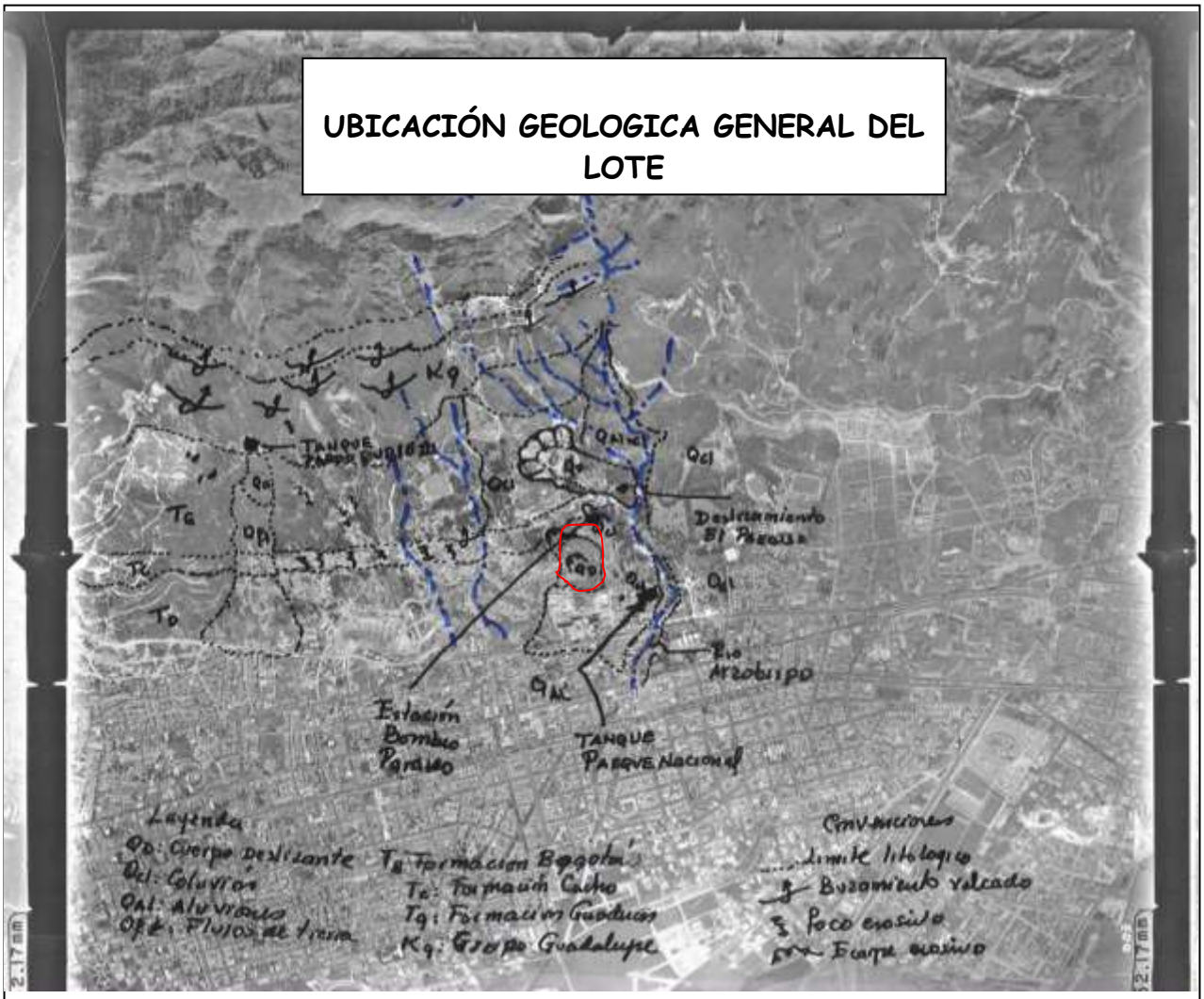
1 DESCRIPCION DEL PROYECTO Y LOCALIZACION

Este informe contiene los resultados del análisis de fenómenos de remoción en masa para el lote de la referencia. Este lote se ubica en el costado izquierdo de la quebrada Sucre entre la Avenida Circunvalar y la vía de acceso al Barrio El Paraíso al Norte del Parque Nacional en los cerros orientales de Bogotá. El proyecto a desarrollar en el lote constará de 78 unidades de vivienda con alturas hasta de 3 pisos en mampostería estructural o pórticos de concreto reforzado con luces entre ejes de muros o columnas de 3.0 a 6.0 m. Las cargas previstas, estimadas por áreas aferentes son inferiores a 4.0 Ton/m para cargas distribuidas e inferiores a 35.0 toneladas para cargas puntuales. Adicionalmente se construirá un edificio de parqueaderos de 3 a 4 pisos en pórticos de concreto reforzado con luces entre ejes de columnas entre 4.25 y 6.30 m. Las cargas previstas, estimadas por áreas aferentes son inferiores a 105.0 toneladas para cargas puntuales.

El lote se encuentra localizado inmediatamente en el costado oriental de la Av. Circunvalar en cercanías de la Universidad en la localidad de Chapinero entre las siguientes coordenadas geográficas:

Norte	103550 a 103800
Este	102000 a 101650

Como se ilustra en la Figura No. 1 anexa al presente estudio, hacia el Oriente del lote se destacan escarpes rocosos de fuerte pendiente y hacia el Occidente del lote se encuentran la infraestructura de la Universidad Javeriana y otras urbanizaciones.



LEYENDA:
Qd: Cuerpo Deslizante
Qcl: Coluvión
Qal: Aluviones
Qft: Flujos de tierra

TB: Formación Bogota
Tc: Formación Cacho
Tg: Formación Guaduas
Kg: Grupo Guadalupe

CONVENCIONES
Límite litológico
Buzamiento Volcado
Foco Erosivo
Escarpe erosivo



ESPINOSA Y RESTREPO LTDA	ESTUDIO DE REMOCION EN MASA URB. BELVEDERE
FOTOINTERPRETACION AÑO 1952 ESCALA 1:18000	FIGURA 1 ELABORO: RFL , 2004

2 TOPOGRAFIA.-

El plano topográfico que hace parte del presente informe se obtuvo a partir de levantamiento topográfico directo con equipos de precisión ejecutado por parte del cliente y entregado como insumo suministrado a esta consultoría.

El proyecto se desarrollará en un lote de más de 2.9 hectáreas ubicado en el costado izquierdo de la quebrada Sucre entre la Avenida Circunvalar y la vía de acceso al Barrio El Paraíso al Norte del Parque Nacional en los cerros orientales de Bogotá.

El lote en donde se construirá el proyecto presenta una pendiente descendente hacia el nor-occidente (hacia la circunvalar), inicialmente con una pendiente fuerte del 46 %, continuando con una zona de menor pendiente en donde se ubicarán la mayoría de casas del proyecto (pendiente del 18 al 29%) y continuando su descenso hacia la circunvalar una altura de 15.0 m con taludes inclinados entre 30 y 40 grados.

Del proyecto arquitectónico se tienen diferencias de nivel entre bordes de cada edificación entre 2.0 y 3.0 m.

3 OBJETO Y ALCANCE

El presente estudio se realizó con el objeto de determinar los daños esperados en las edificaciones del proyecto durante su vida útil por fenómenos de remoción en masa, diseñar un plan de mitigación para evitar que estos daños se presenten y para garantizar la estabilidad, funcionabilidad y habitabilidad de las edificaciones que conforman el proyecto.

Primera Parte: Estudios Básicos

1 GEOLOGÍA DEL CONTORNO

La zona se ubica en el piedemonte de los cerros orientales de Bogotá en donde están aflorando rocas sedimentarias principalmente del Terciario recubiertas por depósitos cuaternarios, y algunos depósitos de origen antrópico. Según la fotointerpretación que se anexa el modelo geológico general corresponde al flanco Occidental del anticlinal de Bogotá que según la cartografía existente y las evidencias de campo se encuentra en posición volcada. Así las rocas de la Formación Guadalupe (las más antiguas), desarrollan un escarpe pronunciado hacia el Oriente que ha generado una serie de depósitos de ladera sobre las formaciones de Terciario estructuralmente debajo de ellas. Más recientemente y con gran evidencia sobre las fotografías aéreas sobre los depósitos cuaternarios se han desarrollado grandes deslizamientos tales como el del Paraíso, la Universidad Javeriana y flujos de tierra en el sector de Pardo Rubio. En la fotointerpretación se aprecia la ubicación del lote con relación a la geología del contorno (Figura No. 1).

2 GEOLOGÍA LOCAL

Como se mencionó anteriormente la parte inferior de los cerros Orientales se ha desarrollado sobre rocas principalmente del Terciario las cuales estructuralmente están por debajo de las del Cretáceo por el efecto del volcamiento de la estructura regional. El área del lote está limitada hacia el Oriente por un pequeño escalón desarrollado por las intercalaciones de arenisca de la Formación Cacho (en posición volcada) y aunque no aflora dentro del área es importante incluirla dentro de la secuencia estratigráfica empezando de lo más antiguo a lo más reciente. La parte media del lote se ha desarrollado sobre el contacto Formación Cacho – Formación Bogotá, cuya posición estratigráfica también se halla invertida por el efecto del volcamiento. La parte más Occidental se encuentra conformada en

cuanto a unidades de roca por la Formación Bogotá. Sobre estas dos formaciones se han dispuesto materiales cuaternarios de tipo coluvión, algunos flujos de tierra (hoy removidos) en la quebrada Sucre y depósitos antrópicos producto de la excavación de la carretera que conduce al barrio El paraíso y una excavación realizada en el pasado hacia la parte media inferior del lote cuyos materiales fueron depositados a media ladera y sobre los cuales se han desarrollado algunos cuerpos de deslizamientos.

A continuación se hace una descripción de las unidades estratigráficas que se encuentran en el lote incluyendo la Formación Guaduas que se encuentra fuera de este en el costado Oriental pero de gran ayuda para la interpretación geológica y geomorfológica.

2.1 FORMACIÓN GUADUAS (KTG)

Sobre el grupo Guadalupe, en la zona se ha presentado un conjunto de rocas predominantemente arcillosas desarrollado en un ambiente epicontinental (transcicional de marino de poca profundidad a continental) que fue definido por Hettner en 1892. El sentido actual del término está limitado en su parte inferior por el grupo Guadalupe y en su parte superior por un conjunto de areniscas denominadas como Formación Arenisca Cacho.

La Formación Guaduas, estratigráficamente corresponde a un conjunto de arcillolitas generalmente de tonalidad rojiza con intercalaciones de areniscas cuyo nivel más inferior se denomina Guía y Lajosa, hacia la parte superior dentro de la Formación Guaduas los estratígrafos han situado el límite entre el Cretáceo y el Terciario. Esta Formación se caracteriza también por la presencia de mantos de carbón especialmente en el contacto con la Arenisca La Guía.

Esta unidad se encuentra sepultada bajo los depósitos cuaternarios, botaderos y coluviones en la zona Oriental del área de estudio y se detectó durante la exploración en los contornos del predio.

2.2 FORMACIÓN ARENISCA CACHO (TC) (NO AFLORA DEBIDO AL RECUBRIMIENTO CUATERNARIO)

Estratigráficamente sobre la Formación Guaduas y ya en un ambiente netamente continental se depósito un conjunto de areniscas y arcillolitas, denominados como Formación Arenisca Cacho. Este conjunto en el piedemonte bogotano se ha detectado sobre el estribo de la margen izquierda de la quebrada Las Delicias en la Avenida de Circunvalación, hacia el Sur en la parte media del Parque Nacional cerca de la Estación de Carabineros y del Colegio San Bartolomé, en los tanques del Acueducto de San Diego, cerca de la Quinta de Bolívar y se extiende hacia el Sur por el Barrio Los Laches, Vitelma y el río San Cristóbal, en las instalaciones del Batallón de Logística del Ejército.

El espesor de esta formación es variable y según algunas mediciones hechas por ejemplo de la zona de Vitelma (Jaime Torres, 1988) se reportan espesores de 50 m, pero se habla también de su carácter lenticular que pueden alcanzar un espesor del orden de 100 m. Por observaciones hechas por el autor del presente informe, esta misma formación al Norte de Cundinamarca, presenta espesores superiores a los 120 m, esto explica que la formación realmente se ha formado en ambientes de microcuencas los cuales hacen variar su espesor en el sentido lateral.

No está aflorando en el lote pero su límite con la Formación Bogotá se encuentra sepultado bajo los depósitos de botaderos de la Antigua vía a El Paraíso. Su espesor en la zona del lote puede ser de 25m. El suelo residual se estima que es una capa paralela a la superficie sepultado bajo los depósitos antrópicos del orden de 2 m.

2.3 FORMACION BOGOTÁ (TB)

Esta unidad se ha depositado sobre la Formación Cacho , hacia la base presenta pequeñas intercalaciones de arcillolitas y areniscas friables, su contacto es transcicional de Cacho hacia Bogota, en la zona del lote esta aflorando en el costado mas Occidental, pero esta en su mayor parte cubierta por depósitos coluviales tanto como por depósitos de origen antrópico.

Esta formación se caracteriza por el desarrollo de suelos residuales arcillosos en la zona del proyecto y constituye un horizonte impermeable debajo de los coluviones que se torna como un foco de inestabilidad en aquellos sitios en donde se producen cortes y se deja expuesto el coluvión.

Afloramientos de esta formación se encuentran en la parte Central del proyecto como se aprecia en la Fotografía No. 1, y por morfología se puede afirmar que dicha formación continúa hacia el Norte por debajo de los depósitos coluviales ya mencionados. Su espesor puede ser del orden de 25m en el lote. El suelo residual se estima que es una capa paralela a la superficie sepultado bajo los depósitos antrópicos del orden de 3m.



Fotografía No. 1. Aspecto de la parte central del lote en donde aparecen algunas intercalaciones de arenisca con arcillolitas abigarradas de la Formación Bogotá.

2.4 DEPÓSITOS CUATERNARIOS (Q)

Básicamente se encuentra dos unidades:

- **Depósitos Antrópicos (Qb)**

En la zona del proyecto el material más abundante en superficie lo constituyen los materiales de antiguos botaderos así como disposiciones recientes en las zonas conformadas por plataformas de excavaciones antiguas y construcciones de antiguos hornos para ladrillo, como se aprecia en la Fotografía No. 2 en un corte de la Av. Circunvalar. La característica de estos depósitos es que fueron dispuestos sobre un relieve irregular y en la actualidad aunque mal conformado forma una superficie que enmascaró la topografía antigua. Estos depósitos están descansando sobre materiales coluviales y suelos residuales de la Formación Bogotá y Cacho al Oriente y Occidente del área de estudio respectivamente y constituyen un foco de inestabilidad así como focos de erosión especialmente durante las épocas de lluvias fuertes.

En el costado Norte según la exploración del subsuelo en el sondeo nueve se detecta una superficie de 2.80 m, el cual descansa sobre un depósito coluvial conformado por arcilla limosa habana oscura y gravas de arenisca. Hacia el costado Sur se ejecutó el sondeo No. 3, y no se encontró el sustrato rocoso, por lo cual se establece que dichos depósitos son mayores a 6 m lo cual es razonable puesto que en los cortes de la vía estos materiales presentan un aspecto similar al descrito en el sondeo No.3.



Fotografía No. 2. Antiguas edificaciones sepultadas por depósitos de origen antrópico.

- **Depósitos de Ladera**

Depósitos Coluviales (Qcl)

Es el material que presenta un recubrimiento parcial del área conformado por una mezcla de materiales desintegrados del Grupo Guadalupe relacionado con la actividad torrencial en el pasado sobre los horizontes de la Formación Guaduas, Cacho y Bogotá. Estos materiales en algunos sectores aparecen cubiertos por depósitos antrópicos tales como el costado Oriental y el Occidental. En el costado Oriental se presentan botaderos de la vía y escombros de construcción como se aprecia en la Fotografía No. 3. En el costado Occidental hay una disposición de materiales sobrantes sobre una plataforma excavada en materiales coluviales, como se aprecia en la Fotografía No. 4.



Fotografía No. 3 Escombros de construcción y botaderos en el costado Oriental del lote.



Fotografía No. 4 Zona de disposición de sobrantes en el costado Occidental del lote cercano a la Avenida Circunvalar

En algunos sectores de esta unidad se han desarrollado horizontes de suelos orgánicos en donde además hay presencia de raíces como se reporta en el Apique No.2, Fotografía No. 5, en donde además se detecta la presencia de humedad y en el fondo de este apozamiento de agua.



Fotografía No. 5 Horizontes de capa vegetal sobre los depósitos coluviales hacia la parte Central del lote costado Norte.

Los depósitos coluviales cercanos al límite entre la Formación Cacho y Bogotá son relativamente someros razón por la cual se diferenciaron dos (2) unidades Qcl 1, los depósitos de mayor espesor y Qcl2 los más someros. En la Fotografía No. 6, se observa en el apique No. 4 el contacto entre el coluvión y la zona transcicional entre las Formaciones Cacho y Bogotá.

Los depósitos coluviales masivos Qcl1 según los sondeos ejecutados oscilan entre 4.70 y 5.50 m de espesor los cuales descansan sobre un conjunto de arcillolitas de la Formación Bogotá. Es de aclarar que en los sondeos 5, 8 y 10 se detectaron rellenos antrópicos cubriendo estos coluviones entre 0.80 y 1.80m de espesor, el sondeo No. 10 se encontraron estos depósitos descansando sobre la arcillolita a una profundidad de 0.80m. Los depósitos Qcl 2 más someros se encuentran en profundidades promedio de 2 a 3.5, aunque en el sondeo 7 se registro una profundidad de 5.5 el cual puede estar asociado con el relleno de un paleovalle. En

la topografía original de los coluviones los suelos corresponden a una capa vegetal del orden de 1m.



Fotografía No. 6 Delgada cobertura de coluviones sobre intercalaciones de arcillolita del contacto de las Formaciones Cacho y Bogotá.

Cuerpos de Deslizamientos (Qd)

Analizando fotografías aéreas antiguas, la zona ha sufrido cambios topográficos debido a los cortes efectuados para la Av. De circunvalación, en donde se ejecutó un corte que deja expuestos depósitos de botaderos y eventualmente coluviones que cubren la Formación Bogota y fueron focos inestables para el talud enfrentado con la Universidad Javeriana en el costado Oriental de la Av. De Circunvalación.

Sobre materiales coluviales y depósitos se observan focos de inestabilidad en forma de pequeños deslizamientos. También en la parte media del lote se detectan escarpes y lóbulos de deformación. que mostraban focos de inestabilidad

en forma de pequeños deslizamientos y cuya reactivación se produjo en los taludes actuales generando caída de bloques y pequeños escurrimientos que pueden llegar a ser una amenaza para la vía y la urbanización especialmente durante las épocas invernales.

La morfología antigua revela también en las fotografías aéreas que estos focos ya existían y que fueron acelerados por los cortes de la vía.

La Fotografía No. 7 ilustra las cicatrices de deslizamientos colindantes con la Av. De Circunvalación y la quebrada Sucre. La Fotografía No. 8, muestra un cuerpo deslizado cercano a una pequeña plataforma del costado Oriental del lote que mostraban focos de inestabilidad en forma de pequeños deslizamientos y cuya reactivación se produjo en los taludes actuales generando caída de bloques y pequeños escurrimientos que pueden llegar a ser una amenaza para la vía y la urbanización especialmente durante las épocas invernales.

La morfología antigua revela también en las fotografías aéreas que estos focos ya existían y que fueron acelerados por los cortes de la vía. En el deslizamiento No.1 se ejecutaron los sondeos No. 11, 12, 13 y 14, en el sondeo 12 se encontró la arcillolita a 4 m y en los sondeos 11, 13 y 14 se llegó a profundidades de 10, 10 y 6 m respectivamente sin encontrar la arcillolita, en general se espera que este depósito tenga un espesor mayor de 10 m y el sondeo 12 se puede interpretar como una superficie pre existente, y el deslizamiento rodea dicho relieve ya que son botaderos antiguos inestabilizados.

Se recomienda para el momento de la construcción revisar en la medida en que se va excavando si se encuentra la roca o si por el contrario se encuentran bloques.



Fotografía No. 7 Cicatrices de deslizamientos en coluviones y botaderos cercanos a la Av. de Circunvalación.



Fotografía No. 8 Escarpe y lóbulo de deformación en la parte Centro Oriental del lote.

2.5 CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

La estructura de la zona es relativamente simple y hace parte del flanco Occidental del anticlinal de Bogota, en este sector los estratos están en una posición volcada, es decir que las rocas más antiguas están sobre las mas recientes debido a los esfuerzos tectónicos que se han desarrollado en este sector. Aquí en este caso la formación Cacho es el estrato más competente dentro del área del lote, su buzamiento es hacia el Oriente y presenta ángulos que varían entre 40 y 45 grados de inclinación. No hay un afloramiento en el área del lote pero la forma escarpada debajo de los botaderos de la vía y la presencia de un afloramiento en el costado derecho de la quebrada Sucre indican que dicha formación está allí presente.

Discontinuidades de diaclasas no se miden dentro del área por el efecto de botaderos y coluviones dentro del lote.

En cuanto a la estructura del contorno Oriental se tiene el siguiente modelo:

Al observar las fotografías aéreas que se presentan en la Figura No. 1, y haciendo levantamientos de campo complementarios a los ejecutados para el diseño y construcción del túnel de los Rosales, en este sector de los cerros las secuencias de las rocas cretáceas y terciarias presentan también un volcamiento es decir que las más antiguas están sobre las más recientes. Al hacer una cartografía más amplia, este conjunto de rocas corresponde a lo que es el flanco Occidental del anticlinal de Bogotá, los buzamientos son variables y por ejemplo en el grupo Guadalupe se reportan ángulos de inclinación entre 30 y 38 grados y en la zona de las rocas del Terciario los valores de buzamiento tienen rangos que oscilan entre 40 y 75 grados.

En cuanto a las discontinuidades, en la zona se han reportado algunas fallas dentro de las cuales se destaca la Falla de Bogotá o Monserrate que Pérez y Salazar colocan como contacto entre la Formación Guaduas y el Grupo Guadalupe. Esta falla también se ha planteado por el costado Oriental del Parque Nacional pero cuando se adelantaron las excavaciones para el Túnel de los Rosales y el tanque del Silencio no se encontraron evidencias de brechas y se vio como las rocas de la Formación Guaduas pasan gradualmente a las rocas del grupo Guadalupe, razón por la cual la presencia de esta falla en la zona no se puede considerar como una falla propiamente dicha sino que posiblemente se

trata por un lineamiento dejado por el contraste litológico dejado entre las dos formaciones. Además, en esta zona debido a los depósitos coluviales, no se puede precisar en que sector está el lineamiento planteado por los autores ya referidos.

