



FACULTAD DE INGENIERÍA
Maestría en Ingeniería Civil

Trabajo de Grado

Selección de alternativas de mitigación del riesgo por
procesos de remoción en masa

Presentado por:
Andrei Orlando Hernández Castellanos

Director
Carlos Eduardo Rodríguez

Bogotá D.C.
Octubre de 2013

APROBACIÓN

El trabajo de grado titulado “Selección de alternativas de mitigación del riesgo por procesos de remoción en masa”, desarrollado por el estudiante Andrei Orlando Hernández Castellanos, en cumplimiento de uno de los requisitos dispuestos por la Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería civil, para optar el Título de Magister en ingeniería Civil, fue aprobado por:

Evaluador Externo:

Manuel Ocampo

Selección de alternativas de mitigación del riesgo por procesos de remoción en masa.

La Pontificia Universidad Javeriana, no es responsable por los conceptos emitidos por los autores-investigadores del presente trabajo, por lo cual son responsabilidad absoluta de sus autores y no comprometen la idoneidad de la institución ni de sus valores.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Carlos Eduardo Rodríguez Pineda, director del proyecto, quien aportó su conocimiento y experiencia al desarrollo de este trabajo.

A los ingenieros Luis Alfredo González y Flavio Soler Sierra, quienes orientaron la elaboración de este proyecto.

A GEOCING S.A.S que permitió la consulta de archivos relacionados con el estudio de caso, además de facilitar el uso del software Slide 5.0.

A las personas que me han apoyado en cada uno de los proyectos en los que incursionado.

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló con el fin de dar respuesta a las dificultades que se presentan en la selección de las alternativas de mitigación del riesgo por procesos de remoción en masa, a partir del análisis económico de los proyectos. Para esto se propuso una metodología que permite establecer la relación beneficio/costo de cada alternativa diseñada, a partir de consideración de los costos del proyecto a valor presente neto, siendo estos los valores requeridos para la implementación, mantenimiento, conservación, monitoreo geotécnico y valor residual; y donde el beneficio se tomó como las pérdidas esperadas que dejan de presentarse. Estas se estimaron mediante la evaluación cuantitativa del riesgo por procesos de remoción en masa.

El principal resultado de la calibración de la metodología, mediante el estudio de caso, fue la identificación de la variación de la relación beneficio/costo calculada inicialmente con los valores de ejecución de las obras y de compra de predios, respecto a las determinadas teniendo en cuenta todos los costos asociados a cada proyecto, desde la implementación hasta el final de periodo de diseño; dicha variación fue del 11% para la alternativa 1, que consistió en el diseño de obra de dos muros en concreto en cantiléver ubicados en la parte superior de la vía y el otro a media ladera, además de reconfigurar el talud, el material localizado entre los dos muros se estabiliza con el uso de pernos en acero de 5 metros de longitud. Del 9% para la alternativa 2, que se fundamentó en el diseño de 6 hileras de caissons con diámetro de 1,2m, cada una de estas, amarradas por vigas cabezales, localizadas transversalmente al sentido en que buza el talud y la reconfiguración del terreno entre dichas hileras. Para la alternativa 3 la variación fue calculada en el 9%, esta opción consta en retirar la mayor parte del coluvión y para conservar la vía se diseñó un muro en concreto en cantiléver apoyado en una zarpa. Para la alternativa 4 que se basó en el reasentamiento de los elementos expuestos, la relación se mantuvo.

Para cada una de las alternativas mencionadas se plantearon obras hidráulicas que controlaran la escorrentía superficial y subsuperficial, así como la acumulación subterránea del agua en el coluvión.

Por lo anterior, y para tomar la decisión de ejecutar cualquiera de las alternativas de mitigación del riesgo por deslizamiento diseñadas, es necesario determinar la relación beneficio/costo real, es decir, se deben tener en cuenta todas las inversiones, así como los valores que representan los activos adquiridos por el estado para su ejecución.

Palabras claves: Evaluación cuantitativa del riesgo por procesos de remoción en masa, relación beneficio costo, mitigación del riesgo por deslizamiento, amenaza vulnerabilidad.

ABSTRACT

The present work was developed in order to respond to the difficulties that arise in the selection of risk mitigation alternatives for mass removal processes, from the economic analysis of projects. For this reason, a methodology was proposed that allows to establish the cost-benefit relationship of each alternative designed, after considering all the costs of the project with a net present value, which are the values required for the implementation, maintenance, conservation, monitoring, geotechnical and value residual, and where the benefit was taken as the expected losses that stop of appear. These were estimated by quantitative risk assessment for mass removal processes.

The main result of the methodology calibration, using the case study, was the variation identification of the cost-benefit relationship initially calculated with the execution values of the works and purchase of land, compared to those determined taking into account all costs associated with each project, from the deployment until the end of the design period, this variation was 11% for Alternative 1, which consisted of the design work of two cantilever concrete walls located in the way of the top and the other half side, besides the slope reshape the material located between the two walls is stabilized with the use of steel pins to 5 meters in length.

The 9% for Alternative 2, which was based on the design of 6 rows of caissons with diameter of 1.2 meters, each one of these, tied by beams heads, located transversely to the direction in which the slope dips and rehabilitation of the land between said rows. For Alternative 3, the variation was calculated at 9%, this option consists in removing most of the colluviums and to keep track designed a cantilever concrete wall resting on one paw. For Alternative 4 which was based on the resettlement of the exposed elements, the relationship remained.

For each of the alternatives mentioned was raised waterworks to monitor surface and subsurface runoff and groundwater accumulation of water in the colluviums.

Therefore, to make the decision to execute any risk mitigation alternatives designed sliding, is necessary to determine the real benefit cost relationship, for make this, it must consider all the investments and the values they represent asset is acquired by the state for execution.

Keywords: Quantitative Risk Assessment by mass wasting processes, benefit cost relationship, slip risk mitigation, threat vulnerability.

TABLA DE CONTENIDO

lista De Figuras	10
Lista De Tablas.....	13
1. Introducción.....	16
1.1 descripción Del Problema.....	16
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivo General.....	20
1.3.1 Objetivos Específicos.....	20
2. Marco Conceptual	21
2.1 Terminología.....	21
2.2 Análisis Geotécnico De Taludes	25
3. Marco Teórico.....	26
3.1 Proceso De Manejo Del Riesgo	26
3.1.1 análisis Del Riesgo.....	27
3.1.2 análisis De La Amenaza	27
3.1.3 análisis De Consecuencia.....	30
3.1.3.1 Identificación De Los Elementos Expuestos.....	31
3.1.3.2 Índices De Vulnerabilidad	32
3.1.4 Vulnerabilidad.....	36
3.1.5 Evaluación Del Riesgo	36
3.1.6 Mitigación Del Riesgo	39
4. Marco De Referencia.....	40
4.1 Metodologías Para Evaluación Del Riesgo Por Deslizamiento.....	40
4.2 Estimación De Valores.....	43
5. Materiales Y Métodos.....	44
6. Resultados.....	45
6.1 Metodología Propuesta.....	45
6.1.1 Generalidades De Los Estudios.....	45
6.1.1.1 Introducción.....	45
6.1.1.2 Objetivos.....	45
6.1.1.3 Metodología Y Actividades A Realizar.....	45
6.1.2 Diagnóstico.....	45

6.1.2.1recopilación De La Información Existente.	45
6.1.2.2diagnostico.....	46
6.1.3 Topografía.....	46
6.1.4 Geología Y Geomorfología.....	46
6.1.4.1 Geología Regional.....	46
6.1.4.2 Geología Local.	46
6.1.5 Geomorfología.....	47
6.1.5.1 Inventarios De Procesos Morfodinámicos.	47
6.1.6 Hidrogeología	47
6.1.7 Geotecnia	48
6.1.8 Hidrología E Hidrogeología, Cobertura Y Usos Del Suelo.....	48
6.1.9 Amenaza Sísmica	50
6.1.10 Evaluación Del Riesgo Del Sitio Piloto	50
6.1.11 Evaluación De La Amenaza	50
6.1.11.1 Formulación Del Modelo Geológico – Geotécnico.....	50
6.1.11.2 Zonificación Geotécnica	51
6.1.11.3 Análisis Probabilístico De Estabilidad De Taludes	51
6.1.12 Evaluación Cuantitativa De La Vulnerabilidad	53
6.1.12.1 Identificación De Los Elementos Expuestos.....	53
6.1.12.2 Índices De Vulnerabilidad.....	54
6.1.12.3 Cuantificación De La Vulnerabilidad.....	58
6.1.13 Evaluación Cuantitativa Del Riesgo	58
6.1.14 Diseño De Alternativas De Mitigación Del Riesgo.....	60
6.1.14.1 Consideraciones De Diseño	61
6.1.15 Relación Beneficio/Costo De Las Alternativas De Mitigación Del Riesgo Por Deslizamientos.	61
6.1.15.1 Costo Inicial De Las Alternativas	62
6.1.15.2 Relación Beneficio/Costo Con Valores Iniciales.....	62
6.1.15.3 Valor Total De Los Proyectos De Mitigación Del Riesgo.....	62
6.1.15.4 Costo De Mantenimiento, Conservación Y Monitores Geotécnico	62
6.1.15.5 Valor Residual Del Proyecto.....	63
6.1.15.6 Costo Total De Las Alternativas.....	63
6.1.15.7 Relación Costo Beneficio	64
6.1.16 Selección De Alternativas De Mitigación	64
6.2 Calibración De La Metodología	64

6.2.1 Recopilación Y Revisión De La Información Existente	65
6.2.2 Generalidades	65
6.2.2.1 Introducción	65
6.2.2.2 Objetivos	65
6.2.2.3 Metodología y actividades realizadas	65
6.2.3 Diagnostico	66
6.2.3.1 Recopilación de la información existente	66
6.2.3.2 Diagnostico	67
6.2.4 Topografía	68
6.2.5 Geología Y Geomorfología	68
6.2.5.1 Geología regional	68
6.2.5.2 Geología local	70
6.2.5.2.1 Unidades de suelo	71
6.2.5.2.2 Unidades de roca	72
6.2.5.3 Geomorfología	72
6.2.5.3.1 Inventarios de procesos morfodinámicos	73
6.2.6 Hidrogeología	76
6.2.7 Evaluación Cuantitativa Del Riesgo Para El Sitio Piloto	76
6.2.8 Evaluación De La Amenaza	76
6.2.8.1 Investigación del subsuelo	76
6.2.8.2 Aspectos hidrológicos e hidrogeológicos	77
6.2.8.2.1 Análisis de la morfometría de microcuencas	77
6.2.8.2.2 Precipitación	78
6.2.8.2.3 Curvas idf – infiltración	79
6.2.8.2.4 Evaluación del drenaje superficial	82
6.2.8.3 Análisis de característica sismológica del subsuelo	84
6.2.8.4 Formulación del modelo geológico – geotécnico	85
6.2.9 Modelo Geológico Geotécnico	97
6.2.9.1 Perfil 1 – 1	97
6.2.9.2 Perfil 2 – 2	98
6.2.10 Análisis Probabilístico De Estabilidad De Taludes	99
6.2.11 Retroanálisis	100
6.2.12 Definición De Los Escenarios Análisis	102
6.2.13 Evaluación Cuantitativa Vulnerabilidad	106
6.2.13.1 Identificación y valuacion de los elementos expuestos	107

6.2.13.2 Cuantificación de las consecuencias	116
6.2.14 Evaluación Cuantitativa Del Riesgo	120
6.2.15 Diseño De Alternativas De Mitigación Del Riesgo.....	122
6.2.15.1 Alternativa 1	122
6.2.15.1.1 Reducción del riesgo	127
6.2.15.2 Alternativa 2	128
6.2.15.2.1 Reducción del riesgo	133
6.2.15.3 Alternativa 3	134
6.2.15.3.1 Reducción del riesgo	139
6.2.15.4 Alternativa 4	140
6.2.15.5 Reducción del riesgo	142
6.2.16 Condición Del Riesgo Con Obras	143
6.2.17 Relación Beneficio/Costo De Las Alternativas De Mitigación Del Riesgo Por Deslizamientos.....	143
6.2.18 Relación Beneficio/Costo Inicial	143
6.2.19 Costo De Implementación, Servicio Y Valor Residual De Las Alternativas.....	144
6.2.20 Comparativo De Las Relaciones Beneficio/Costo	148
6.2.21 Selección De Alternativas De Mitigación	148
7. Análisis De Resultados Y Discusión.....	149
8. Conclusiones.....	154
9. Recomendaciones.....	156
10. Bibliografía	157
11. Anexos	160

LISTA DE FIGURAS

- 3.1 Esquema conceptual del proceso del manejo del riesgo (VanDine, Jordan, & Boyer, 2002, p. 4)
- 3.2 Relación entre el volumen deslizado y la distancia de viaje para diferentes tipos de deslizamiento según Finlay et al. (1999).
- 3.3 Curvas de daño para estructuras de un piso de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de B (ancho) –MC-1p-EB
- 3.4 Curvas de daño para estructuras de un piso de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de L (longitud)-MC-1p-EL
- 3.5 Curvas de daño para estructuras de dos pisos de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido d B (ancho)- MC-2p-EB

- 3.6 Curvas de daño para estructuras de dos pisos de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de L (longitud)- MC-2p-EB
- 3.7 Interim societal risk tolerance criteria (Song, Liu, & Wu, 2007, p. 372)
- 3.8 Empirical Rates of Failure for Civil Engineering Facilities (Baecher, 1987, p. 49)
- 4.1 Relación entre presión de impacto de la avalancha y susceptibilidad de pérdida de edificios para diferentes estructuras (Keiler et al., 2006).
- 5.1 Forma gráfica de la Metodología de Trabajo.
- 6.1 Relación entre el volumen deslizado y la distancia de viaje para diferentes tipos de deslizamiento según Finlay et al. (1999). F es definido como la relación L/H.
- 6.2 Curvas de daño para estructuras de un piso de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de B (ancho) –MC-1p-EB
- 6.3 Curvas de daño para estructuras de un piso de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de L (longitud)-MC-1p-EL
- 6.4 Curvas de daño para estructuras de dos pisos de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido d B (ancho)- MC-2p-EB
- 6.5 Curvas de daño para estructuras de dos pisos de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de L (longitud)- MC-2p-EB
- 6.6 Interim societal risk tolerance criteria (Song et al., 2007, p. 372)
- 6.7 Empirical Rates of Failure for Civil Engineering Facilities (Baecher, 1987, p. 49)
- 6.8 Fotografía satelital del sitio en estudios (Google Earht)
- 6.9 Zonificación geológica regional del sitio de estudio (Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 35)
- 6.10 Vista general del sector superior afectado por el movimiento de inestabilidad principal(Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 38).
- 6.11 Ubicación y delimitación de los movimientos de remoción en masa
- 6.12 Vista de detalle, aspectos de la corona del movimiento, superficie de deslizamiento sobre plano de estratificación de estratos de areniscas, nivel de Ri, en dirección del buzamiento de las capas rocosas.(Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 55)
- 6.13 Vista detalle de la parte sur del sector inestable.(Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 57)
- 6.14 Vista detalle sitio esquina Cr. 4C Este, con la Calle 79 Sur, cuyo muro en gaviones (MG) fue impactado por efectos dinámicos del movimiento de inestabilidad (Fotografía registrada en marzo de 2011).(Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 58).
- 6.15 Localización y tipos de Investigación del subsuelo (Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 66)
- 6.16 Lluvias medias mensuales (1990 - 2008) en la estación Juan Rey (Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 76)
- 6.17 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) para la zona de estudio
- 6.18 Curvas IDF vs Infiltración (Zw)
- 6.20 Curvas de amenaza para Bogotá (Ingeominas & Unal, 2010)

- 6.21 Planta geológica y perfiles (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.22 Perfil geológico 1 – 1 adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.23 Perfil geológico 2 – 2 adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.24 Angulo de fricción real (ϕ') y equivalente (ϕ'_{eq}) (González, 1999, p. 5)
- 6.25 Φ' equivalente (González, 1999) para la fracción arenosa del Scor
- 6.26 Φ' equivalente (González, 1999) para la fracción limosa del Scor
- 6.27 Modelo Geológico – Geotécnico perfil 1-1
- 6.28 Modelo Geológico – Geotécnico perfil 2-2
- 6.29 Análisis de estabilidad de taludes perfil 1-1
- 6.30 Retroanálisis
- 6.31 Análisis de estabilidad perfil 1- 1 escenario 24
- 6.32 Análisis de estabilidad perfil 2-2 escenario 22
- 6.33 Planta geología (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.34 Relación entre el volumen deslizado y la distancia de viaje para diferentes tipos de deslizamiento según(Finlay, Mostyn, & Fell,, 1999).
- 6.35 Esquema distancia de viaje del deslizamiento perfil 1-1
- 6.36 Esquema distancia de viaje del deslizamiento perfil 1-1
- 6.37 Plano catastral
- 6.38 Plano catastral con distancia de viaje de los posibles deslizamientos de los perfiles 1-1 y 2-2 adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.39 Predios en amenaza
- 6.40 Alternativa 1 de mitigación del riesgo, Perfil 1-1.
- 6.41 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.
- 6.42 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.
- 6.43 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.
- 6.44 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.
- 6.45 Alternativa 2 de mitigación del riesgo, Perfil 1-1.
- 6.46 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.
- 6.47 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.
- 6.48 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.
- 6.49 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.
- 6.50 Alternativa 3 de mitigación del riesgo, Perfil 1-1.
- 6.51 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.
- 6.52 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.
- 6.53 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.
- 6.54 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.
- 6.55 Alternativa 2 de mitigación del riesgo, Perfil 1-1.
- 6.56 Depreciación de los sistemas de mitigación para el final del periodo de diseño
- 6.57 Flujos de Inversión por Alternativa proyectado para el periodo de servicio.
- 6.58 Comparativo relaciones Beneficio/costo iniciales vs finales (VPN de los sistemas de mitigación).

LISTA DE TABLAS

- 1.1 Costo estimado de intervención de los sitios afectados por PRM
- 1.2 Recursos disponibles para la Mitigación del riesgo PRM en Bogotá D.C. en el 2012
- 1.3 Sitios priorizados por el FOPAE, SHD y la UMV para intervención en el 2012.
- 1.4 Priorización de intervención con obras (Acta CONFIS No. 12 de octubre de 2012)
- 2.1 Definiciones de riesgo por deslizamientos (Adaptada de Düzgün y Lacasse, 2005).
- 2.2 Análisis geotécnico de taludes
- 3.1 Valores del Índice De Vulnerabilidad para vías en función del volumen de los deslizamientos y el ángulo de posición de la vía usados por la GCO de Hong Kong Adaptada de(Lee & Jones, 2004).
- 3.2 Valores de Índice de Vulnerabilidad utilizados en Queensland - Australia adaptada de (Michael-Leiba, Granger, & Scott, 2000) (tomada de Hayne et al 2000).
- 6.4 Índices morfométricos para la cuenca de la quebrada Hoya del Ramo (Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 71)
- 6.5 Datos estación pluviométrica Juan Rey
- 6.6 Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (INGEOCIM – UPES, 1998).
- 6.7 Parámetros hidráulicos del suelos de estudio (Scor- Fracción arenosa limosa) (Kim, Jeong, Park, & Sharma, 2004, p. 6)
- 6.8 Parámetros hidráulicos del suelos de estudio (Fracción areno- limosa - Scor) Maidment (1993) & PC-Progress (2008).
- 6.9 Valores de intensidad máxima – duración de 10 minutos
- 6.10 Caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio en un periodo de 50 años.
- 6.11 coeficiente de aceleración sísmica A_0 para un periodo de retorno.
- 6.12 Resumen exploración del subsuelo
- 6.13 Sondeo mecánico 2, adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.14 Sondeo mecánico 3, adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.15 Barreno manual 1 Fiscala La Escuela adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.16 Sondeo mecánico No. 1 Fiscal Centro, adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.17 Sondeo mecánico No. 2 Fiscala Centro adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.18 Sondeo Mecánico No. 4 adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.19 Sondeo mecánico No. 1 adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.20 Valores de C' y Φ' , para la fracción arenosa del Scor, a partir del N del SPT.
- 6.21 Valores de C' y Φ' , para la fracción limosa del Scor, a partir del N del SPT.
- 6.22 ensayos realizados a la fracción arcillosa del Scor
- 6.23 Resumen parámetros geomecánicos material Scor

- 6.24 Parámetros geomecánicos ((Consortio Mitigación 2010, 2012)
- 6.25 Parámetros geotécnicos iniciales
- 6.26 Parámetros adoptados retroanálisis
- 6.27 Rango típico de COV para los parámetros del suelo (Orr & Breyse, 2008).
- 6.28 Covarianza de $\tan \Phi$ ensayos de laboratorio
- 6.29 Escenarios de análisis de estabilidad perfil 1-1
- 6.30 Escenarios de análisis de estabilidad perfil 2-2
- 6.31 Longitud de viaje del deslizamiento
- 6.32 Viviendas Ubicadas sobre el cuerpo del deslizamiento
- 6.33 Viviendas localizadas en la parte baja de la ladera
- 6.34 Redes de Servicios Públicos
- 6.35 Probabilidad espacial y temporal de vehículos
- 6.36 Pérdidas esperadas para la vía y los automóviles
- 6.37 Cantidad de habitantes identificados
- 6.38 Probabilidad de ocupación de los predios
- 6.39 Pérdidas sociales esperadas para la vía y los automóviles
- 6.40 Pérdidas sociales esperadas de los habitantes de las viviendas edificadas sobre el cuerpo del deslizamiento
- 6.41 Pérdidas sociales esperadas de los habitantes de las viviendas ubicadas en la manzana 1
- 6.42 Pérdidas sociales esperadas de los habitantes de las viviendas ubicadas en la manzana 2, C, D y E
- 6.43 Pérdidas económicas esperadas de los predios
- 6.44 Pérdidas económicas por año
- 6.45 Pérdidas económicas acumuladas
- 6.46 frecuencia N ó pérdidas sociales por año.
- 6.47 Pérdidas sociales acumuladas
- 6.48 Evaluación del riesgo
- 6.49 Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos adaptada de (Tabla H.2.4-1 NSR -10)
- 6.50 Presupuesto alternativa 1 - Reconfiguración + Muro Vía + Muro Intermedio + Pernos
- 6.51 Costo Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico
- 6.52 Longitud de viaje de las superficies de falla locales
- 6.53 Probabilidad de falla superficies de falla locales
- 6.54 Presupuesto alternativa 2 - Caisson + Reconfiguración
- 6.55 Costo Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico
- 6.56 Longitud de viaje de las superficies de falla locales
- 6.53 Probabilidad de falla superficies de falla locales
- 6.58 Presupuesto alternativa 3 - Reconfiguración + Muro Vía
- 6.59 Costo Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico
- 6.60 Distancia de viaje calculada para posibles superficies de falla locales
- 6.61 Probabilidad de falla superficies de falla locales
- 6.62 Presupuesto alternativa - Reasentamiento + Muro Vía
- 6.63 Costo Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico

- 6.64 Valor inicial de las alternativas de mitigación (año 0)
- 6.65 Relación beneficio/costo valores iniciales (año 0)
- 6.66 Valor futuro de los terrenos compadrados por el Distrito
- 6.67 Valor presente neto de los predios adquiridos – (Valor Residual)
- 6.68 Costo anual de implementación del programa de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico.
- 6.69 Valor Total Presente Neto de los sistemas de mitigación del riesgo.
- 7.1 Condiciones de análisis de estabilidad de los escenarios críticos encontrados VS los exigidos en la NSR-10 (Probabilidad de falla acumulada).
- 7.2 Condiciones de análisis de estabilidad de los escenarios críticos encontrados VS los exigidos en la NSR-10 (Probabilidad de falla anual).
- 7.3 Evaluación del riesgo escenarios de estabilidad NSR-10
- 7.4 Comparativo entre las relaciones Beneficio/costo calculadas con valores iniciales (año 0) y las obtenidas con valores finales.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción Del Problema

Para el año 2012, el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE, identifica y clasifica cualitativamente 159 sitios en Bogotá D.C. (Tabla 1,1), afectados por procesos de remoción en masa que deben ser intervenidos para mitigar el riesgo por deslizamiento, por parte de entidades Distritales como el mismo FOPAE, los Fondos de Desarrollo Local - FDL, el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU, la Secretaria Distrital de Hábitat y la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial - UVM, entre otras.

Considerando que el FOPAE en diciembre de 2011, estimó que la intervención de todos los sitios afectados por PRM en la ciudad cuestan alrededor de \$ 440.000 millones de pesos (Tabla 1.1) y que el Distrito Capital dispone para esa vigencia fiscal cerca de \$ 137.000 millones de pesos para atender este tipo de eventos (Tabla 1.2); se evidencia que los recursos destinados no son suficientes para solucionar la problemática del riesgo por deslizamientos.

Tabla 1.1 Costo estimado de intervención de los sitios afectados por PRM

Tipo de Escenario	Prioridad	Cantidad de Sitios	Costo Aproximado (Incluye AUI + Interventoría)	Población Afectada (Estimado)
Ladera	Urgente	19	\$ 46.000.000.000	15.659
	1	82	\$ 180.000.000.000	46.216
	2	55	\$ 50.000.000.000	21.543
	Mantenimiento de Obras	27	No se ha estimado	
	Altos de la Estancia	3	\$ 160.000.000.000	
Total		186	\$ 436.000.000.000	83.418

De la Tabla 1.3 se deduce que la priorización de intervención de los sitios afectados, con la elaboración de estudios y diseños de alternativas de mitigación, no es producto de un proceso racional, ya que si se aplica una política de gestión del riesgo coherente con las necesidades expuestas por FOPAE (Entidad rectora en riesgos), las intervenciones se debieran concentrar en mitigar el riesgo en los 19 sitios catalogados como urgentes.