En resumen, la zona se encuentra en el flanco Occidental del anticlinal volcado de Bogotá en donde se ha cartografiado la Falla hipotética de Monserrate o Bogotá, que en este informe se propone considerarla mejor como una inconformidad.
Hacia el costado Norte el tren estructural continúa con las mismas características de la urbanización y queda enmascarado por las construcciones vecinas al área de estudio.

En el centro de la urbanización se presenta un afloramiento de la Formación Bogotá constituido por areniscas e intercalaciones de arcillolitas cuyos datos estructurales se presentan a continuación:

Tabla No. 1 Datos Estructurales Formación Bogotá

Discontinuidad	Azimut de buzam.°/buzam.°	Espaciamiento	Rugosidad	Persistencia	relleno
Estratificación	110/40 – 45	Arenisca 0.50m y arcillolita 0.10 m	Ondulada en la dirección del buzamiento	Mayor a 100 m	no
Diaclasa 1	120/90	0.20 m	Recta	1m	Óxidos de hierro
Diaclasa 2	291/81	0.25m	Recta	1m	Óxidos de hierro

Debido a que en el sitio del lote no aflora la Formación Cacho no se pudieron tomar medidas representativas de dicha unidad, sin embargo se han tomado datos en otros lugares que se pueden presentar como guía, a continuación se presentan dichos valores:

Tabla No. 2 Datos Estructurales Formación Cacho

Estratificación azimuth/buzamiento	Discontinuidad 1 azimuth/buzamiento	Discontinuidad 2 azimuth/buzamiento
080/45 – 55 - 110/70	**010/75**	**290/80**

3 GEOMORFOLOGIA

El desarrollo geomorfológico de la zona se describe a continuación:

3.1 GEOFORMAS

Geoformas de Origen Estructural

En la zona de la urbanización se encuentra una unidad delgada de la Formación Bogotá que conforma la contrapendiente de dicha formación constituyendo un microrelieve positivo el cual se aprecia en la Fotografía No. 1.

Geoformas de Origen Deposicional

Se caracterizan por ocupar prácticamente toda el área de la urbanización y están constituidas por depósitos coluviales y pequeñas lentes torrenciales de cantos subredondeados y redondeados. Estos son producto de la desintegración del escarpe Oriental del lote y cubren tanto la parte central como los límites con la Av. Circunvalación.

Sobre estas unidades más recientemente la actividad antrópica ha cambiado el relieve original y se encuentran botaderos tanto en el costado Occidental como en el costado Oriental del lote.

Geoformas de Origen Denudativo

Son escasas y se limitan al entallamiento de los cauces en coluviones y antiguos flujos de tierra. Además se presentan pequeñas zonas de focos erosivos en el afloramiento de la Formación Bogotá hacia el centro de la urbanización.

3.2 MORFODINÁMICA

La morfodinámica contempla tanto la expresión del drenaje y su desarrollo genético como los procesos. A continuación se hace una descripción tanto de las características del drenaje desde el punto de vista de integración, adaptación y génesis y posteriormente se describen los procesos dentro de los cuales está la erosión y fenómenos de remoción en masa

Drenaje

Integración. El drenaje del lote está *pobremente integrado* y en algunos sectores se han obstruido los cauces originales, esto indica que el manejo de las aguas desde el punto de vista de su continuidad no es él mas adecuado pues ésta se infiltra y pueden presentar humedades concentradas dentro de los depósitos antrópicos especialmente, también es de anotar que debido a la actividad antrópica en el acceso al Barrio El Paraíso, los drenajes originales han sido captados por sistemas de alcantarillados y cunetas y la continuidad de los antiguos valles se ha visto interrumpida.

Génesis. Los cauces mayores fueron desarrollados sobre una contrapendiente estructural volcada que inicialmente se puede considerar como consecuente pero que en la medida en que la estratificación fue volcándose en la actualidad podría considerarse como quebradas obsecuentes.

Patrón. En cuanto al *patrón* de drenaje es subparalelo tanto en las vecindades del lote como dentro de este.

Adaptación. El drenaje en general es *inadaptado* por antecedencia especialmente de la quebrada Sucre así como los pequeños cauces del sector. En la zona del lote los cauces que entran dentro de esta clasificación en la actualidad están sepultados por los coluviones y los rellenos antrópicos.

Procesos Erosivos

En el sector la erosión más destacada se presenta en forma de pequeños surcos, la cual ha sido ayudada por el efecto antrópico en los afloramientos de la Formación Bogotá.

La quebrada Sucre al Norte de la urbanización tiene un régimen de tipo torrencial y en el pasado presentaba socavación lateral y de fondo que inestabilizaba las dos márgenes; hoy en día dicho cauce ha sido canalizado en concreto y de estos fenómenos tan solo quedan algunas cicatrices.

Fenómenos de Remoción en Masa.

Para el estudio de los fenómenos de remoción en masa a continuación se hace una descripción de las principales características geomorfológicas:

En el área se destacan tres (3) focos de deslizamientos de tipo translacional desarrollados principalmente sobre botaderos y coluviones someros. Estos deslizamientos en la actualidad se presentan en forma de cicatrices pero es de gran importancia tenerlo en cuenta para el proceso de implantación de las viviendas y las vías puesto que al quitarles el apoyo lateral se pueden reactivar.

En cuanto a las características de estas masas deslizantes a continuación se hace una descripción para cada uno de ellos:

- El deslizamiento No. 1 . Se trata de una masa deslizante desarrollada sobre el costado Occidental del lote producto de la acumulación de materiales cortados de la parte central, tiene una forma semi circular y hacia la base se pueden observar pequeños lóbulos, en la parte central pequeños escalonamientos y hacia la parte superior una cicatriz que marca la corona del deslizamiento.

- El deslizamiento No.2. Corresponde a una cicatriz de una masa deslizante desarrollada posiblemente antes de la canalización de la quebrada Sucre, puesto que no se observan agrietamientos activos. El muro del canal construido dio la contención suficiente para estabilizar dicho deslizamiento.

- El deslizamiento No.3. Corresponde a un deslizamiento relativamente pequeño relacionado más con un desprendimiento local en los coluviones someros pero que de todas formas muestra irregularidades en forma de lóbulos en la base y una forma semicircular en la corona.

En la actualidad si bien no hay fenómenos de caídas de rocas en los afloramientos de la Formación Bogotá en el caso que se ejecuten cortes en los afloramientos de esta formación se deben tener en cuenta las discontinuidades que se relacionaron en el numeral de geología estructural.

3.3 ANALISIS MULTITEMPORAL

Como se ilustra en las fotografías aéreas de 1952, la zona no muestra evidencias de inestabilidad y los deslizamientos que se detectaron corresponden a los del Paraíso, los taludes del costado Oriental frente a la Universidad Javeriana y otros focos de flujos de tierra pero fuera de la zona del lote.

Como es bien sabido sobre fotografías aéreas si bien se pueden detectar la mayoría de los fenómenos de inestabilidad las limitaciones de escala no consiguen cartografiar al detalle (1:1000) todos los procesos y por el reconocimiento detallado que se ha hecho se ha podido establecer un modelo geológico basado en las evidencias locales tales como cortes, presencia de hornos de chircales sepultados y lóbulos de deslizamientos locales. Se considera pues que el análisis multitemporal arroja como resultado que la zona en el pasado no presentaba fenómenos de remoción en masa y los que se han generado son el producto de la actividad antrópica.

En cuanto a la actividad de la quebrada Sucre, normalmente los cauces y antiguas depresiones presentan acumulaciones de materiales arcillosos producto de la erosión lateral en los suelos residuales de las formaciones terciarias, esta franja de suelos en la quebrada Sucre no se logra diferenciar en las fotografías aéreas sin embargo por reconocimiento de campo se pudo establecer que esta quebrada presento en el pasado fenómenos de remoción en sus márgenes debido a las socavación de los rellenos arcillosos; como consecuencia de esto seguramente se presentaron descargas torrenciales hacia la ciudad las que obligaron a la construcción de una canal escalonado y revestido en concreto que controló la socavación de las márgenes y hoy tan solo se observan algunas cicatrices como ya se describió para el caso del deslizamiento No.2.

3.4 ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA

Teniendo los estudios geológicos y geomorfológicos la zona se divide en cuatro (4) sectores como a continuación se describe:

1. Costado Oriental, conformado por botaderos antiguos de la vía al barrio El Paraíso y depósitos de escombros de construcción sepultando un paleorelieve compuesto por coluviones que descansan sobre horizontes de suelo residual de la Formación Cacho. Esta unidad presenta pendientes entre 50 y 55% y se interpreta geotécnicamente como una zona potencialmente inestable debido a que estos depósitos no están consolidados.

2. El sector Central, desarrollado sobre afloramientos de la Formación Bogotá recubierta con depósitos someros de coluviones, presenta una pendiente promedio del 12% pero esta es debida a que en el pasado se ejecutó una explanación y quedaron algunos remanentes de botaderos lo mismo que hacia el costado Oriental de esta planicie se encuentra el afloramiento de la Formación cacho con una pendiente aproximadamente del 50%, su significado morfodinámico se interpreta como un coluvión excavado y las condiciones actuales no reflejan los orígenes del depósito.

3. Sector Occidental, conformado por depósitos coluviales los cuales fueron excavados dejando una zona de relieve relativamente plano y en su borde más Occidental se han depositado materiales producto de las excavaciones y materiales sobrantes de antiguos chircales así como cuerpos de deslizamientos. Sobre los materiales sobrantes las pendientes son variables y por ejemplo en la zona enfrentada con la Avenida de circunvalación se observan taludes verticales, en la zona de los deslizamientos las pendientes

son de 86% y en la base de los coluviones la pendiente es del 20%; cada uno tiene diferentes significados morfodinámicos así: los depósitos antrópicos corresponden a escombros de baja consolidación y susceptibles a la erosión hay incluso actividad antrópica en donde se alcanzan a observar hornos sepultados, es posible que haya cavidades hasta donde los rellenos no llegaron. Para los cuerpos de deslizamientos estos indudablemente se desarrollaron por el proceso de corte y relleno en los coluviones los cuales fueron dispuestos sobre la ladera y generaron en planta un aspecto lobular hacia la base y cónico hacia la zona en donde se empezaron a disponer estos materiales, corresponde a una zona de alta susceptibilidad a los movimientos en masa. Los coluviones son cuerpos de mejores especificaciones geotécnicas, sin embargo corresponden a bloques embebidos en una matriz limo arcillosa de una consistencia mayor, también son susceptibles a la formación de deslizamientos siempre y cuando se cambien las condiciones actuales ya sea por la ejecución de cortes o por sobrecargas.

4. Franja de antiguos flujos de tierra sobre los cuales se canalizó la quebrada Sucre. . Debido a su canalización estos prácticamente han desaparecido pero no deja de ser una zona cuyo manejo debe ser cuidadoso puesto que pueden quedar algunos remanentes de estos flujos, normalmente las pendientes de estos materiales son bajas. En las zonas de mayor pendiente sobre el costado Norte del lote la superficie de estos depósitos puede ser del orden de 40%, su significado morfodinámico es de gran trascendencia para los cerros de Bogotá pero como se dijo al comienzo de este párrafo estos depósitos han sido removidos para la canalización y tan solo pudieron quedar algunos remanentes cuya cartografía no se pudo realizar debido a que detrás de los muros de canalización se colocaron rellenos.

4 CLIMA Y SUELOS

4.1 PRECIPITACIÓN

La zona donde se ubica el proyecto, tiene una precipitación anual promedio aproximada de 1024 mm, registrados en la estación La Vieja (Código 2120066 “LVI”), en el periodo comprendido entre los años 1958 – 1990. con dos períodos lluviosos comprendidos entre los meses de Marzo – Junio y Septiembre – Noviembre. Las precipitaciones máximas diarias reportadas son de 120 mm, con un promedio anual de 210 días lluviosos.

4.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN Y HUMEDAD RELATIVA

La evapotranspiración media es alta (aproximadamente 250 mm/mes) con una insolación media de 4,1 horas/día y 1500 horas al año, lo que implica una temperatura media anual de 13,8º con máximos medios de 19,5º y mínimos medios de 8,4º a la altura de 2650 m.s.n.m. Presenta una precipitación media anual de 900-1100 mm y una humedad relativa media es baja, con un promedio anual de 70%, con mínimos promedios mensuales de 65% y máximos de 78%.

De la información obtenida se puede establecer los niveles piezométricos considerados como críticos desde el punto de vista de agente detonante de procesos de inestabilidad y la distribución probabilística que se incluye mas adelante.

4.3 CLIMA

Chapinero posee un clima frío –subhúmedo, con tendencia ser más seco en el sur y sur este, en consecuencia permite la proliferación de vegetación a pesar de la alta pendiente de la superficie permitiendo el enraizamiento de plántulas en cualquier rescoldo con capacidad de soporte de tierra.

4.4 SUELOS

La cobertura de suelo está directamente influenciada por el clima, la formación superficial de roca y la pendiente de los taludes; dado el desarrollo de asentamientos humanos la mayor parte de la vegetación nativa fue retirada y reemplazada por rellenes antrópicos de bajo espesor y recubrimiento en pastos, bosque nativo solo se observa en un área menor del predio hacia las zonas donde no se desarrollaron asentamientos humanos.

5 HIDROGEOLOGIA

Las aguas subterráneas en el sector de la urbanización presentan dos tipos de acuíferos:

Acuíferos libres en donde hay infiltración a lo largo de materiales no consolidados tanto en los botaderos como en los coluviones. El flujo del agua subterránea es en dirección Este – Oeste y debido a la presencia de basuras estas aguas que fluyen a través de estos depósitos pueden presentar alta contaminación y niveles colgados especialmente en las épocas de lluvia, como el que se pudo ubicar en el apique No. 3 durante una de las inspecciones pero que rápidamente se tornó seco. Es importante anotar que hacia el Sur de la urbanización el talud Oriental de la Avenida de circunvalación históricamente ha presentado desprendimientos ocasionados por las infiltraciones durante las épocas invernales. En la actualidad este deslizamiento esta prácticamente controlado.

En las formaciones Guaduas y Bogotá se presentan acumulaciones de agua subterránea confinadas en los niveles de areniscas intercaladas dentro de las arcillas. El mayor caudal de aguas subterráneas en las rocas del Terciario se obtiene en la Formación Cacho que extrapolándolo en algunos sectores de la ciudad puede llegar a producir caudales de 2l/s a profundidades mayores a 10 m, en la zona no se detectaron manantiales que permitan plantear presiones de poros importantes a nivel superficial.

Para efectos de la geotecnia en la zona de la urbanización las aguas que llegan hasta el contacto de los depósitos y los suelos residuales generan presiones de poros que son desfavorables para la estabilidad del sector por lo cual se deberán construir tantos sistemas de drenajes superficiales y subdrenes horizontales que evacuen las aguas y se pueda reducir dicha presión.

En lo relacionado con la exploración ejecutada no todos los sondeos mostraron presencia de agua. Sin embargo uno de ellos en la zona de parqueadero detectó nivel freático.

En cuanto a la escorrentía la zona presenta control hacia la parte superior por la calle que conduce al Paraíso por medio de cunetas y alcantarillados. En la zona Oriental las aguas lluvias transcurren sobre los depósitos antrópicos presentándose alguna infiltración dentro de ellos y no se llegan a formar cauces definidos. El costado Sur presenta una pequeña depresión donde las aguas lluvias colectadas en esta superficie son conducidas hacia un canal ubicado en el costado Oriental de la Avenida de Circunvalación, la explanación de la parte central hace parte del área aferente de esta zona; el costado Norte en donde se encuentran los depósitos antrópicos las aguas de escorrentía son interceptadas en parte por el canal de la quebrada Sucre y por la continuación del canal de la Avenida de Circunvalación.

Con base en lo anterior y para efectos de análisis y diseño de elementos de drenaje se tiene la precipitación establecida para la estación Venado de Oro cuyos registros históricos hacen parte de la memoria de cálculo de drenajes, y en cuanto al área de aferencia se ha establecido aquella limitada por la carrera existente sobre el lindero oriental , la avenida circunvalar, el canal Sucre ubicado sobre el lindero norte y el lindero sur del predio, toda vez que este último constituye un límite de aguas por la configuración de las curvas de nivel

En general esta zona es un área de recarga para los acuíferos libres de los depósitos cuaternarios y se presentan acumulaciones en lentes que poco a poco bajan su nivel en la medida que disminuye el aporte de agua.

6 SISMOLOGÍA

De la microzonificación sísmica el sector hace parte de la Zona 1A (cerros), sin embargo teniendo en cuenta que el lote se encuentra a menos de 200 m de la zona 2A (Piedemonte). Se debería trabajar con los factores espectrales promedio entre las 2 zonas de acuerdo con lo establecido en el Decreto de Microzonificación Sísmica de Bogotá. A continuación se ilustran los parámetros espectrales de las zonas en mención:

ZONA 1 (CERROS)

De la microzonificación sísmica el sector hace parte de la Zona 1 correspondiente a cerros orientales con los siguientes factores espectrales para el diseño de acuerdo con la zona:

-Período inicial, To=	0.20
-Período corto, Tc=	1.00
-Período Largo, TL=	5.00
-Aceleración máxima, Am=	0.24
-Aceleración Nominal, An=	0.30
-Factor de amplificación de la aceleración, Fa=	1.00
-Factor de amplificación de la aceleración en el rango de velocidades constantes, Fv=	2.00

ZONA 2 (PIEDEMONTE)

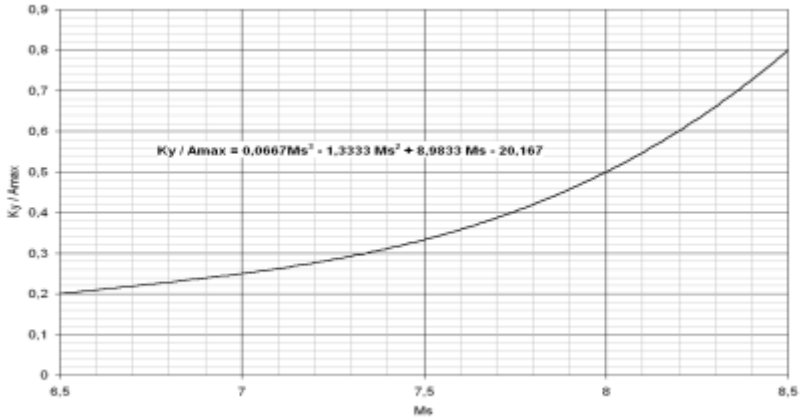
De la microzonificación sísmica el sector hace parte de la Zona 2 (Piedemonte) con los siguientes factores espectrales para el diseño de acuerdo con la zona:

-Período inicial, To=	0.20
-Período corto, Tc=	1.20
-Período Largo, TL=	6.00
-Aceleración máxima, Am=	0.30
-Aceleración Nominal, An=	0.40
-Factor de amplificación de la aceleración, Fa=	1.00
-Factor de amplificación de la aceleración en el rango de velocidades constantes, Fv=	2.25

Para efectos de análisis se utilizaron los resultados del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá, donde se obtienen los niveles de aceleración en superficie a nivel local. Para los análisis probabilísticos de estabilidad, se modeló la aceleración pseudo-estática como una distribución exponencial truncada, ajustando los datos aportados por el estudio de microzonificación. Se considera que estas aproximaciones son válidas y que más aún pueden ser un poco conservadoras teniendo en cuenta lo siguiente:

- Los análisis se realizaron por el método seudo-estático, el cual ofrece una aproximación simple para la evaluación de la estabilidad de taludes afectados por sismos. En este, el método del equilibrio límite es modificado incluyendo fuerzas (horizontales y verticales) sísmicas que son usadas para simular las fuerzas inerciales potenciales debido a la aceleración en un sismo. Las fuerzas sísmicas son asumidas proporcionalmente al peso de la potencial masa deslizante, por medio de los coeficientes de aceleración k_h y k_v.

- Los análisis de estabilidad pseudo-estáticos son relativamente simples pero involucran algunas aproximaciones; el error más común es el uso del valor pico de la aceleración con el coeficiente sísmico, ya que, aunque hay una pérdida de resistencia, su uso puede ser muy conservador debido a que este pico actúa momentáneamente en una dirección. Es por ello que hay diversas recomendaciones para la obtención del valor del coeficiente de aceleración; entre ellas la propuesta presentada por Pike (2001) resumida en la siguiente figura.



Selección del coeficiente de aceleración para análisis pseudo-estáticos (adaptado de Pike, 2001)

Segunda Parte: Evaluación de procesos de inestabilidad

1 PROCESOS DE INESTABILIDAD

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Según el estudio de las fotografías aéreas y experiencias de levantamientos en las áreas aledañas el sector ha presentado algunos focos de inestabilidad en sus vecindades dentro de las cuales se destacan hacia el Sur Oriente el gran deslizamiento de El Paraíso que se reactivó durante la construcción de la Av. Circunvalar y que en la actualidad todavía se observan algunos focos de levantamientos de la calzada.

Por efectos de la misma excavación de la vía cercano de la Estación de bombeo del acueducto también se han presentado asentamientos que deformaron la vía de la circunvalar y donde hoy todavía existen algunas vallas indicando peligro de deslizamientos. Así mismo el talud enfrentado con el Coliseo de la Universidad Javeriana en el pasado presentó inestabilidad un talud que fue cortado en la zona de contacto entre el coluvión y la Formación Bogotá.

El costado Norte del lote por el valle de la quebrada Sucre en el pasado también se registraron fenómenos de remoción en masa a lo largo del cauce de dicha quebrada pero hoy en día esta ha sido canalizada con estructuras de concreto y los movimientos han cesado.

1.2 EVIDENCIAS DE PROCESOS DE INESTABILIDAD

En la zona de la urbanización se presentan dos pequeños focos de inestabilidad así:

Cicatrices de deslizamientos en los coluviones y botaderos que reposan sobre la Formación Bogotá tanto en el costado Oriental como en el costado Occidental.

Las evidencias se presentan fundamentalmente en forma de pequeños escarpes con cicatrices hacia la parte superior de los cuerpos y lóbulos hacia la base como se ilustra en el registro fotográfico.

1.3 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

El estudio de las características litológicas del sector se realizó por medio de 5 apiques con profundidades entre 1.50 y 3.00 m de profundidad excavados a mano,. A lo largo de estos se tomaron muestras alteradas para inspección visual e inalteradas para enviar al laboratorio a ensayos de límites de Atterberg, compresión inconfinada, pesos unitarios, cortes directos, contenidos de humedad y clasificación USC. La descripción de los se muestra a continuación:

- **Apique No. 1**

  Se encuentra sobre un relleno antrópico, se presenta la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
  De 0.00 a 0.60 m capa vegetal y relleno limoso
  De 0.60 a 1.50 Arcilla arenosa gris rojiza de consistencia muy dura

- **Apique No. 1ª**

  Se encuentra sobre un depósito coluvial, se presenta la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
  0.00 – 1.20 Capa vegetal y relleno compuesto de limo arcilloso carmelito
  1.20 – 1.80 Arcilla arenosa gr
  is rojiza oxidada de consistencia muy dura

- **Apique No. 2**

Se encuentra sobre un depósito coluvial donde se han desarrollado horizontes de suelos orgánicos en donde además hay presencia de raíces, se presenta la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

De 0.00 – 1.00 Arena arcillosa con grava amarilla habana de densidad media
De 1.00 – 1.50 Arcilla limo-arenosa rojiza de consistencia dura

- **Apique No.3**

Se encuentra sobre un relleno antrópico, se presenta la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

De 0.00 – 0.60 Arena arcillosa con grava amarilla habana de densidad media
De 0.60 – 1.50 Arcilla arenosa rojiza gris de consistencia muy dura

- **Apique No.4**

Se desarrolla sobre el deslizamiento No. 2, sobre un depósito coluvial, su estratigrafía se presenta a continuación:

De 0.00 – 1.50 Capa vegetal compuesta de arcilla areno-limosa habana con raíces

- **Apique No.5**

Se desarrolla sobre un depósito coluvial somero con un espesor de 2.70m, su estratigrafía se presenta a continuación:

De 0.00 – 0.30 Capa vegetal
De 0.30 – 2.70 Relleno heterogéneo compuesto por limo arcillo-arenoso con gravas, escombros y arcilla arenosa
De 2.70 – 3.00 Arcilla arenosa rojiza de consistencia muy dura

Los apiques excavados, se complementaron en 2 etapas mediante 10 sondeos en la primera etapa entre 4.0 y 6.0 m de profundidad perforados con un equipo de percusión y lavado (realizados por Ingeniería y Geotecnia Ltda. en Abril de 1992) y una segunda etapa de 4 sondeos entre 6.0 y 10.0 m de profundidad perforados con un equipo de percusión y lavado (realizados por esta oficina en enero del 2004). A lo largo de los sondeos se realizó el ensayo de penetración estándar como medida de la densidad de los mantos granulares e índice de consistencia de los suelos arcillosos duros detectados. Adicionalmente, dada la densidad de los mantos encontrados fue necesario el uso de rotación con broca de diamante y broca de diamante. A medida que se efectuaban los sondeos, se midió la resistencia al corte de los mantos arcillosos con Penetrómetro Manual cl-700. Finalmente se extrajeron muestras en bolsa y en tubo de pared delgada (inalteradas) con el objeto de realizar ensayos de corte directo, compresión inconfinada, granulometría, humedad natural, pesos unitarios, límites de Atterberg y clasificación USC. La descripción de los sondeos se muestra a continuación:

- **Sondeo 1**

Se encuentra sobre un depósito coluvial masivo de 4.60 m de espesor con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 – 1.00 Capa vegetal café
1.00 – 4.60 Limo arcilloso habano de consistencia dura a muy dura, con raíces los dos primeros metros y su resistencia aumenta a partir de 3.50m
4.60 – 5.00m Arcillolita roja de consistencia muy dura

- **Sondeo 2**

Se encuentra sobre un depósito coluvial masivo de 4.50 m de espesor con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 – 0.80 Capa vegetal
0.80 – 4.50 Limo arcilloso arenoso habano de consistencia dura
4.50 – 5.00m Suelo residual de Arcillolita

- **Sondeo 3**

Se encuentra sobre un depósito coluvial masivo de 4.50 m de espesor con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 – 0.50 Capa vegetal

0.50 – 6.00 Relleno antrópico limo arcilloso de consistencia dura aumentando su resistencia a 5.50 m

- **Sondeo 4**

El sondeo se realizó sobre los depósitos antrópicos compuestos por limo arcilloso habano, con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 – 1.20 Relleno Compuesto de escombros
1.20 – 4.50 Limo arcilloso con gravas de arenisca
4.50 – 6.00 Arcilla limosa roja

- **Sondeo 5**

El sondeo se realizó sobre los depósitos antrópicos compuestos por limo arcilloso habano, cubriendo coluviones con espesor de 0.80m, con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 – 0.80 Relleno Compuesto de escombros
0.80 – 5.20 Depósito coluvial limo arcilloso con gravas de arenisca
5.20 – 6.00 Arcilla limosa roja

- **Sondeo 6**

El sondeo se realizó sobre los depósitos coluviales más someros a un espesor de 3.5m, con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 – 0.50 Capa Vegetal
0.50 – 3.50 Depósito coluvial limo arcilloso rojizo con raíces aumenta su resistencia a 3 m de profundidad
3.50 – 4.00 Arcillolita roja dura

- **Sondeo 7**

El sondeo se realizó sobre los depósitos coluviales más someros a un espesor de 5.5 m, el cual puede estar asociado con el relleno de un paleovalle, con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 – 0.50 Capa Vegetal
0.50 – 5.50 Depósito coluvial arcillo limoso habano con gravas de arenisca
5.50 – 6.00 Arcilla roja consistencia dura

- **Sondeo 8**

El sondeo se realizó sobre los rellenos antrópicos cubriendo coluviones masivos , con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 – 1.20 Relleno antrópico
1.20 – 5.50 Depósito coluvial limo arcilloso habano con gravas de arenisca
5.50 – 6.00 Arcilla roja consistencia dura

- **Sondeo 9**

El sondeo se realizó sobre los rellenos antrópicos se detecta una superficie de 2.80 m, el cual descansa sobre un depósito coluvial conformado por arcilla limosa habana oscura y gravas de arenisca, con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 – 0.80 Relleno antrópico
0.80 – 2.80 Relleno limo arenoso habano con gravas de arenisca
2.80 – 4.70 Depósito coluvial arcillo limoso habano de consistencia dura
4.70 – 6.00 Arcillolita roja muy dura

- **Sondeo 10**

El sondeo se realizó sobre los rellenos antrópicos con un espesor de 0.90 m sobre la arcillolita, con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 – 0.90 Relleno y capa vegetal
0.90 – 5.00 Arcillolita roja de consistencia muy dura

- **Sondeo 11**

El sondeo se realizó sobre el deslizamiento No. 1, Conformado por rellenos antrópicos, no se detectó la roca, se presenta con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

0.00 – 1.00 relleno compuesto por arenas amarillas
1.00 - 4.50 relleno antrópico compuesto de arena habana oxidada de densidad suelta con vetas de arcilla gris oxidada y raíces
4.50 – 10.00 relleno antrópico compuesto de arena amarilla con gravas de arenisca, oxidada de densidad compacta

- **Sondeo 12**

El sondeo se realizó sobre el deslizamiento No. 1 Conformado por rellenos antrópicos, se detectó la roca a 3.80 m, se presenta con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:
0.00 - 0.60 Relleno heterogéneo compuesto de escombros
0.60 – 1.80 Relleno antrópico de limo arcillo-arenoso habano con raíces de consistencia dura
1.80 – 3.80 Relleno antrópico de gravas y arenas habano de densidad compacta
3.80 – 6.00 Arcillolita habana oxidada de consistencia muy dura

- **Sondeo 13**

El sondeo se realizó sobre el deslizamiento No. 1, Conformado por rellenos antrópicos, no se detectó la roca, se presenta con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

0.00 – 0.60 Relleno habano
0.60 – 2.60 Arena amarilla con vetas de arcilla y raíces de densidad firme
2.60 – 3.50 Arena amarilla con gravas de arenisca oxidada de densidad compacta
3.50 – 6.90 Arcilla limo-arenosa habana oxidada de consistencia muy dura
6.90 – 10.00 Arena habana oxidada con gravas de arenisca oxidada y vetas de arcillolita de densidad muy compacta

- **Sondeo 14**

El sondeo se realizó sobre el deslizamiento No. 1, Conformado por rellenos antrópicos, no se detectó la roca, se presenta con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

0.00 – 2.40 Limo arcillo-arenoso gris de consistencia dura
2.40 – 4.00 Arena amarilla oxidada de densidad media a suelta
4.00 – 5.20 Conglomerado compuesto de arcillas limosas gris con arena, oxidado de densidad suelta
5.20 – 6.00 Arena gris oxidada de densidad compacta

Los apiques realizados fueron revisados por el geólogo de esta oficina cuyo concepto hace parte del presente informe. A continuación se muestra una tabla con las profundidades alcanzadas para cada una de las exploraciones:

Tipo de perforación	N°	Profundidad (m)	Equipo
Sondeo	1	5.0	Percusión y Lavado
Sondeo	2	5.0	Percusión y Lavado
Sondeo	3	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	4	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	5	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	6	4.0	Percusión y Lavado
Sondeo	7	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	8	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	9	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	10	5.0	Percusión y Lavado
Sondeo	11	10.0	Percusión y Lavado
Sondeo	12	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	13	10.0	Percusión y Lavado
Sondeo	14	6.0	Percusión y Lavado
APIQUE	1	1.50	Excavado a mano
APIQUE	1A	1.80	Excavado a mano
APIQUE	2	1.50	Excavado a mano
APIQUE	3	1.80	Excavado a mano
APIQUE	4	1.50	Excavado a mano
APIQUE	5	3.00	Excavado a mano

La descripción promedio de la estratigrafía a partir de la cota actual del terreno es la siguiente:

a) 0.0 – 0.30/2.7 m. Capa vegetal y/o relleno compuesto por arcilla areno-limosa habana con raíces. El mayor espesor del relleno se encuentra en el apique No.5. Este manto no se encontró en el sondeo No. 14 y en el apique 2 y 3

b) 0.0 – 3.50/4.50 m. Arena arcillosa con gravas amarilla y/o habana de densidad compacta a media. N del ensayo SPT varía entre 15 y 39 golpes/pie. Este manto se encontró en los apiques No 2 y 3.

c) 0.30/2.7 – 0.60/2.40 m. Limo arcillo arenoso habano a carmelito, de consistencia dura. La resistencia al corte tomada con penetrómetro manual arroja valores de 2.0 Kg/cm². Este manto no se encontró en los apiques y en los sondeos No. 11 y 13.

d) 0.5/4.5 – 4.50/6.90 m. Arcilla limo-arenosa gris rojiza de consistencia dura a muy dura. La resistencia al corte tomada con un penetrómetro manual varía entre 2.75 y 4.5 Kg/cm². y del ensayo de compresión inconfinada varía entre 3.87 y 2.35 Kg/cm². Clasifica como CL y CL-ML. Este manto se detectó en los sondeos 12 y 13.

e) 4.50/6.90 – 10.0 m. Arena fina habana y/o amarilla con gravas compacta, con lentes de arcillolita rojiza. N del ensayo SPT varía entre 29 y 46 golpes/pie.

Es importante anotar que la profundidad y el número de sondeos que se han ejecutado para la exploración geotécnica y los ensayos de laboratorio realizados para este proyecto dan cumplimiento a lo establecido por el capitulo H de la norma de diseño NSR-98.

2 AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA

Los más destacados son tres (3) cuerpos deslizantes que se encuentran en la zona de coluviones y botaderos como se detalla en la cartografía geológica.

Potencialmente el costado Occidental presenta susceptibilidad a los movimientos de remoción en masa en las zonas de los botaderos puesto que estos fueron colocados sin ninguna compactación ni control de drenaje.

La zona de los coluviones en la parte Nor Oriental también muestra geoformas de deslizamientos dentro de los coluviones los cuales están limitados por la interfase coluvión – suelo residual y aunque en la actualidad están en un equilibrio límite la concentración de aguas lluvias y el sismo pueden reactivar dichos deslizamientos.

La depresión de la quebrada Sucre es otra zona potencial de fenómenos de remoción principalmente asociados con flujos de tierra antiguos mezclados con materiales extraídos de la excavación del canal que se construyo en el fondo del cauce.

La zona Occidental del lote se puede considerar como amenaza alta por el efecto de los deslizamientos cicatrizados, la zona del coluvión de baja pendiente como amenaza baja, la zona centro oriental de un deslizamientos latente se considera de amenaza alta así como la zona en donde coexisten los botaderos y coluviones en el costado más Oriental del lote. La margen izquierda de la quebrada Sucre se puede considerar de amenaza intermedia debido a la baja consistencia de los suelos pero que en la actualidad tienen un buen confinamiento con el canal allí construido.

2.1 GENERALIDADES

En forma general, el Factor de Seguridad (*FS*) de un talud está dado por la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes. A su vez las fuerzas resistentes son función de los parámetros de resistencia del material (ángulo de fricción ϕ', y cohesión *c'*), la presión de poros (que se puede modelar como *Ru*), la aceleración producida por el sismo (α), el peso unitario (γ) y el ángulo del talud (β); las fuerzas actuantes, a su vez, son función del peso unitario (γ), el ángulo del talud (β), la presión de poros (*Ru*) y la aceleración producida por el sismo (α). Se puede decir que, todas las anteriores variables son aleatorias (con su respectiva distribución de probabilidad) y que se pueden considerar como independientes; la convolución de estas variables (según el modelo de falla) determina la distribución de probabilidad del Factor de Seguridad (*FS*); se puede determinar la probabilidad de falla del talud (*Pf*) determinando la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor o igual a 1.0.

Bajo la hipótesis de que las variables son independientes, se puede decir que la distribución de probabilidades del factor de seguridad es igual a la multiplicación de las funciones de distribución de probabilidad de las variables aleatorias, es decir:

$$f(FS) \quad = \quad f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru)$$

Además, se tiene que:

$$FS \quad = \quad \varphi(\phi, c, \alpha, Ru)$$

Entonces, la probabilidad de falla se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Pf \quad = \quad P\,(FS \leq 1.0) \quad = \quad \iiint_S f(FS)\, dFS \quad = \quad \iiint_S f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru)\, d\phi\, dc\, d\alpha\, dRu$$

En donde *S* es el conjunto de todo (ϕ', ***c'***, α, *Ru*) tal que φ(ϕ', ***c'***, α, *Ru*) es menor o igual a 1.0, es decir cuando el *FS* < 1.0 (falla del talud). Para la determinación de la probabilidad de falla de las diferentes secciones geotécnicas de análisis seleccionadas se utilizó el método de Monte Carlo, implementado en el software Slide 5.0 de la casa Rocscience Inc.

A continuación se presenta la variabilidad de los factores intrínsecos de los diferentes materiales que conforman la zona, los factores detonantes influyentes y los resultados de los análisis de estabilidad probabilísticas.

2.2 FACTORES INTRÍNSECOS

Para determinar la variabilidad de estos parámetros se tuvieron en cuenta los ensayos de corte directo efectuados sobre muestras tomadas a lo largo del programa de exploración y las correlaciones con el ensayo de penetración estándar (SPT) en cada uno de los diferentes materiales objeto de análisis.

Como primera medida se obtiene el ángulo de fricción interna del material por medio de la correlación con el SPT, propuesta por Kishida; adicionalmente se utilizan los valores de cohesión y fricción a partir del corte directo de muestras obtenidas en el sitio y finalmente y como validación de los valores a utilizar se revisan los obtenidos para depósitos similares en otros proyectos similares realizados por EYR posteriormente se determina el esfuerzo de corte en la falla (utilizando el criterio de falla de Mohr-Coulomb) dado esté ángulo (suponiendo un esfuerzo normal de falla igual al esfuerzo efectivo in-situ). Teniendo el total de los resultados (puntos de corte a diferentes esfuerzos normales) se puede determinar la línea de falla, obteniéndose así el ángulo de fricción efectivo y la cohesión efectiva del material.

2.2.1 Valores del ángulo de fricción interna del suelo por medio de la correlación con el SPT propuesto por Kishida

A continuación se enuncian los pasos realizados para obtener los parámetros de resistencia de los materiales:

- El primer paso consiste en encontrar el N_{70} o número de golpes por pie corregido a una energía del 70%

- Una vez obtenido N_{70} se calcula el valor del ángulo de fricción interna (ϕ') por la correlación de Kishida:

$$\phi = \sqrt{20 \times N_{70}} + 15$$

- Siguiendo el criterio de falla de Mohr – Coulomb, se procede a calcular el valor correspondiente al esfuerzo cortante suponiendo una cohesión de cero (suponiendo que el ϕ' hallado anteriormente es el ángulo de fricción total).

- Se realiza una gráfica esfuerzo normal efectivo v.s. esfuerzo cortante obteniendo de la correlación lineal los valores de *c'* y ϕ'.

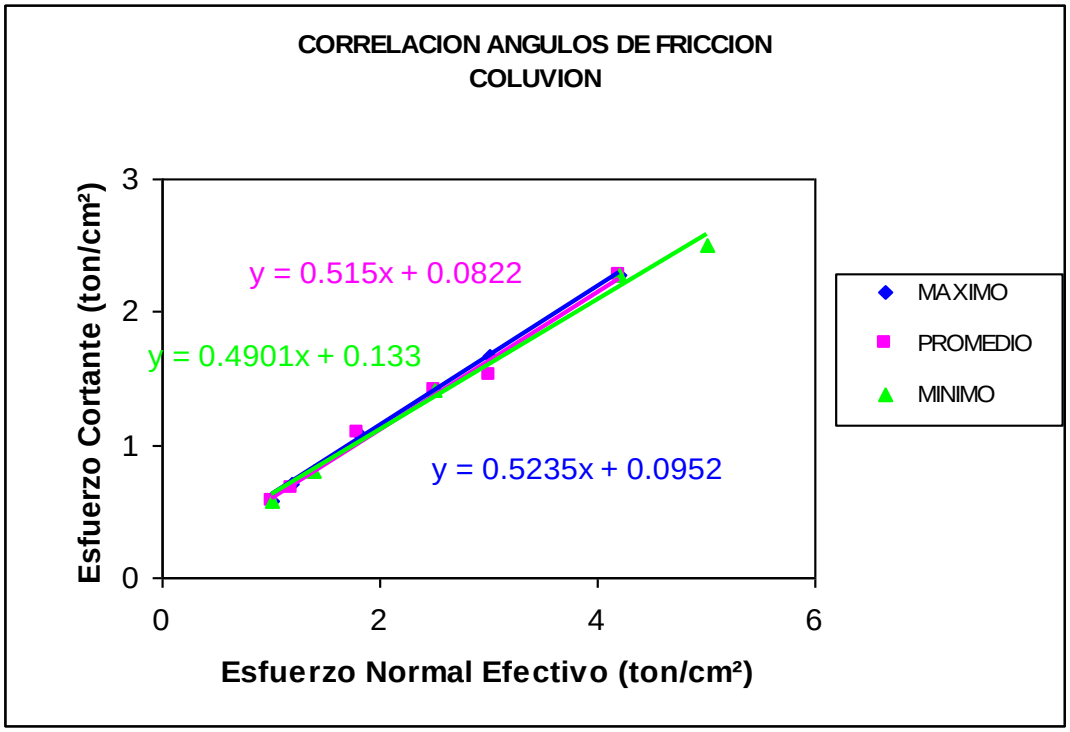
Los resultados obtenidos para el material de coluvión objeto de análisis, se presenta a continuación:

COLUVION

MAXIMO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
0.5	7	12	30	0.65	1.00	0.58
0.6	8	12	31	0.78	1.20	0.71
0.9	11	13	31	1.17	1.80	1.09
1.5	12	10	29	1.95	3.00	1.67
1.25	11	10	29	1.63	2.50	1.41
2.1	14	9	28	2.73	4.20	2.27

PROMEDIO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
0.5	7	12	30	0.65	1.00	0.58
0.6	6.5	10	29	0.78	1.20	0.67
0.9	11	13	31	1.17	1.80	1.09
1.5	8.5	7	27	1.95	3.00	1.52
1.25	11	10	29	1.63	2.50	1.41
2.1	14	9	28	2.73	4.20	2.27

MINIMO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
0.5	7	12	30	0.65	1.00	0.58
0.7	8	11	30	0.91	1.40	0.81
1.25	11	10	29	1.63	2.50	1.41
2.1	14	9	28	2.73	4.20	2.27
2.5	12	7	27	3.25	5.00	2.50



PROMEDIO COLUVION

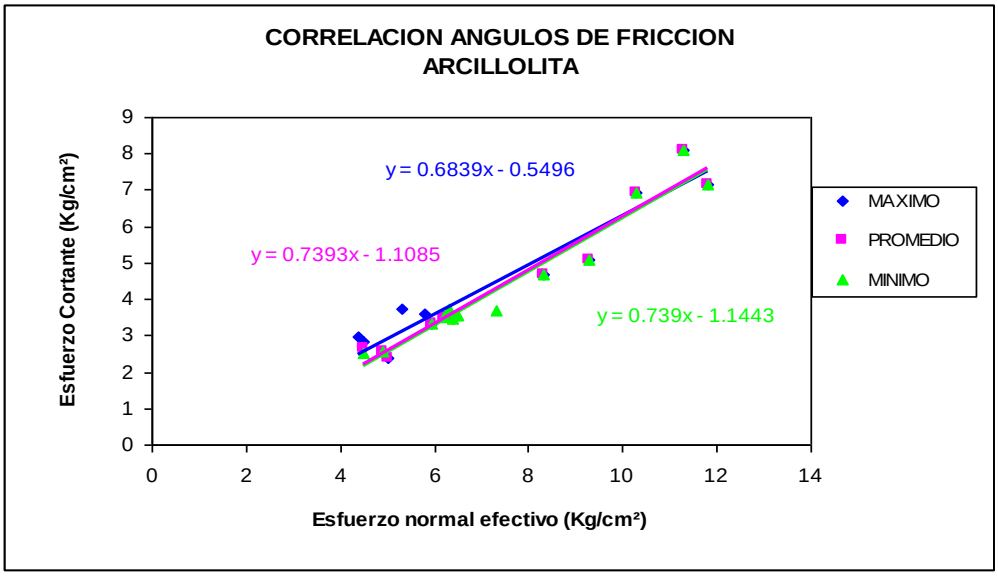
	C(Kg/cm²)	ϕ
promedio	0.08	27

ARCILLOLITA

MAXIMO						
Profundidad (m)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m2)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esf. Cortante (ton/m²)
2.6	29	18	34	3.38	4.40	2.96
2.7	24	15	32	3.51	4.50	2.82
3.1	14	8	28	4.03	4.90	2.56
3.2	10	6	26	4.16	5.00	2.39
3.5	38	20	35	4.55	5.30	3.72
4	29	14	32	5.20	5.80	3.61
4.15	21	10	29	5.40	5.95	3.33
4.4	23	11	30	5.72	6.20	3.52
4.6	20	9	28	5.98	6.40	3.47
6.5	29	10	29	8.45	8.30	4.68
7.5	29	9	29	9.75	9.30	5.09
8.5	37	18	34	11.05	10.30	6.93
9.5	46	21	36	12.35	11.30	8.09
10	29	13	31	13.00	11.80	7.14