Tabla 1.2 Recursos disponibles para la Mitigación del riesgo PRM en Bogotá D.C. en el 2012

Entidad	Recursos Disponibles (Aproximados)	Sitios de Intervención
UMV	\$ 50.000.000.000	Malla Vial , Sitios Críticos de Ladera y Altos de La Estancia
IDU	\$ 30.000.000.000	Malla Vial y Sitios Críticos de Ladera
FDL	\$ 37.000.000.000	Malla Vial , Sitios Críticos de Ladera y Altos De La Estancia
EAAB	No Hay Reporte	Tuna Alta
Secretaria De Educación	No Hay Reporte	Colegio El Rosal
FOPAE	No Hay Reporte	
Total	\$ 137.000.000.000	

Aunado a lo anterior, no se conoce cual es el procedimiento ni los criterios de evaluación que aplica dicha entidad para categorizar la prioridad de intervención inicial (Tabla 1.1), ya que actualmente la inclusión en la lista de sitios en amenaza alta por deslizamientos es producto de una inspección visual realizada por un experto.

Tabla 1.3 Sitios priorizados por el FOPAE, SHD y la UMV para intervención en el 2012.

Sitios Priorizados para Intervención en el 2012		
Prioridad	Cantidad	Entidad
Urgente	10	UMV (9)- FDL (1)
1	10	FDL (7) - EAAB (1) - IDU (1) - Secretaria De Educación (1)
2	3	FDL
Mantenimiento de Obras	0	-
Altos de la Estancia	2	UMV, FDL Y FOPAE
Total	25	

Ya en el 2012, de los estudios y diseños de alternativas de mitigación disponibles, la administración central, según documento CONFIS, recomienda a la UMV y a los FDL intervenir los sitios relacionados en la Tabla 1.4; de lo anterior, llama la atención que a pesar de que la condición establecida en las consultorías es la de recomendar para cada sitio, desde el punto de vista económico, la alternativa que presente la mejor relación beneficio/costo, esta no se utiliza como criterio de selección, ya que se escogió la alternativa que a simple vista es la más económica sin considerar los costos del mantenimiento, conservación, monitoreo geotécnico, compra de predios, ni reposición de elementos de infraestructura. Aun más grave es el hecho que en los diseños de las alternativas de mitigación para cada sitio no

se considera como opción de mitigación el reasentamiento de las familias (base de datos UMV).

Lo que no permite establecer la mejor alternativa de mitigación, desde la perspectiva beneficio/costo.

Tabla 1.4 priorización de intervención con obras (Acta CONFIS No. 12 de octubre de 2012)

Localidad	Sitios de Intervención 2012	Valor de la Intervención	Valor Total Asignado	Saldo
USME	La Fortuna	\$ 2.226.554.653	\$ 7.909.122.714	\$ 40.903.613
	Virrey	\$ 717.010.313		
	Porvenir II	\$ 4.924.654.135		
Subtotal USME		\$ 7.868.219.101		
SAN CRISTOBAL	Colmena	\$ 541.688.123	\$ 5.708.080.726	\$ 0
	Villa de los Alpes	\$ 866.245.942		
	Buenos Aires	\$ 3.889.364.828		
	San Blas II	\$ 410.781.833		
Subtotal SAN CRISTOBAL		\$ 5.708.080.726		
RAFAEL URIBE URIBE	Playón Playita	\$ 2.615.959.914	\$ 13.941.697.278	\$ 6.943.597.973
	San Ignacio	\$ 748.605.901		
	El Rosal	\$ 356.140.081		
	Bosque de San Carlos	\$ 2.958.926.874		
	Diana Turbay Cultivos	\$ 318.466.535		
Subtotal RAFAEL URIBE URIBE		\$ 6.998.099.305		
CIUDAD BOLIVAR	Altos de la Estancia	\$ 7.209.635.052	\$ 9.564.698.343	\$ 1.155.063.291
	San Joaquín del Vaticano	\$ 1.200.000.000		
Subtotal CIUDAD BOLIVAR		\$ 8.409.635.052		
TOTAL		\$ 28.984.034.184	\$ 37.123.599.061	\$ 8.139.564.877

1.2 Justificación

El estado Colombiano está en la obligación de cumplir la constitución y las leyes, para este caso en particular es el respeto y reconocimiento de derechos fundamentales como son el derecho a la vida y el derecho a la vivienda digna; con respecto al derecho a la vivienda digna determina lo siguiente:

“El derecho a la vivienda digna requiere para su perfeccionamiento de unas condiciones mínimas de habitabilidad, lo que supone disponer de un lugar donde se pueda resguardar y que cuente con seguridad, iluminación y ventilación adecuada, con la infraestructura necesaria para la prestación de los servicios básicos y que le permita a la persona desarrollar sus actividades personales y familiares en unas condiciones mínimas de dignidad. Los Estados tienen la obligación de promover que todos los ciudadanos tengan un lugar seguro para vivir en paz y dignidad, acorde con sus necesidades humanas y, debe proteger

especialmente a los grupos poblacionales que se encuentran en alguna desventaja de acceso pleno y sostenible a los recursos adecuados para conseguir una vivienda, como las madres cabeza de hogar que no cuentan con los recursos suficientes para adquirir una vivienda adecuada a sus necesidades, la población ubicada en zona de riesgo, los desplazados por la violencia, las personas de la tercera edad y los niños.” (Sentencia de la Corte Constitucional T-163/13)

Por ser un derecho de carácter fundamental, las entidades públicas adquieren las obligaciones y responsabilidades que se relacionan a continuación:

“Obligaciones específicas del componente de habitabilidad ante amenazas o deslizamientos u otros desastres naturales

Una vivienda adecuada debe ser habitable, en el sentido de poder ofrecer espacio adecuado a sus ocupantes y de protegerlos del frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento u otras amenazas para la salud, de riesgos estructurales y de vectores de enfermedad. Debe garantizar también la seguridad física de los ocupantes siempre que se vean amenazados los derechos fundamentales a la vida e integridad física de los mismos. De otro lado, esta Corporación ha sido enfática en reiterar su doctrina frente a la procedencia de la acción de tutela para amparar el derecho a una vivienda digna cuando se presentan fallas en el inmueble que afectan gravemente las condiciones de habitabilidad del mismo y amenazan los derechos fundamentales a la vida e integridad física de sus ocupantes, especialmente cuando los demandantes no cuentan con recursos para proveerse otra solución de vivienda.

RESPONSABILIDAD DE LAS AUTORIDADES MUNICIPALES EN LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES-Obligaciones frente a la población localizada en zonas donde se puedan presentar desastres

i) las autoridades locales tienen obligaciones y competencias específicas en lo concerniente al tema de prevención y atención de desastres, (ii) deben tener información actual y completa acerca de las zonas de alto riesgo de deslizamientos o derrumbes que se encuentran en su municipio, (iii) una vez obtenido el censo sobre las zonas de alto riesgo de deslizamiento, deben proceder a la reubicación de esas personas que se encuentran en situación de riesgo, (iv) deben promover y apoyar programas o proyectos de vivienda de interés social las cuales pueden ser financiadas con recursos propios, del Sistema General de Participaciones o de otros recursos y, (v) el Legislador le impuso a la administración municipal deberes de prevención y mitigación frente a la población localizada en zonas en donde se pueda presentar un desastre...”(sentencia de la Corte Constitucional T-163/13).

En este orden de ideas, dichas entidades deben disponer de recursos para mitigar los riesgos a los cuales están sujetos los ciudadanos; sin embargo, es apenas lógico que el presupuesto estatal debe cubrir muchas más necesidades que también son de obligatorio cumplimiento. Por esta razón, los recursos disponibles, al menos en la ciudad de Bogotá D.C., no son suficientes (Tabla 1.2).

Por lo tanto para garantizar la eficiencia y eficacia del gasto público, es necesario que previo a cada intervención de mitigación del riesgo se asegure por parte de quien toma la decisión de la inversión, el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles. Por lo que se requiere que las entidades públicas o privadas cuenten con una metodología racional para la selección de alternativas de mitigación del riesgo por deslizamientos, a partir de establecer la relación beneficio-costos real, reduciendo así la subjetividad en la definición de la priorización de intervención con alternativas de mitigación, además permite que se realice una correcta planeación y ejecución del gasto público, de tal forma que se aumente la probabilidad de realizar intervenciones oportunas y adecuadas para cada sitio afectado.

1.3 Objetivo General

Proponer una metodología para selección de alternativas de intervención para la mitigación del riesgo por deslizamientos.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Evaluar cuantitativamente el riesgo por deslizamientos en la condición que presente el sitio piloto.
- Diseñar alternativas de mitigación del riesgo por deslizamientos para el sitio piloto.
- Seleccionar la alternativa de mitigación del riesgo por deslizamientos para sitio piloto, a partir de la relación costo-beneficio.
- Generar una guía metodológica para la selección de alternativas de mitigación del riesgo por proceso de remoción en masa, basados en la relación costo - beneficio.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Terminología

Este trabajo trata sobre la gestión del riesgo por proceso de remoción en masa, en cuanto a la selección de alternativas de intervención basados en la relación beneficio costo.

A lo largo de este trabajo se adoptan las definiciones que se muestran a continuación, las cuales fueron presentadas por Fell, Ho, K., & Leroi (2005), teniendo como referencia la terminología del ISSMGE.

RIESGO: Medida de la probabilidad y severidad de un evento adverso para la vida, salud, la propiedad o medio ambiente. Cuantitativamente se expresa como: Riesgo = Amenaza x Pérdidas Potenciales (ISSMGE).

En la Tabla 2.1, se relacionan las definiciones de diferentes autores respecto del riesgo.

Tabla 2.1 Definiciones de riesgo por deslizamientos (Adaptada de Düzgün y Lacasse, 2005).

	Formulación de Riesgo	Definición	Fuente
Nivel de Generalización en la Definición del Riesgo	Riesgo = Amenaza x Consecuencias	Consecuencias: Valores potenciales de pérdidas	Einstein (1988)
	$R_s = H \times V$ $R_t = R_s \times E = (H \times V) \times E$	R_s : Riesgo específico, H: Amenaza, V: Vulnerabilidad Rt: Riesgo total, E: Elementos en riesgo	Varnes (1984)
	$R_t = \sum (R_s \times E) = \sum (H \times V \times E)$	Rt: Riesgo total, R_s : Riesgo específico, V: Vulnerabilidad, E: Elementos en riesgo	Fell (1994)
	$R_s = P(H_i) \times \sum (E \times V \times Ex)$ $R_t = \sum R_s(\text{Deslizamiento } 1, \dots, n)$	R_s : Riesgo específico, Rt: Riesgo total, $P(H_i)$: Amenaza de un deslizamiento de magnitud particular (H_i), E: Valor total de los elementos en riesgo, V: Vulnerabilidad, Ex: Exposición	Lee y Jones (2004)
	$R(DI) = P(H) \times P(S H) \times P(T S) \times P(L T)$	R(DI): Riesgo individual, P(H): Amenaza, P(S H): Probabilidad de impacto espacial, P(T S): Probabilidad de impacto temporal, P(L T): Probabilidad de pérdida de la vida de un individuo	Morgan <i>et al</i> (1992)
	$R(PD) = P(H) \times P(S H) \times V(P S) \times E$	R(PD): Riesgo específico (propiedad), P(H): Amenaza, P(S H): Probabilidad de que el deslizamiento impacte la propiedad, V(P S): Vulnerabilidad, E: Valor de la propiedad	Dai <i>et al</i> (2002)

Amenaza: Probabilidad de que un peligro particular ocurra dentro de un periodo de tiempo dado. También se define como probabilidad de ocurrencia de un evento capaz de producir daño en un espacio e intervalo de tiempo determinados.

Vulnerabilidad: Grado de pérdida o nivel de daño potencial de un elemento o conjunto de elementos en riesgo en el área afectada por la amenaza. Se expresa en términos de la probabilidad de daño (0) no hay daño y (1) pérdida total.

A continuación se relacionan otros términos que usan en el desarrollo de este trabajo:

Análisis de riesgo: Uso de la información disponible para estimar el riesgo debido a amenazas sobre individuos o poblaciones, la propiedad o el medio ambiente.

Descomposición o desintegración de las fuentes de riesgo en sus componentes fundamentales. Puede ser cualitativo o cuantitativo, o una combinación de ambas.

Control del riesgo: Implementación y solicitud de acciones para controlar el riesgo y la periódica re-evaluación de la efectividad de estas acciones.

Consecuencias: en relación con el análisis de riesgo, es el resultado de que la amenaza se materialice.

Elementos en riesgo: población, edificios, trabajos de ingeniería, infraestructura, medio ambiente y actividades económicas en el área afectada por la amenaza.

Evaluación del Riesgo: Estado en que los valores y el juicio entran en el proceso de decisión, explícita o implícitamente, considerando la importancia de los riesgos estimados y las consecuencias sociales, ambientales, y económicas asociadas, con el fin de identificar un rango de alternativas para el manejo del riesgo.

Estimación del riesgo: Proceso de toma de decisiones sobre si los riesgos existentes son tolerables y si las medidas de control actuales son adecuadas o no, y si las alternativas de control son justificadas. Incluye las fases de análisis y evaluación del riesgo.

Frecuencia (recurrencia): Medida de la posibilidad de ocurrencia de un evento en un tiempo dado o en un número dado de ensayos.

Manejo del riesgo: Aplicación sistemática de políticas de manejo, procedimientos y prácticas a identificación, análisis, evaluación, mitigación y monitoreo del riesgo.

Mitigación del riesgo: Aplicación selectiva de técnicas apropiadas y principios de manejo para reducir la posibilidad bien de la ocurrencia de un evento y/o de sus consecuencias desfavorable.

Análisis cuantitativo del riesgo: análisis basado en los valores numéricos de la probabilidad de la amenaza, vulnerabilidad y consecuencias, y resulta en un valor numérico.

Probabilidad: Medida del grado de certeza. Esta medida va entre cero (imposible) y uno (certeza). Estadísticamente hablando se refiere a la frecuencia o fracción de ocurrencia de un evento dado entre un universo de posibilidades. De manera subjetiva se asocia con el grado de confianza.

Probabilidad anual de ocurrencia: La probabilidad estimada de que un evento de una magnitud específica sea excedido en un año.

Probabilidad temporal (espacial): Probabilidad de que el elemento expuesto esté en el área afectada por la amenaza, en el momento de su ocurrencia.

Valor presente neto (interés compuesto): es un método para estimar el valor actual de un capital de una serie de flujos de inversiones o flujos de caja futuras, originados por desembolso inicial, se calcula con la siguiente Ecuación:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} \quad (2.1)$$

Donde;

V_t : representa los flujos de caja.

n : es el número de períodos considerado.

k : es **la tasa de descuento** o de retorno requerida sobre una inversión. La tasa de descuento refleja la oportunidad perdida de gastar o invertir en el presente por lo que también se le conoce como costo o tasa de oportunidad.

Valor futuro (interés compuesto): es el valor ganado de una inversión inicial sometida a un interés, durante un tiempo determinado, se calcula con la siguiente Ecuación:

$$VF = VI + (1+IA)^n \quad (2.2)$$

Donde;

VI : Valor Inicial.

IA: Incremento Anual

n: Periodo de evaluación.

Predios: Porción delimitada de un terreno que puede contener algún tipo de estructura.

Edificación: Construcción fija existente en un predio que puede ser usado para permanencia humana.

Pérdidas directas: cuantificación de las pérdidas debidas a la acción de un evento amenazante sobre un elemento expuesto.

Pérdidas indirectas: son las pérdidas derivadas de los efectos nocivos de la pérdida directa.

Avalúo o tasación: Es la estimación de un determinado valor de una propiedad debidamente identificada, en una fecha dada, justificándolo con la presentación y análisis de diversos factores del mercado que intervienen.

Valuación: Es la determinación técnica del valor de un inmueble o de un derecho sobre el mismo, para una fecha y un lugar determinado, asumiendo el uso específico del inmueble.

Valor Residual (r): Es el valor del elemento cuando cumple su vida útil.

Depreciación: Es la pérdida de valor del elemento expuesto por el uso o el tiempo.

Factor de Seguridad (F_S): La Norma Sismo Resistente NSR -10, define el Factor de Seguridad (FS) en ingeniería civil como la relación entre fuerzas resistentes FR y actuantes FA:

$$F_S = \frac{F_R}{F_A} \text{ ó en términos de esfuerzos para evaluar} \\ \text{el Estado Limite de Falla} \quad (2.3)$$

$$F_S = \frac{\tau_f}{\tau_A} \quad (2.4)$$

Vida Útil: “El número de años de diseño en los cuales se considera que el elemento prestará sus servicios en condiciones normales.” Contreras (2007).

Precio: “Es lo que se paga en pesos por un elemento en el mercado”. Contreras, (2007).

Valor inicial o de Compra: “Es el valor que tuvo el elemento al terminar su construcción. Se llama también valor histórico”. Contreras (2007)

2.2 Análisis Geotécnico De Taludes

Los deslizamientos son movimientos de una masa de roca, detritos o tierra que se desliza con respecto al sustrato por acción de la gravedad, estos se consideran procesos naturales de denudación de la corteza terrestre.

Estos movimientos suceden cuando las fuerzas actuantes sobre la masa de roca o tierra superan la resistencia al corte de los materiales que la componen, y puede darse en varios planos de rotura.

En el análisis geotécnico de estabilidad de taludes se considera que el talud es un sistema sometido a la acción de diversos factores de origen natural o artificial que controlan su comportamiento (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Análisis geotécnico de taludes

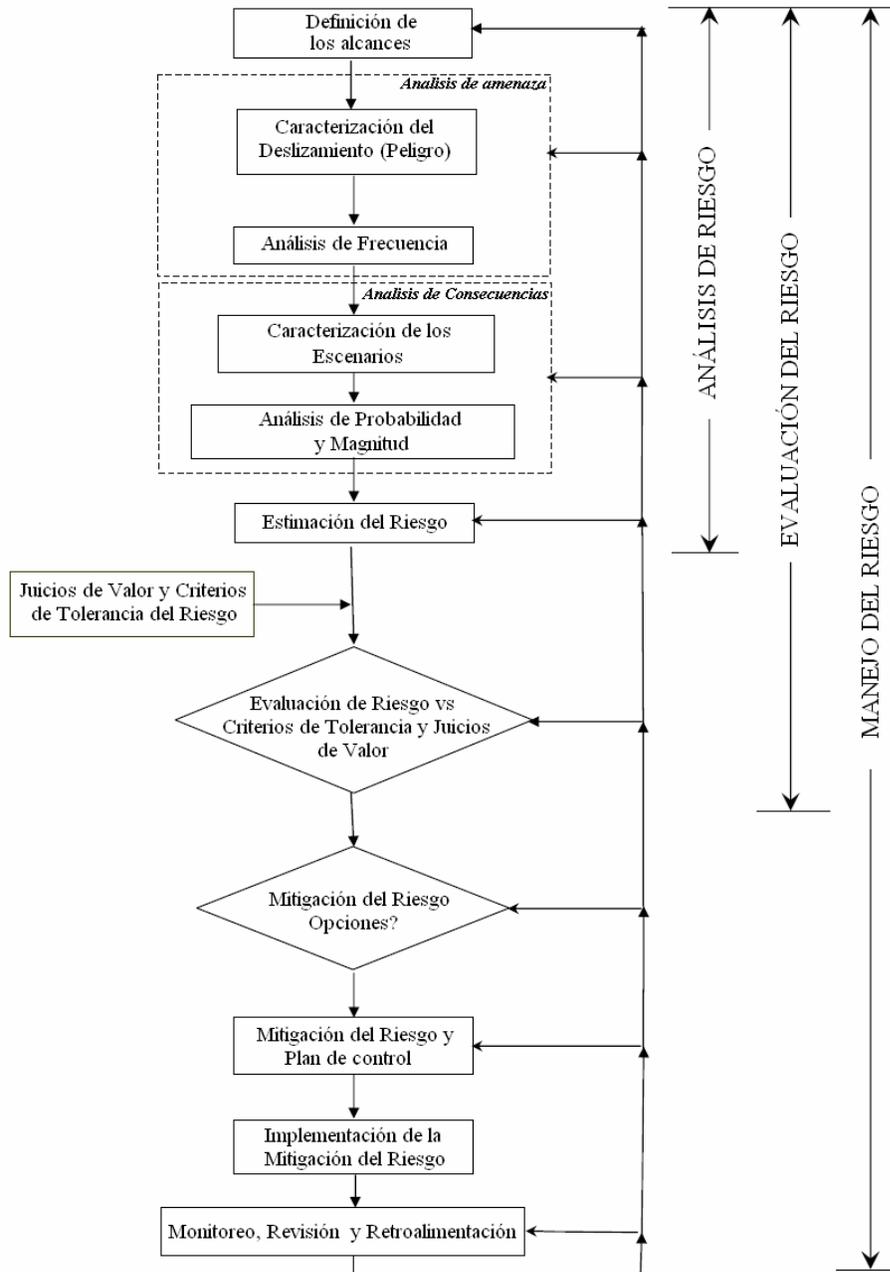
		Factores	
Tipo	Descripción	Variables	Aspectos a evaluar
Exógenos	Sismo tectónicos	Tectónica	Estructuras geológicas Aceleración Pico Contenido Frecuencial
		Sismicidad	Duración Efectos Locales - amplificación de onda por geología y topografía
	Climáticos	Lluvia	Intensidad Duración
	Cobertura y Uso	Intervención antropogénica	
Intrínsecos	Geotécnico	propiedades	Físicas Químicas Mecánicas
	Geológicos	Litología	Tipo de material
		Estructura	Primarias y secundarias
	Hidrogeológicos	Meteorización	Transformación del material
		Régimen del agua	Subsuperficial Subterráneo
	Geomorfológicos	Morfogénesis	Origen de la forma Pendiente
Morfometría		Forma en planta Forma en perfil	
Morfodinámica		Cambio de forma por procesos de inestabilidad o erosión	

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Proceso De Manejo Del Riesgo

En la Figura 3.1 se muestra conceptualmente el proceso del manejo del riesgo.

Figura 3.1 Esquema conceptual del proceso del manejo del riesgo (VanDine et al., 2002, p. 4)



Seguidamente se describe cada uno de las fases relacionadas en el esquema de la Figura 3.1

3.1.1 Análisis Del Riesgo

El análisis del riesgo se compone del análisis de la amenaza y de la valoración de las consecuencias sociales, económicas o ambientales.

“Definición de los objetivos del análisis de riesgo. Esta etapa es necesaria para definir los alcances del estudio. Incluye la definición de si lo que se requiere analizar es un sitio puntual o una zona (cuenca, subcuenca, etc.), determinar los límites geográficos del estudio, definir si el estudio llevará a un análisis en términos de pérdidas económicas o pérdidas de vidas o ambos. Igualmente debe definir el nivel de detalle (escala) en la que se tiene que levantar la información en campo, por ejemplo, geología, geotecnia, etc. Otros aspectos que deben definirse son el tipo de evaluación que se quiere entre cualitativa y cuantitativa, el criterio de aceptación del riesgo que se va aplicar o cómo se va a definir, las responsabilidades legales que se generen con el estudio y la forma como se van a entregar los productos.”(Rodríguez & Jiménez, 2009, p. 4)

3.1.2 Análisis De La Amenaza

En esta fase principalmente se identifica el peligro y su frecuencia.

“En la caracterización del peligro se busca clasificar los mecanismos de falla potenciales, identificar el área potencialmente afectada o extensión del deslizamiento esperado, también características morfométricas del proceso como volumen o área afectada. Es importante, igualmente, caracterizar los materiales que pueden estar involucrados en el proceso en términos de su comportamiento geomecánico, por ser este factor el que determine su comportamiento pre-falla y post-falla. Con el fin de evaluar los daños potenciales que el movimiento puede producir, se requiere poder estimar o predecir la velocidad de movimientos, su trayectoria de viaje, etc. Para determinar la aplicabilidad de sistemas de alerta se debe tratar de identificar señales premonitorias como agrietamientos, ruidos, etc.

Los anteriores factores deben ser identificados para todas las posibles amenazas que pueden afectar el sitio, esto es las de menor magnitud pero mayor frecuencia, hasta las de mayor magnitud pero menor frecuencia.

En la evaluación de la amenaza por deslizamientos, el tipo de amenaza está definida por el tipo de deslizamiento, lo que está íntimamente relacionado con el sistema de clasificación de deslizamientos que se adopte...”

“...La evaluación de amenaza por deslizamiento, por lo tanto incluye no sólo la determinación de la probabilidad de que se genere un deslizamiento sino que además debe predecir el volumen o área potencialmente afectada, esto es la magnitud del elemento amenazante. La relación entre el parámetro seleccionado para definir la magnitud y la capacidad de producir daño es parte del análisis de vulnerabilidad que sigue al análisis de amenaza.

La distribución espacial de la amenaza es controlada, en principio, por la susceptibilidad de los taludes a deslizarse. La susceptibilidad se puede definir como la mayor o menor disposición de un talud a deslizarse, la cual es función de las condiciones intrínsecas como inclinación del talud, litología, cobertura, resistencia, condiciones de agua, etc.

La susceptibilidad debe ser vista como una variable dinámica debido a que la disposición de un talud a deslizarse es función de elementos variables en el tiempo como el contenido de humedad, resistencia o nivel del agua, entre otros.

La distribución temporal de la amenaza está controlada por la recurrencia de los eventos detonantes y por la variación temporal de la susceptibilidad. La relación entre los eventos capaces de inducir deslizamientos y las características de los deslizamientos potenciales se establecen a partir del estudio de casos históricos o de análisis numéricos de la respuesta hidrológica y/o dinámica de taludes.

Con el estudio de casos históricos se pueden establecer los niveles críticos de lluvia o sismo capaces de generar deslizamientos, y del análisis estadístico de los registros de lluvias o sismos se obtiene la recurrencia del evento detonante dentro de un grado de confianza determinado.