PROMEDIO						
Profundidad (m)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m2)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esf. Cortante (ton/m²)
2.7	20	12	31	3.51	4.50	2.66
3.1	14	8	28	4.03	4.90	2.56
3.2	10	6	26	4.16	5.00	2.39
4.15	21	10	29	5.40	5.95	3.33
4.4	23	11	30	5.72	6.20	3.52
4.6	20	9	28	5.98	6.40	3.47
6.5	29	10	29	8.45	8.30	4.68
7.5	29	9	29	9.75	9.30	5.09
8.5	37	18	34	11.05	10.30	6.93
9.5	46	21	36	12.35	11.30	8.09
10	29	13	31	13.00	11.80	7.14

MINIMO						
Profundidad (m)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m2)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esf. Cortante (ton/m²)
2.7	17	10	29	3.51	4.50	2.53
3.1	14	8	28	4.03	4.90	2.56
4.15	21	10	29	5.40	5.95	3.33
4.4	23	11	30	5.72	6.20	3.52
4.5	27	12	31	5.85	6.30	3.74
4.6	20	9	28	5.98	6.40	3.47
4.7	21	9	29	6.11	6.50	3.56
5.5	17	7	27	7.15	7.30	3.67
6.5	29	10	29	8.45	8.30	4.68
7.5	29	9	29	9.75	9.30	5.09
8.5	37	18	34	11.05	10.30	6.93
9.5	46	21	36	12.35	11.30	8.09
10	29	13	31	13.00	11.80	7.14



PROMEDIO ARCILLOLITA

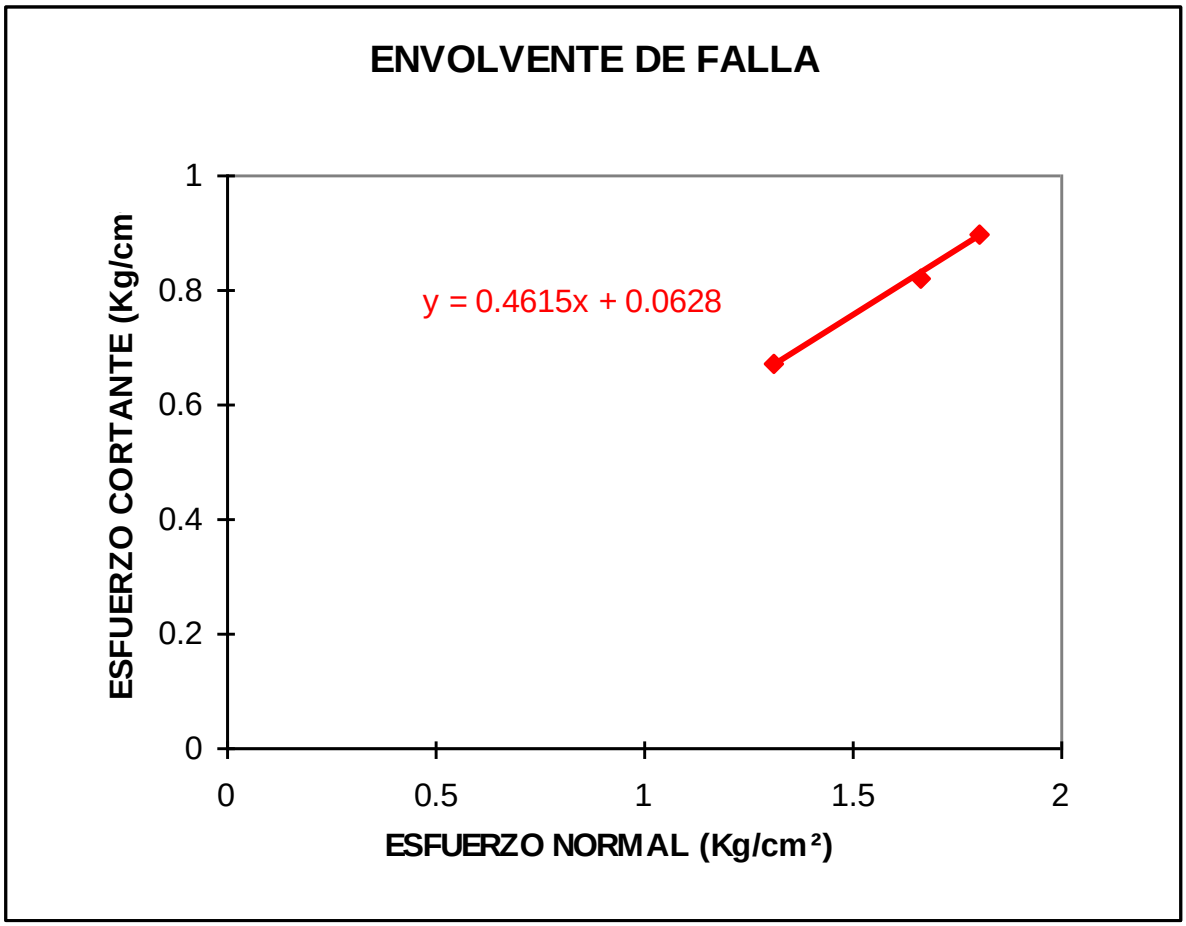
	C(Kg/cm²)	ϕ
promedio	0.00	36

2.2.2 Valores del ángulo de fricción interna del suelo obtenidos por medio de los ensayos de corte directo

Se le realizaron ensayos de corte directo a muestras representativas del suelo tomadas en las perforaciones realizadas en la zona de estudio. Los resultados se muestras y resumen a continuación:

APIQUE 1 MUESTRA 2

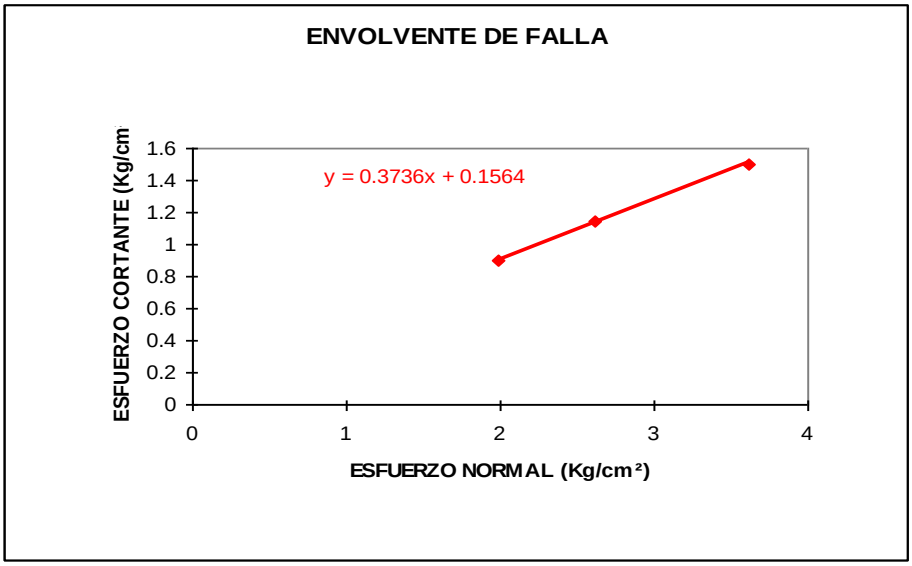
DIAMETRO (cms)		6.3	**ENSAYO DE CORTE DIRECTO CU**					
ALTURA (cms)		2	Proyecto: **BELVEDERE**					
AREA (cm2)		31.17	Apique 1 Muestra 2 Profundidad : 1.20 a 1.50 m					
ESFUERZO NORMAL (Kg/cm²)		0.9	Arcilla arenosa gris rojiza					
Tiempo	**L. Carga anillo**	**Fuerza Cortante (Kg)**	**Def Horz (0.01 mm)**	**Def. Unit**	**Def Vert (0.002 mm)**	**Def. Unit**	**Area Corr (cm2)**	**Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)**
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.17	0.00
0'30"	20.00	6.31	20.00	0.00	18.00	0.00	31.17	0.20
1'00"	25.00	7.89	41.00	0.01	48.00	0.00	31.17	0.25
1'30	29.00	9.16	65.00	0.01	70.00	0.01	31.18	0.29
2'00	33.00	10.42	94.00	0.01	90.00	0.01	31.18	0.33
2'57"	36.00	11.37	150.00	0.02	98.00	0.01	31.18	0.36
3'54"	43.00	13.58	200.00	0.03	126.00	0.01	31.18	0.44
4'52"	55.00	17.36	250.00	0.04	148.00	0.01	31.18	0.56
5'46"	62.00	19.57	300.00	0.05	158.00	0.02	31.19	0.63
6'42"	67.00	21.15	350.00	0.06	172.00	0.02	31.19	0.68
7'35"	70.00	22.10	400.00	0.06	188.00	0.02	31.19	0.71
8'28"	73.00	23.05	450.00	0.07	206.00	0.02	31.19	0.74
9'19"	75.00	23.68	500.00	0.08	214.00	0.02	31.20	0.76
10'15"	77.00	24.31	550.00	0.09	238.00	0.02	31.20	0.78
11'08"	79.00	24.94	600.00	0.10	254.00	0.03	31.20	0.80
12'02"	80.00	25.26	650.00	0.10	278.00	0.03	31.20	0.81
12'54"	81.00	25.57	700.00	0.11	300.00	0.03	31.21	0.82
13'52"	82.00	25.89	750.00	0.12	330.00	0.03	31.21	0.83
14'07"	83.00	26.20	800.00	0.13	350.00	0.04	31.21	0.84
15'39"	85.00	26.83	850.00	0.13	366.00	0.04	31.21	0.86
16'32"	87.00	27.47	900.00	0.14	368.00	0.04	31.22	0.88


ENVOLVENTE DE FALLA
y = 0.4615x + 0.0628
ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm
ESFUERZO NORMAL (Kg/cm²)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
0
0.5
1
1.5
2

APIQUE 2 MUESTRA 2

DIAMETRO (cms)	6.3	**ENSAYO DE CORTE DIRECTO CU**	
ALTURA (cms)	2	Proyecto: **BELVEDERE**	
AREA (cm2)	31.17	Apique 2 Muestra 2	Profundidad de 1.00 – 1.50
ESFUERZO NORMAL (Kg/cm²)	0.9	Arcilla limoarenosa rojiza ocre	

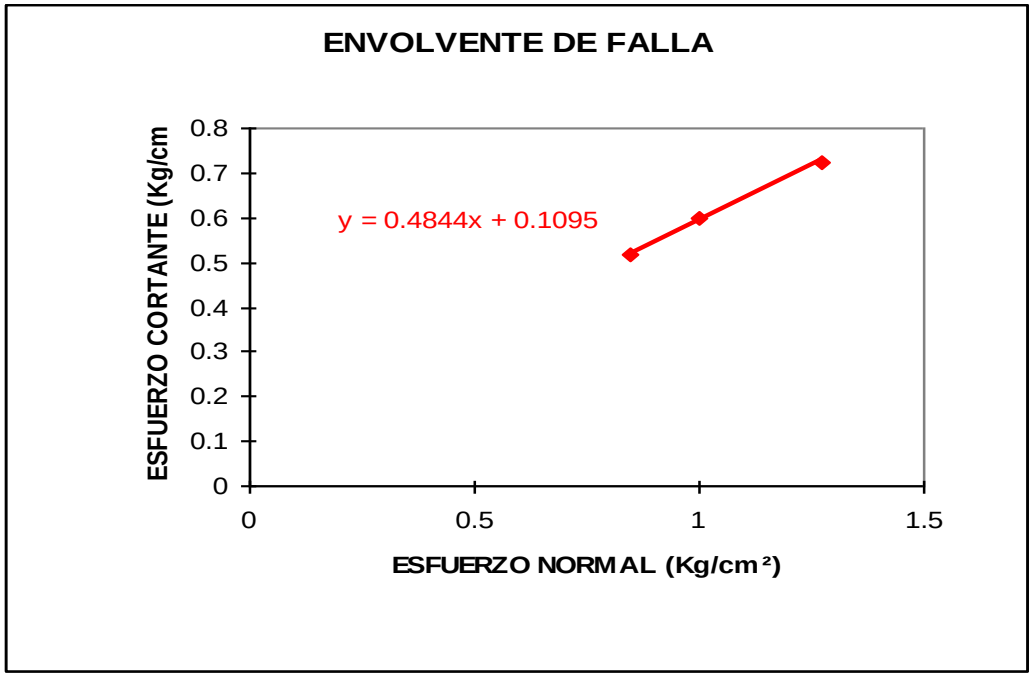
Tiempo	L. Carga anillo	Fuerza Cortante (Kg)	Def Horz (0.01 mm)	Def. Unit	Def Vert (0.002 mm)	Def. Unit	Area Corr (cm2)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.17	0.00
0'30"	17.00	5.37	20.00	0.00	0.00	0.00	31.17	0.17
1'00"	20.00	6.31	50.00	0.01	0.00	0.00	31.17	0.20
1'30	23.00	7.26	78.00	0.01	-4.00	0.00	31.18	0.23
2'00	50.00	15.79	98.00	0.02	-12.00	0.00	31.18	0.51
3'20"	148.00	46.72	150.00	0.02	-80.00	-0.01	31.18	1.50
4'46"	205.00	64.72	200.00	0.03	-78.00	-0.01	31.18	2.08
5'28"	208.00	65.67	250.00	0.04	-78.00	-0.01	31.18	2.11
6'04"	160.00	50.51	300.00	0.05	-82.00	-0.01	31.19	1.62
6'42"	115.00	36.31	350.00	0.06	-110.00	-0.01	31.19	1.16
7'26"	85.00	26.83	400.00	0.06	-132.00	-0.01	31.19	0.86
8´18"	80.00	25.26	450.00	0.07	-132.00	-0.01	31.19	0.81
9'04"	86.00	27.15	500.00	0.08	-132.00	-0.01	31.20	0.87



APIQUE 6 MUESTRA 1

DIAMETRO (cms)	6.3	**ENSAYO DE CORTE DIRECTO CU**	
ALTURA (cms)	2	Proyecto: **BELVEDERE**	
AREA (cm2)	31.17	Apique 3 Muestra 2	Profundidad de 0.80 – 1.00
ESFUERZO NORMAL (Kg/cm²)	0.9	Arcilla arenosa gris clara oxidada	

Tiempo	L. Carga anillo	Fuerza Cortante (Kg)	Def Horz (0.01 mm)	Def. Unit	Def Vert (0.002 mm)	Def. Unit	Area Corr (cm2)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.17	0.00
0'30"	16.00	5.05	23.00	0.00	40.00	0.00	31.17	0.16
1'00"	23.00	7.26	40.00	0.01	86.00	0.01	31.17	0.23
1'30	30.00	9.47	78.00	0.01	106.00	0.01	31.18	0.30
2'00	35.00	11.05	110.00	0.02	138.00	0.01	31.18	0.35
2'49"	41.00	12.94	150.00	0.02	152.00	0.02	31.18	0.42
3'36"	45.00	14.21	200.00	0.03	182.00	0.02	31.18	0.46
4'30"	48.00	15.15	250.00	0.04	190.00	0.02	31.18	0.49
5'20"	51.00	16.10	300.00	0.05	200.00	0.02	31.19	0.52
6'12"	53.00	16.73	350.00	0.06	208.00	0.02	31.19	0.54
7'00"	54.00	17.05	400.00	0.06	226.00	0.02	31.19	0.55
7'50"	54.00	17.05	450.00	0.07	240.00	0.02	31.19	0.55
8'42"	54.00	17.05	500.00	0.08	260.00	0.03	31.20	0.55
9'28"	53.00	16.73	550.00	0.09	282.00	0.03	31.20	0.54
10'15"	52.00	16.42	600.00	0.10	300.00	0.03	31.20	0.53
11'06"	50.00	15.79	650.00	0.10	320.00	0.03	31.20	0.51
11'55"	48.00	15.15	700.00	0.11	340.00	0.03	31.21	0.49



RESUMEN VALORES CORTE DIRECTO

	C (kg/cm²)	ϕ
AP 1-2	0.06	25
AP 2-2	0.20	20
AP 6-1	0.11	26

Cabe recalcar los menores valores de resistencia obtenidos en los ensayos de laboratorio. Con base en los resultados obtenidos se tomó la decisión de utilizar los valores obtenidos en los ensayos de corte directo como parámetros de entrada en los análisis de estabilidad.

2.3 FACTORES DETONANTES

2.3.1 Lluvia

La precipitación es el factor que comúnmente se asocia con los fenómenos de remoción en masa, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de aguaceros de gran magnitud, o durante los periodos lluviosos, ya que al producirse la precipitación, el agua puede ser conducida por la superficie en forma de escorrentía o puede filtrarse a través de ella. El primero de estos dos fenómenos ocasiona problemas de erosión, principalmente en zonas donde no hay cobertura vegetal, donde la presencia de surcos y cárcavas puede hacer al talud susceptible al deslizamiento por medio de la infiltración. Por otro lado el agua de infiltración generará aumento en las presiones de poros y reducción de la resistencia del suelo en terminas de esfuerzos efectivos comprometiendo la estabilidad de los cortes

Para efectos de análisis se ha trabajado con la información obtenida a partir de estudios realizados por INGEOCIM-UPES, 1998 los cuales establecen la lluvia crítica para diferentes sitios de la ciudad de acuerdo con el siguiente cuadro, definiéndose como lluvia crítica como aquella que genera la falla del talud.

Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Santafé de Bogotá (INGEOCIM - UPES, 1998)

ZONA	LLUVIA CRÍTICA (MM)	DURACIÓN (DÍAS)
Suroccidental	0.3609 x Lluvia anual (mm)	$3.2829 * LLcrit^{0.4157}$
Cerros orientales	12.6325 + 0.1814 x Lluvia anual (mm)	0.04923 * LLcrit

El sector en estudio se encuentra en la zona de Cerros Orientales, y puede ser caracterizado con la estación La Vieja (Código 2120066 “LVI”), donde se registran precipitaciones totales anuales del orden de 1000 mm, como se puede apreciar en la Figura de la Distribución espacial de la precipitación media anual en Bogotá. Donde a partir de los valores de lluvia anual, se obtienen los resultados de la relación entre la lluvia anual y la lluvia crítica presentados a continuación.

Resultados obtenidos de la relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual[1]

Zona	Lluvia crítica (mm)	Duración (días)	Periodo de Retorno (años)	Probabilidad de Ocurrencia (%)
Cerros orientales	198.3	10	17	0.06

De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que la precipitación acumulada crítica para la zona en estudio es del orden 198 mm, con duración de 10 días y una probabilidad anual de ocurrencia (1/Periodo de Retorno) del orden de 6.0 %, la cual será utilizada para efectos de análisis de estabilidad.

La distribución de probabilidad acumulada del nivel de agua, se ajustó a una distribución de probabilidad exponencial truncada, entre el nivel mínimo (referido como 0) y el nivel máximo (referido como 1), teniendo en cuenta el período de retorno de la lluvia crítica:

$$P\,(N \geq x) = \begin{cases} 1 & x < 0 \\ e^{-\lambda\left(\frac{x}{x-1}\right)} & 0 \leq x < 1 \\ 0 & x \geq 1 \end{cases}$$

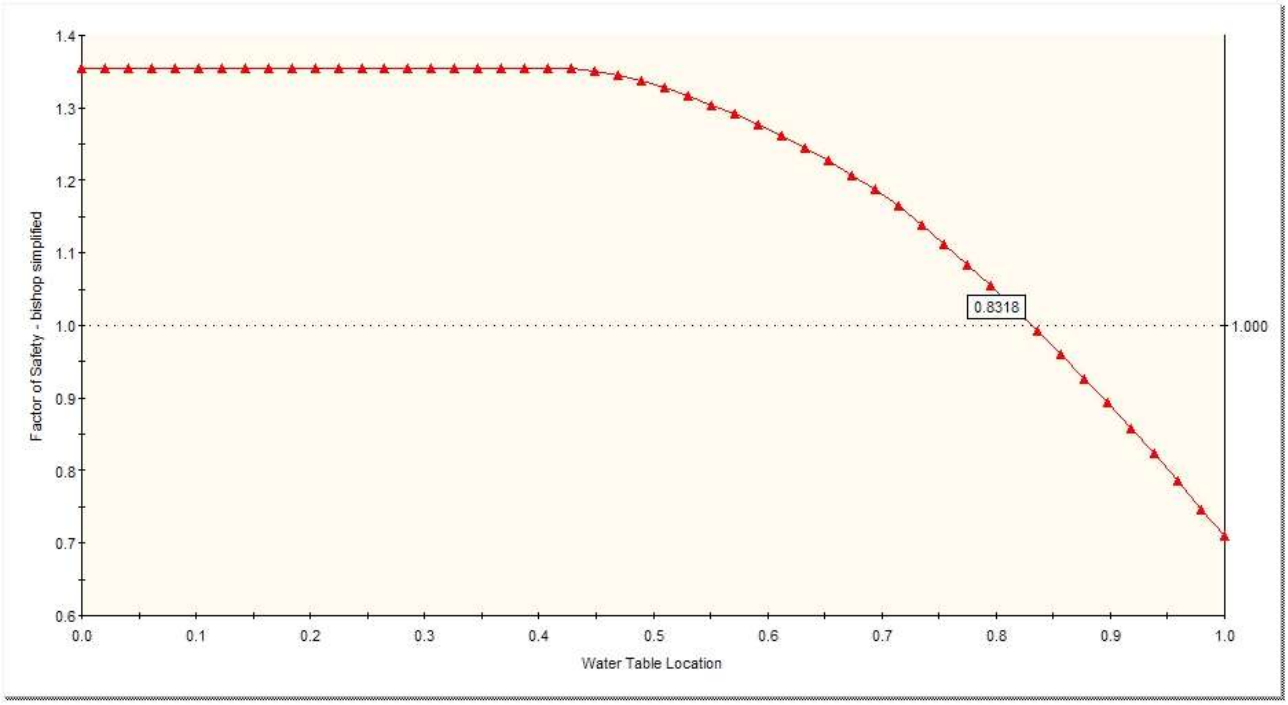
$$\lambda = \frac{Ln(T)}{N_c}$$

$$\lambda = \frac{1}{Np}$$

[1] González, A., Zamudio, E. y Castellanos, R. (1999). **Relaciones de precipitación crítica-duración que disparan movimientos en masa en Santafé de Bogotá, Colombia**. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

Nc : Nivel de agua critico
T : Período de retorno de la lluvia crítica
Np : Nivel de agua promedio

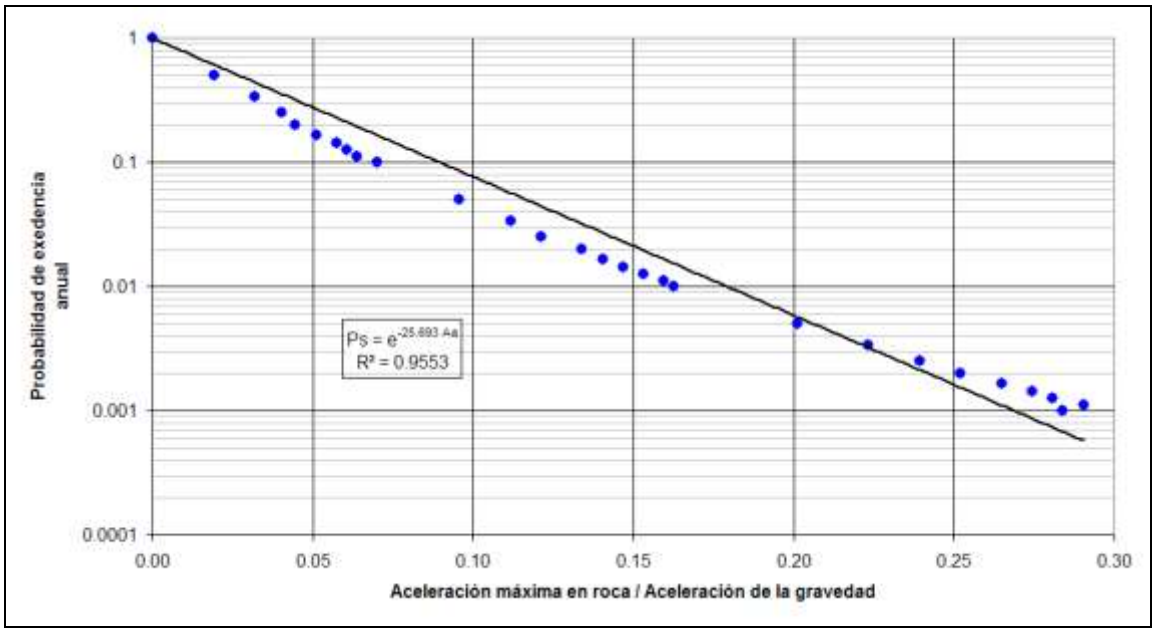
El nivel de agua crítico se define como el nivel del agua para el cual, en condiciones promedio, el talud presenta un factor de seguridad de 1.0; para determinarlo, para cada uno de los materiales encontrados en la zona de estudio, se realizaron análisis de sensibilidad del factor de seguridad y el nivel del agua para diferentes secciones de análisis (siete secciones de análisis). Los resultados se obtenidos se presentan a continuación:



Parámetros estadísticos para el nivel del agua en los diferentes materiales

2.3.2 Sismo

Para determinar la variabilidad de la aceleración máxima horizontal a nivel de roca, se utilizaron los datos del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá (AIS, 1997), ajustando los datos a una función de probabilidad exponencial (véase la Figura siguiente).