El análisis de frecuencia se puede hacer en términos del número de procesos de ciertas características que pueden ocurrir en el sitio por año, o la probabilidad de ocurrencia de un evento en el sitio dentro de un periodo definido de tiempo (por ejemplo, en un año), o bien como un análisis de confiabilidad con base en la relación entre las fuerzas resistentes y las inestabilizantes, este análisis debe hacerse para cada uno de los modos de falla analizados.” Rodríguez & Jiménez, (2009, p. 5)

El método General de Equilibrio Limite GLE como el propuesto por Morgenstern & Price (1965), se utiliza para realizar análisis de estabilidad. Este método se fundamenta en encontrar los factores de seguridad Básicos Mínimos Directos. Para el caso que nos ocupa, los umbrales para el factor de seguridad son aquellos estipulados en el Título H de la Norma Sismo Resistente 2010.

Dependiendo del modelo de análisis, las fuerzas resistentes típicamente son función de variables como: el ángulo de fricción (ϕ), la cohesión (C), la presión de

poros (μ o Ru), coeficiente sísmico (A_0), el peso unitario (γ) y de la geometría del talud; mientras que las fuerzas actuantes son función del peso unitario (γ), de la geometría del talud, la presión de poros (μ o Ru) y el coeficiente sísmico (A_0) dado.

Haciendo una simplificación del comportamiento del suelo, se toma cada una de estas variables como independientes en función del factor de seguridad propuesto en el método de análisis de estabilidad utilizado.

Cada una de estas variables tiene una distribución de probabilidad que depende del número y la confiabilidad de los ensayos de caracterización realizados a cada material.

La probabilidad de falla del talud está dada por la probabilidad en que el Factor de Seguridad (FS) sea menor o igual a uno (1.).

$$PF = P(F.S. \leq 1.0) \quad (3.1)$$

Donde la función de comportamiento (FS) está dada de la siguiente forma:

Siendo "S el conjunto de todo (ϕ, c, α, Ru) tal que $\varphi(\phi, c, \alpha, Ru)$ es menor o igual a 1.0, es decir cuando el FS es menor a la unidad (o sea, falla el talud).

$$f(FS) = f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(A_0) \cdot f(Ru)$$

Por consiguiente:

$$FS = \varphi(\phi, c, \alpha, Ru) \quad (3.2)$$

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

$$Pf(talud) = P(FS \leq 1.0) = \iiint_S f(FS) dFS = \iiint_S f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru) d\phi dc d\alpha dRu \quad (3.3)$$

Para resolver la integral planteada, existen varios métodos tales como PEM, FOSM, FORM o Montecarlo, o también Conjuntos Difusos, "que dan como resultado los primeros dos momentos estadísticos (valor esperado - μ_{FS} -, y la varianza - σ^2_{FS} -) de la distribución del Factor de Seguridad. Los tres primeros métodos (PEM, FOSM y FORM) obtienen únicamente los momentos estadísticos mencionados, por lo que para determinar la probabilidad de falla o de ocurrencia del evento, se debe seleccionar una distribución de probabilidad que, en concepto del evaluador, represente la distribución del Factor de Seguridad, siendo

generalmente utilizadas la distribución Normal o la LogNormal” Soler - Sierra, F., (2012, p. 7)

“En la calibración de la metodología se utilizará la técnica de simulación de Montecarlo, que consiste en asumir “variables aleatorias generadas de forma consistente con la función de densidad de probabilidad correspondiente. Luego el factor de seguridad se calcula con cada una de las combinaciones. El proceso se repite... miles de veces para obtener una distribución aceptable de la función de comportamiento” Cruz (2011, p. 4) en resumen “es resolver un problema determinístico muchas veces para construir una distribución estadística, de donde se calculan la media y la desviación estándar de la función de comportamiento.” Cruz (2011, p. 4)

“Para calcular las variables aleatorias z_i con medias y desviaciones estándar correctas, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Z_i = \mu_{z_i} + \sigma_{z_i} Y_i \quad (3.4)$$

Una vez calculados las variables, se resuelve la función de comportamiento con cada uno de los conjuntos generados aleatoriamente. Es así como se obtiene miles de resultados, los cuales pueden ser tratados estadísticamente para calcular la media, desviación estándar y asimetría de la función de comportamiento.” Cruz (2011, p. 31)

Es así como se obtiene una solución exacta para el Factor de Seguridad medio y de la probabilidad de falla del talud a partir de realizar la evaluación de la función de comportamiento (FS) empleando variables aleatorias con distribuciones de probabilidad definida.

Conociendo las probabilidades de que dentro del periodo de diseño suceda una lluvia o se presente un coeficiente sísmico (A_0) dado, más la probabilidad de falla del talud, se determina la probabilidad de falla total del talud como la probabilidad de una intersección de m eventos independientes, así:

$$P(E_1 E_2 E_3 \dots E_m) = P(E_1) \cdot P(E_2) \cdot P(E_3) \dots P(E_m)$$

$$P_{f_{total}} = P_f(\text{Talud}) \cdot P(\text{Lluvia}) \cdot P(A_0) \quad (3.5)$$

3.1.3 Análisis De Consecuencias

Consiste en determinar la fragilidad de los elementos expuestos que fueron identificados dentro de las áreas que se afectarían de materializarse la amenaza por encontrarse en las posibles trayectorias del movimiento de la masa fallada.

“Esta etapa incluye la identificación y cuantificación de todos los elementos expuestos, estimar la probabilidad espacial de los elementos expuestos, esto es la exposición temporal ante la amenaza, la evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos en términos de las pérdidas económicas o vidas humanas. Este análisis se debe hacer para cada tipo de proceso que se pueda presentar. La evaluación de posibles daños debe incluir tangibles e intangibles, directos e indirectos.

Los elementos en riesgo pueden ser: los humanos, la infraestructura física, los servicios (líneas vitales), vehículos, bienes individuales y comunales, el medio ambiente y la economía...”

“...Con el fin de determinar los daños se debe primero estimar la probabilidad de que un deslizamiento alcance el elemento expuesto, la cual depende de la posición relativa del elemento con respecto a la zona de origen y trayectoria del deslizamiento.” Rodríguez & Jiménez (2009, p. 6)

Se tiene que la vulnerabilidad es el nivel de daño o pérdidas sociales, económicas o ambientales, esperadas, que sufrirían los elementos expuestos; la cuantificación de los daños se obtiene de operar los índices de vulnerabilidad por la cantidad de personas expuestas para el caso social o para el caso económico por el valor total tasado de los elementos identificados.

Según Einstein (1988) la vulnerabilidad se expresa matemáticamente como:

$$V_L = p(D_L \geq 0|L) \quad 0 \leq D_L \leq 1 \quad (3.6)$$

Donde;

D_L es el nivel de daño esperado de ocurrir un deslizamiento

L . Una vulnerabilidad de 0 representa que no hay ningún tipo de pérdida, mientras que 1.0 representa la pérdida total del elemento expuesto.

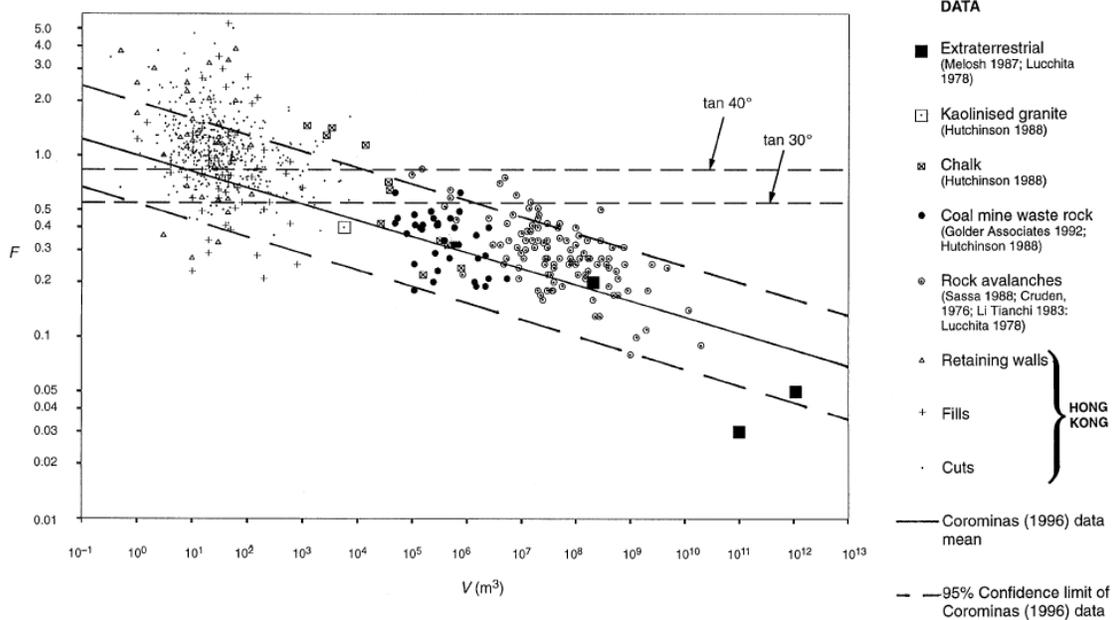
3.1.3.1 Identificación de los elementos expuestos

Los elementos expuestos son todas aquellas personas o bienes de carácter público o privado que se encuentren dentro del área delimitada por el posible alcance del deslizamiento, a estos elementos se les determina un grado de exposición temporal y espacial, así como se les asigna un índice de vulnerabilidad de acuerdo con la capacidad de respuesta o de resistir el embate del evento.

Para establecer el área de influencia del evento se idealizan las trayectorias y distancias de viaje del deslizamiento, a partir de la planta geológica, donde se pueden identificar las posibles direcciones, los anchos y el volumen a deslizarse.

La distancia de viaje de la masa de suelo o roca se obtiene de relaciones empíricas producto del registro de diferentes tipos de deslizamiento en el mundo (Figura 3.2).

Figura 3.2 Relación entre el volumen deslizado y la distancia de viaje para diferentes tipos de deslizamiento según Finlay et al. (1999).



3.1.3.2 Índices de vulnerabilidad

Índices de vulnerabilidad social para las vías

En la Tabla 3.1, se muestran índices de vulnerabilidad social para vías, en función del ángulo de posición y el volumen del deslizamiento.

Tabla 3.1 Valores del Índice De Vulnerabilidad para vías en función del volumen de los deslizamientos y el ángulo de posición de la vía usados por la GCO de Hong Kong Adaptada de (Lee & Jones, 2004).

Volumen deslizado (m³)	Factor de vulnerabilidad para vías								
	Ángulo de posición (β°)								
	>60	55-60	50-55	45-50	40-45	35-40	30-35	25-30	20-25
<20	0.1	0.095	0.072	0.042	0.019	0.0065	0.0015		
20-50	0.5	0.5	0.47	0.37	0.23	0.1	0.03		
50-500	0.7	0.7	0.69	0.63	0.48	0.26	0.078	0.0015	
500-2000	0.95	0.95	0.95	0.95	0.83	0.48	0.15	0.01	
>2000	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.83	0.48	0.15	0.01

En la Tabla 3.2 Hayne y colaboradores (2000) presentan valores de índices de vulnerabilidad para personas que se encuentran dentro de viviendas afectadas por deslizamientos rotacionales y hundimientos establecidos para el sudeste de Queensland- Australia, teniendo como referencia los valores propuestos para la Cairns.

Tabla 3.2 Valores de Índice de Vulnerabilidad utilizados en Queensland - Australia adaptada de (Michael-Leiba et al., 2000) (tomada de Hayne et al 2000).

Escenario	Índice de vulnerabilidad		
	Personas	Estructuras	Vías
Deslizamiento de detritos, flujos y caídas de roca, talud >25°	0.9	1.0	1.0
Deslizamientos rotacionales y hundimientos, talud <25°	0.05	0.25	0.30
Deslizamientos de detritos, flujos, hundimientos y caídas de roca pequeños	0.05	0.25	0.30

“el índice de vulnerabilidad para taludes < 25° es derivado de aproximaciones subjetiva y el trabajo de varios autores, mientras por flujos de detritos ocurridos en taludes > 25°, están mas de acuerdo con Michael-Leiba et al. (1999, 2003)”.(Cifuentes, 2011, p. 64)

Índices de vulnerabilidad física para las viviendas

Mavrouli y Coromidas (2010a), proponen definir el índice de daño (ID) en estructuras, como el cociente resultante entre el número de elementos fallados y el número total de elemento de la estructura.

Cifuentes (2011, p. 135), utiliza la anterior propuesta para calcular índices de daño (ID) que varían de 0 (sin daño) a 1 (daño total), para cada escenario planteado dentro de su investigación; a partir de esto genera curvas de fragilidad para edificaciones en mampostería de uno y dos pisos, estas curvas se basan en la estimación de la fuerza normal P_s Moriguchi, et.al,2009) sobre los elementos de la estructura a una altura de la zona de presión H y en el sentido en que la edificación recibe la carga B (ancho) o L (largo) y el número de pisos (Figuras 3.3 - 3.6).

Para el cálculo de las presiones ejercidas por la masa de suelo sobre los muros utiliza la Ecuación (3.7) propuesta por Moriguchi et al. (2009),

$$P_s = \frac{BH^2}{2} \rho g (\text{sen}\theta - \text{cos}\theta \tan\phi) \quad (3.7)$$

Donde;

P_s es la fuerza normal sobre la estructura.
B es el ancho de la zona de presión.

H la altura de la zona de presión.
 ρ es la densidad del suelo.
 g es la gravedad
 θ es el ángulo de inclinación del terreno
 φ el ángulo de resistencia interna del suelo.

Figura 3.3 Curvas de daño para estructuras de un piso de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de B(ancho) –MC-1p-EB

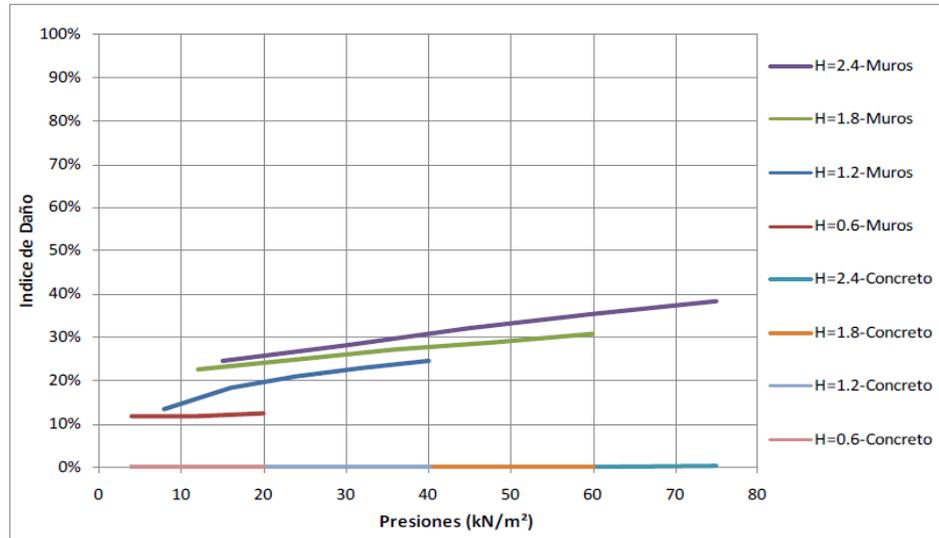


Figura 3.4 Curvas de daño para estructuras de un piso de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de L (longitud)-MC-1p-EL

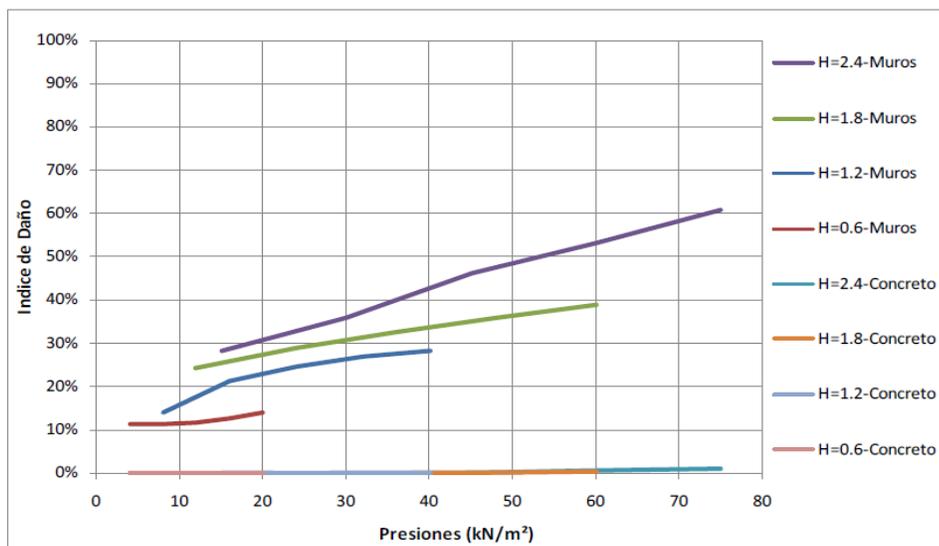


Figura 3.5 Curvas de daño para estructuras de dos pisos de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido d B (ancho)- MC-2p-EB

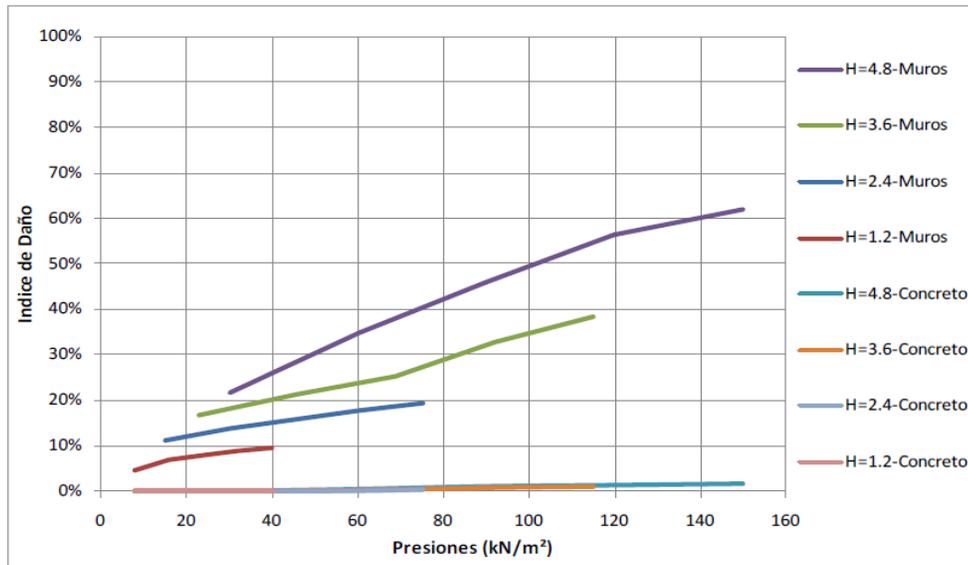
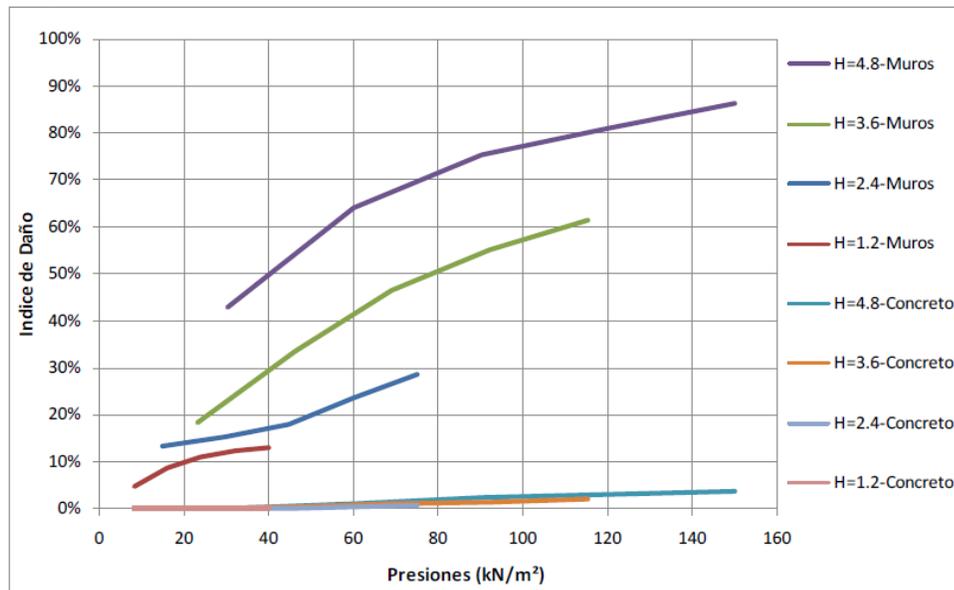


Figura 3.6 Curvas de daño para estructuras de dos pisos de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de L (longitud)- MC-2p-EB



3.1.4 Vulnerabilidad

“A nivel social la vulnerabilidad es el grado en que un sistema o parte del sistema pueden reaccionar adversamente ante la materialización de la amenaza. La respuesta está condicionada por la resiliencia del sistema, que a su vez se puede definir como la capacidad del sistema de absorber y recuperarse después de ocurrido el evento...”

“..Vulnerabilidad física: Se refiere al nivel de daño que puede sufrir un elemento expuesto en términos de su exposición y resistencia contra la magnitud de la amenaza, en el caso de flujos es el nivel de daño que se puede presentar por diferentes velocidades y alturas de flujo...”

“...Se debe hacer una distinción entre evaluación de daños, evaluación del impacto y la evaluación de la vulnerabilidad. Aunque estos conceptos se superponen en algunos aspectos, no significan ni comprenden lo mismo. La evaluación de daños se basa en el cálculo de pérdidas reales tales como número de muertos, pérdidas económicas y daños a la infraestructura física en eventos ya ocurridos. El análisis del impacto no necesariamente se refiere a los daños, también incluye los potenciales beneficios, y finalmente la evaluación de la vulnerabilidad se refiere a la determinación de la posibilidad de que se presenten heridos, pérdida o interrupción del bienestar y de otros factores que dificulten la recuperación, esto significa que la vulnerabilidad debe focalizarse en la determinación de aquellos factores que hacen a la población vulnerable y que muestran las mayores diferencias en la susceptibilidad de las personas...”
Rodríguez & Jiménez (2009, pp. 7-8)

La Cuantificación de la vulnerabilidad se toma como el nivel de daño económico esperado, que resulta de multiplicar el índice de vulnerabilidad de cada elemento expuesto por su costo específico. En el caso del daño social esperado, es el resultado de multiplicar el índice de vulnerabilidad estimado para las personas por el número de personas expuestas.

3.1.5 Evaluación Del Riesgo

En esta etapa se realiza la cuantificación y evaluación de riesgo.

Conceptualmente, el riesgo se puede definir así: *“Una vez conocida la amenaza o peligro (H), entendida como la probabilidad de que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel durante un período de exposición determinado, y conocida la vulnerabilidad (V), entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible de sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad, el riesgo (R) puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el*

elemento expuesto, como consecuencia de un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel, es decir, la probabilidad de exceder unas consecuencias sociales, ambientales y/o económicas durante un período de tiempo determinado". Cardona (1991)

El riesgo total es igual a la sumatoria de los riesgos específicos. Cuantitativamente el riesgo absoluto se puede expresar con la siguiente formulación:

$$R(DI) = P(H) \times P(S|H) \times P(T|S) \times V(L|T) \quad (3.8)$$

Donde;

R(DI): Riesgo (probabilidad anual de pérdida)

P(H): Probabilidad anual de ocurrencia del evento

P(S|H): Probabilidad del impacto espacial dado el evento

P(T|S): Probabilidad del impacto temporal dado el impacto espacial

V(L|T): Vulnerabilidad (probabilidad de pérdida social, económica o ambiental dado el impacto).

El riesgo económico (E), social (S) o ambiental (A) también se puede simular mediante el modelo dinámico del tipo integral. Rivera (2001)

$$R_{E, S, A} = \int P(e) P_{(E, S, A)} \quad (3.9)$$

Donde,

$R_{E, S, A}$ Es el riesgo, sea económico (E), social (S) o ambiental (A).

$P(e)$ Es la probabilidad cuantitativa del evento que se pronostica; se denomina también amenaza (H).

$P_{(E, S, A)}$ Es la pérdida en el sector, sea económico (E), social (S) o ambiental (A), que se relaciona con el evento natural que se predice; también se suele denominar vulnerabilidad (V).

El riesgo total se expresa en términos de pérdidas económicas y de vidas humanas por año. Una vez cuantificados los daños potenciales o pérdidas esperadas, se compara con categorías de aceptabilidad del riesgo. En este capítulo utilizaremos los rangos propuestos por La Sociedad Australiana de Geotecnia (AGS, por sus siglas en Ingles) para el riesgo social (Figura 3.7) y para la evaluación del riesgo económico (Figura 3.8).

Figura 3.7 Criterios de tolerancia del riesgo social (Song et al., 2007, p. 372)

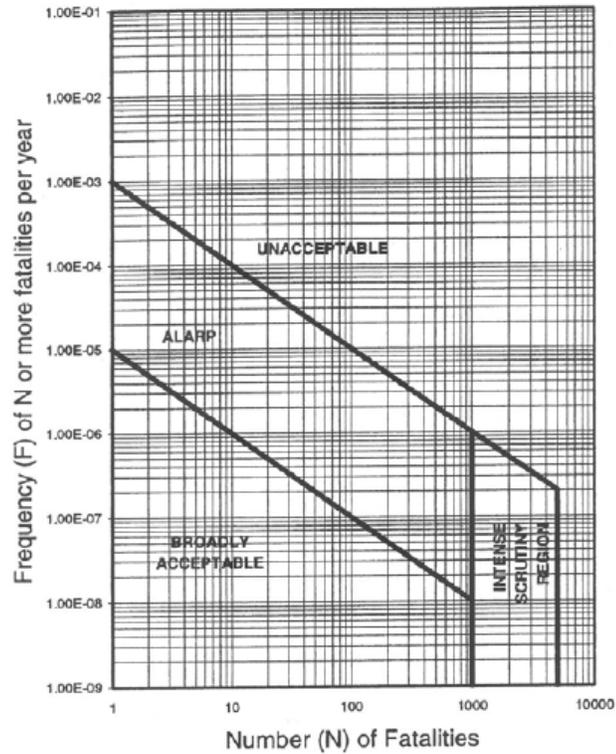
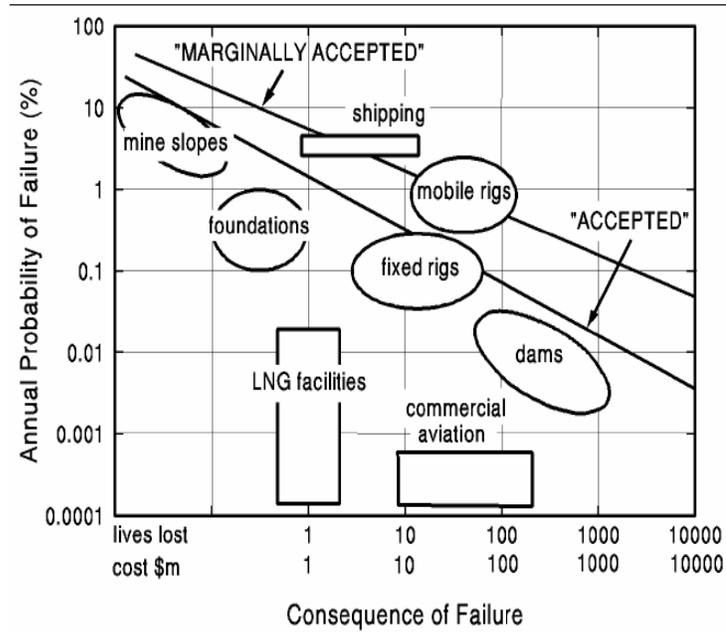


Figura 3.8 Criterios de aceptabilidad del riesgo económico (Baecher, 1987, p. 49)



3.1.6 Mitigación Del Riesgo

Trata de todas aquellas acciones que se ejecuten para que el riesgo sea aceptable.

Siempre y cuando el riesgo se catalogue como inaceptable, se requiere del diseño y la implementación de sistemas de mitigación.

A continuación se señalan los principales enfoques de los sistemas de mitigación que sin importar cual sea, pueden ser compatibles, de tal forma que alternativas de mitigación diferentes pueden ejecutarse en forma simultánea. Rodríguez & Jiménez (2009, p. 11)

- *“Reducir la frecuencia de deslizamientos aplicando medidas de estabilidad tales como drenajes, reconfiguración del terreno, anclajes, etc.*
- *Reducir la probabilidad de que el deslizamiento alcance los elementos en riesgo, por ejemplo construcción de mallas, barreras, etc.*
- *Reducir la probabilidad espacial y temporal de los elementos en riesgo, instalando sistema de alerta, relocalizando, etc.”*

La selección de las alternativas de intervención se hace a partir de estimar la relación beneficio/costo (B/C) de cada una ellas. Para ello es necesario establecer el monto del beneficio esperado y el valor total de la alternativa considerando todos los costos asociados a la implementación, mantenimiento conservación y monitoreo geotécnico.

“Para cualquier procedimiento convencional de Análisis Costo - Beneficio, el objetivo es llevar a cabo un registro y estimación de todos los efectos que en términos de costos y beneficios puede generar un proyecto o política. Este análisis se finaliza con la estimación de los indicadores financieros.” Ramírez, Vidal, & Domínguez (2009).

4. MARCO DE REFERENCIA

Se encuentra que metodologías para la selección de alternativas de mitigación del riesgo por deslizamiento con base en la relación beneficio/ costo (b/c) son escasas; sin embargo a continuación se relacionan en forma general algunos antecedentes de metodologías de evaluación del riesgo por deslizamiento, algunas de estas utilizadas como referencia para la construcción de la metodología propuesta.

4.1 Metodologías Para Evaluación Del Riesgo Por Deslizamiento

(Soler - Sierra, F., 2012) propone la “*Guía metodológica para evaluación de riesgos por deslizamientos en zonas urbanas a escala de diseño*” donde la amenaza se analiza cuantitativamente mediante un análisis probabilístico de la función de comportamiento del factor de seguridad (F_s), para esto considera que las variables de esta función: ángulo de fricción (ϕ), la cohesión (C), la presión de poros (μ o R_u), coeficiente sísmico (A_0) y el peso unitario (γ), son aleatorias, así las cosas se puede decir que la distribución de probabilidad de falla del talud para cuando F_s es menor o igual a uno, es igual a la multiplicación de las funciones de probabilidad de cada una de las variables. (Ecuación):

$$f(FS) = f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(A_0) \cdot f(Ru)$$

Por consiguiente:

$$FS = \varphi(\phi, c, \alpha, Ru) \quad (4.1)$$

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

$$Pf(\text{talud}) = P(FS \leq 1.0) = \iiint_S f(FS) dFS = \iiint_S f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru) d\phi dc d\alpha dRu \quad (4.2)$$

En esta misma metodología se plantea la categorización de la amenaza y la vulnerabilidad económica y el riesgo de forma semicuantitativa.

GEOCING LTDA. (2004) presentó dentro de los “ESTUDIOS Y DISEÑOS DE INTERVENCIÓN FÍSICA PARA RECUPERAR Y EVITAR LA OCUPACIÓN DE LA ZONA DE ALTA AMENAZA EN EL DESARROLLO NUEVA ESPERANZA, DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE, EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.” una metodología para la estimación del riesgo similar a la propuesta por Soler - Sierra, F. (2012)

Teniendo en cuenta que en la literatura consultada no se encuentran referencias de investigaciones que establezcan cuantitativamente índices de vulnerabilidad social, para la cuantificación de la vulnerabilidad social por ende el riesgo, se utilizan en este trabajo los siguientes Índices de vulnerabilidad social:

Lee & Jones (2004) presentaron índices de vulnerabilidad social para vías, en función del ángulo de posición y el volumen del deslizamiento.

Hayne et al. (2000) propusieron los valores de índices de vulnerabilidad para deslizamientos rotacionales y hundimientos establecidos para el sudeste de Queensland- Australia, teniendo como referencia los valores propuestos para la Cairns.

“el índice de vulnerabilidad para taludes < 25° es derivado de aproximaciones subjetiva y el trabajo de varios autores, mientras por flujos de detritos ocurridos en taludes > 25°, están mas de acuerdo con Michael-Leiba et al. (1999, 2003)”. Cifuentes (2011, p. 64)

Mientras que para los índices de vulnerabilidad económica de los elementos expuestos se encuentran metodologías cuantitativas como:

Keiler et al. (2006), presenta la evaluación del riesgo multi-temporal por avalanchas en Galtür, Austria, para ello estima el costo de las edificaciones como la cantidad de metros cúbicos de construcción por el valor promedio del metro cubico de construcción, a este valor se la asocia una función de vulnerabilidad que depende de la presión de la avalancha y su efecto sobre las construcciones, de ahí se obtiene el grado de daño.

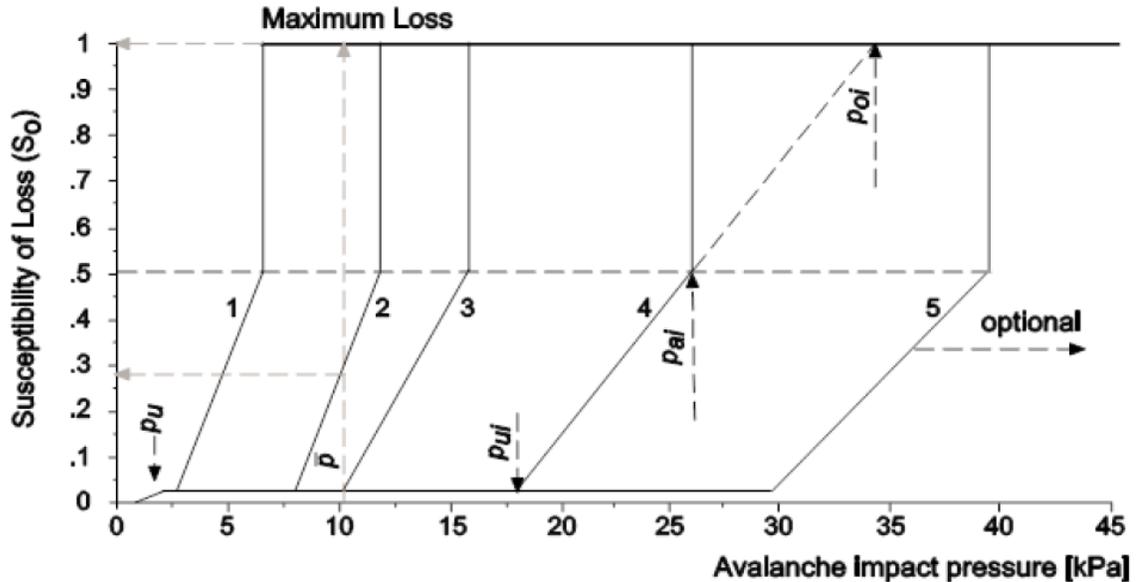
Wilhelm (1997), construye funciones de vulnerabilidad a partir de cinco rangos de presión ejercida sobre los elementos, también considera diferentes tipos de estructuras.

Wilhelm (1997) introduce cuatro límites de vulnerabilidad (Figura 4.1):

- “· Nivel de daño general (pu) corresponde a una presión de la avalancha de 2-3 kPa y causa daños como ventanas y puertas destruidas (estimados en 3%).*
- Nivel de daño específico (pui) es la consecuencia de una presión de impacto de la avalancha que causa daños en la estructura del edificio. Para cada categoría de edificio hay un nivel diferente de daño específico.*
- Nivel de destrucción (poi) describe la presión de la avalancha que pueden producir las máximas pérdidas dentro de cada categoría de edificios.*

· Límite (p_{ai}) que define el nivel de presión para producir un 50% de daño en la estructura, este nivel se toma como el límite por encima del cual se debe demoler y reconstruir la estructura.” Cifuentes (2011, p. 79)

Figura: 4.1 Relación entre presión de impacto de la avalancha y susceptibilidad de pérdida de edificios para diferentes estructuras Keiler et al. (2006).



“Tipos de estructuras: (1) construcciones ligeras, (2) construcciones mixtas, (3) construcciones masivas, (4) construcciones en concreto reforzado, (5) construcciones reforzadas. Valores límite: p_u = nivel de daño general, p_{ui} = nivel de daño específico, p_{ai} = nivel de destrucción, p_{ai} = límite por encima del cual se debe demoler y reconstruir la estructura, p = presión de avalancha” Rodríguez & Jiménez (2009)

Cifuentes (2011), determina curvas de fragilidad para edificaciones en mampostería de uno y dos pisos, estas curvas se basan en la estimación de la fuerza normal P_s Moriguchi et al. (2009) sobre los elementos de la estructura a una altura de la zona de presión H y en el sentido en que la edificación recibe la carga B (ancho) ó L (largo) y el número de pisos.

En cuanto al análisis de la vulnerabilidad de las redes de servicios públicos y elementos de infraestructura, Cuadros & Zambrano (2012) estiman de forma cualitativa un índice de resistencia para cada elemento, este consiste en asignar un valor (E) de acuerdo a la severidad del daño de cada elemento, multiplicado por un factor de ponderación que representa el peso del elemento analizado con respecto al total de la estructura afectada.

Por ejemplo para las alcantarillas el índice de resistencia se calcula con la siguiente fórmula:

$$IR = (E \times 0.20)A + (EE \times 0.10)A + (T \times 0.40)A + (ES \times 0.10)A + (D \times 0.20)A \quad (4.2)$$

Donde;

E= Valor asignado según severidad de daño en el Encole.

EE= Valor asignado según severidad de daño en la estructura de entrada.

T= Valor asignado según severidad de daño en la Tubería.

ES= Valor asignado según severidad de daño en la estructura de Salida.

D= Valor asignado según severidad de daño en el descole.

A= Valor asignado según porcentaje del área afectada en el elemento.

El factor de ponderación será dado para cada una de las partes en que se compone el sistema de alcantarillado.

4.2 Estimación De Valores

Cuadros & Zambrano (2012) en su tesis de maestría *“Metodología para la cuantificación de pérdidas económicas en corredores viales por deslizamientos y avalanchas”* utilizan para la determinación de los costos de los elementos expuestos el método de costo de reposición determinado en el artículo 3, de la Resolución 762 de 1998, La cual trata de establecer el *“valor comercial del bien objeto de avalúo a partir de estimar el costo total para construir a precios de hoy, un bien semejante al del objeto de avalúo, y restarle la depreciación acumulada. Al valor así obtenido se le debe adicionar la utilidad.”*

$$V_c = [(C_t - D) + U] + V_t \quad (4.3)$$

Donde:

V_c = Valor comercial

C_t = Costo total

D = Depreciación

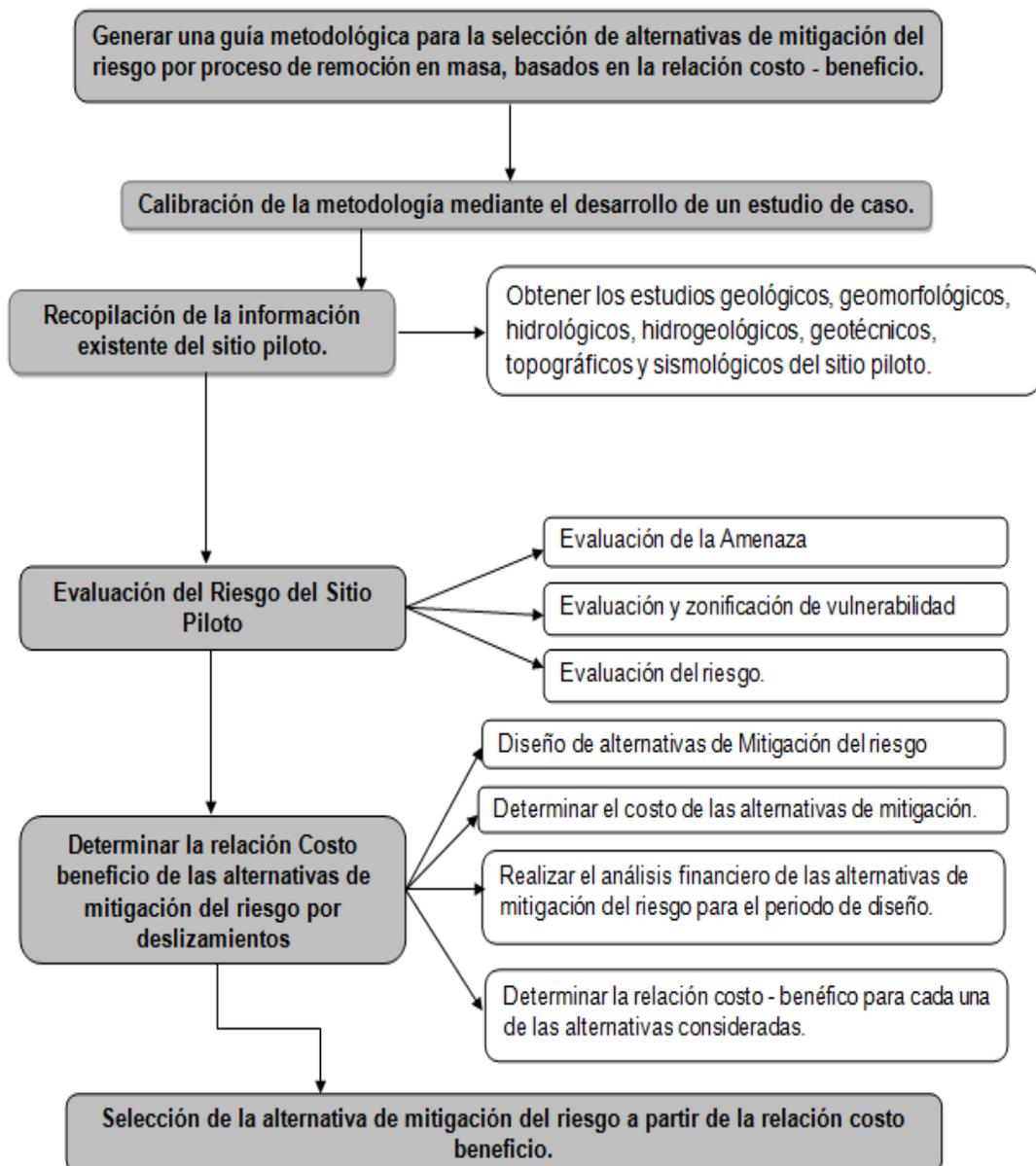
U = Utilidad del constructor

V_t = Valor del terreno

5. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se muestra de manera esquemática la secuencia de actividades que se desarrollaron para cumplir los objetivos propuestos en el proyecto, que como resultado dio la generación de una guía metodológica para selección de alternativas de intervención para la mitigación del riesgo por deslizamientos, basados en la relación costo beneficio.

Figura 5.1 Forma gráfica de la Metodología de Trabajo.



6. RESULTADOS

6.1 Metodología Propuesta

Se construye un informe técnico que contenga la información que le permita al responsable de la intervención conocer, identificar, analizar y solucionar la problemática.

6.1.1 Generalidades De Los Estudios.

6.1.1.1 Introducción.

Se enuncia de manera general las principales características del sitio de estudio, así como su problemática y el tratamiento que se le pretende dar, de tal forma que se contextualice al lector sobre el trabajo realizado.

6.1.1.2 Objetivos.

Los objetivos de la investigación se determinan de acuerdo con la necesidad descrita por la entidad contratante, para el caso descrito en este documento será el de identificar los procesos morfodinámicos y sus posibles causas, así como la de establecer alternativas de solución para que luego de un análisis económico se recomiende la ejecución de la alternativa que desde los aspectos técnico y económico sea la más favorable para el contratante.

6.1.1.3 Metodología y actividades a realizar.

Se indica el plan de trabajo que utilizará para: la consecución de la información, su procesamiento y la forma en que obtendrá los resultados que le permitirán dar cumplimiento a los objetivos planteados.

En este capítulo se establece cual es el alcance real de la investigación y los productos que se entregaran, considerando las limitaciones de orden técnico, administrativo, económico, operativo y/o legal que restringieron la consecución de la información y/o su procesamiento.

6.1.2 Diagnóstico

6.1.2.1 Recopilación de la información existente.

Se obtienen los estudios realizados para el sitio afectado, los cuales servirán como referencia para la investigación que se adelantará.

6.1.2.2 Diagnóstico.

De acuerdo con la información disponible, se establece la hipótesis del problema estabilidad y sus posibles causas, adicionalmente se elabora el diagnóstico de carácter multidisciplinario del sector a intervenir.

6.1.3 Topografía

Este aparte consta del levantamiento topográfico detallado (planimétrico y altimétrico), mediante el trazado de una poligonal con materialización de dos vértices, amarrada al sistema de coordenadas IGAC, con escala de trabajo 1:500 y curvas de nivel cada 0.5 metros.

Adicionalmente se debe trazar los perfiles topográficos en los sectores que se considere representativo para los movimientos en masa identificados, sobre estos perfiles se montarán los modelos geológico – geotécnicos para realizar los análisis de estabilidad de taludes.

6.1.4 Geología y Geomorfología

6.1.4.1 Geología regional.

Se extraerá la información de los estudios geológicos existentes para el sector en estudio, para el caso que nos ocupa y por tratarse del barrio La Fiscala parte alta de la localidad de Usme en Bogotá, se dispone principalmente de la siguiente información generada por INGEOMINAS:

- Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá, Esc. 1:25.000, Ingeocim Ltda & UPES (1998).
- Mapa geológico de la Sabana de Bogotá, Escala 1:120.000, Montoya & Reyes (2005)

De la información antes relacionada es importante conocer la: estratigrafía y la geología estructural.

6.1.4.2 Geología local.

Se realiza una descripción geológica detallada del área dentro de la poligonal de estudio, mediante el uso de:

- Información secundaria (estudios geológicos existentes).
- Cartografía.
- Datos obtenidos de la exploración del subsuelo.

- Levantamiento de la cartografía geológica.
- Análisis multitemporal.

El informe de la geología local se concentra principalmente en la identificación y descripción desde la perspectiva ingenieril de la litoestratigráfica, estructuras presentes y origen de las unidades geológicas.

6.1.5 Geomorfología

En este capítulo se estudia la morfometría y la morfogénesis, de la ladera en estudio.

Se realiza la descripción detallada de las formas de las laderas ubicadas dentro del área de estudio, en especial a lo que se refiere a la localización, disposición y a la dinámica de las unidades geológicas identificadas anteriormente.

6.1.5.1 Inventarios de procesos morfodinámicos.

En la base topográfica se identifican y se describen los procesos morfodinámicos de los cuales exista evidencia física dentro del polígono de estudio, además se deben describir los factores exógenos y/o intrínsecos asociados a la ocurrencia del proceso, junto con la influencia que tienen estos en la estabilidad.

6.1.6 Hidrogeología

Se debe determinar el régimen de agua superficial, subsuperficial y subterráneo, lo anterior a partir de conocer el comportamiento hidrogeológico típico de las unidades geológicas identificadas, los resultados de los ensayos que permiten determinar propiedades hidráulicas de los materiales y de la toma de datos de instrumentación.

Es importante establecer:

- Niveles de las bolsas de agua en rellenos colgados
- Nivel freático
- Infiltración
- Nivel freático regional
- Flujo

6.1.7 Geotecnia

Con el fin de construir el modelo estructural de la ladera se realiza una serie de actividades de campo, laboratorio y oficina, que permita realizar la evaluación de estabilidad.

El estudio geotécnico se compone de la exploración del subsuelo, caracterización geomecánica de los materiales y la zonificación geotécnica y busca principalmente:

- Identificar la secuencia estratigráfica
- Caracterización geomecánica de los materiales encontrados “in situ” (propiedades índices y los parámetros de estado).
- Idealizar la distribución espacial de las unidades de ladera.
- Conocer las posiciones del nivel freático
- Identificar la superficie de falla
- Retroalimentar el estudio geológico.
- Determinar la participación macizo rocoso en el sistema
- Lograr un levantamiento geológico estructural del macizo rocoso representativo.
- Zonificación geotécnica (idealizar zonas homogéneas)

La exploración del subsuelo puede realizar mediante el uso racional y programado de métodos directos, indirectos, ensayos de laboratorio o combinados.

6.1.8 Hidrología E Hidrogeología, Cobertura Y Usos Del Suelo.

Como es bien sabido el agua es el factor detonante con mayor influencia en los procesos de remoción en masa, ya que la presencia de esta, produce entre otras, aumento de la presión de poros, disminución de la succión, meteorización física y química de los materiales, aumento de las fuerzas fuerza actuantes.

Por esto es importante conocer la influencia del régimen de la precipitación del sector y el aporte de aguas vertidas y/o de drenaje, en la variación del comportamiento hidrogeológico y de las propiedades físicas y químicas de los materiales, lo que hace necesario:

- Determinar el régimen pluviométrico del sector en estudio.

De las Estaciones pluviométricas cercanas al área se toman para su análisis los registros históricos de: aguaceros (curvas IDF) y precipitaciones totales mensuales, así como los informes de tormentas que se dispongan.

Combase en lo anterior se obtiene el valor de lluvia critica y su periodo de retorno, utilizando la formulación que corresponda de acuerdo con la localización del área de estudio sugerida en el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" Ingeocim Ltda & UPES (1998) (Tabla 6.1).

Tabla 6.1 Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (Ingeocim Ltda & 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

- Caracterizar morfológicamente el área de drenaje.

Con los datos levantados en campo y la información secundaria existente para el sector se establece los valores del factor de forma, Coeficiente de compacidad, Índice de alargamiento, tiempo de concentración, Velocidad Media y la Densidad, de la microcuenca.

- Identificar y analizar las condiciones naturales y artificiales del drenaje.

De los registros pluviométricos se determinara el caudal pico para el área de la microcuenca en estudio, así:

Para microcuencas cuya superficie es inferior a 1 Km², se utiliza la Ecuación 6.1 de caudal pico:

$$Q = \frac{C * I * A}{0,36}; \quad (6.1)$$

Donde;

Q : es el caudal pico [l/s]

C : es el coeficiente de escorrentía.

I : es la intensidad máxima para el aguacero con periodo de retorno (Tr) de 50 años (Resolución 227 de 2006) y duración igual al tiempo de concentración (Tc) asumido, en [mm/H]

A : es el área aferente de la microcuenca en [ha]

Conocidas los registros historicos de los aguaceros (curvas IDF), calculamos la infiltración en el suelo que causaría cada una de estas lluvias en la ladera, utilizando la Ecuación 6.2, del modelo de infiltración unidimensional propuesto por (Pradel & Raad, 1993).

$$I_{(\min)} = \frac{(\mu)}{T_{(\min)}} \left[z_w - \psi \times \ln \left(\frac{\psi + z_w}{\psi} \right) \right] \left(\frac{z_w + \psi}{z_w} \right) \quad (6.2)$$

Donde;

$I_{(\min)}$: intensidad mínima de la lluvia para producir la saturación a la profundidad Z_w .

$T_{(\min)}$: duración mínima de la lluvia producir la saturación a la profundidad Z_w .

ψ : succión producida por el avance del frente húmedo.

Z_w : profundidad del frente húmedo.

μ : es la diferencia entre $(\Theta_s - \Theta_i)$

θ_s : contenido volumétrico saturado de agua del suelo.

θ_i : contenido volumétrico inicial de agua del suelo.