Probabilidad de excedencia del sismo en la zona ajustada a una distribución exponencial

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Condición actual por deslizamiento

Para determinar la estabilidad de la zona en estudio se realizaron tres secciones de análisis representativas tanto del lote de estudio como de la ladera en general y localizadas donde se presentaran los mayores cortes.

Para clasificar la amenaza se utilizaron los factores de seguridad o probabilidades de falla por lo que se utilizó la escala usada para Bogotá (INGEOCIM-UPES, 1998) como se resume a continuación:

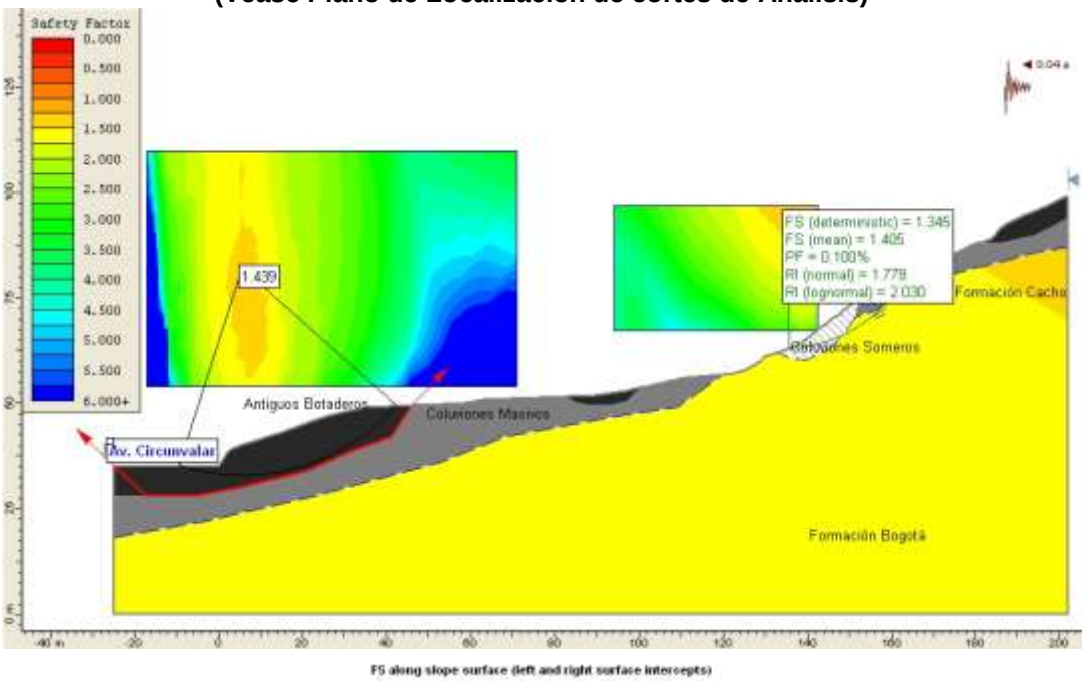
Tabla de amenazas

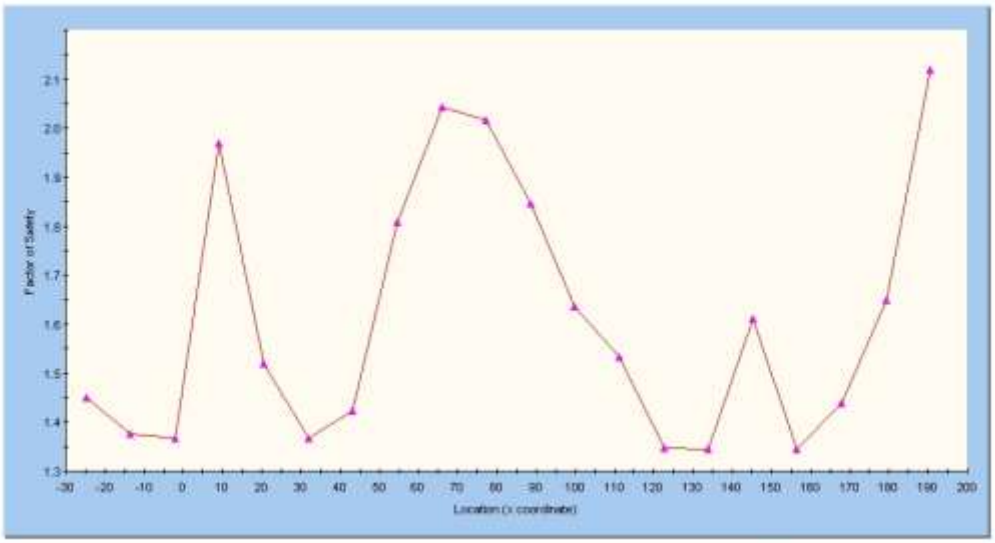
CATEGORIA DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD
AMENAZA MUY ALTA	FS ≤ 0.6
AMENAZA ALTA	0.6 < FS ≤ 1.1
AMENAZA MEDIA	1.1 < FS ≤ 1.9
AMENAZA BAJA	1.9 < FS ≤ 3.4
AMENAZA MUY BAJA	FS > 3.4

El resumen de los análisis de estabilidad probabilísticos para la condición actual se presenta en las siguientes figuras, allí se puede apreciar que en forma general en las laderas de la zona de estudio (Véase Plano de Localización de cortes de Análisis), los factores de seguridad para la condición actual del terreno varían entre 2.27 y 1.34 con lo que se podría catalogar la zona como de amenaza media, dichos factores de seguridad bajan considerablemente al tener las sobrecargas por las obras proyectadas y se obtienen valores menores a 1.0 con lo que la zona se catalogaría como de amenaza. Estos últimos se deben a que en algunos sectores se presentan antiguos botaderos y rellenos antrópicos los cuales en algunos lugares se convirtieron en cuerpos deslizantes lo cual indica la alta probabilidad de falla de dichos taludes sin la implementación de obras de mitigación.

Finalmente los niveles de agua adoptados corresponden a la tabla crítica que podría generar una condición de falla

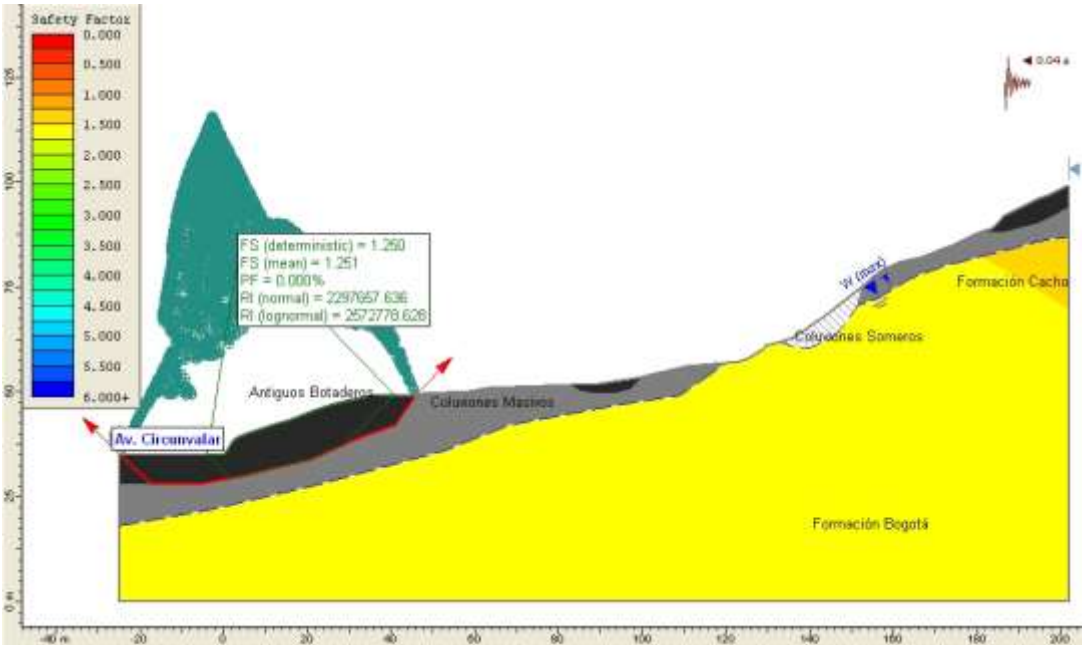
CORTE A-A' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

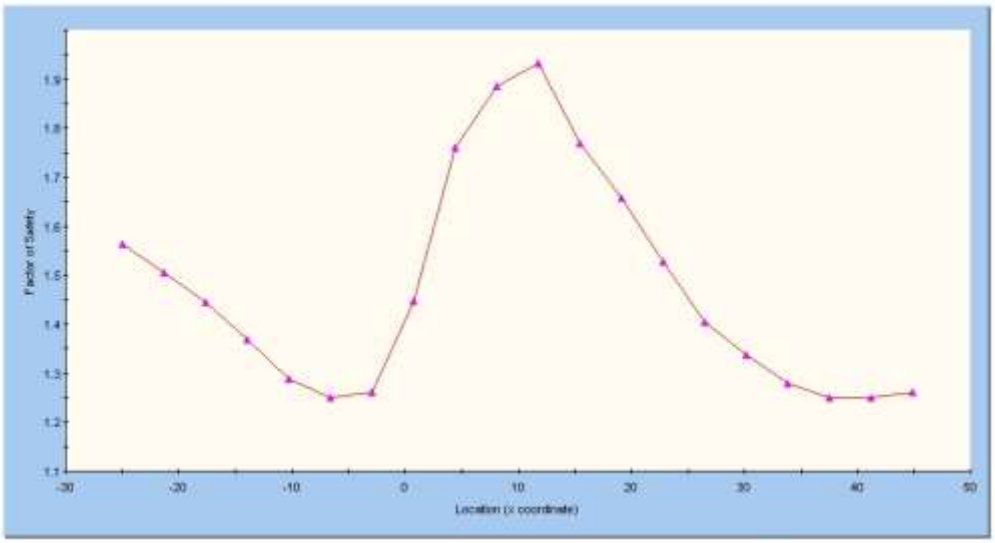




Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE A-A' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

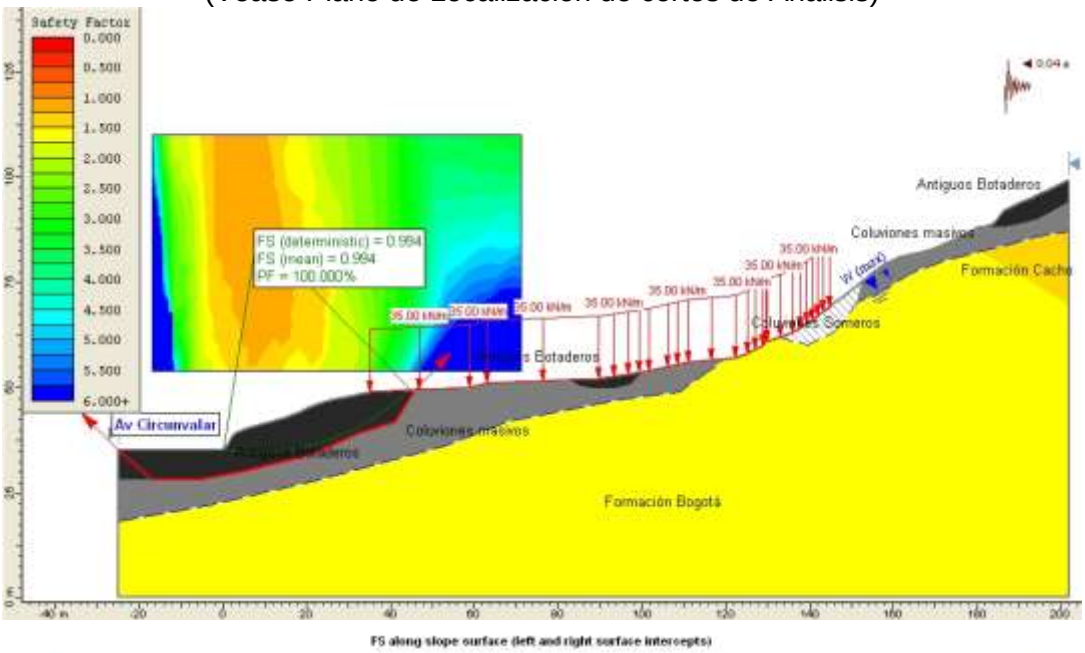


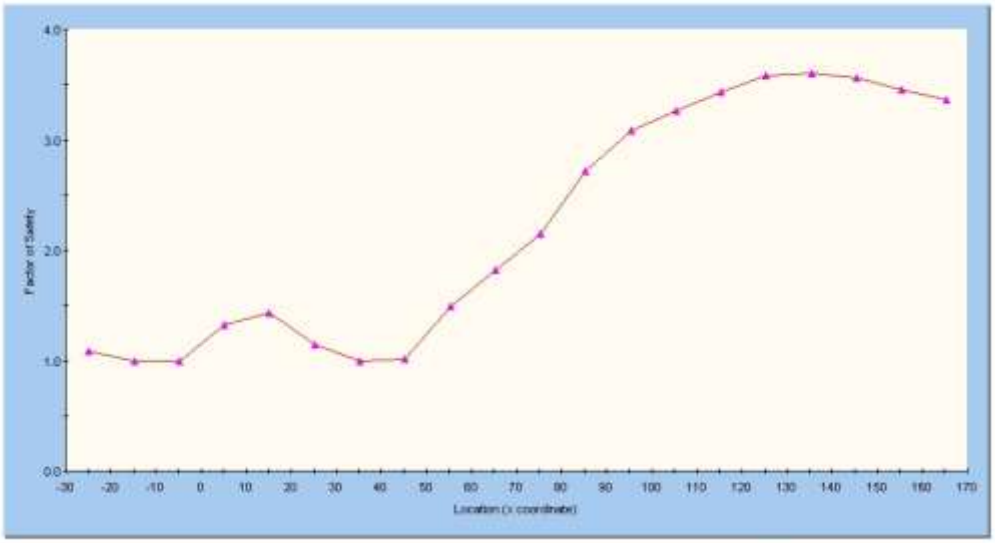


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE A-A' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA
(Falla Rotacional)

(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

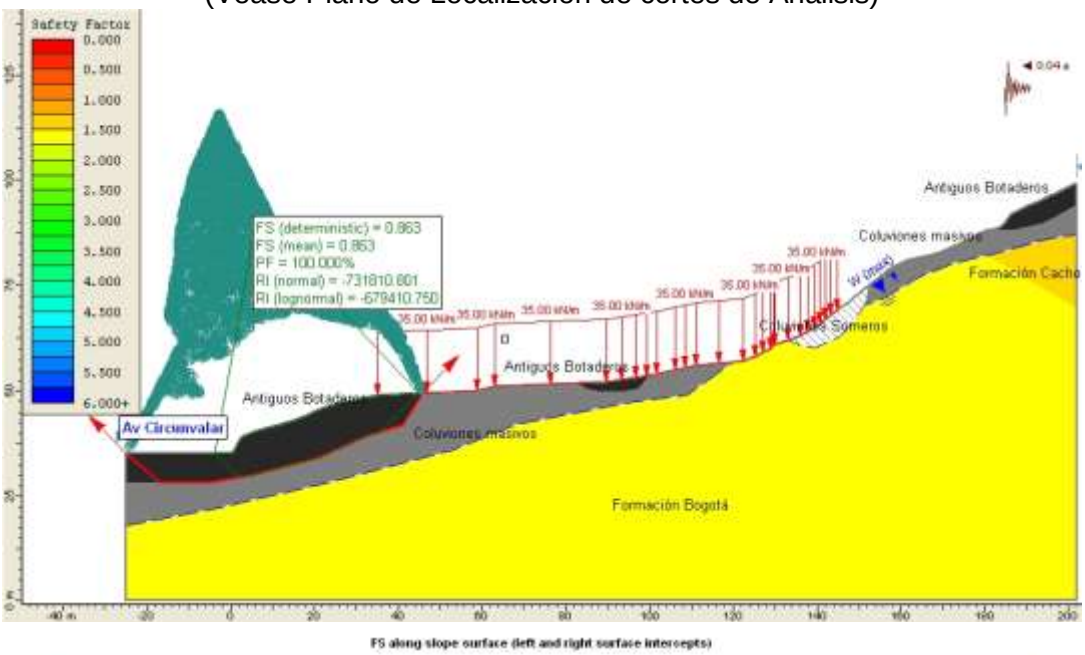


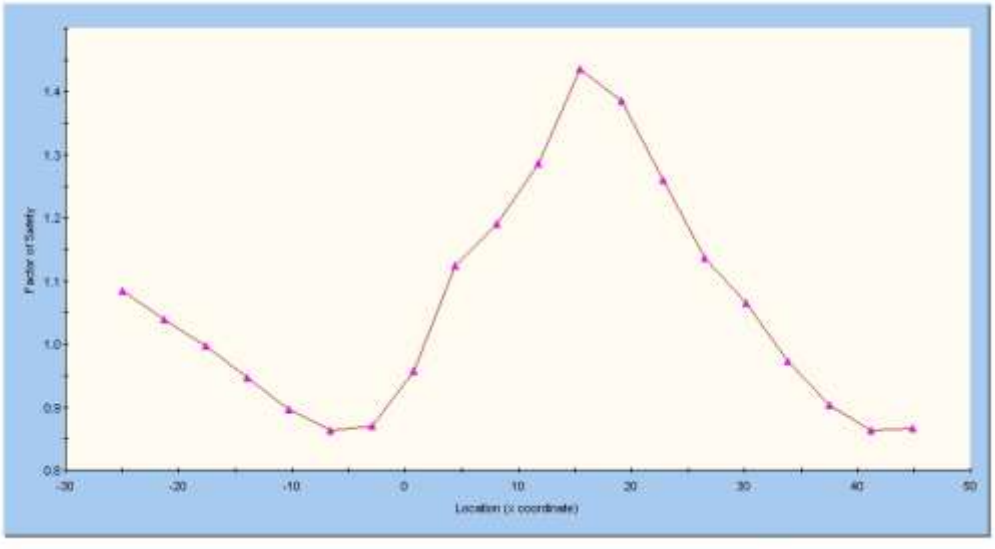


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE A-A' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA
(Falla Translacional)