- Identificar y analizar la cobertura y usos del suelo.
- Determinar el uso del recurso hídrico (usos y/o vertimientos).

6.1.9 Amenaza Sísmica

La amenaza sísmica se cuantifica a partir de información contenida en los diferentes estudios realizados para el sitio piloto, para ello es necesario determinar las señales de diseño producidas por las fuentes sismológicas locales, intermedias o lejanas, además de la respuesta dinámica del suelo.

A partir de esta información se determina el coeficiente sísmico de diseño (A_0), para un periodo de retorno determinado en la normatividad vigente.

6.1.10 Evaluación Del Riesgo Del Sitio Piloto

6.1.11 Evaluación De La Amenaza

6.1.11.1 Formulación del modelo geológico – geotécnico

Sobre la base cartográfica se idealiza la secuencia estratigráfica para cada uno de los perfiles topográficos levantados, Los materiales modelados en cada perfil deben estar caracterizados.

La disposición, espesor y/o las características estructurales de los materiales que se plasman en los modelos deben coincidir con las encontradas en terreno.

La estabilidad geotécnica de los modelos es analizada para cada uno de los escenarios en condiciones normales y extremas, así:

- Mecanismo de falla establecido en el estudio más agua normal sin sismo
- Mecanismo de falla establecido en el estudio más agua normal con sismo
- Mecanismo de falla establecido en el estudio más la máxima tabla de agua posible sin sismo
- Mecanismo de falla establecido en el estudio más la máxima tabla de agua posible con sismo

6.1.11.2 Zonificación geotécnica

Para la correcta zonificación de la amenaza es fundamental identificar las zonas homogéneas desde su comportamiento ingenieril, de tal forma que los modelos creados sean representativos para toda el área de estudios.

Las zonas homogéneas deben ser caracterizadas desde el tipo de material y sus propiedades, condiciones hidrogeológicas, morfológicas, morfométricas, estratigráficas y estructurales.

6.1.11.3 Análisis probabilístico de estabilidad de taludes

Para los análisis de estabilidad se emplea el método general de equilibrio límite GLE, este método se fundamenta en encontrar los factores de seguridad Básicos Mínimos Directos, para el caso que nos ocupa los umbrales para el factor de seguridad son aquellos estipulados en el Título H de la Norma Sismo Resistente 2010.

La Norma Sismo Resistente NSR -10, define el Factor de Seguridad (FS) en ingeniería civil como la relación entre fuerzas resistentes FR y actuantes FA (ecuaciones 6.3 o 6.4):

$$F_s = \frac{F_R}{F_A} \quad (6.3)$$

o en términos de esfuerzos para evaluar el Estado Límite de Falla

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_A} \quad (6.4)$$

Donde dependiendo del modelo de análisis, las fuerzas resistentes típicamente son función de variables como: el ángulo de fricción (ϕ), la cohesión (C), la presión de poros (μ o Ru), del coeficiente sísmico (A_0), el peso unitario (γ) y de la geometría del talud; mientras que las fuerzas actuantes, son función del peso unitario (γ), de la geometría del talud, la presión de poros (μ o Ru) y del coeficiente sísmico (A_0).

Haciendo una simplificación del comportamiento del suelo, se toma cada una de estas variables como independientes dentro de función de factor de seguridad propuesta en el método de análisis de estabilidad utilizado.

Cada una de estas variables tiene una distribución de probabilidad que depende del número y la confiabilidad de los ensayos de caracterización realizados a cada material.

La probabilidad de falla del talud está dada por la probabilidad de que el Factor de Seguridad (FS) sea menor o igual a uno (1.).

$$PF = P(F.S. \leq 1.0) \quad (6.5)$$

Donde la función de comportamiento (FS) está dada de la siguiente forma:

Siendo "S el conjunto de todo (ϕ, c, α, Ru) tal que $\varphi(\phi, c, \alpha, Ru)$ es menor o igual a 1.0, es decir cuando el FS es menor a la unidad (o sea, falla el talud).

$$f(FS) = f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru) \quad (6.6)$$

Por consiguiente:

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

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

$$Pf(\text{talud}) = P(FS \leq 1.0) = \iiint_S f(FS) dFS = \iiint_S f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru) d\phi dc d\alpha dRu \quad (6.7)$$

Para resolver la integral planteada, existen varios métodos tales como PEM, FOSM, FORM o Montecarlo, o también Conjuntos Difusos, que dan como resultado los primeros dos momentos estadísticos (valor esperado - μ_{FS} -, y la varianza - σ^2_{FS} -) de la distribución del Factor de Seguridad. Los tres primeros métodos (PEM, FOSM y FORM) obtienen únicamente los momentos estadísticos mencionados, por lo que para determinar la probabilidad de falla o de ocurrencia del evento, se debe seleccionar una distribución de probabilidad que, en concepto del evaluador, represente la distribución del Factor de Seguridad, siendo generalmente utilizadas la distribución Normal o la LogNormal" Soler - Sierra, F. (2012, p. 7)

En la calibración de esta metodología se utilizará la técnica de simulación de Montecarlo, que a grandes rasgos consiste obtener una solución exacta para el

Factor de Seguridad medio y de la probabilidad de falla del talud a partir de realizar la evaluación de la función de comportamiento (FS) empleando variables aleatorias con distribuciones de probabilidad definida.

Conociendo las probabilidades de que dentro del periodo de diseño suceda una lluvia o se presente un coeficiente sísmico dado, más la probabilidad de falla del talud, se determina la probabilidad de falla total del talud como la probabilidad de una intersección de m eventos independientes, así:

$$P(E_1 E_2 E_3 \dots E_m) = P(E_1) \cdot P(E_2) \cdot P(E_3) \dots P(E_m)$$

$$P_{f_{total}} = P_f(Talud) \cdot P(Lluvia) \cdot P(A_0) \quad (6.8)$$

6.1.12 Evaluación Cuantitativa De La Vulnerabilidad

Se toma la vulnerabilidad como las pérdidas económicas y sociales esperadas, debidas a la ocurrencia de un evento de características estimadas en los análisis de estabilidad, así las cosas para cuantificar las pérdidas esperadas, es necesario identificar los elementos expuestos a ser afectados por encontrarse en las posibles trayectorias del movimiento de la masa fallada.

Según (Eisntein, 1988) se expresa matemáticamente como:

$$V_L = p(D_L \geq 0|L) \quad 0 \leq D_L \leq 1 \quad (6.9)$$

“Donde; D_L es el nivel de daño esperado de ocurrir un deslizamiento L . Una vulnerabilidad de 0 representa que no hay ningún tipo de pérdida, mientras que 1.0 representa las pérdida total del elemento expuesto.”

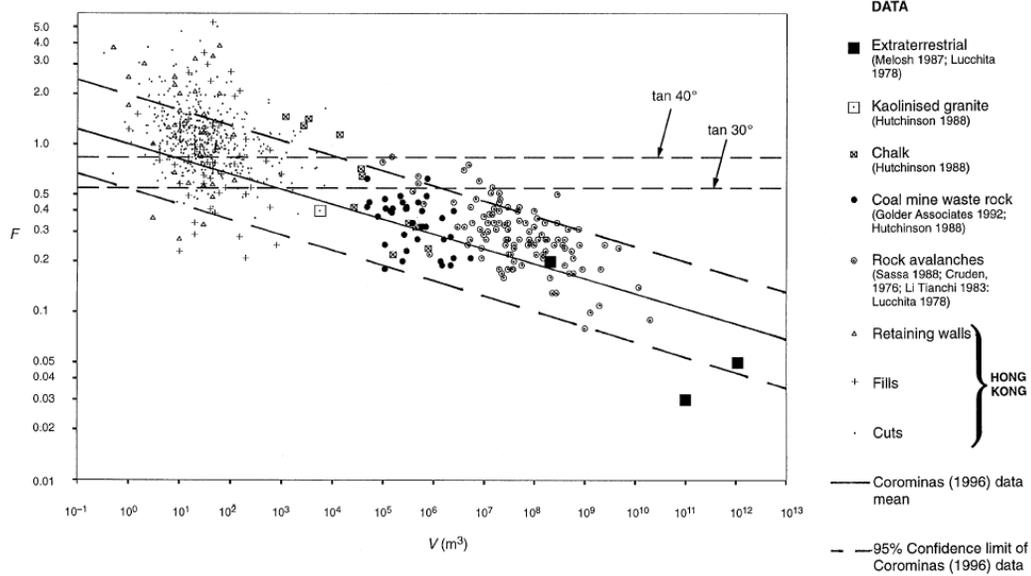
6.1.12.1 Identificación de los elementos expuestos

Los elementos expuestos son todas aquellas personas o bienes de carácter público o privado que se encuentren dentro del área delimitada por el posible alcance del deslizamiento, a estos elementos se les determina un grado de exposición temporal y espacial, así como se les asigna un índice de vulnerabilidad de acuerdo a la capacidad de respuesta o de resistir el embate del evento.

Para establecer el área de influencia del evento se idealizan las trayectorias y distancias de viaje del deslizamiento, a partir de la planta geológica, donde se puede identificar las posibles direcciones, los anchos y el volumen a deslizarse.

La distancia de viaje de la masa de suelo o roca, se obtiene de relaciones empíricas producto del registro de diferentes tipos deslizamientos en el mundo (Figura 6.1).

Figura 6.1 Relación entre el volumen deslizado y la distancia de viaje para diferentes tipos de deslizamiento según Finlay et al. (1999). F es definido como la relación L/H.



6.1.12.2 Índices de vulnerabilidad

Índices de vulnerabilidad social para las vías

En la Tabla 6.2, se muestran índices de vulnerabilidad social para vías en función del ángulo de posición y el volumen del deslizamiento; sin embargo para este análisis se toma el índice mayor teniendo en cuenta que el tramo vial se encuentra sobre el cuerpo del deslizamiento lo que causaría el máximo daño sobre esta infraestructura.

Tabla 6.2 Valores del Índice De Vulnerabilidad para vías en función del volumen de los deslizamientos y el ángulo de posición de la vía usados por la GCO de Hong Kong Adaptada de (Lee & Jones, 2004).

Volumen deslizado (m³)	Ángulo de posición (β°)								
	>60	55-60	50-55	45-50	40-45	35-40	30-35	25-30	20-25
<20	0.1	0.095	0.072	0.042	0.019	0.0065	0.0015		
20-50	0.5	0.5	0.47	0.37	0.23	0.1	0.03		
50-500	0.7	0.7	0.69	0.63	0.48	0.26	0.078	0.0015	
500-2000	0.95	0.95	0.95	0.95	0.83	0.48	0.15	0.01	
>2000	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.83	0.48	0.15	0.01

Índices de vulnerabilidad social para los habitantes de las viviendas

Michael-Leiba et al. (2000) propone los índices de vulnerabilidad de la Tabla 6.3, según este autor los índices dependen del proceso de remoción, del tipo de mecanismo de falla y ángulo de buzamiento del talud.

Tabla 6.3 Valores de Índice de Vulnerabilidad utilizados en Australia adaptada de (Michael-Leiba et al., 2000)

Escenario	Índice de vulnerabilidad		
	Personas	Estructuras	Vías
Deslizamiento de detritos, flujos y caídas de roca, talud >25°	0.9	1.0	1.0
Deslizamientos rotacionales y hundimientos, talud <25°	0.05	0.25	0.30
Deslizamientos de detritos, flujos, hundimientos y caídas de roca pequeños	0.05	0.25	0.30

Índices de vulnerabilidad física para las viviendas

Los índices de vulnerabilidad física para viviendas se toman de las Curvas de fragilidad propuestas en el trabajo de grado Cifuentes (2011), estas curvas se basan en la estimación de la fuerza normal P_s Moriguchi et al. (2009) sobre los elementos de la estructura a una altura de la zona de presión H y en el sentido en que la edificación recibe la carga B (ancho) ó L (largo) y el número de pisos, así:

Para cada vivienda ubicada en la trayectoria de los posibles deslizamientos que no se encuentran sobre la masa de suelo susceptible de moverse, se determina un índice de daño para una presión P_s ejercida por la masa de suelo sobre la vivienda, mientras que para las estructuras que se encuentran edificadas sobre el cuerpo del deslizamiento se considero un índice de daño igual a 1 ya que de presentarse la falla del talud estas edificaciones tendrían pérdida total.

Para el cálculo de las presiones ejercidas por la masa de suelo sobre los muros se utilizó la Ecuación 6.10 propuesta por Moriguchi et al. (2009),

$$P_s = \frac{BH^2}{2} \rho g (\text{sen}\theta - \text{cos}\theta \tan\phi) \quad (6.10)$$

Donde;

P_s es la fuerza normal sobre la estructura.

B es el ancho de la zona de presión.

H la altura de la zona de presión.

ρ es la densidad del suelo.

g es la gravedad

θ es el ángulo de inclinación del terreno

ϕ el ángulo de resistencia interna del suelo.

Para este trabajo se calcularon las presiones sobre las edificaciones como si el deslizamiento actuara para cada una de ellas en forma individual, es decir que no se tuvo en cuenta la influencia que pudiera darse por la presencia de edificaciones entre el elemento analizado y el deslizamiento.

Curvas de fragilidad

Los índices de daño para las viviendas se tomaron de las curvas de fragilidad del trabajo de grado (Cifuentes, 2011), a partir del cálculo de la fuerza normal P_s sobre los elementos de la estructura, de la altura de la zona de presión H , el sentido en que la edificación recibe la carga B (ancho) ó L (largo) y el número de pisos.

La altura H depende de la posición del elemento expuesto con respecto al deslizamiento, la altura máxima es igual a la altura del piso por el número de pisos de la vivienda Figuras (6.2 – 6.5).

Figura 6.2 Curvas de daño para estructuras de un piso de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de B (ancho) –MC-1p-EB

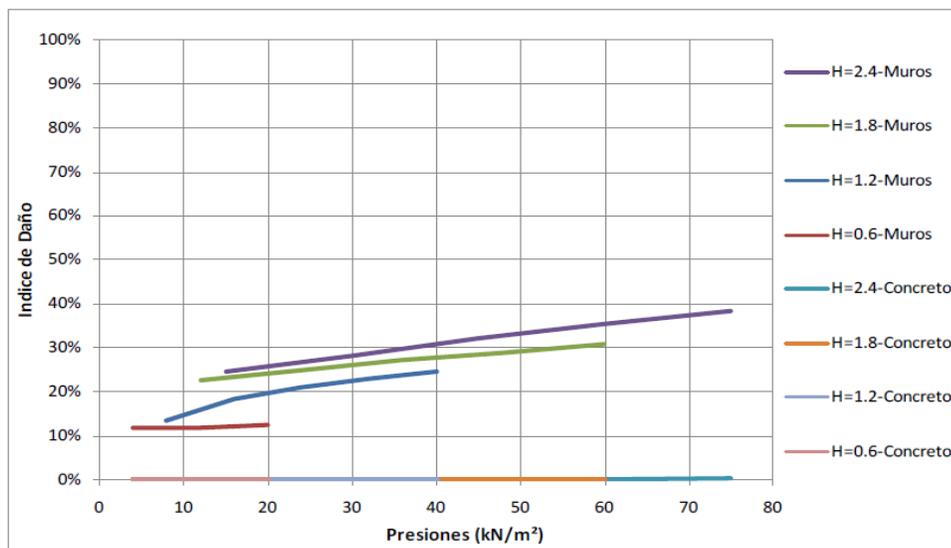


Figura 6.3 Curvas de daño para estructuras de un piso de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de L (longitud)-MC-1p-EL

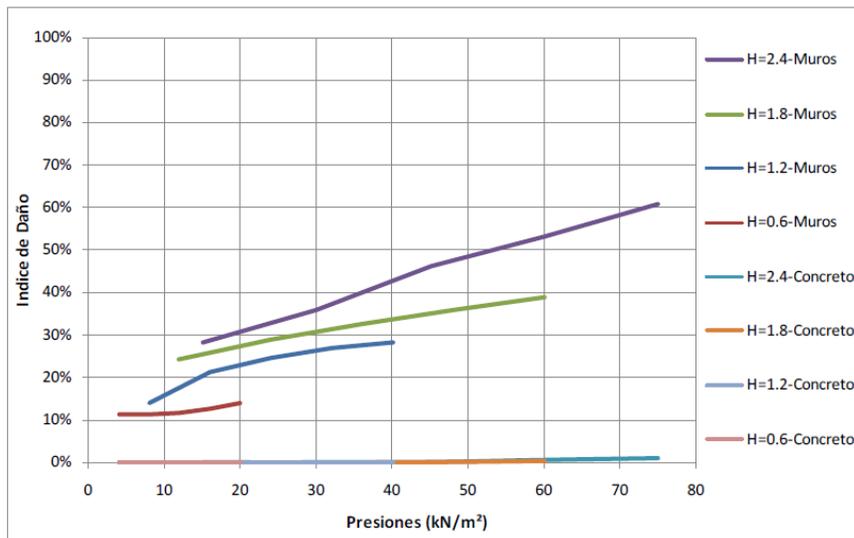


Figura 6.4 Curvas de daño para estructuras de dos pisos de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido d B (ancho)- MC-2p-EB

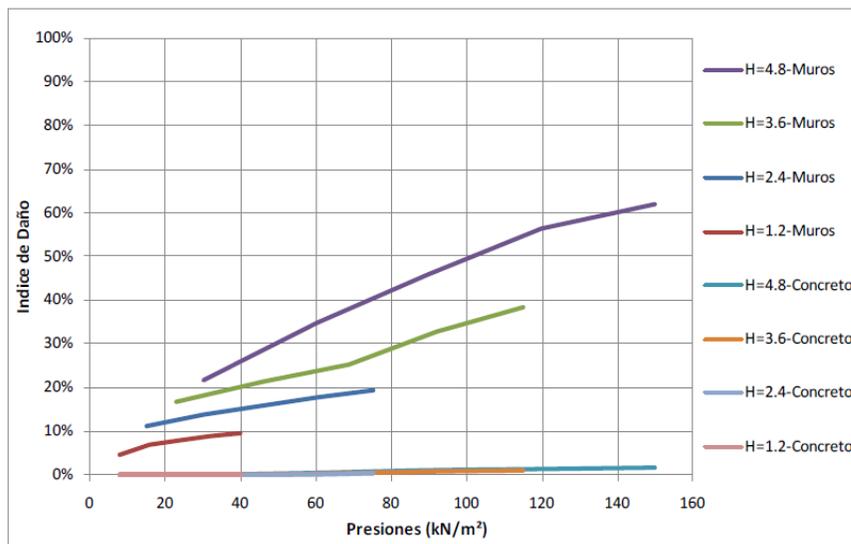
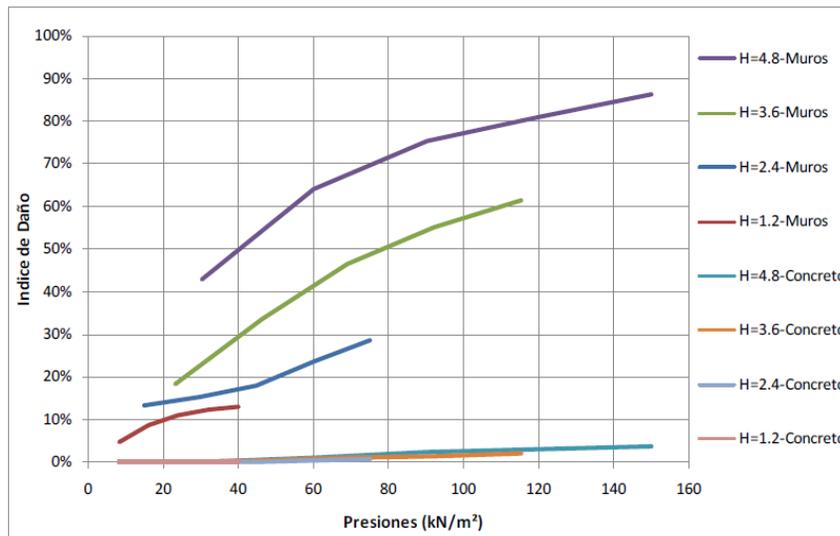


Figura 6.5 Curvas de daño para estructuras de dos pisos de mampostería confinada, con un rango de presiones aplicadas en el sentido de L (longitud)- MC-2p-EB



6.1.12.3 Cuantificación de la vulnerabilidad

El nivel de daño económico esperado resulta de multiplicar el índice vulnerabilidad de cada elemento expuesto por su costo específico, en el caso del daño social esperado es el resultado de operar el índice de vulnerabilidad estimado para las personas por el número de personas expuestas.

6.1.13 Evaluación Cuantitativa Del Riesgo

El Riesgo Total se define como las pérdidas debidas a la ocurrencia de un evento amenazante para este caso se trata de un deslizamiento, el riesgo total es igual a sumatoria de los riesgos específicos, cuantitativamente que el riesgo absoluto se puede expresar con la siguiente formulación:

$$R(DI) = P(H) \times P(S|H) \times P(T|S) \times V(L|T) \quad (6.11)$$

Donde;

R (DI): Riesgo (probabilidad anual de pérdida)

P (H): Probabilidad anual de ocurrencia del evento

P (S|H): Probabilidad del impacto espacial dado el evento

P (T|S): Probabilidad del impacto temporal dado el impacto espacial

V (L|T): Vulnerabilidad (probabilidad de pérdida social, económica o ambiental dado el impacto).

Rivera (2001), el riesgo económico (E), social (S) o ambiental (A) se puede simular mediante el modelo dinámico del tipo integral:

$$R_{E, S, A} = \int P(e) P_{(E, S, A)} \quad (6.12)$$

Donde,

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

El riesgo total se expresa en términos de pérdidas económicas y de vidas humanas por año, una vez cuantificados los daños potenciales o pérdidas esperadas se compara con categorías de aceptabilidad del riesgo, en esta capítulo utilizaremos los rangos propuestos por La Sociedad Australiana de Geotecnia (AGS, por sus siglas en Ingles) para el riesgo social Figura 6.6 y para la evaluación del riesgo económico Figura 6.7.

Figura 6.6 Criterios de tolerancia del riesgo social (Song et al., 2007, p. 372).

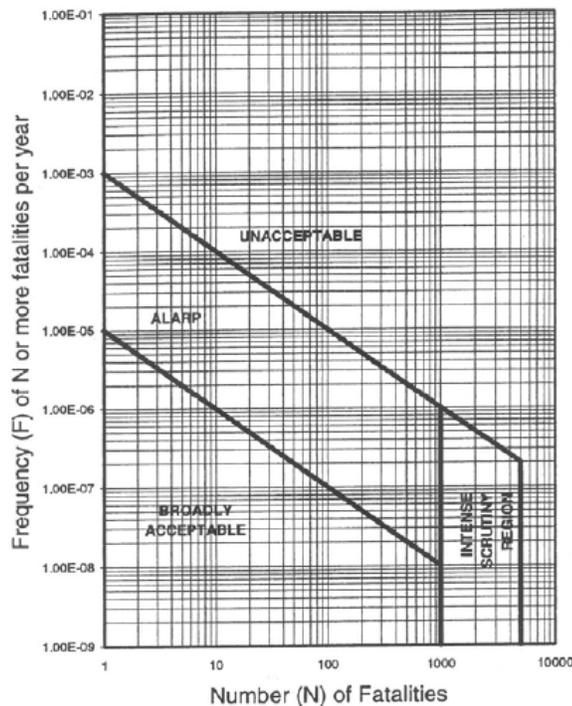
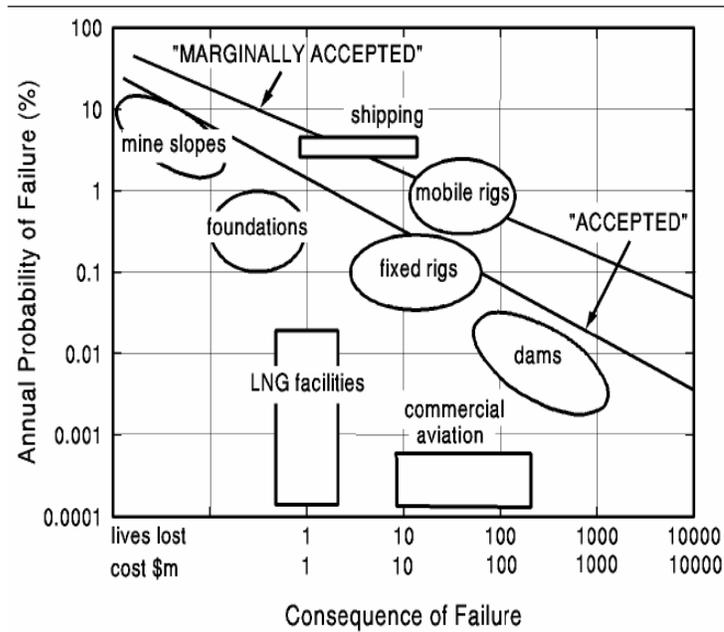


Figura 6.7 Criterios de aceptabilidad del riesgo económico (Baecher, 1987, p. 49)



6.1.14 Diseño De Alternativas De Mitigación Del Riesgo

La confrontación de los resultados de la evaluación cuantitativa del riesgo obtenidos anteriormente, con los criterios de aceptabilidad tomados como parámetros en este documento, categoriza riesgo bien sea económico (E), social (S) o ambiental (A) como no aceptable, nos determina la necesidad de diseñar alternativas de intervención para la mitigación del riesgo por procesos de remoción en masa.

Se diseñaran cuatro (4) diferentes sistemas de mitigación del riesgo por deslizamiento, con los siguientes enfoques:

- *“Reducir la frecuencia de deslizamientos aplicando medidas de estabilidad tales como drenajes, reconformación del terreno, anclajes, etc.*
- *Reducir la probabilidad de que el deslizamiento alcance los elementos en riesgo, por ejemplo construcción de mallas, barreras, etc.*
- *Reducir la probabilidad espacial y temporal de los elementos en riesgo, instalando sistema de alerta, relocalizando, etc.”* Rodríguez & Jiménez (2009).