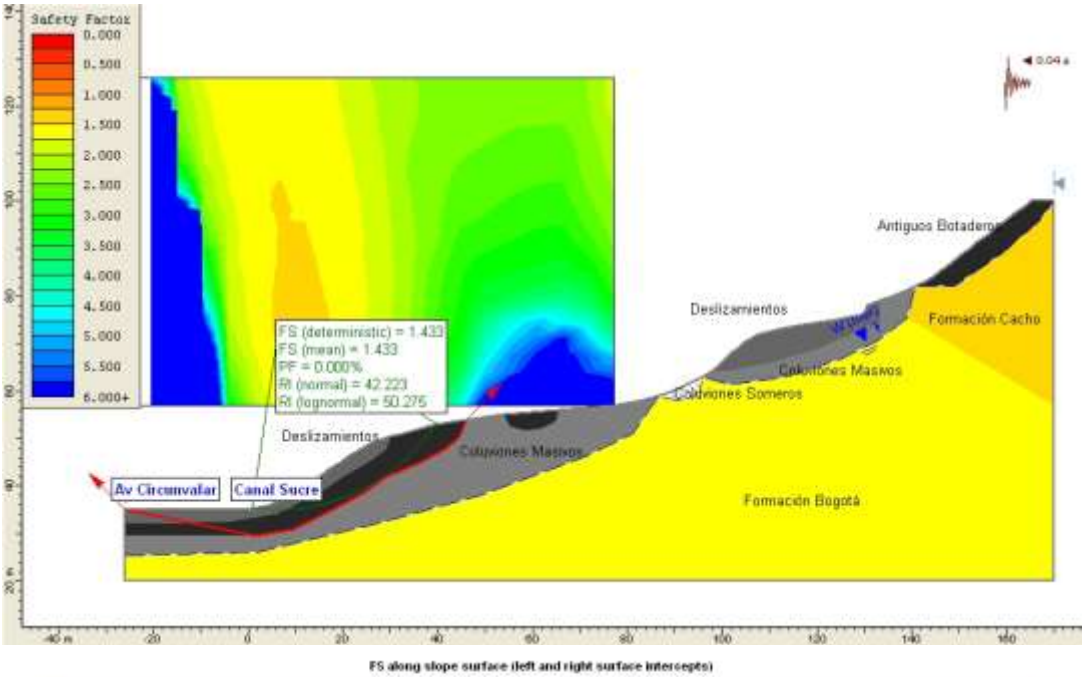
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

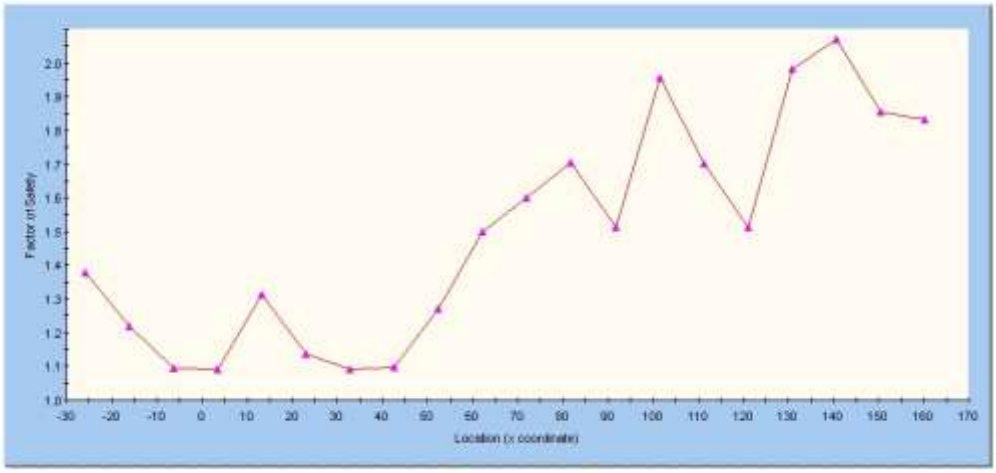




Factor de seguridad Vs. Abscisa

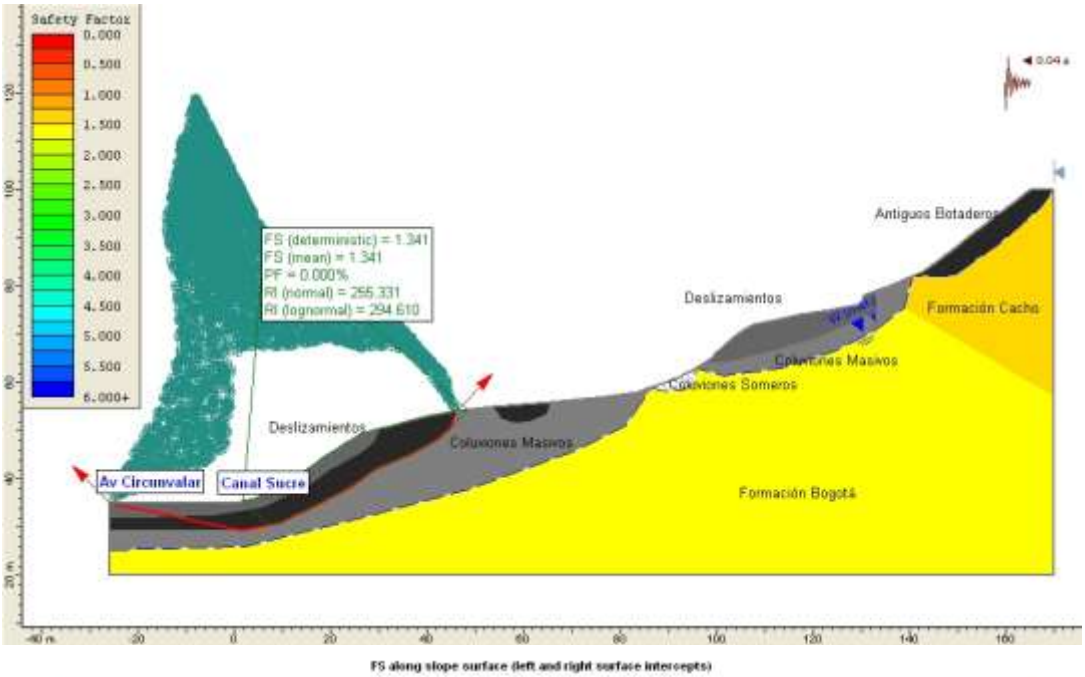
CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

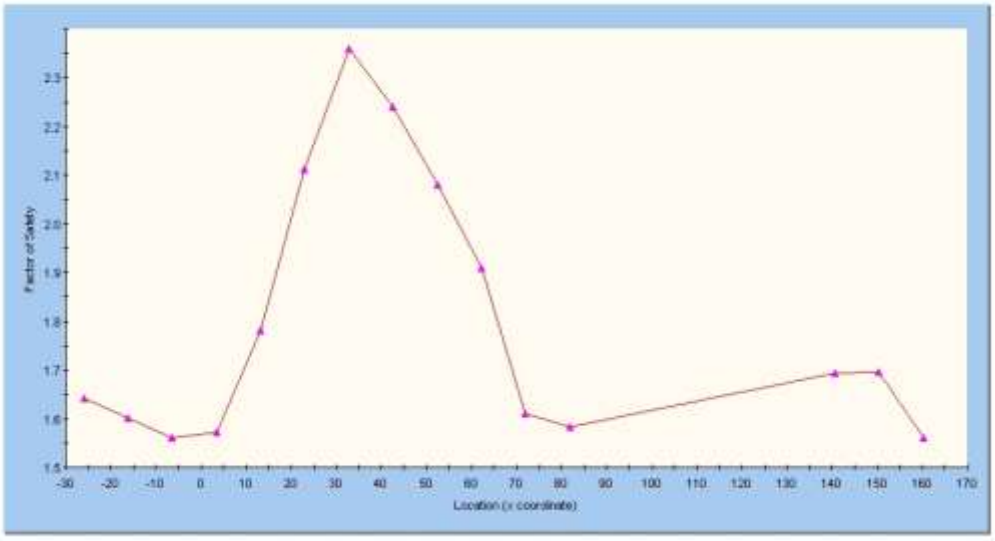




Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



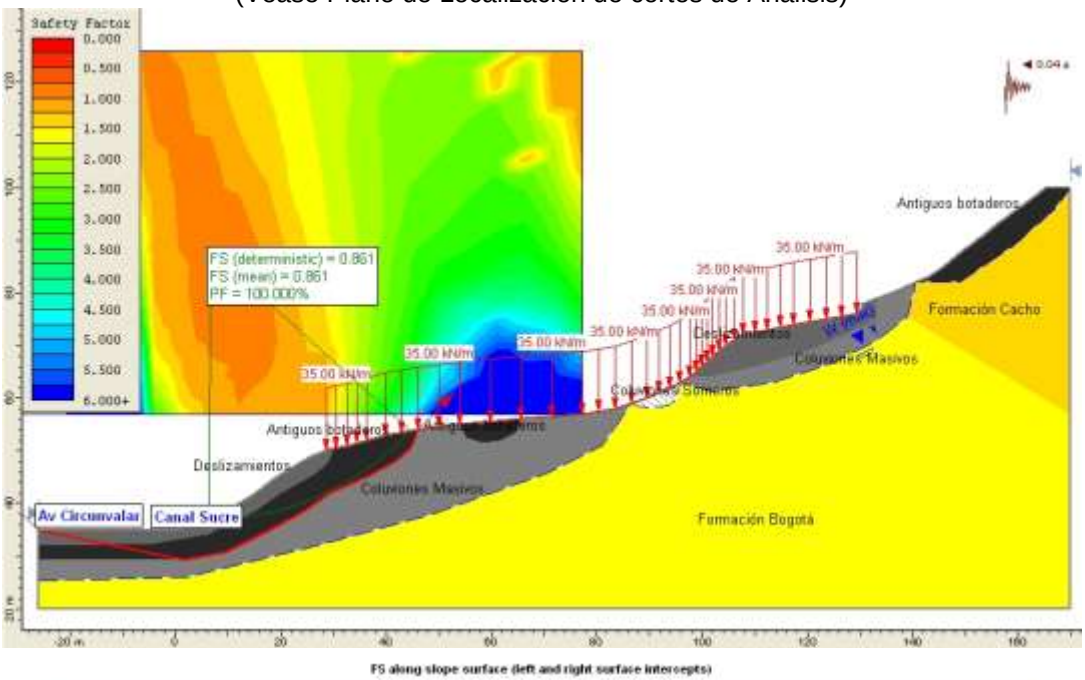


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA

(Falla Rotacional)

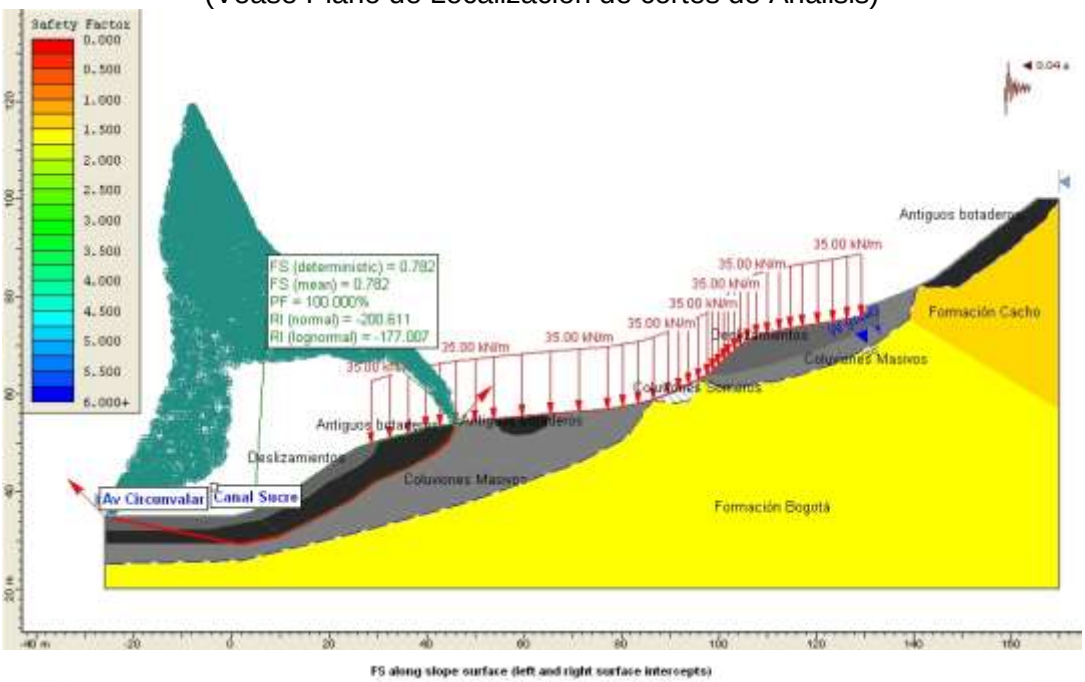
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

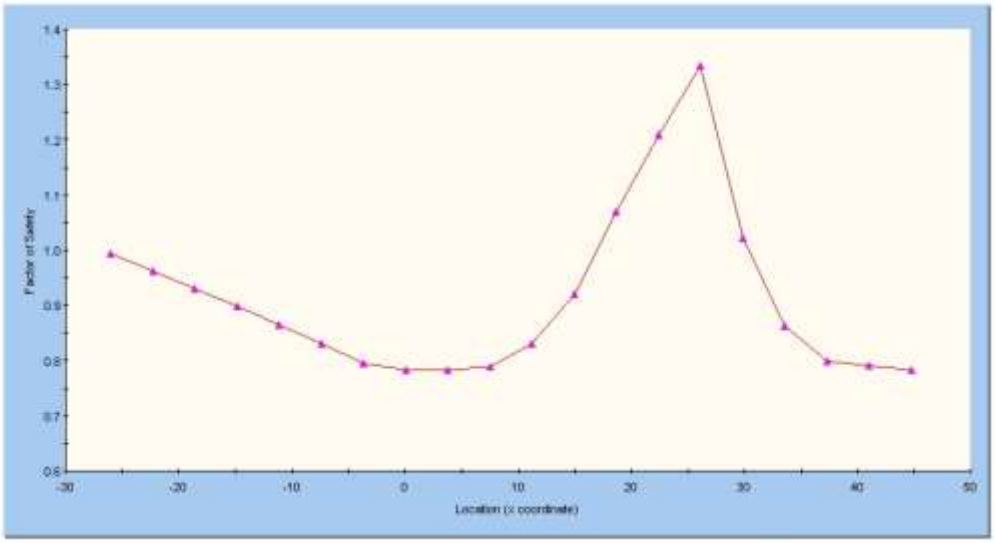


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA
(Falla Translacional)

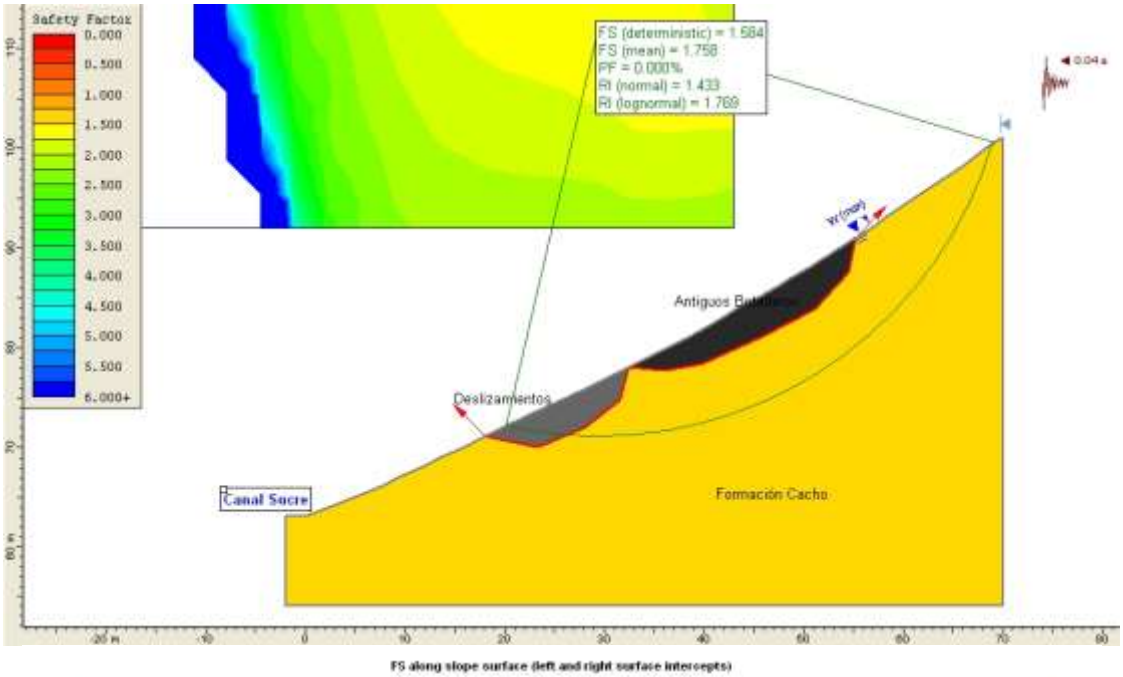
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

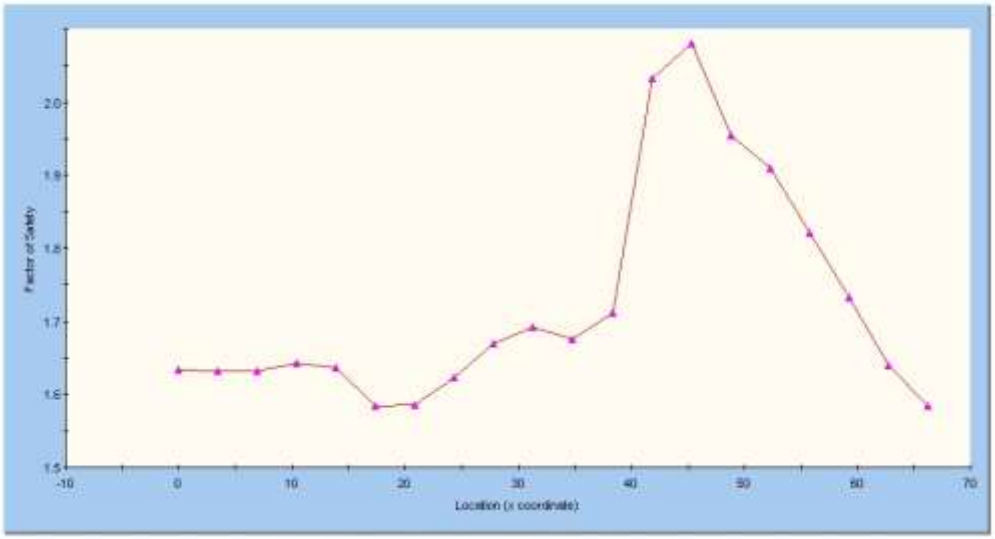




Factor de seguridad Vs. Abscisa

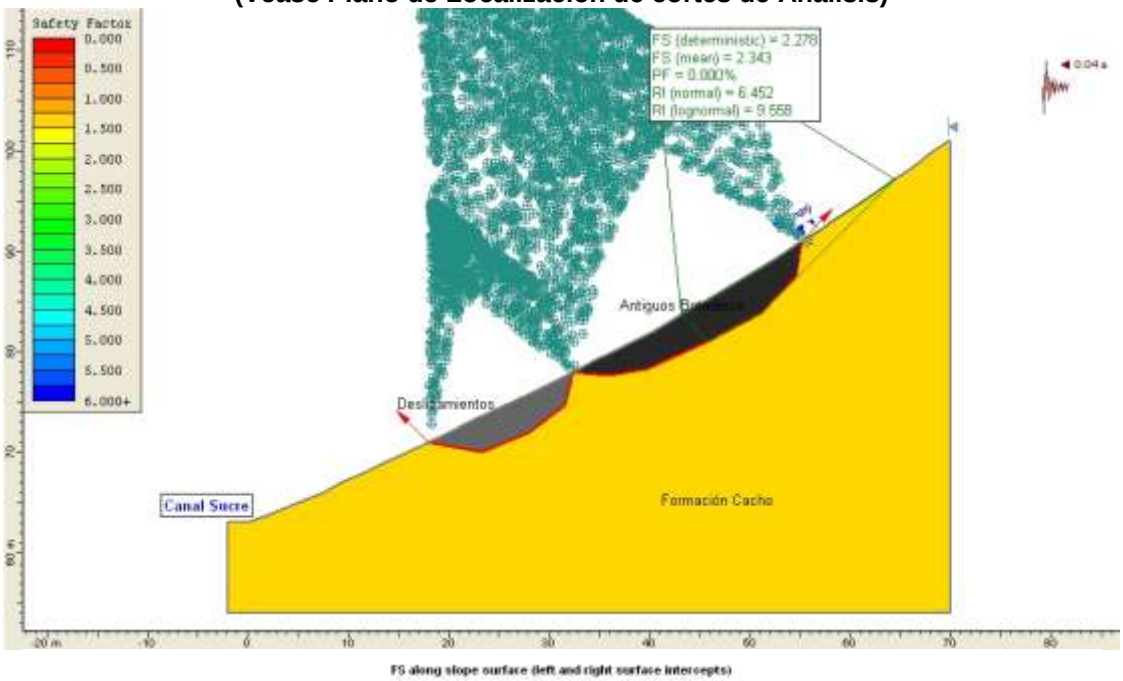
CORTE C-C' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)





Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE C-C' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



Factor de seguridad Vs. Abscisa

2.4.2 Levantamiento de discontinuidades y análisis cinemático:

A partir del buzamiento de los estratos detectados los cortes previstos no generan cuñas susceptibles de desplazamiento toda vez que la estratificación buza hacia el cerro por tal razón no se hace necesario efectuar análisis cinemático

3 VULNERABILIDAD

3.1 GENERALIDADES

Los principales elementos a evaluar son las viviendas (las cuales implican indirectamente a las personas que las habitan), por lo que los análisis de vulnerabilidad se encaminarán a determinar los posibles daños en las edificaciones proyectadas. Para tal efecto, la vulnerabilidad se basa en el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone (1996) y modificada por Soler et al (1999). En resumen, el trabajo consistirá en:

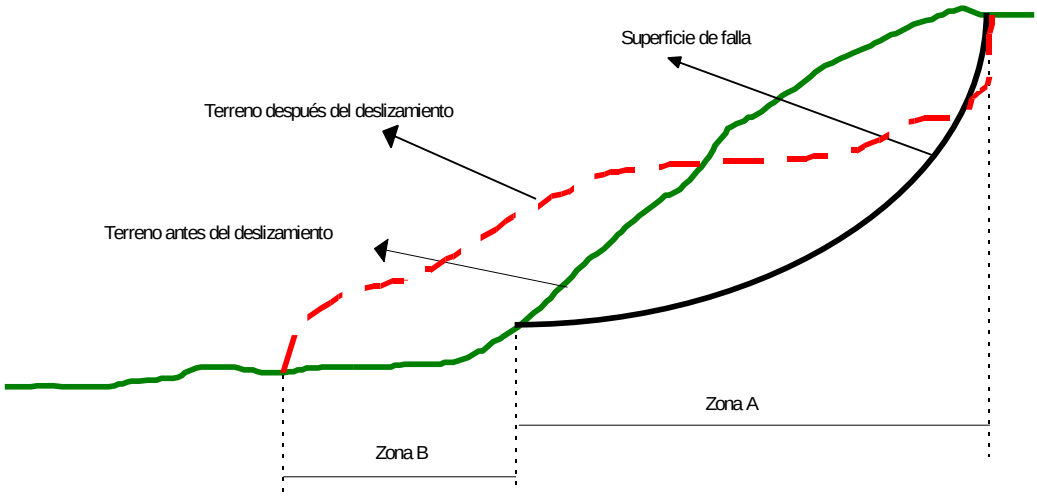
- Clasificar la tipología de vivienda.

- Calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (edificios).

Se aclara que, dado que en el lote donde se proyecta construir el proyecto ni se encuentran edificaciones construidas ni infraestructura adyacente que puedan ser afectadas por los posibles movimientos del terreno, los análisis de vulnerabilidad se realizan en sí sobre el proyecto de edificaciones propuesto.

3.2 SOLICITACIONES

El tipo de solicitaciones depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno (Soler et al, 1999), tal como se presenta a continuación.



Zona A : Área afectada en el cuerpo del deslizamiento
Zona B : Área afectada abajo del cuerpo del deslizamiento.

Representación esquemática de un deslizamiento

Como se puede observar en la Figura anterior en un deslizamiento se distinguen dos zonas. En la Zona A (en el cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Directa, los daños que van a sufrir las viviendas se pueden relacionar con los desplazamientos laterales (DL) que, a su vez, dependen de la velocidad del movimiento (entre más rápido, los daños pueden ser mayores). Para la caracterización de las velocidades de los movimientos se utilizó la escala propuesta por Cruden y Varnes (1991), presentada a continuación.

Solicitaciones en la zona A del deslizamiento

Descripción	Clase	Velocidad característica
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/seg
Rápido	VM2	Entre 0,5 mm/seg y 50 mm/seg
Moderado	VM3	Entre 0,05 mm/seg y 0,5 mm/seg
Lento	VM4	Entre 0,005 mm/seg y 0,05 mm/seg
Muy lento	VM5	Menor a 0,005 mm/seg

En la Zona B (abajo del cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Indirecta, los daños de las viviendas se pueden relacionar con los empujes laterales (EL) que, igualmente, se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la vivienda, así:

Solicitaciones en la zona B del deslizamiento

Descripción	Clase	Característica
Presión lateral alta	PL1	Mayor a 2/3 de la altura de la vivienda
Presión lateral media	PL2	Entre 1/3 y 2/3 la altura de la vivienda.
Presión lateral baja	PL3	Menor a 1/3 de la altura de la vivienda

3.3 TIPIFICACIÓN DE VIVIENDAS

En forma general, la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto. La primera variable ya se tuvo en cuenta en la evaluación de la amenaza; para la segunda variable (resistencia del elemento expuesto), se obtendrá una tipificación de las viviendas teniendo en cuenta los siguientes criterios de resistencia de la estructura.

Criterios de resistencia de la estructura

Tipo de solicitación	Modos de daño	Criterio de resistencia de la estructura
Desplazamientos laterales	Transporte. Deformación. Asentamientos. Ruptura.	Profundidad de la cimentación. Arriostramiento de la estructura.
Empujes laterales	Deformación. Ruptura.	Altura de la estructura. Profundidad de la cimentación. Refuerzo.
Impactos	Deformación. Ruptura.	Refuerzo.

Teniendo en cuenta los criterios expuestos anteriormente, se decidió adoptar para tipificar las viviendas el criterio de Leone, el cual se resume a continuación.

Tipología de viviendas

TIPO	DESCRIPCIÓN
B1	Construcciones de muy mala calidad, sin fundación ni ligazón estructural. En nuestro medio se les denomina tugurios o ranchos.
B2	Construcciones de calidad regular o mala. No tienen refuerzo estructural ni fundación adecuados. Para la zona de estudio, se pueden catalogar dentro de este grupo las casas en mampostería no reforzada o prefabricadas simples.
B3	Construcciones de buena calidad, realizadas con materiales tradicionales (concreto, mampostería, hierro, etc., de hasta dos niveles.
B4	Construcciones de muy buena calidad, con refuerzo estructural y adecuada cimentación, de más de dos niveles.

Es de anotar que el modelo propuesto establece las diferentes posibilidades de edificaciones desde estructuras informales hasta edificaciones construidas de acuerdo con la normatividad vigente tal como corresponde a las viviendas a desarrollar. Finalmente no sobra anotar que ni el predio ni sus vecinos presentan edificaciones de vivienda adyacentes. En cuanto a otras estructuras vulnerables se han establecido el canal Sucre y la Avenida Circunvalar y a partir del modelo se pueden catalogar estas últimas como B3, mientras que para las viviendas se utilizará la tipología de vivienda B4.

3.4 CALIFICACIÓN DE LOS DAÑOS

Para efectos de calificación de daños cumpliendo lo lineamiento del numeral 2.0 de decreto 364 de 200 y resolución 364 del mismo año. Es de anotar que la presente metodología ha sido utilizada por esta consultoría en estudios ya aprobados por la DPAE.

En la metodología propuesta por Leone, para calificar los daños producidos en las viviendas por fenómenos de remoción en masa se sigue el criterio del DRM (Delegation aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) categorías, tal como se presenta en la siguiente tabla.

Clasificación de los daños según el DRM

Índice de daño (ID)	Tipo de daño	Porcentaje de daño
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.	0.0 - 0.1
II	Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes.	0.2 - 0.3
III	Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales.	0.4 - 0.6
IV	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	0.7 - 0.8
V	Derrumbe parcial o total de la estructura.	0.9 - 1.0

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(Vi - Vf)}{Vi}$$

Donde,

Vi : Valor inicial del bien (antes del evento).
Vf : Valor final del bien (después del evento).

3.5 DAÑOS POTENCIALES

3.5.1 Desplazamientos laterales

La velocidad del movimiento a su vez se relacionó con el factor de seguridad esperado de acuerdo con la siguiente tabla.

Factor de seguridad v.s. velocidad del movimiento

FACTOR DE SEGURIDAD	CLASE VELOCIDAD
Menor a 1.1	VM1
Entre 1.1 y 1.2	VM2
Entre 1.2 y 1.3	VM3
Entre 1.3 y 1.4	VM4
Mayor a 1.9	VM5

De acuerdo con lo anterior, y con base en los análisis de amenaza realizados, se puede estimar que para el caso en estudio la velocidad del posible movimiento se y según los factores de seguridad clasificaría como VM1 con la implementación del proyecto sin obras de mitigación y VM4 con obras de mitigación realizadas.

3.5.2 Empujes laterales

Los empujes laterales se darán en la zona donde se realicen cortes para la cimentación de la edificación y estarán soportados por los muros de contención que se deben diseñar de acuerdo a las Normas Sismo Resistentes NSR-98. Estos empujes se pueden catalogar como PL3.

3.5.3 Matriz de daños

Se asocian los Índices de Daños Potenciales (IDp) ocasionados por un evento dado, de acuerdo tanto al tipo de solicitud (magnitud del evento) como a la tipología de la vivienda (resistencia del elemento expuesto). A continuación se presenta la matriz de daño utilizada.

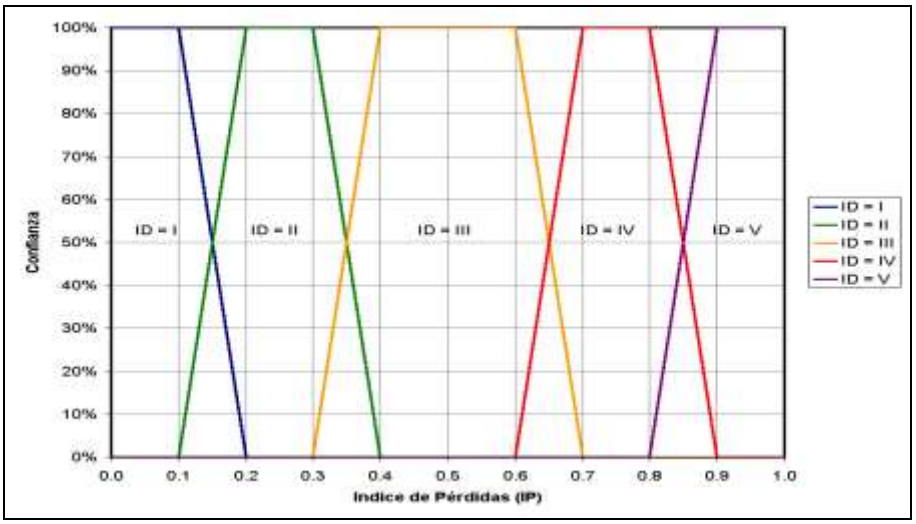
Matriz de daño por deslizamientos

	CLASE DE SOLICITACIÓN	TIPOLOGÍA DE VIVIENDA			
		B1	B2	B3	B4
DESPLAZAMIENTO LATERAL	VM1	V	V	V	IV
	VM2	V	V	IV	IV
	VM3	V	IV	III	II
	VM4	IV	III	III	I
	VM5	III	II	I	I
EMPUJ LATERAL	PL1	V	IV	III	III
	PL2	V	IV	III	II
	PL3	IV	III	II	I

De acuerdo con las solicitaciones posibles y el tipo de construcción proyectada, se puede considerar que el índice potencial de daño del proyecto es I para empujes laterales de tierra y de IV a I para desplazamientos laterales lo anterior en cuanto a las casas; para el canal y la vía se tienen índices potenciales de daño de II y III para la condición actual y II y III para la condición con obras. Es de anotar que esta clasificación corresponde a la topografía actual del terreno aplicando la sobrecarga inducida por las estructuras. Mientras que una vez implementadas las obras de mitigación clasifica como I para empujes de tierra y I para desplazamientos laterales y II a III para la Avenida Circunvalar y el Canal Sucre

3.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA (IVF)

El índice de daño determinado se cuantifica por medio de conjuntos difusos (véase la Figura siguiente) para hallar el porcentaje de daño o índice de pérdidas. Estos porcentajes de pérdidas, dependen del nivel de confianza en la valoración; en este caso se adoptó que, para una confianza de 1.0, los rangos de valores de cada ID fueran los propuestos por Leone (1996).



Valoración del índice de pérdidas por conjuntos difusos

Teniendo en cuenta la valoración propuesta se espera que el índice de pérdidas para el proyecto sea menor al 75%, es de anotar que este análisis parte de los resultados de estabilidad para la condición sin obras de mitigación con la carga generada por las estructuras. Mientras que incluyendo las obras de mitigación se tiene un índice de perdidas inferior al 15% para el caso de las edificaciones e inferior al 50% para el canal y Avenida Circunvalar

3.7 VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTOS

Con base en los resultados de la metodología explicada se puede categorizar la vulnerabilidad de las edificaciones por deslizamientos, según el valor del IVF de acuerdo con criterios establecidos en estudios previos realizados en Bogotá por F. Soler A. J. González y otros, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Criterios de categorización de la vulnerabilidad

CATEGORIA VULNERABILIDAD	CRITERIO
ALTA	IVF promedio $\geq$ 0.65
MEDIA	0.35 $\leq$ IVF promedio < 0.65
BAJA	IVF promedio < 0.35

Según esta categorización, la vulnerabilidad del proyecto se puede catalogar como baja.

4 RIESGO

4.1 MÉTODO DE ANÁLISIS

El denominado riesgo (económico, social o ambiental, según sea el sector que represente al usuario) se puede simular mediante el modelo dinámico del tipo integral (Rivera, 2001):

$$R_{E,\,S,\,A} = \int P(e)\ \mathrm{P}_{(E,\,S,\,A)}$$

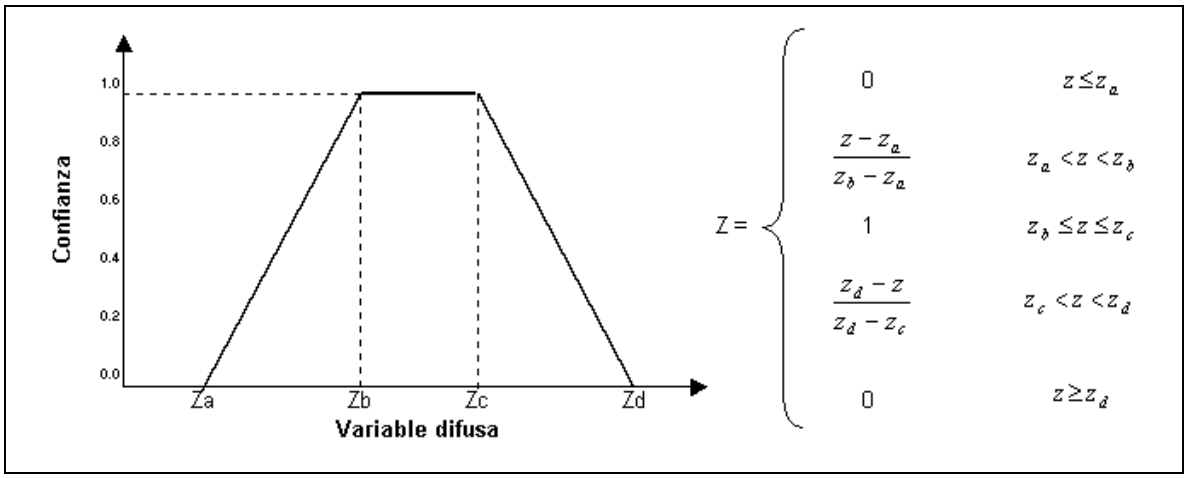
en donde,

$R_{E,\,S,\,A}$	Es el riesgo ya sea económico (E), social (S) o ambiental (A).
$P(e)$	Es la probabilidad cuantitativa del evento que se pronostica; denominado también amenaza (H).
$\mathrm{P}_{(E,\,S,\,A)}$	Es la pérdida en el sector ya sea económico (E), social (S) o ambiental (A) que se relaciona con el evento natural que se predice; también se suele denominar vulnerabilidad (V).

Para el caso en estudio, y una vez obtenida la amenaza y la vulnerabilidad por predio, se puede estimar el riesgo físico individual por vivienda definiendo el índice de riesgo (IR) como:

$$IR = P_f \cdot IVF$$

Teniendo en cuenta que la amenaza se definió como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y la vulnerabilidad como un índice de pérdidas, representado como un conjunto difuso, el índice de riesgo también es un conjunto difuso que, para el caso utilizado de conjuntos difusos trapezoidales, se puede representar por la función presentada en la siguiente figura.



Conjuntos difusos trapezoidales

Una vez calculado el índice de riesgo representado como una variable difusa se puede calcular el riesgo como la probabilidad de excedencia de las pérdidas, habiendo dos posibilidades de calcularla:

4.1.1 Hipótesis 1

En este caso se pueden determinar la esperanza y la varianza del factor de seguridad como el primer momento y el radio de giro con respecto a la media de la función difusa, respectivamente. Es decir,

Media

$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(z)\, dz$, para la esperanza o media.

Para el conjunto difuso trapezoidal

$$\mu = z_a + \frac{1}{A}\left[\frac{4 A_1^{\,2}}{3} + A_2\left(\frac{A_2}{2} + 2 A_1\right) + A_3\left(A_2 + 2 A_1 + \frac{2 A_3}{3}\right)\right]$$

Donde,

$$A_1 = \frac{z_b - z_a}{2}$$

$$A_2 = z_c - z_b$$

$$A_3 = \frac{z_d - z_c}{2}$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

Varianza

$$V(z) = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (z - \mu)^2 \cdot f(z)\, dz$$

Para el conjunto difuso trapezoidal

$$\sigma^2 = \frac{I_\mu}{A} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{A}$$

Donde,

$$I_1 = \frac{(z_b - z_a)^3}{36} + A_1 \left[\mu - \left(\frac{2 z_b + z_a}{3} \right) \right]^2$$

$$I_2 = \frac{(z_c - z_b)^3}{12} + A_2 \left[\mu - \left(\frac{z_c + z_b}{2} \right) \right]^2$$

$$I_3 = \frac{(z_d - z_c)^3}{36} + A_3 \left[\mu - \left(\frac{z_d + 2 z_c}{3} \right) \right]^2$$

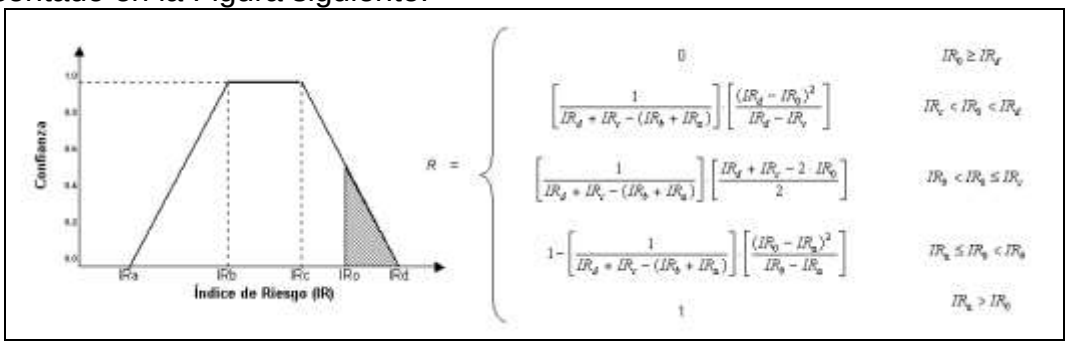
Con la esperanza (o media) y la desviación estándar del factor de seguridad se calcula la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor a 1 (probabilidad de falla) ajustándolo a distribuciones de probabilidad conocidas (normal, lognormal, beta, etc.).

4.1.2 Hipótesis 2

Se calcula la probabilidad de excedencia de un valor dado como,

$$R = \frac{\int_{IR_0}^{\infty} Z\,dz}{\int_{-\infty}^{\infty} Z\,dz} \qquad Z \equiv IR$$

Para un conjunto difuso trapezoidal, la anterior ecuación da como resultado lo presentado en la Figura siguiente.



Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales

4.2 CRITERIOS APLICADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Para el caso de estudio, se aplicó la hipótesis 2 determinando la probabilidad de excedencia para los valores del índice de riesgo 0.1 y 0.3 para las viviendas y de 0.40 a 0.60 para el canal y la vía. El riesgo se categorizó en los tres niveles presentados en la Tabla siguiente.

Categorización del riesgo

Categoría del riesgo	Criterio
Alta	El porcentaje de pérdidas esperadas es mayor al 30%
Media	El porcentaje de pérdidas esperadas está entre el 10% y el 30%
Baja	El porcentaje de pérdidas esperadas es menor al 10%

Teniendo en cuenta que la probabilidad de falla máxima para la condición con obras de mitigación es del orden del 0.1%, el valor esperado de las pérdidas es menor al 1%, por lo que el riesgo del proyecto se puede catalogar como bajo para todas las estructuras analizadas.

5 MEDIDAS DE MITIGACION

A partir de los resultados obtenidos se proponen las siguientes obras de mitigación de riesgo actual:

5.1 OBRAS DE DRENAJE "MANEJO DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA" Y AGUAS SUBSUPERFICIALES

Se deberán construir la red de drenajes subsuperficiales tipo dren francés que se incluye en el plano de obras de mitigación.

Las obras de drenaje tienen por objeto mejorar los parámetros esfuerzo deformación del subsuelo, y disminuir el parámetro de presión de poros, lo cual disminuye los esfuerzos actuantes, además estas obras de drenaje disminuirán el lavado de los taludes arcillosos y la matriz fina de los coluviones expuestos

5.2 OBRAS CON DESCARGA DE TALUDES "ELIMINACIÓN PARCIAL O TOTAL DE LAS MASAS MUY SUSCEPTIBLES A PRESENTAR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA"

Como estratos susceptibles se han identificado por un lado los rellenos antrópicos superficiales y los estratos de coluvión los cuales ya presentan cicatrices de antiguas fallas. Con base en los resultados de los análisis se establece la necesidad de perfilar y empradizar los taludes en dichos estratos en especial sobre el talud adyacente a la Avenida Circunvalar con pendientes inferiores a 25 grados.

En el caso de la eliminación parcial de las masas inestables; se planea como obra complementaria la conformación del terreno o talud por medio de terraceo. **(**Véase anexo plano de obras de mitigación y cortes de análisis).

5.3 OBRAS CON RECONFORMACIÓN DEL TERRENO "TENDIDO DE TALUDES"

Estas obras o medidas están enfocadas a la reconformación de los taludes, que presentan rellenos antrópicos o coluviones cortados, con esta medida se busca disminuir la probabilidad de falla de dichos taludes. La reconformación de estos taludes se realizará por medio de terraceo y compactación, en algunos casos dependiendo del tipo de material y proceso a ser intervenido.

5.4 OBRAS CON ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN "MUROS EN CONCRETO REFORZADO O EN GAVIONES"

Estas obras o estructuras están encaminadas a minimizar el riesgo de falla, cuando las medidas anteriores no arrojan un factor de seguridad adecuado incluido el efecto del sismo, además con estas obras se pretende proteger el talud oriental dado el corte proyectado por la última terraza generada para dar cabida a las casas **(**Véase anexo plano de obras de mitigación y cortes de análisis).

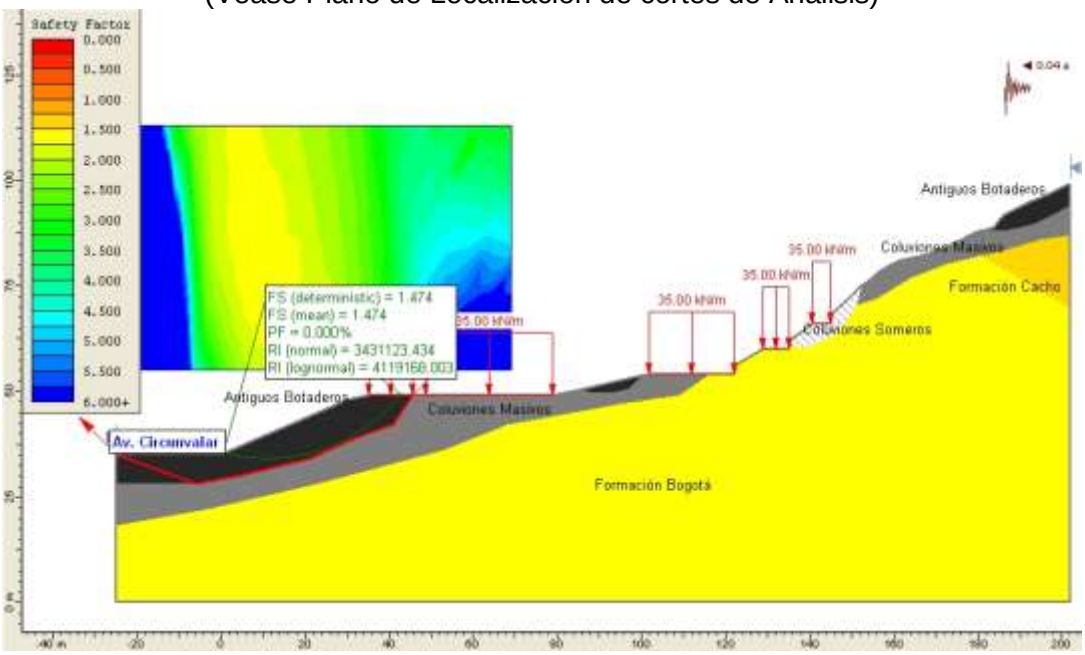
Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, en esta medida se proyecta la construcción de muros de contención en concreto reforzado o muros gaviones, localizados en las patas de los taludes de corte. Estas obras se emplearán como estructura de contención y confinamiento de las masas de coluviones cortadas.

5.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CONSIDERANDO LAS OBRAS DE MITIGACIÓN.

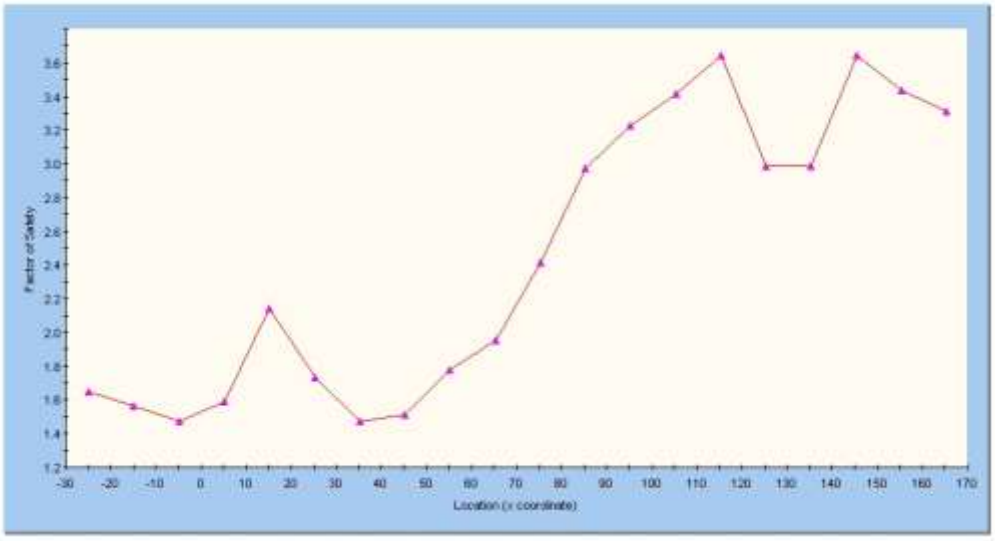
Adoptando las medidas de mitigación recomendadas, se efectuaron nuevamente los análisis de estabilidad general, para cada una de las secciones de análisis, arrojando como resultado los siguientes factores de seguridad:

CORTE A-A' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN (Falla Rotacional)

(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



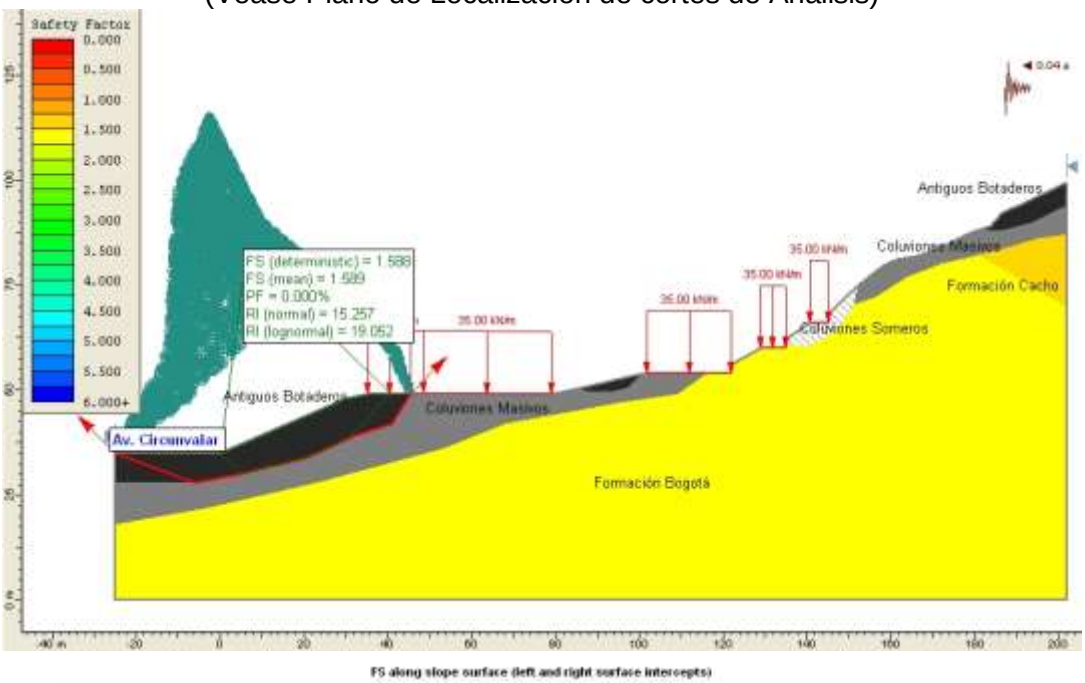
FS along slope surface (left and right surface intercepts)

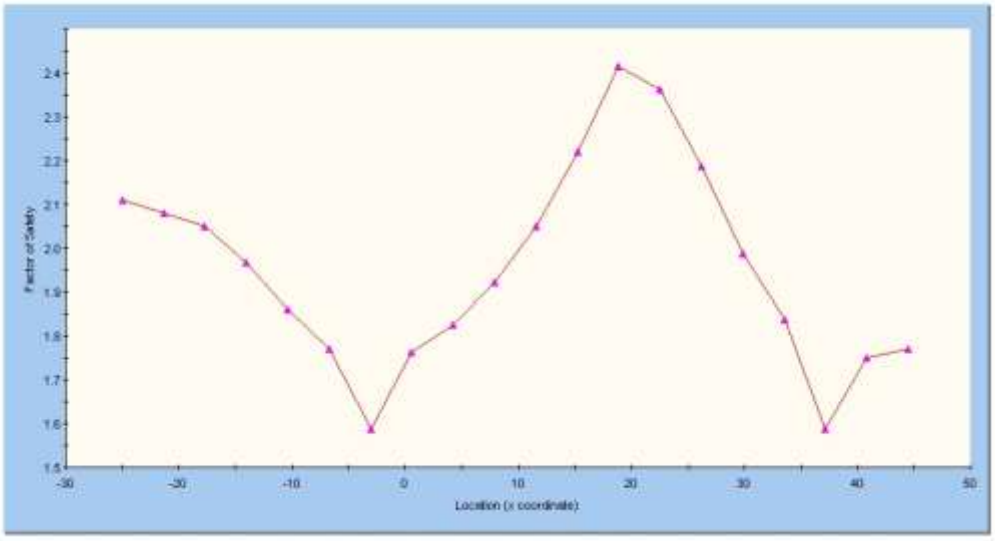


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE A-A' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN (Falla Translacional)

(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

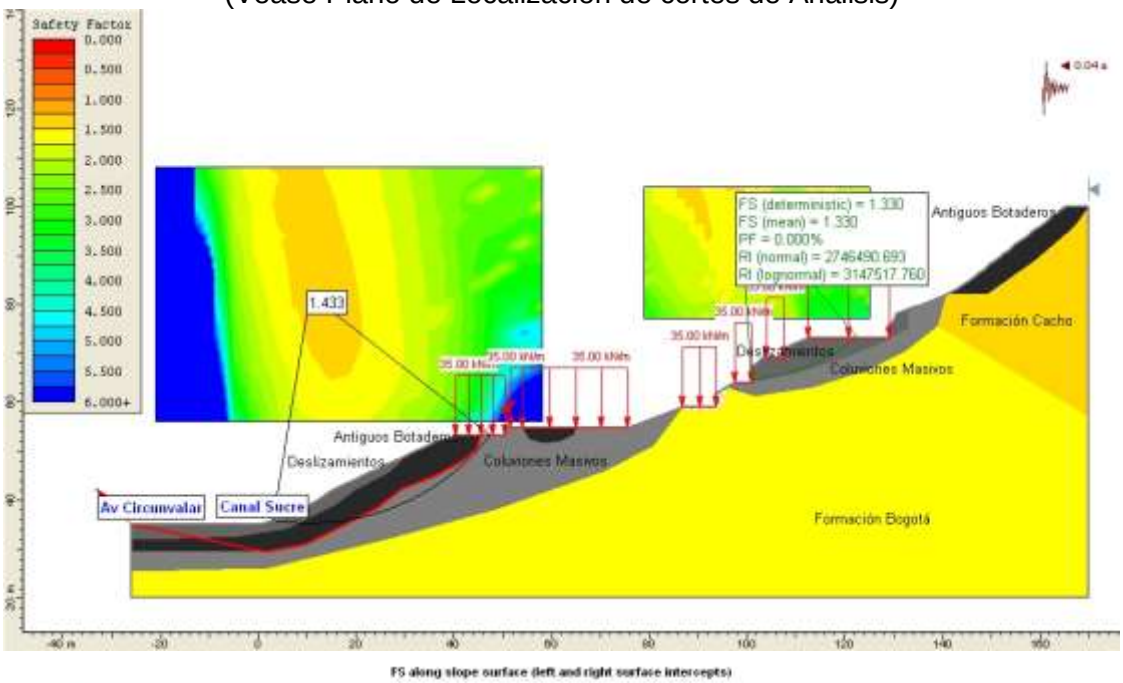


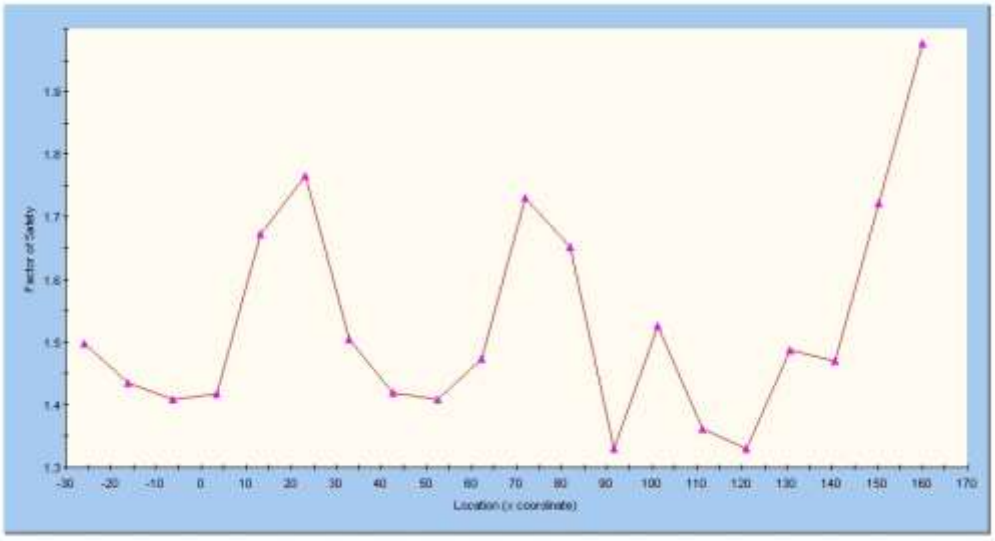


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN (Falla Rotacional)

(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

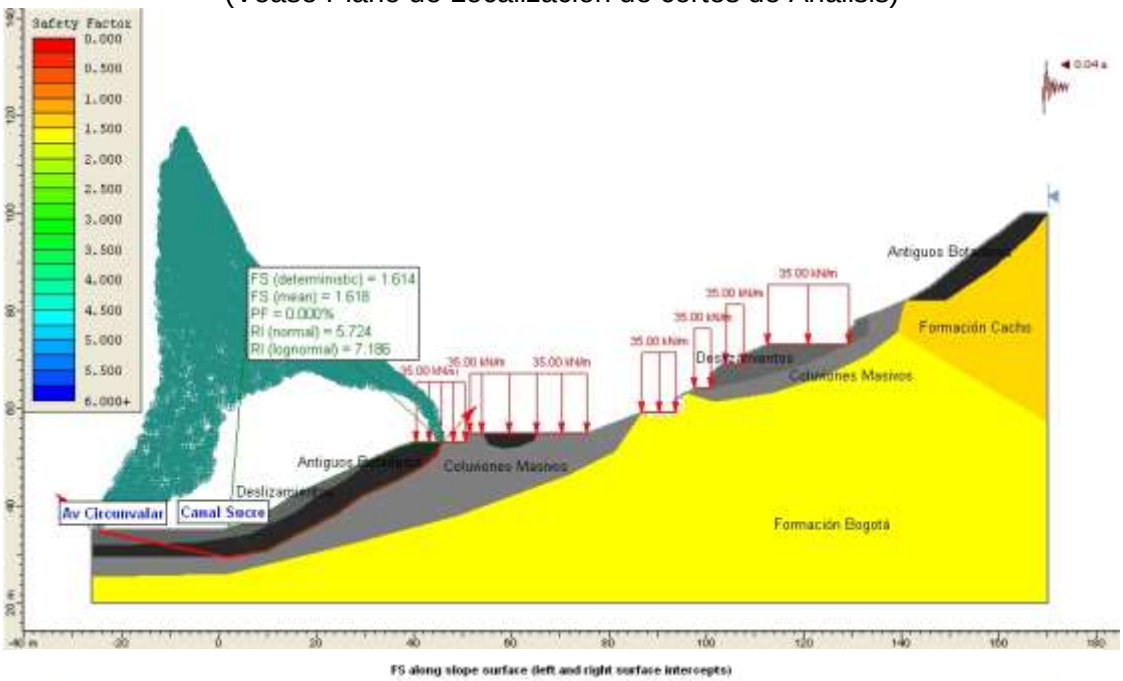




Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN (Falla Translacional)

(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



Factor de seguridad Vs. Abscisa

A continuación se muestra un cuadro en el que se hace un resumen de los factores de seguridad determinísticos y de las probabilidades de falla para cada uno de los cortes y de los análisis realizados.

	Condición	Falla Rotacional		Falla translacional	
		FS	PF (%)	FS	PF (%)
Corte A-A’	Actual	1.34	0.1	1.25	0.0
	Con obra	0.99	100.0	0.86	100.0
	Obras de mitigación	1.47	0.0	1.59	0.0
Corte B-B’	Actual	1.43	0.0	1.34	0.0
	Con obra	0.86	100.0	0.78	100.0
	Obras de mitigación	1.33	0.0	1.61	0.0
Corte C-C’	Actual	1.58	0.0	2.27	0.0

Del anterior cabe resaltar la mejoría generada por las obras de mitigación sin embargo para el corte C-C’ se observa un leve incremento en la probabilidad de falla posiblemente generada por algún efecto de redondeo en los análisis del modelo de computador

6 CONCLUSIONES

A partir de los trabajos efectuados APRA las diferentes etapas del desarrollo del presente informe se establecen las siguientes conclusiones principales:

- Desde el punto de vista geológico en la zona se destacan tres (3) formaciones principales así: fuera del lote hacia el Oriente la Formación Guaduas, en el costado Oriental del lote la Formación Cacho, y hacia el Occidente la Formación Bogotá; en la Formación Cacho predominan areniscas friables y en las otras dos arcillolitas.

- La dirección del buzamiento en general es hacia el Oriente para las formaciones del Terciario con buzamientos entre 40 y 45°.

- Las formaciones Bogotá, Guaduas (fuera del lote) y Cacho, se encuentran cubiertas por depósitos coluviales conformados por bloques de areniscas derivados de los escarpes Orientales y embebidos en una matriz limo - arcillosa.

- Más recientemente sobre los coluviones se desarrolló una capa de suelo orgánico con un relieve irregular el cual fue sepultado por depósitos de origen antrópico, botaderos en general.

- Sobre los depósitos coluviales tanto en el costado Oriental como en el costado Occidental se han dispuesto materiales de botaderos que cubren un paleorelieve de coluviones principalmente.

- Se efectuaron un total 14 perforaciones , 5 apiques sobre los cuales se establecieron los perfiles estratigráficos y se tomaron muestras alteradas e inalteradas para su ensayo en laboratorio y determinación directa de características de resistencia al corte.

- Se prepararon un total de tres cortes sobre los cuales se efectuaron análisis de estabilidad determinísticos y probabilísticos para las condiciones actual, con obras y con obras más obras de mitigación estableciendo la condición de estabilidad de la ladera.

- Se efectuaron análisis de vulnerabilidad amenaza y riesgo de acuerdo con lineamientos permitidos por el decreto que reglamenta este tipo de análisis estableciendo la condición de las estructuras y la eficacia de las obras de mitigación producto del análisis.

- Dentro de las obras de mitigación se establecieron:

Gaviones a lo largo del talud oriental, dado el corte proyectado para la última terraza que se realizará para dar cabida a las casas. Con lo anteriormente mencionado se pretende minimizar el riesgo de falla del talud en los casos donde los factores de seguridad no son tan altos. La construcción de dichos gaviones se desarrollará por etapas correspondientes al desarrollo de cada conjunto de casas a construir.

Se deberán perfilar con un ángulo igual o inferior a los 25 grados y empradizar los taludes adyacentes a la Av. Circunvalar y al Canal Sucre para evitar posibles fallas que se ocasionen debido a la sobre carga generada por las estructuras proyectadas.

Así mismo se ha establecido como obra de mitigación la construcción de una red de drenajes tipo dren francés para disminuir el lavado de los taludes arcillosos y la matriz fina de los coluviones expuestos dichos drenes se ubicarán en puntos estratégicos para garantizar en todo caso la recolección y evacuación de las aguas de infiltración.

Las recomendaciones aquí incluidas se basan en la estratigrafía y proyecto descritos. De presentarse alguna variación se dará aviso a esta oficina para tomar las medidas pertinentes.

Sin otro particular, nos suscribimos de ustedes.

Cordialmente,

E Y R ESPINOSA Y RESTREPO Y CIA. LTDA.

Ing. Carlos Restrepo G.
Matrícula No. 2520222127
CRG/acb

TABLA DE CONTENIDO

GENERALIDADES 2

1 DESCRIPCION DEL PROYECTO Y LOCALIZACION 2

2 TOPOGRAFIA.- 4

3 OBJETO Y ALCANCE 4

Primera Parte: Estudios Básicos 5

1 GEOLOGÍA DEL CONTORNO 5

2 GEOLOGÍA LOCAL 5

2.1 FORMACIÓN GUADUAS (KTG) 6

2.2 FORMACIÓN ARENISCA CACHO (TC) (NO AFLORA DEBIDO AL RECUBRIMIENTO CUATERNARIO) 7

2.3 FORMACION BOGOTÁ (TB) 7

2.4 DEPÓSITOS CUATERNARIOS (Q) 9

2.5 CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES 16

3 GEOMORFOLOGIA 18

3.1 GEOFORMAS 18

3.2 MORFODINÁMICA 19

3.3 ANALISIS MULTITEMPORAL 21

3.4 ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA 22

4 CLIMA Y SUELOS 24

4.1 PRECIPITACIÓN 24

4.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN Y HUMEDAD RELATIVA 24

4.3 CLIMA 24

4.4 SUELOS 25

5 HIDROGEOLOGIA 25

6 SISMOLOGÍA 27

Segunda Parte: Evaluación de procesos de inestabilidad 29
1 PROCESOS DE INESTABILIDAD 29
1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS 29
1.2 EVIDENCIAS DE PROCESOS DE INESTABILIDAD 29
1.3 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA 30
2 AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA 37
2.1 GENERALIDADES 38
2.2 FACTORES INTRÍNSECOS 39
2.2.1 Valores del ángulo de fricción interna del suelo por medio de la correlación con el SPT propuesto por Kishida 40
2.2.2 Valores del ángulo de fricción interna del suelo obtenidos por medio de los ensayos de corte directo 45
2.3 FACTORES DETONANTES 50
2.3.1 Lluvia 50
2.3.2 Sismo 53
2.4 RESULTADOS 53
2.4.1 Condición actual por deslizamiento 53
2.4.2 Levantamiento de discontinuidades y análisis cinemático: 65
3 VULNERABILIDAD 65
3.1 GENERALIDADES 65
3.2 SOLICITACIONES 66
3.3 TIPIFICACIÓN DE VIVIENDAS 67
3.4 CALIFICACIÓN DE LOS DAÑOS 69
3.5 DAÑOS POTENCIALES 70
3.5.1 Desplazamientos laterales 70
3.5.2 Empujes laterales 70
3.5.3 Matriz de daños 70
3.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA (IVF) 71
3.7 VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTOS 72
4 RIESGO 73
4.1 MÉTODO DE ANÁLISIS 73
4.1.1 Hipótesis 1 74
4.1.2 Hipótesis 2 76

4.2 CRITERIOS APLICADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS 76

5 MEDIDAS DE MITIGACION 77

5.1 OBRAS DE DRENAJE "MANEJO DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA" Y AGUAS SUBSUPERFICIALES 77

5.2 OBRAS CON DESCARGA DE TALUDES "ELIMINACIÓN PARCIAL O TOTAL DE LAS MASAS MUY SUSCEPTIBLES A PRESENTAR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA" 77

5.3 OBRAS CON RECONFORMACIÓN DEL TERRENO "TENDIDO DE TALUDES" 78

5.4 OBRAS CON ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN "MUROS EN CONCRETO REFORZADO O EN GAVIONES" 78

5.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CONSIDERANDO LAS OBRAS DE MITIGACIÓN. 78

6 CONCLUSIONES 84

ANEXOS

ANEXO 1 REGISTROS DE PERFORACIONES
ANEXO 2 ENSAYOS DE LABORATORIO
ANEXO 3 PLANOS (PERFIL GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, DE PROCESOS Y CORTES))
ANEXO 4 ANALISIS DE ESTABILIDAD PROBABILISTICA
ANEXO 4.1 CONDICIÓN ACTUAL
ANEXO 4.2 CONDICIÓN CON OBRA
ANEXO 4.3 CONDICIÓN CON OBRAS DE MITIGACIÓN
ANEXO 5 PLANO DE LOCALIZACION DE CORTES DE ANÁLISIS
ANEXO 6 PLANO DE LOCALIZACION DE SONDEOS
ANEXO 7 PLANO DE OBRAS DE MITIGACION
ANEXO 8 PLANOS DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS (ACTUAL, CON OBRAS Y CON OBRAS DE MITIGACION)
ANEXO 9 CALCULOS DE DISEÑO DE DRENAJES Y GAVIONES
ANEXO 10 PRESUPUESTO OBRAS DE MITIGACION
ANEXO 11 HOJAS DE VIDA DE PROFESIONALES Y CARTA DE RESPONSABILIDAD.