Se estiman todos los costos asociados a la implementación, conservación, mantenimiento y monitoreo geotécnico, durante el periodo de servicio de cada una de las alternativas diseñadas, también se determinara la reducción del riesgo para cada una de ellas.

Las obras diseñadas deben cumplir con la normatividad vigente para el sitio en estudio, como lo es la Norma Sismo Resistente de 2010.

6.1.14.1 Consideraciones de diseño

El Coeficiente de empuje lateral de tierra sobre los Muros de contención y pilotes, se determino mediante el Método de Mononobe - okabe (M-O).

La longitud de empotramiento de los pernos de acero se estableció de la fórmula empírica de carga última para anclajes y pernos en roca de Littelejohn y bruce (1975):

$$P_u = 0.1\sigma_c\pi d_2 L \quad (6.13)$$

Para el diseño de los drenes horizontales se empleo el método de Kenney, Pazin & Choi (1977).

El cálculo de la capacidad hidráulica de las estructuras propuestas en las alternativas de mitigación como control de la escorrentía superficial, de tal forma que se evite la infiltración y erosión de los taludes y/o relleno de las obras, se realizó mediante un proceso iterativo, a partir de la formula de Manning para flujo uniforme:

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * A \quad (6.14)$$

Donde;

Q : es el caudal pico [m^3/s].

R : es el radio hidráulico de la obra propuesta [m].

S : es la pendiente longitudinal del tramo de la obra propuesta.

A : es el área mojada [m^2].

n : es el coeficiente de rugosidad de Manning para el material de revestimiento de la propuesta.

Se debe tener en cuenta al momento de diseñar que: la pendiente longitudinal de las estructuras deben ser mayores al 2% y la velocidad del flujo debe estar entre 0,25 [m/s] y 6 [m/s].

6.1.15 Relación Beneficio/Costo De Las Alternativas De Mitigación Del Riesgo Por Deslizamientos.

6.1.15.1 Costo Inicial de las alternativas

Se tiene como costo inicial de las alternativas al valor presupuestado necesario para implementar de los sistemas de mitigación diseñados.

6.1.15.2 Relación beneficio/costo con valores iniciales

La relación costo beneficio se obtiene de utilizar la siguiente formulación:

$$\text{Relación Costo beneficio} = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} \quad (6.15)$$

Donde;

El beneficio se refiere al el valor de las pérdidas económicas esperadas, ya que al implementar el sistema de mitigación se evita que se causen dichas pérdidas.

6.1.15.3 Valor total de los proyectos de mitigación del riesgo

Dentro del valor total de cada proyecto se debe tener en cuenta los costos de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico durante el período de servicio para el cual fueron diseñadas.

6.1.15.4 Costo de mantenimiento, conservación y monitores geotécnico

Se debe estimar los costos asociados a la ejecución de los programas de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico diseñados, estos costos deben proyectarse por cada año durante el periodo de servicio de la obra.

Para poder realizar un análisis comparativo del valor total de las alternativas es necesario que los costos en mención sean llevados a valor presente usando la Ecuación Valor Presente VPN Neto.

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} \quad (6.16)$$

Donde;

V_t : corresponde a los valores estimados para cada período.

n : es el número de períodos considerado.

k : es el interés de descuento

t : es el año dentro del periodo de diseño al que corresponde la inversión.

6.1.15.5 Valor residual del proyecto

Para los casos donde la alternativa de mitigación contemple la compra de predios se debe tener en cuenta que los terrenos de los predios que adquiere el Distrito para poder desarrollar las obras o por reasentamiento, se vuelven un activo contable que se podría vender o utilizar, por ende es necesario determina el Valor Futuro de estos terrenos.

Para proyectar los valores de los predios comprados se utiliza la Ecuación de Valor Futuro con interés compuesto:

$$VF = VI + (1 + IA)^n \quad (6.17)$$

Donde;

VI : Valor Inicial de los terrenos sin edificaciones, No se debe tener en cuenta el valor de las edificaciones ya que de cualquier forma estas deben ser demolidas, bien sea para permitir la construcción de obras o para reducir la exposición mediante el reasentamiento de familias.

IA: Incremento Anual

n: tiempo de proyección (Periodo de diseño)

Considerando que las obras construidas sufren una depreciación del 100% al final de su vida útil, se puede decir que pasado este periodo de tiempo que el Valor Residual de los Proyectos corresponde valor de los predios adquiridos.

Al igual que con el valor del mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico, el Valor Residual se lleva a valor presente.

6.1.15.6 Costo total de las alternativas

El costo total resulta de sumar el valor inicial del sistema de mitigación con los costos a Valor Presente Neto de la implementación del programa de Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico, esto se le restar el Valor Residual del Proyecto, así:

Costo total Alternativa = Inversión Inicial + Σ (Valor Presente Neto de Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico) – Valor proyectado la adquisición de los terrenos.

6.1.15.7 Relación costo beneficio

Se determina nuevamente la relación costo beneficio pero ahora con el “Costo Total de los Sistemas de Mitigación”

6.1.16 Selección De Alternativas De Mitigación

La alternativa recomendada será la que desde el aspecto económico presenta la mayor relación costo beneficio.

6.2 Calibración De La Metodología

La metodología propuesta se calibro mediante el estudio de caso para del sitio piloto Fiscala Parte Alta de la localidad de Usme en Bogotá D.C.

Como insumo básico requerido para este ejercicio se tomo la información contenida en los estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, topográficos y sismológicos, realizados por la Unidad de Administrativa Especial de Mantenimiento y Rehabilitación Vial - UAERMV a través del contrato No. 085 de 2010, adjudicado al Consorcio Mitigación 2010.

Gran parte de esta información se utilizó como referencia para realizar la evaluación cuantitativa del riesgo por deslizamiento, diseño de las alternativas de mitigación y selección.

Con el fin de enmarcar la calibración de la metodología en un espacio físico conocido, así como dar a conocer los alcances y limitaciones del estudio base, a continuación se relaciona la información más relevante de los estudios antes mencionados, que sirvió como insumo para realizar la evaluación cuantitativa del riesgo por deslizamiento.

Es importante mencionar que la información utilizada como insumo fue analizada dentro del desarrollo de este documento, por lo que su interpretación puede variar con respecto a la contenida en los Estudios y Diseños del sitio Fiscala Parte Alta de la localidad de Usme.

6.2.1 Recopilación Y Revisión De La Información Existente

6.2.2 Generalidades

6.2.2.1 Introducción

El Barrio La Fiscala está localizado en la UPZ Danubio de la localidad de Usme en Bogotá D.C., legalizado desde el 28 de diciembre de 1995 mediante el Acto Administrativo No. 2116 del Departamento Administrativo de Planeación Distrital - DAPD (Actual Secretaría Distrital de Planeación) (Figura 6.8).

Figura 6.8 Fotografía satelital del sitio en estudios (Google Earth)



Según el mapa de amenaza por remoción en masa del POT, dentro del polígono de estudio de estudios se encuentran zonas de amenaza media y baja.

6.2.2.2 Objetivos

El objeto del estudio fue “*determinar las causas y mecanismos de los movimientos y determinar las medidas correctivas que se requieren para controlar los fenómenos de inestabilidad geológica presentes en el área de estudio*” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 19).

6.2.2.3 Metodología y actividades realizadas

En el desarrollo de los estudios y diseños, el consultor Consorcio Mitigación 2010 realizó los siguientes trabajos:

- Reconocimiento en campo.
- Recopilaron la información secundaria existente para el sector.
- Levantamiento Topográfico (planimétrico y altimétrico).
- Levantamiento geológico y geomorfológico detallado.
- Estudio hidrológico e hidrogeológico.
- Estudio geotécnico.
- Evaluación del riesgo por deslizamiento.
- Diseño de alternativas de mitigación del riesgo por deslizamientos.

6.2.3 Diagnóstico

6.2.3.1 Recopilación de la información existente

Para la zona en estudio se contó con los siguientes documentos, que fueron utilizados como información secundaria para el estudio contratado por UAERMV y realizado por el Consorcio Mitigación 2010:

- Intervenciones integrales para la mitigación de riesgos por procesos de remoción en masa en las localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santa Fé, Usme y Usaquén en la ciudad de Bogotá D.C. (incluye estudios, diseños y construcción de obras) - CONTRATO UMV 085/2010 SITIO 26 FISCALA VÍA LA ESCUELA
- Estudio de elaboración de diseño de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en la ciudad de Bogotá D.C. Sitio crítico No. 8 la fiscalía (FOPAE - Geodinámica Ingeniería Ltda. 2006)
- Estudio Geológico Y Geotécnico, Evaluación De Las Medidas De Mitigación T Diseño Detallado De Las Obras Recomendadas Para Estabilizar Los Escarpes De La Explotación Del Barrio La Fiscalía (FOPAE – Geotécnica Y Cimentaciones 1999)
- Zonificación de riesgo por movimiento de remoción en masa en 101 barrios de la localidad de Usme. (FOPAE – Geotécnicas Ltda., 1998)
- Zonificación de riesgo por fenómenos de inestabilidad del terreno en 27 barrios de la localidad de Usme (Fopae – Investigaciones geotécnicas Ltda., 1998).

- CARO, P., GARCÍA, J., 1988. Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá; INGEOMINAS-DAPD.
- CARVAJAL, José Henry., 2005. Características Geomorfológicas de la Sabana de Bogotá, y Metodología Temática. Memoria Explicativa de mapas a escala 1:25.000; INGEOMINAS; Bogotá, D. C.
- DPAE, 2006. Respuestas Oficiales de Comunicaciones sobre Conceptos Técnicos del sitio de Estudio.
- INGEOMINAS; 2005. Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá. Esc. 1:120.000.
- INGEOMINAS; 2005. Geología de la plancha 209-Sabana de Bogotá; Memoria Explicativa.
- PADILLA, J.P., y Otros; 2003. Propuesta metodológica para los estudios de geología aplicados a la ingeniería; INGEOMINAS; Bogotá D.C.
- Fotografías aéreas correspondientes a los vuelos: C-742, Sobre, S: 2851, Nos. 722-723, año 1955; C-1194, S-23385, Nos. 29-30, año 1967; R-946, S-6610, Nos. 119-120, año 1984; y C-2717, S-39298B, Nos. 165-166, año de 2004.
- Mientras que para la calibración de la metodología se consultó principalmente los estudios y diseños realizados por el (Consortio Mitigación 2010, 2012).

6.2.3.2 Diagnóstico

El Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 21) identificó dos deslizamientos recientes y activos, que categorizó de acuerdo con la magnitud del movimiento, *“el primer y más importante es de tipo compuesto, traslacional en la parte alta, con gradación a rotacional en la parte media e inferior, el cual se ha originado sobre una ladera estructural (terrenos cuyos componentes rocosos buzan en el mismo sentido de pendiente topográfica de los mismo).”, “...afectando las laderas de la parte alta-media del Barrio La Fiscala, sector que forma parte del desarrollo de la Urbanización Germinar...”*.

“...El área se encuentra constituida, en su parte superior, por un macizo rocoso de composición predominantemente arenácea (Ri, rocas intermedias), poco fracturadas, muy friables, en superficies altamente meteorizadas; mientras que hacia la parte inferior, las rocas presentes son de composición arcillolítica (Rb, rocas de resistencia blanda); el movimiento presenta una dirección SW, con una

componente SE en la parte media, (ver mapas geológicos GE 243 PL-02 S42, GE 243 PL-02A S42 y geomorfológico GE 243 PL-03 S42). En estos se puede observar que el movimiento ha afectado parte del borde urbanizado, destruyendo algunas viviendas.

Las posibles causas de los movimientos de inestabilidad es debido a la Posible acción de las aguas subterráneas desde la parte alta de las laderas e infiltradas en los estratos rocosos (areniscas y arcillolitas), sobre una ladera estructural, presencia de niveles de areniscas muy friables, con delgadas intercalaciones de arcillolitas, altamente meteorizadas, cuyas capas rocosas buzan en dirección desfavorable a la pendiente topográfica de las laderas.

El segundo movimiento se presenta en la parte baja del sitio de estudio, en el talud superior de la vía de acceso, el cual se convirtió en un sitio de botadero de escombros de características composicionales variadas, de muy baja consolidación y muy permeables, cuyos espesores oscilan entre 1.0m y los 5.0m; estos materiales fueron vertidos o descargados (Rellenos Antrópicos) sobre una ladera de pendiente moderada a alta, conformada por materiales de suelo residual de constitución arcillo-limosa (con espesores entre 2.0m y 3.0m) y macizo rocoso meteorizado.

Sobre los terrenos conformados por los materiales anteriores, dadas sus condiciones de disposición sin adecuada compactación, se originan paulatinamente desde años pasados hasta fechas, movimientos del tipo deslizamientos rotacionales retrogresivos...” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 21)

6.2.4 Topografía

Luego de revisar el levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico) realizado por Consorcio Mitigación 2010 (2012); para el desarrollo del presente trabajo se utilizó la planta topográfica y los perfiles topográficos denominados 1-1 y 2-2, estos presentaron escala de trabajo 1:500 y curvas de nivel cada 0.5 metros.

En la planta topográfica se pudo observar el levantamiento de los detalles, como lo son las vías, paramentos y redes de servicios públicos.

6.2.5 Geología Y Geomorfología

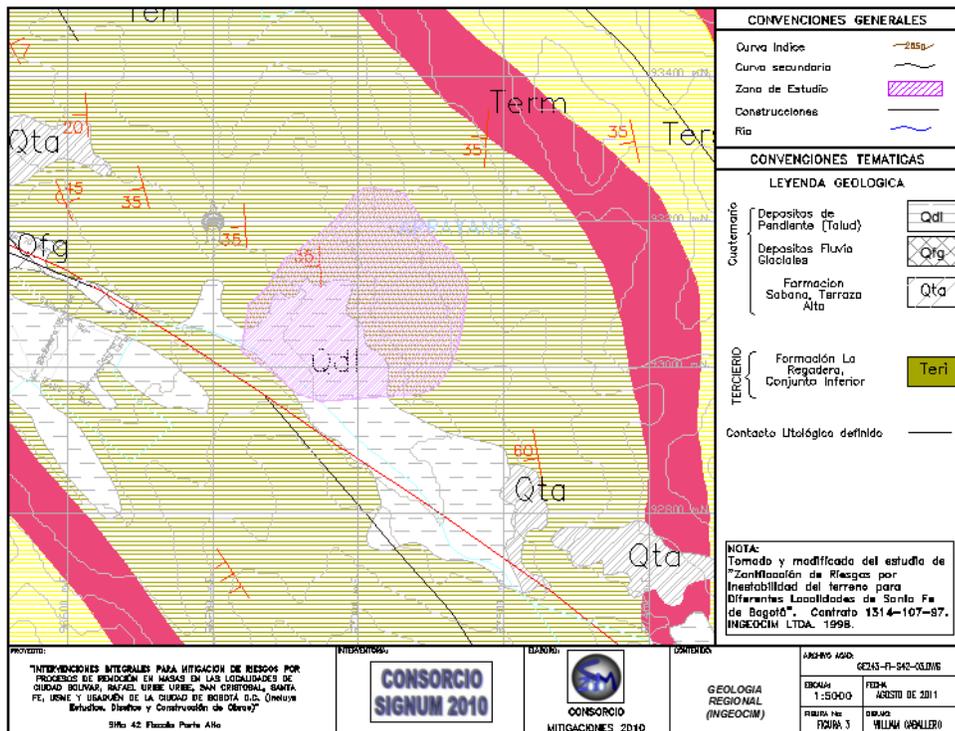
6.2.5.1 Geología regional

A partir de los estudios geológicos regionales realizados por INGEOMINAS en especial “los efectuados en los años 1988, y 2005 (Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá, Esc. 1:25.000, y Mapa geológico de la Sabana de

Bogotá, Escala 1:120.00), el área de estudio se encuentra ubicada en la zona sur-oriental del Distrito Capital, en la parte baja de los Cerros sur-orientales, de Bogotá, en donde afloran rocas continentales, principalmente del Terciario, cubiertas en sectores por depósitos Cuaternarios.

Las rocas Terciarias aflorantes en el área y sus alrededores, se agrupan en las Formaciones Bogotá y la Regadera (Conjunto Inferior); sobre esta última unidad se encuentra ubicado el sitio de estudio.” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 34)

Figura 6.9 Zonificación geológica regional del sitio de estudio (Consorcio Mitigación 2010, 2012, p. 35)



Estratigrafía: Se estableció que el sitio en estudio se encuentra enclavado sobre la Formación Regadera, Conjunto Inferior (Teri), esta Unidad conformada “por una secuencia de areniscas cuarzo-feldespáticas, color gris claro y amarillo naranja por meteorización, de grano fino a grueso, ocasionalmente con niveles conglomeráticos, en estratificación media a muy gruesa y lenticular; con delgadas intercalaciones de arcillolitas de color gris violáceo y gris claro a rojizo por meteorización.” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 35); en la parte baja de de esta zona se halló superpuesto un depósito Cuaternario Qdl (Deposito de Pendiente – Talud) (Figura 6.9).

Geología estructural: “Desde el punto de vista estructural regional, el área de la referencia se encuentra ubicada en el flanco oriental del Sinclinal de Usme-

Tunjuelito, principal estructura del área, la cual presenta un rumbo general de NNE-SSW. Entre los elementos estructurales regionales importantes presentes dentro del área se tienen La Falla de La Fiscala, la cual corresponde a una estructura de cabalgamiento con dirección preferencial NW- SE, cuyo trazo principal sigue el curso de la Quebrada Olla del Ramo; igualmente se presentan elementos de fallamiento menores o secundarias a la estructura principal. Los estratos rocosos dentro del área se presentan en posición normal, con un rumbo y buzamiento promedios (R/B): N-S a N20°W / 20°-35°, en dirección al W-SW.” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 36)

6.2.5.2 Geología local

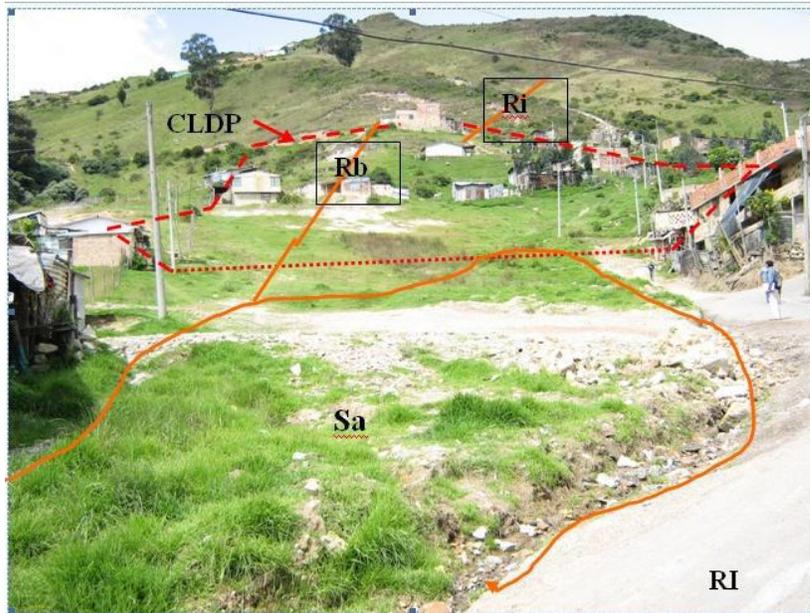
Se tuvo en cuenta la cartografía y la caracterización con propósitos ingenieriles que realizó el (Consorcio Mitigación 2010, 2012), a las unidades geológicas superficiales y a los elementos geomorfológicos presentes en el área de estudio lo que permitió establecer las siguientes características:

Condiciones geológicas

Las Unidades Geológicas Superficiales que delimitan en la Figura 6.10, se clasificaron dos grandes grupos: Unidad de suelos (Depósitos Cuaternarios, Q), y Unidad de roca, (Formación Regadera, Conjunto Inferior, E2ri, de edad Terciaria), tal como lo muestra en su informe el mencionado Consorcio:

“Los materiales clasificados como suelos se dividen según su origen en: depósitos de deslizamientos recientes (Scor2), depósitos antrópicos y depósitos fluvio-torrenciales. La unidad de rocas, de acuerdo con sus características litológicas y de resistencia, se clasificó en blandas e intermedias”. Consorcio Mitigación 2010 (2012).

Figura 6.10 Vista general del sector superior afectado por el movimiento de inestabilidad principal(Consorcio Mitigación 2010, 2012, p. 38).



(CLDP), corona y límite del deslizamiento principal; (Rb), rocas blandas de constitución arcillosa, afectadas por el deslizamiento principal; (Ri), rocas intermedias o de constitución arenácea; (Sa), depósitos antrópicos, (material de escombros, de bajo espesor); (RI), relleno ingenieril.

6.2.5.2.1 Unidades de suelo

Según el informe del Consorcio Mitigación 2010, la Unidad de Suelos se formó por los depósitos de deslizamientos producto de la meteorización de rocas de la parte media alta de la ladera formando suelos compuestos principalmente por arcillas y limos. Además por materiales sobrantes de la construcción de obras civiles en el Barrio, ubicados en sitios aislados y con poco espesor (Depósitos antrópicos). También se encontraron materiales como la grava, arenas y limos utilizados para las capas de base y sub-base para la construcción de casas y vías. Y los depósitos fluvio torrenciales producto de la acción del agua de la quebrada que atraviesa el Sitio de estudio con un espesor de hasta 6 metros con poca consolidación.

Según el Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 101), los **Depósitos de Deslizamientos Recientes (Scor2)** “son materiales subproducto de la meteorización (deslizamiento) de las rocas de la Formación Regadera Conjunto Inferior, ubicadas en la parte media alta de la ladera, estos depósitos se conforman por suelos predominantemente finos de arcillas y limos de baja plasticidad y arenas limosas y arcillosas”

Mientras que los Depósitos Antrópicos (Sa). *“Corresponden a los materiales de escombros originados por las actividades para el desarrollo urbanístico del Barrio,*

depositados en sitios puntuales y aislados. Son de composición heterogénea y muy bajo espesor” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 99).

En cuanto a los Rellenos Ingenieriles (RI). *“Son los materiales seleccionados y compactados, componentes de las capas de base y sub-base para el desarrollo de las obras ingenieriles (viviendas y vías de acceso); constituidos por gravas, arenas y limos”* Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 102).

Los Depósitos Fluvio-Torrenciales Antiguos (Dft). *se componen de “materiales pertenecientes a un depósito de tipo cono de deyección, originado por la dinámica de una corriente de antigua quebrada proveniente de las laderas altas y orientales de la región y que atraviesa por la parte media la zona de estudio; de constitución areno-arcillosa y arcillo-arenácea, con escasos gránulos y clastos de areniscas y limolitas...” “...presentan baja consolidación con espesores hasta de 6 metros , se sitúan por encima de macizo rocoso de constitución arcillosa y están cubierto por material orgánico”* Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 105).

6.2.5.2 Unidades de roca

En el informe en mención se estableció que las unidades de roca se conforman por rocas blandas ubicadas en la parte media baja del sitio de estudio y ladera del deslizamiento principal; estas rocas están acompañadas de areniscas en capas delgadas.

“En el área de estudio las rocas aflorantes y pertenecientes a la Formación Regadera, Conjunto Superior, de acuerdo con su composición litológica y de dureza, se clasifican en rocas de resistencia blanda (Rb) e intermedia (Ri)...” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 42).

“Rocas Blandas (Rb). Corresponden a los niveles de arcillolitas gris claras, con moteado rojizo-violáceo y amarillo rojizo por meteorización, aflorantes en la parte media baja del área de estudio, conformando la corona y laderas del deslizamiento principal; de resistencia blanda; con delgadas capas de areniscas, gris claras y amarillo naranja por meteorización, de grano fino a medio.” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 42).

6.2.5.3 Geomorfología

“Desde el punto de vista morfológico, el área de estudio se ubica sobre la parte baja de la vertiente occidental de los cerros orientales de la Sabana de Bogotá, resultado de procesos morfotectónicos propios de la evolución de la Cordillera Oriental, cuyo levantamiento definitivo se inició hace unos 4 millones de años.” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 48)

“De acuerdo con las características geológicas, morfológicas y la información obtenida en los reconocimientos de campo, en el área de estudio se presentan subunidades y elementos de origen: estructural-denudativo, denudativo-acumulativo y antrópico...”

“...Dentro de las Subunidades y elementos de origen estructural-denudativo se tiene, las laderas estructurales; dentro de las denudativo-acumulativo o agradacionales, los depósitos Fluvio-torrenciales y depósitos de deslizamientos recientes; y dentro de las antrópicas se tienen, las laderas explanadas y los depósitos de escombros...”.

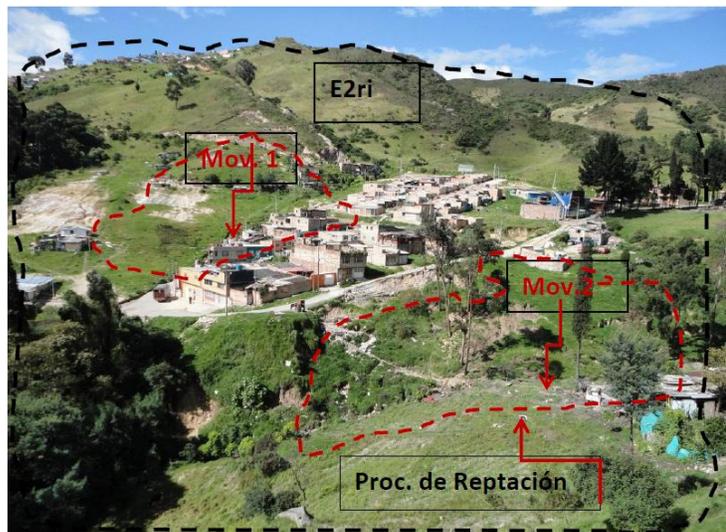
“...En términos generales, en el área de estudio y alrededores se presentan principalmente: geoformas de origen Estructural- Denudativo, de tipo Laderas Estructurales, y de origen Denudativo-Acumulativo. Las Geoformas de origen Estructural-Denudativo, corresponden a Las Laderas Estructurales, las cuales son unidades cuyos elementos rocosos buzcan en el mismo sentido de la pendiente topográfica de los terrenos; estos elementos corresponden a los cerros presentes en los alrededores del área de estudio, y ubicados en las partes oriental, norte y nor-occidental. Las Geoformas de origen Denudativo-Acumulativo, corresponden a los depósitos cuaternarios de tipo coluvial y fluvio-torrencial antiguos, presentes en sectores aislados...”. Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 49).

6.2.5.3.1 Inventarios de procesos morfodinámicos

En la Figura 6.11, se identificaron los procesos de remoción en masa con mayor magnitud Consorcio Mitigación 2010 (2012) ubicados dentro del polígono de intervención.

El proceso de mayor magnitud corresponde al movimiento 1, descrito en el numeral “6.2.3.2 *Diagnóstico*”, este movimiento en su parte superior está contralado estructuralmente por el paquete masivo de areniscas (Ri) que lo subyacen, mientras que en el escarpe de la Corona el deslizamiento se da la presencia de arcillolitas (Figura 6.12).

Figura 6.11 Ubicación y delimitación de los movimientos de remoción en masa



Mov. 1, Mov. 2 y procesos de reptación; (E2ri), Formación Regadera, Conjunto Inferior.(Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 54).

Figura 6.12 Vista de detalle, aspectos de la corona del movimiento.(Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 55)



En las Figuras 6.13 y 6.14 Se evidenció la afectación que este movimiento produjo sobre las viviendas e infraestructura ubicada en la parte baja de la ladera.

Figura 6.13 Vista detalle de la parte sur del sector inestable. (Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 57)



Figura 6.14 Vista detalle sitio esquina Cra 4C Este, con la Calle 79 Sur, cuyo muro en gaviones (MG) fue impactado por efectos dinámicos del movimiento (Fotografía registrada en marzo de 2011).(Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 58).



Además de los movimientos 1 y 2, se identificaron procesos de remoción en masa menores, del tipo Reptación y Erosivos; estos se concentraron principalmente en la parte de la ladera.

Las posibles causas del movimiento principal fueron *“la presencia de niveles de areniscas muy friables, con delgadas intercalaciones de arcillolitas, altamente meteorizadas, cuyas capas rocosas buzan en dirección desfavorable a la pendiente topográfica de las laderas aunado a la posible acción de las aguas subterráneas desde la parte alta de las laderas e infiltradas en los estratos rocosos*

(areniscas y arcillolitas), sobre una ladera estructural.” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 59)

6.2.6 Hidrogeología

De acuerdo con: la litología, condiciones estructurales, pendiente topográfica de las laderas y taludes y características geológicas, las unidades hidrogeológicas se clasificaron en tres, así:

“Unidad hidrogeológica 1: comprende la secuencia de areniscas de textura gruesa, ocasionalmente conglomerática, de baja consolidación, con frecuentes procesos de oxidación, y mal sorteadas, que conforman el macizo rocoso constitutivo de la parte alta de las laderas (confortantes de los niveles rocosos de la parte superior de los movimientos de inestabilidad), lo cual desde el punto de vista hidrogeológico dan lugar a que se comporte como un material “acuicludo” (formación geológica capaz de almacenar agua pero no de trasmitirla, ya que es porosa pero no permeable. Por lo que el agua que llegue a su superficie tendera a fluir como agua de escorrentía.

Unidad hidrogeológica 2: una secuencia predominante de arcillolitas, localizadas en la parte media-baja de la zona inestabilizada, con intercalaciones areniscas de grano fino a medio, de baja consolidación y muy friable, las cuales eventualmente pueden conformar pequeños acuíferos, y propiciar la conducción de aguas de infiltración de escorrentía superficial y subterránea, dentro de la masa rocosa y originar inestabilidades en los terrenos.

Unidad hidrogeológica 3: corresponde a los materiales del depósito fluvio-torrencial, cuya característica litológica es heterogénea; presentando altos niveles de saturación con elevados niveles freáticos, acorde con los nacimientos encontrados en la parte occidental de la urbanización, a muy poca profundidad sobre el nivel del terreno. Igualmente, es probable que existan posibles fugas de agua de las redes hidráulicas que puedan contribuir a la saturación del terreno.” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 61)

6.2.7 Evaluación Cuantitativa Del Riesgo Para El Sitio Piloto

6.2.8 Evaluación De La Amenaza

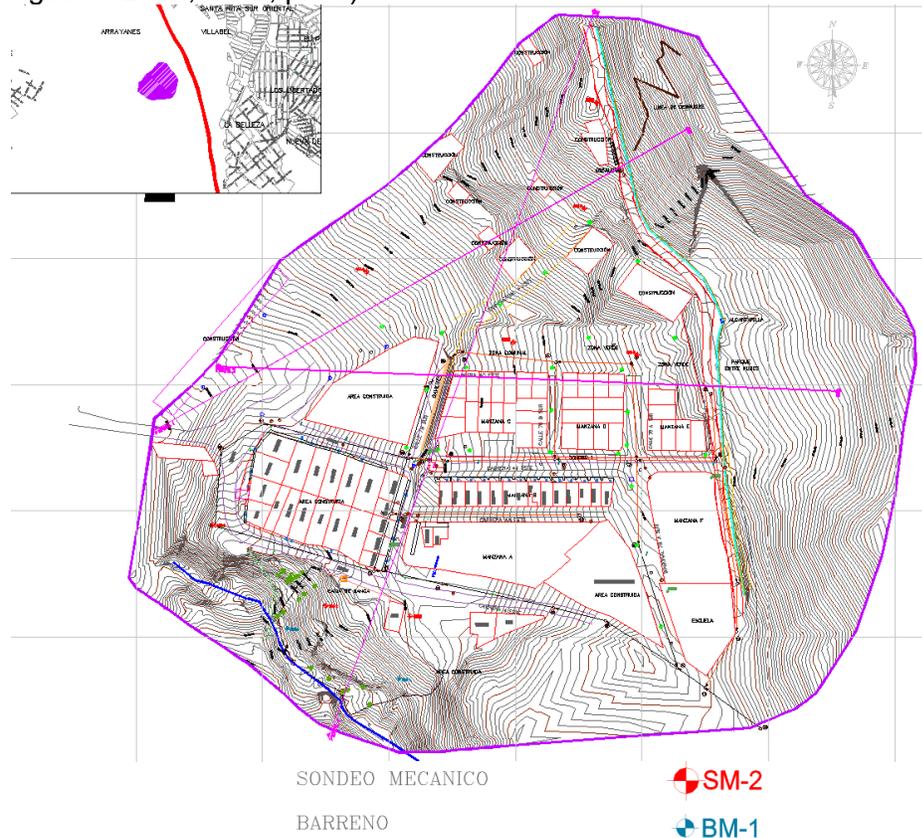
6.2.8.1 Investigación del subsuelo

Continuando con el informe del Consorcio Mitigación 2010 (2012), se conoció que el programa de exploración se compuso de dos fases, la primera se enfocó en la identificación y descripción básica de la secuencia estratigráfica, así como la continuidad lateral y longitudinal de los horizontes de suelos y roca.

La segunda fase consistió en la utilización de Métodos Directos del tipo Sondeo Mecánicos con avances de percusiones y lavado con rotación.

En el desarrollo de la consultoría se hicieron cinco (5) sondeos y se utilizaron los resultados de tres (3) sondeos, dos (2) barrenos Manuales y una trinchera realizadas para los estudios y diseños elaborados para el sitio Fiscalía la Escuela, la localización de cada una de estas exploraciones se muestra en la Figura 6.15.

Figura 6.15 Localización y tipos de Investigación del subsuelo (Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 66)



6.2.8.2 Aspectos hidrológicos e hidrogeológicos

6.2.8.2.1 Análisis de la morfometría de microcuencas

Considerando la influencia que tiene el agua como detonante en los procesos de remoción en masa, fue de gran importancia caracterizar debidamente el régimen pluviométrico de la zona y efecto sobre la escorrentía e infiltración.

La zona en estudio está influenciada directamente por la acción de la Microcuenca de la Quebrada Hoya del Ramo, por este motivo se realizó un análisis de la Morfometría de esta quebrada, siendo esta el principal drenaje de la Microcuenca.

La Tabla 6.4, muestra los índices morfométricos de la microcuenca

Tabla 6.4 Índices morfométricos para la cuenca de la quebrada Hoya del Ramo (Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 71)

MICROCUENCA	HOYA DEL RAMO
Factor de forma	0,24
Coefficiente de compacidad	1,38 Oval redondeada a oval oblonga
Índice de alargamiento	2,88
tiempo de concentración en minutos	3,331
Velocidad Media en Km/h	63,44
Densidad en m/Ha	43,93

La Quebrada Hoya del Ramo *“tiene una longitud aproximada de 3.5 Km, sobre una pendiente promedio del 20%. Presenta un comportamiento de drenaje semi-permanente, lo cual quiere decir que el flujo de agua no está del todo en función de las épocas de lluvia, y que, por condiciones de uso del suelo, material parental del cauce y presencia de vegetación, el flujo superficial es discontinuo.”* Consortio Mitigación 2010 (2012, p. 72)

Según el INGEOMINAS 2000, la microcuenca Hoya del Ramo se categorizó como una microcuenca con una disponibilidad hídrica baja (413 mm/año), esto se refiere *“a la capacidad que tiene esta, por sus características de suelos, densidad de drenajes, condiciones climáticas, etc. de mantener y producir humedad a partir de condiciones mínimas de precipitación en un periodo de tiempo.”* Consortio Mitigación 2010 (2012, p. 74)

6.2.8.2.2 Precipitación

Con respecto a la Precipitación; el régimen pluviométrico se determinó a partir de los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de la Estación Juan Rey (Tabla 6.5).

Tabla 6.5 Datos estación pluviométrica Juan Rey

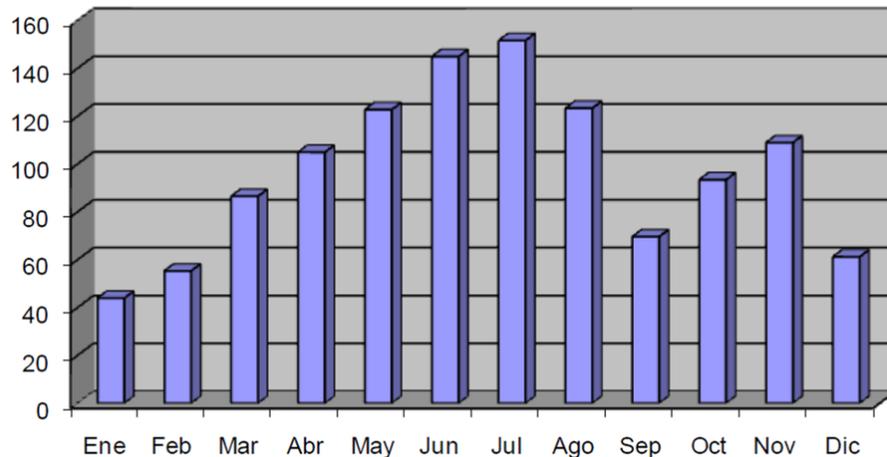
Estación No.	Operada	Ubicación		
		Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m.)
20204 P-081	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá -EAAB	04°31	74°0	2985

Se concluyó que la distribución de la precipitación presenta una tendencia bimodal, con períodos lluviosos en los meses entre abril y agosto y entre octubre y

noviembre, para el resto se considera periodos secos o con poca precipitación (ver Figura 8.5.2.1).

La precipitación media multianual para esta estación fue de 1166,2 mm, con un pico promedio en el mes de julio de 151,6 mm.

Figura 6.16 .Lluvias medias mensuales (1990 - 2008) en la estación Juan Rey (Consortio Mitigación 2010, 2012, p. 76)



"Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" Ingeocim Ltda. & UPES (1998); determinó que la ciudad de Bogotá se dividió en dos zonas de acuerdo con el comportamiento de la precipitación en cuanto a la lluvia crítica y su duración, en las Tabla 6.6, se presentan las ecuaciones que relacionaron la lluvia crítica con la duración para cada zona.

Tabla 6.6 Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (INGEOCIM – UPES, 1998).

Zona	Lluvia crítica (mm)	Duración (días)
Suroccidental	$0.3609 \times \text{Lluvia Anual (mm)}$	$3.2829 * \text{LLcrit}^{0.4157}$
Cerros orientales	$12.6325 + 0.1814 \times \text{Lluvia anual (mm)}$	$0.04923 * \text{LLcrit}$

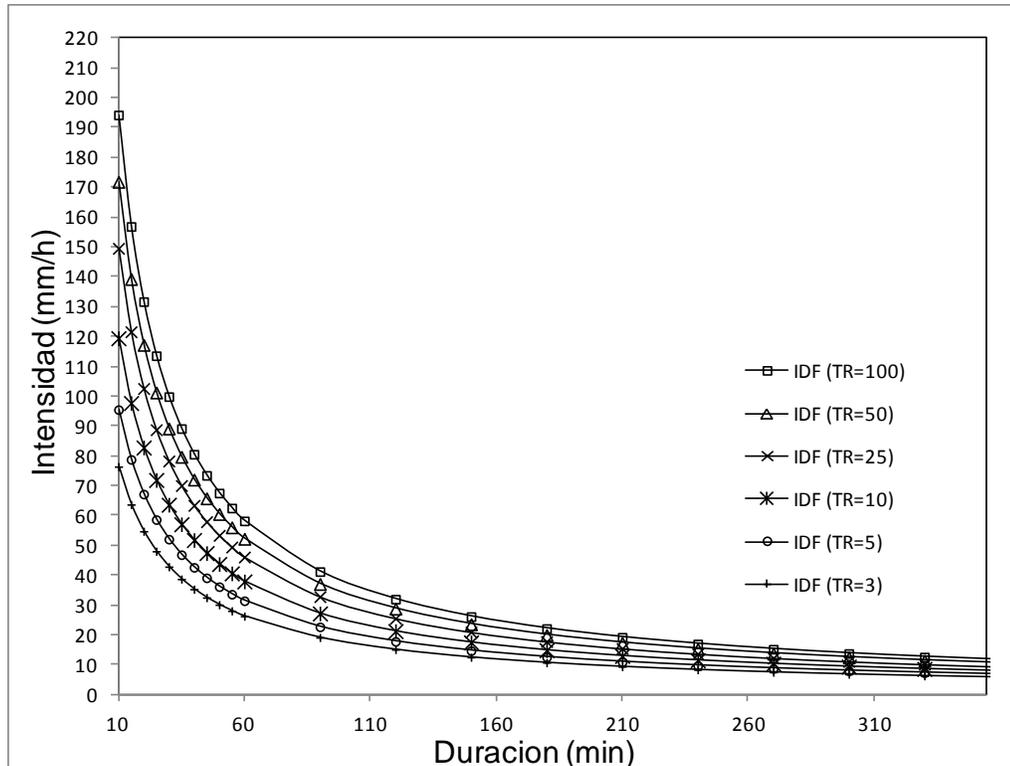
El polígono de intervención ha hecho parte de la zona de Cerros Orientales, por tanto la lluvia Crítica es de 224,18 mm, adicionalmente del plano Curvas de Periodos de Retorno, se estableció que el periodo de retorno es de aproximadamente 28 años.

6.2.8.2.3 Curvas IDF – infiltración

Al no contar con un estudio de respuesta hidrológica de la ladera se buscó establecer la influencia de las lluvias en la estabilidad al determinar la infiltración

que causarían los aguaceros cortos, para lo se utilizó las Curvas Intensidad Duración Frecuencia - IDF característica de la zona 7 estación Juan Rey (20204 P-081) tomada del "Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá", realizado por la firma consultora IRH para la E.A.A.B. - E.S.P (1998), y actualizado por Ingetec (2002) (Figura 6.17).

Figura 6.17 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) para la zona de estudio.



Utilizando la ecuación (6.2) del modelo de infiltración unidimensional propuesto de Pradel & Raad (1993) y partiendo de las curvas IDF se determinó la infiltración que causaría cada intensidad de lluvia en la ladera.

$$I_{(\min)} = \frac{(\mu)}{T_{(\min)}} \left[z_w - \psi \times \ln \left(\frac{\psi + z_w}{\psi} \right) \right] \left(\frac{z_w + \psi}{z_w} \right) \quad (6.2)$$

Donde:

$I_{(\min)}$: intensidad mínima de la lluvia para producir la saturación a la profundidad Z_w .

$T_{(\min)}$: duración mínima de la lluvia producir la saturación a la profundidad Z_w .

ψ : succión producida por el avance del frente húmedo.

- Z_w : profundidad del frente húmedo.
- μ : es la diferencia entre $(\Theta_s - \Theta_i)$
- θ_s : contenido volumétrico saturado de agua del suelo.
- θ_i : contenido volumétrico inicial de agua del suelo.

Se calculó la infiltración en la condición mas pesimista, que es para las propiedades del suelo clasificado según USCS como arena limosa SM cuyos parametros se relacionan en las Tablas 8.5.2.3 y 8.5.2.4.

Tabla 6.7 Parámetros hidráulicos del suelos de estudio (Scor- Fraccion arenosa limosa) (Kim et al., 2004, p. 6)

Tipo Suelo	θ_i (%)	θ_s (%)
SM	18.5	43.5

Tabla 6.8 Parámetros hidráulicos del suelos de estudio (Fracción areno- limosa - Scor) Maidment (1993) & PC-Progress (2008).

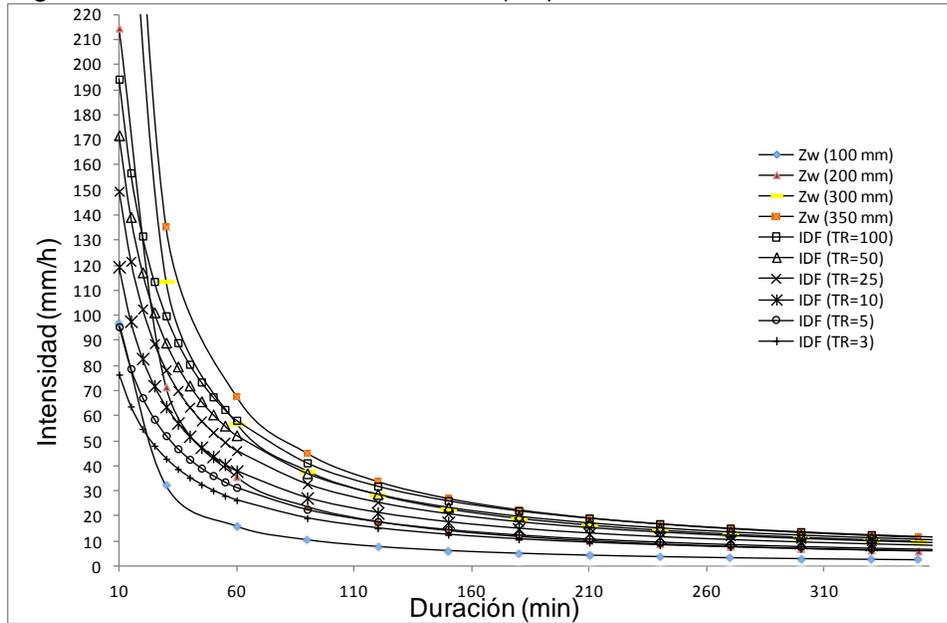
Suelo	ψ Succión del frente húmedo (m)
Arena	0.0495

Con las profundidades de infiltración Z_w obtenidas de la Ecuación (6.2) para cada intensidad de lluvia se construyeron las gráficas de Intensidad vs Duración, posteriormente se superpusieron con las curvas IDF, de esta forma determinamos que intensidad de lluvia con su respectivo periodo de retorno podría provocar cierta infiltración (Figura 6.18).

De la Figura 6.18, se obtuvo que la máxima infiltración que alcanzaría el agua lluvia en el coluvión, para este caso es de 350 mm, para un aguacero con periodo de retorno de 100 años.

Es de resaltar que esta estimación se realizó sin tener en cuenta la existencia de grietas en el terreno u otro mecanismo de infiltración diferente a la debida a las propiedades de los materiales.

Figura 6.18 Curvas IDF vs Infiltración (Zw)



6.2.8.2.4 Evaluación del drenaje superficial

Para la evaluación del drenaje superficial el Consorcio Mitigación 2010 (2012), teniendo en cuenta: el relieve, la permeabilidad, la vegetación y la capacidad de almacenaje en la zona de estudio, tomó de los valores propuestos por Monsalve Sáenz (2004), el valor del coeficiente de escorrentía igual a 0,25.

Posteriormente se determinó el tiempo de concentración en la microcuenca, utilizando la formulación de Kirpich:

$$T_c = \frac{0,06628 * L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (6.17)$$

Donde;

T_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud (Km) = 0,197 Km Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 79)

S = Pendiente del terreno (m/m) = 17% Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 79)

Al reemplazar los valores citados anteriormente en la Ecuación (6.17), se obtuvo que el tiempo de concentración T_c es de 0,38 min, sin embargo este tipo de estimación empírica, ha sido válida para valores de tiempo de concentración T_c mayores a 10 min, para valores menores se recomienda utilizar el valor umbral mínimo igual a 10 minutos.

Para el cálculo de las intensidades máximas producidas por aguaceros de duración 10 minutos por cada periodo de retorno, se utilizó las Curvas IDF de la estación de Juan Rey (Tabla 6.9):

Tabla 6.9 Valores de intensidad máxima – duración de 10 minutos

Periodo de Retorno (años)	Intensidad (mm/h)
3	76
5	95
10	119
25	150
50	172
100	194

El caudal máximo para micro cuencas cuya superficie es inferior a 1 Km², se utilizó la Ecuación (6.18):

$$Q = \frac{C * I * A}{0,36} \quad (6.18)$$

Donde;

Q : es el caudal pico [l/s]

C : es el coeficiente de escorrentía.

I : es la intensidad máxima para el aguacero con periodo de retorno (T_r) de 50 años (Resolución 227 de 2006) y duración igual al tiempo de concentración (T_c) asumido, en [mm/H]

A : es el área aferente de la micro cuenca en [ha]

En la Tabla 6.10, se muestra el cálculo del caudal pico por escorrentía superficial, producido por un aguacero de 10 min y periodo de retorno (T_r) 50 años.

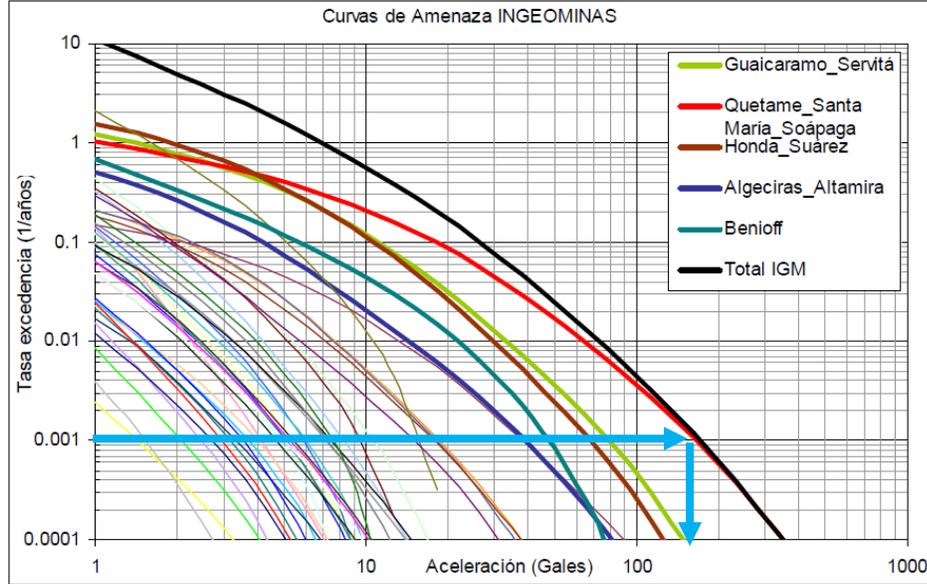
Tabla 6.10 Caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio en un periodo de 50 años.

C : Coeficiente de escorrentía.	0,25
I : Intensidad [mm/H]	172
A : Área de Drenaje aferente	2,07
Q : Caudal pico [l/s]	197,60

6.2.8.3 Análisis de característica sísmológica del subsuelo

De las curvas de amenaza sísmica para Bogotá D.C. FOPAE, 2010 (p. 38) que se muestran en la Figura 6.20, se tomó la fuente “ Quetame_Santa Maria_Soápaga” para determinar la aceleración sísmica horizontal máxima esperada en la superficie del terreno (A_0) para diferentes periodos de retorno.

Figura 6.20 Curvas de amenaza para Bogotá (Ingeominas & Unal, 2010)



De la Figura 6.20, se tiene un coeficiente de aceleración sísmica A_0 , para cada periodo de excedencia, con esto, determinamos el periodo de retorno despejándolo de la siguiente expresión:

$$\text{Tasa de excedencia} = \frac{1}{\text{periodo de retorno}} \quad (6.19)$$

En la Tabla 6.11, se relacionaron los periodos de retorno para cada coeficiente de aceleración sísmica A_0 :

Tabla 6.11 Coeficiente de aceleración sísmica A_0 para un periodo de retorno.

Periodo de retorno (años)	20	50	100	200	286	475	588	1000
coeficiente sísmico A_0 (g)	0,035	0,051	0,062	0,08	0,1	0,12	0,15	0,18

6.2.8.4 Formulación del modelo geológico – geotécnico

“Considerando la condición geológico – estructural de la zona, donde la pendiente de la roca se dispone principalmente en sentido de la ladera (pendiente estructural), su rumbo varia en la parte media de la ladera en relación con el identificado en su parte superior, cambiando de orientación NW-SE A W-E, lo cual incide en la dirección del movimiento de remoción en masa. De esta manera se han considerando dos perfiles representativos para caracterizar el proceso, los cuales se presentan a continuación” (Figura 6.21 y Anexo 1) Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 91)

Figura 6.21 planta geológica y perfiles (Consorcio Mitigación 2010, 2012)



A partir del levantamiento geológico y con base en los perfiles estratigráficos resultantes de la exploración del subsuelo y los resultados de la caracterización de las muestras mediante ensayos en campo y en laboratorio realizados en los estudios (UAERMV – Consorcio Mitigación 2010), se construyeron los perfiles geológicos - geotécnicos, sobre los perfiles topográficos 1-1 y 2- 2.

En la Tabla 6.12, se describe la exploración del subsuelo realizada:

Tabla 6.12 Resumen exploración del subsuelo

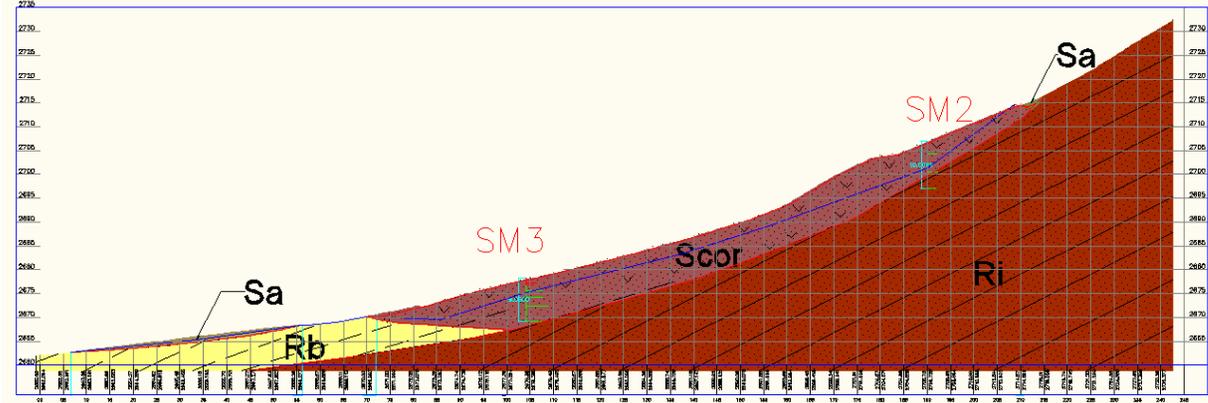
Tipo de Exploración	Localización	Símbolo	Profundidad (m)
Sondeo Mecánico	Fiscalía la Escuela, parte baja	SM 1	15
Sondeo Mecánico	Fiscalía la Escuela, parte baja	SM 2	12,3
Sondeo Mecánico	Fiscalía la Escuela, parte baja	SM 3	13
Barreno Manual	Fiscalía la Escuela, parte baja	B1	4
Barreno Manual	Fiscalía la Escuela, parte baja	B2	4
Trinchera	Fiscalía la Escuela, parte baja	TR-1	4 (longitud)
Sondeo Mecánico	Fiscalía Parte Alta	SM 1	10
Sondeo Mecánico	Fiscalía Parte Alta	SM 2	10
Sondeo Mecánico	Fiscalía Parte Alta	SM 3	9,05
Sondeo Mecánico	Fiscalía Parte Alta	SM 4	15
Sondeo Mecánico	Fiscalía Parte Alta	SM 5	14

El perfil geológico 1-1 (Figura 6.22), se determinó con los sondeos mecánicos realizados en la parte alta No. 2 y 3, tal y como mostró la Figura 6.15, cuya descripción se relacionaron en la Tablas 6.13 y 6.14, respectivamente.

Tabla 6.13 Sondeo mecánico 2, adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)

Muestra	Prof. (m)	Compresiones			Clasificación		Descripción	SPT	
		Cu	γ_w	γ_d	AASHTO	USCS		N	Prof. (m)
1	0 - 0,6				A-7-5	ML	Limo arcilloso color caramelo con vetas amarillentas y presencia de raíces		
2	0,6 - 1,2				A-7-5	ML	Limo arcilloso color caramelo con vetas amarillentas		
3	1,2 - 2,2	1,4	2,047	1,685	A-7-5	ML	Limo arcilloso color caramelo con vetas amarillentas		
4	2,2 - 2,65	0,7	2,23	1,919	A-7-5	ML	Limo arcilloso color caramelo con vetas amarillentas	27	28 2,425
5	2,65 - 3,65				A-4	CL	Arcilla color caramelo con vetas grises	21	32 3,15
6	3,65 - 4,1	1,4	2,154	1,891	A-4	CL	Arcilla color caramelo con vetas grises		
7	4,1 - 5,2				A-4	CL	Arcilla color caramelo con vetas grises		
8	5,2 - 6,5				A-4	CL	Arcilla color caramelo con vetas grises		
9	6,5 - 7,7						Arenisca color habano con vetas grises		
10	7,7 - 9,0						Arenisca color habano con vetas grises		
11	9,0 - 10,0						Arenisca color habano con vetas grises		

Figura 6.22 Perfil geológico 1 – 1 adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)



En cuanto al perfil 2-2, que se muestra en la Figura 6.23, este se estableció a partir de los sondeos 1, 2 y 4 realizados en el estudios para el sitio Fiscala Alta y los sondeos 1 y 2 y el barreno manual 1 (Tablas 6.15 – 6.19) ejecutados para el estudio para del sitio Fiscala La Escuela de la localidad de Usme (UAERMV – Consortio Mitigación 2010).

Tabla 6.14 Sondeo mecánico 3, adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)

Muestra	Prof. (m)	Compresiones			Clasificación		Descripción	SPT		
		Cu	γ_w	γ_d	AASHTO	USCS		N	Prof. (m)	
1	0,15 - 0,60	0	0	A-6	CL	Arcilla limosa color amarillo ocre con vetas grises Arcilla con trazas de arena de grano fino plasticidad media y de baja compresibilidad	17	19	0,375	
2	0,70 - 1,15	2,228	1,99	A-6	CL	Arcilla limosa color amarillo ocre con vetas grises Arcilla con trazas de arena de grano fino plasticidad media y de baja compresibilidad	17	20	0,925	
3	1,20 - 1,65	2,6	2,125	1,905	A-6	CL	Arcilla limosa color amarillo ocre con vetas grises Arcilla con trazas de arena de grano fino plasticidad media y de baja compresibilidad	10	16	1,425
4	1,70 - 2,15	2,227	2,028	A-6	CL	Arcilla limosa color amarillo ocre con vetas grises Arcilla con trazas de arena de grano fino plasticidad media y de baja compresibilidad	17	16	1,925	
5	2,25 - 2,70	5,2	1,477	1,338	A-6	CL	Arcilla limosa color amarillo ocre con vetas grises Arcilla con trazas de arena de grano fino plasticidad media y de baja compresibilidad	12	20	2,475
6	2,70 - 3,15	0	0	A-4	ML	Limo arcilloso color gris con vetas ladrillo y rojizo limo con trazas de arena de grano fino plasticidad baja y de baja compresibilidad	20	15	2,925	
7	3,20 - 3,65	1,3	2,144	1,903	A-4	ML	Limo arcilloso color gris con vetas habanas y oxidaciones color ladrillo Limo con algo de arena de grano fino plasticidad baja y de baja compresibilidad	35	40	3,425
8	3,70 - 4,15	2,251	1,982	A-4	ML	Limo con trazas de arena de grano fino plasticidad baja y de baja compresibilidad	20	40	3,925	
9	4,45 - 4,90	0	0	A-4	ML	Limo con trazas de arena de grano fino plasticidad baja y de baja compresibilidad Limo arcilloso color violeta con vetas grises y marcas de oxidación	20	30	4,675	
10	4,95 - 5,40	0,5	2,173	1,873	A-4	ML	Limo arcilloso color violeta con vetas grises y marcas de oxidación Limo arenosa (de grano fino) ligeramente plástico y de baja compresibilidad	16	18	5,175
11	5,45 - 5,90	2,209	1,974	A-4	ML	Limo arcilloso color violeta con vetas grises y marcas de oxidación Limo con algo de arena de grano fino ligeramente plástico y de baja compresibilidad	19	21	5,675	
12	5,95 - 6,40	1,4	2,209	1,93	A-4	ML	Limo arenoso color gris con vetas habanas Limo y arena de grano fino ligeramente plástico y de baja compresibilidad	21	24	6,175
13	6,85 - 7,30	0	0	A-4	ML	Limo arenoso color gris con vetas habanas Limo y arena de grano fino ligeramente plástico y de baja compresibilidad	14	11	7,075	
14	7,45 - 7,90	2,5	2,205	1,872	A-7-5	ML	Limo arcilloso color gris con vetas habanas Limo con trazas de arena de grano fino plasticidad media y de baja compresibilidad	50	50	7,675
15	7,90 - 8,35	0	0	A-7-5	ML	Limo arcilloso color gris con vetas habanas Limo con algo de arena de grano fino de consistencia dura, plasticidad media y de baja compresibilidad	50	50	8,125	
16	8,60 - 9,05	0,2	0,985	0,841	A-7-5	ML	Limo arcilloso color gris con vetas habanas Limo con trazas de arena de grano fino de consistencia muy firme, plasticidad media y de baja compresibilidad	58	65	8,825

Figura 6.23 Perfil geológico 2 – 2 adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)

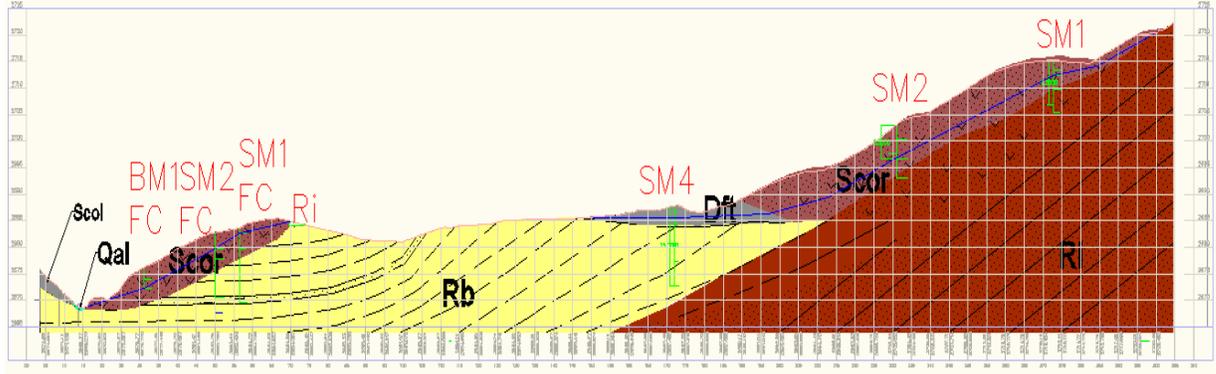


Tabla 6.15 Barreno manual 1 Fiscal La Escuela adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)

Prof. (m)	Descripción	SPT	
		N	Prof. (m)
1	Relleno	17	1
2,2	Relleno	37	1,85
3	Arcillolita	66	2,85
4	Arcillolita	72	3,75

Tabla 6.16 Sondeo mecánico No. 1 Fiscal Centro, adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)

Muestra	Prof. (m)	Descripción	SPT		
			N	N	Prof. (m)
1	0 - 1	Relleno	8	8	0,5
2	1 - 2	Limo arenoso	18	17	0,75
3	2 - 3	Limo arenoso	12	15	1,25
4	3 - 4	Limo arenoso	15	15	1,75
5	4 - 5	Arcillolita	14	12	2,25
6	5 - 6	Arcillolita	14	20	2,75
7	6 - 7	Arcillolita	12	12	3,25
8	7 - 8	Arcillolita	22	25	3,75
9	8 - 9	Arcillolita	14	16	4,25
10	9 - 10	Arcillolita	22	28	4,75
11	10 - 11	Arcillolita	40	20	5,75
12	11 - 12	Arcillolita	19	32	7,75
13	12 - 13	Arcillolita	29	40	9,25
14	13 - 14	Arcillolita	20	22	11,25
14	14 - 14,5	Arcillolita	13	28	13,75

Tabla 6.17 Sondeo mecánico No. 2 Fiscala Centro adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)

Muestra	Prof. (m)	Clasificación	SPT	
			Prof. (m)	
1	0 - 1	Relleno	2	0,25
			3	0,75
2	1 - 2	Relleno	2	1,25
			3	1,75
3	2 - 3	Relleno	3	2,25
			2	2,75
4	3 - 4	Arcilla limosa	11	3,25
			8	4,25
5	4 - 5	Arcilla limosa	8	4,75
			10	
6	5 - 6	Arenisca	6	5,25
			40	
7	6 - 7	Arenisca	4	
			7	
8	7 - 8	Arenisca	10	
			9	
9	8 - 9	Arenisca	6	8,05
			11	8,55
10	9 - 10	Arenisca	12	9,05
			15	9,55
11	10 - 11	Arenisca	25	10,05
			19	10,55
12	11 - 12	Arenisca	13	11,05
			45	11,55
13	12 - 12,5	Arenisca		12,05

Tabla 6.18 Sondeo Mecánico No. 4 adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)

Muestra	Prof. (m)	Compresiones			Clasificación		Descripción	SPT			
		Cu	γ w	γ d	AASHTO	USCS		Prof. (m)			
1	0,00 - 1,00						Material de relleno color gris				
2	1,00 - 1,15				A-3	SP	Arena de grano medio color habano claro	0	0	1,08	
3	1,15 - 2,20						Arenisca color habano y gris				
4	2,20 - 3,20						Arenisca color habano y gris, con cambio a areniscas fracturadas color amarillo				
5	3,20 - 3,65	1,4	2,14	1,84	A-4	CL-ML	Limo arcilloso color rojizo	Arcilla-limosa arenosa (de grano fino)	9	15	3,43
6	3,65 - 5,20	1,1	2,25	1,86	A-7-5	CL	Arcilla color amarillo ocre con	Arcilla con trazas de arena de grano fino			
7	5,20 - 5,65	1,4	2,28	1,99	A-7-5	CL	Arcilla color amarillo ocre con	Arcilla con trazas de arena de grano fino	15	22	5,43
8	5,65 - 7,00				A-7-5	CL	Arcilla color amarillo ocre con	Arcilla con trazas de arena de grano fino			
9	7,00 - 8,50	1,4	2,22	1,98	A-7-5	CL	Arcilla color amarillo ocre con	Arcilla con trazas de arena de grano fino			
10	8,50 - 10,00	0,4	2,23	1,98	A-7-5	CL	Arcilla color amarillo ocre con	Arcilla con algo de arena de grano fino	15	22	10,23
11	10,00 - 10,45				A-7-5	CL	Arcilla color amarillo ocre con	Arcilla y arena de grano fino plasticidad alta			
12	10,45 - 11,50		2	1,75	A-6	CL	Arena de grano medio color	Arcilla arenosa (de grano fino) plasticidad			
13	11,50 - 13,30	0,5	2,25	2,04	A-6	CL	Arena de grano medio color	Arcilla arenosa (de grano fino) plasticidad			
14	13,30 - 15,00				A-6	CL	Arena de grano medio color	Arcilla con algo de arena de grano fino			

Tabla 6.19 Sondeo mecánico No. 1 adaptado de (Consortio Mitigación 2010, 2012)

Muestra	Prof. (m)	Clasificación		Descripción	RQD
		AASHTO	USCS		
1	0 - 0,5	A-7-5	CL	Arcilla color habano con vetas violetas y cafés	
2	0,5 - 1,0	A-7-5	CL	Arcilla color habano con vetas violetas y cafés	
3	1,0 - 1,5	A-7-5	CL	Arcilla color habano con vetas violetas y cafés	
4	1,5 - 2,0	A-4	CL	Arcilla color café con vetas grises	
5	2,0 - 2,5	A-3	SP	Arena color habano con vetas grises y oxidaciones	
6	2,5 - 3,0	A-3	SP	Arena color habano con vetas grises y oxidaciones	
7	3,0 - 4,5	A-4	CL- ML	Arcilla limosa rojiza con vetas grises, violetas y cafés	
8	4,5 - 5,5	A-4	CL- ML	Arcilla limosa rojiza con vetas grises, violetas y cafés	
9	5,5 - 6,5			Arenisca color habano con vetas rojizas	
10	6,5 - 8,0			Arenisca color habano con vetas rojizas	89,3
11	8,0 - 10,0			Arenisca color habano con vetas rojizas	85

Luego de determinar los perfiles geológicos se procedió a realizar la caracterización geo-mecánica de las unidades geológicas cartografiadas como se describe a continuación:

Para caracterizar los suelos granulares se utilizó la metodología propuesta por González (1999) conocida como ϕ' equivalente, que consiste en lo siguiente:

A partir de los resultados del ensayo del SPT se obtuvo el valor de Número de penetración estándar en materiales granulares (N_{crr}) Bowles (1988):

$$N_{crr} = N \times C_n \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \quad (6.21)$$

Donde;

N_{crr} = valor de N corregido

N = valor de N de campo

C_n = factor de corrección por confinamiento efectivo

η_1 = factor por energía del martillo ($0.45 \leq \eta_1 \leq 1$)

η_2 = factor por longitud de la varilla ($0.75 \leq \eta_2 \leq 1$)

η_3 = factor por revestimiento interno de toma muestras ($0.8 \leq \eta_3 \leq 1$)

η_4 = factor por diámetro de la perforación (> 1 para $D > 5''$, = 1.15 para $D = 8''$)

Corrección por Energía (η_1)

Se considera que el valor de N es inversamente proporcional a la energía efectiva aplicada al martillo y entonces, para obtener un valor de Ne1 a una energía dada "e1", sabiendo su valor Ne2 a otra energía "e2" se aplica sencillamente la relación:

$$N_{e1} = N_{e2} \times (e_2/e_1) \quad (6.22)$$

Para los estudios $\eta_1 = .45$

Corrección por longitud de la varilla ($0.75 \leq \eta_2 \leq 1$)

η_2 : depende de la profundidad donde se realice el ensayo.

Corrección por revestimiento interno de toma muestras ($0.8 \leq \eta_3 \leq 1$)

Para un Muestreador Estándar, $\eta_3 = 1$

Corrección por diámetro de la perforación (> 1 para $D > 5"$, = 1.15 para $D=8"$)

Para una perforación de $\Phi = 150$ mm, $\eta_4 = 1.05$

Corrección por Confinamiento (C_n)

Este factor ha sido identificado desde hace tiempo (Gibbs y Holtz, 1957) y se hace por medio del factor C_n de forma tal que:

$$N_{corr} = N_1 = C_n \times N \quad (3) \quad (6.23)$$

y se ha estandarizado a un esfuerzo vertical de referencia $\sigma_v' = 1$ kg/cm² ≈ 1 atmósfera = Pa, como función del parámetro R_s , definido por:

$$R_s = \sigma_v' / P_a \quad (6.24)$$

Para el cálculo de C_n se utilizó la propuesta de Seed-Idriss (Marcuson 1975):

$$C_n = 1 - K \cdot \log R_s \quad (6.25)$$

Donde: $K = 1.41$ para $R_s < 1$; $K=0$ para $R_s \geq 1$

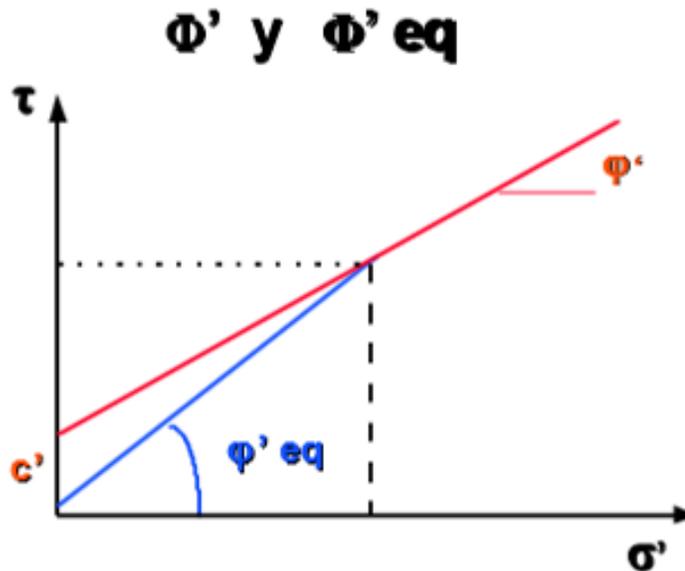
Correlaciones entre n y resistencia efectiva de los suelos

$$\phi'_{SPT} = \phi'_{eq} = \arctan (\tau / \sigma') \quad (6.25)$$

Dado que la mayor parte de estas correlaciones fueron obtenidas con materiales granulares, para los cuales usualmente $c' = 0$, lo que realmente se obtiene es la

relación entre esfuerzos cortantes y esfuerzos normales efectivos, es decir (Figura 6.24)

Figura 6.24 Angulo de fricción real (ϕ') y equivalente (ϕ'_{eq}) (González, 1999, p. 5)



Luego se determino ϕ' equivalente de la siguiente forma:

Kishida

$$\phi'_{eq} = 15 + (12.5 \times N_{145})^{0.5} \quad (6.26)$$

Peck, Hanson y Thornburn (1974)

$$\phi'_{eq} = 27.1 + 0.3 \times (N_1)_{60} - 0.00054 \times [(N_1)_{60}]^2 \quad (6.27)$$

Hatanaka y Uchida (1996)

$$\phi'_{eq} = \sqrt{20(N_1)_{60}} + 20 \quad (6.28)$$

Caracterización geo-mecánica del los materiales encontrados en el depósito llamado “Deslizamientos Recientes (Scor)”:

Esto son “Materiales subproducto de la meteorización de la rocas de la Formación Regadera Conjunto Inferior, conformado por suelos predominantemente finos de arcillas y limos de baja plasticidad y arenas limosas y arcillosas.” Consorcio Mitigación 2010 (2012, p. 101)

Dado que este coluvión se compone de fracciones de diferentes materiales, se caracterizó por separado cada una de estas.

Componente Arenosa – Scor

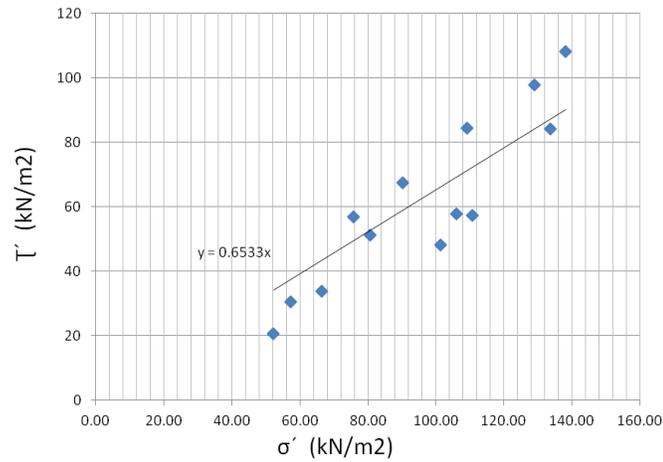
En la Tabla 6.20, se resumen los valores obtenidos de utilizar las correlaciones propuestas por Hatanaka y Uchida (1996) y Peck, Hanson y Thornburn (1974), para determinar el ángulo de fricción interna del material a partir del N del Ensayo de Penetración Estándar – SPT, así como los resultados de los ensayos en campo y en laboratorio realizados sobre la fracción arenosa identificada en la exploración realizada sobre el coluvión:

Tabla 6.20 Valores de C y Φ' , para la fracción arenosa del Scor, a partir del N del SPT.

SIMBOLO	Perforación	Descripción de la Perforación	Prof. (m)	N - SPT	γ (KN/m ³)	Φ' eq (González, A, 1999) (°)	Cu (kN/m ²) Laboratorio	C (kN/m ²) Laboratorio	ϕ (°) LAB	Φ' (Hatanaka y Uchida, 1996) (°)	Φ' (Peck, Hanson y Thornburn, 1974) (°)
Scor1-	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR LADRILLO	4,25	30,00	19,00	32,40				39,06	32,37
Scor1-	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR LADRILLO	4,75	50,00	19,00	36,78				43,86	35,20
Scor1-	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR LADRILLO	5,75	60,00	19,00	37,73				44,90	35,88
Scor1-	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	ARENA CON LIMO COLOR	12,00	-	19,00	-					
Scor1-	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	ARENA CON LIMO COLOR	13,75	41,00	19,00	31,41				37,98	31,81
Scor1-	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR LADRILLO	14,00	0,00	19,00	15,00					0,00
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ	2,75	4,00	19,00	21,63	22,56			27,27	27,89
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ	3,25	16,00	19,00	28,00	16,67			34,24	30,09
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR HABANO	4,25	13,00	19,00	27,04				33,19	29,67
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR LADRILLO	5,25	46,00	19,00	36,92	114,74			44,01	35,30
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR LADRILLO	6,00	0,00	19,00	15,00					
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR ROJIZA	7,00	0,00	19,00	15,00					
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR LADRILLO	8,05	11,00	19,00	25,44	37,27	0,36	27,80	31,44	29,04
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR LADRILLO	8,55	19,00	19,00	28,60				34,90	30,36
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR LADRILLO	9,05	16,00	19,00	27,38	29,42			33,56	29,81
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR	11,05	52,00	19,00	37,15				44,26	35,46
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR	11,55	32,00	19,00	32,24		30,96	23,40	38,88	32,28
Scor1-	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	ARENA LIMOSA COLOR	12,05	58,00	19,00	38,03				45,23	36,10
Scor1-	SONDEO 4 FISCAL ALTA	Arena de grano medio color	13,30	-	19,00	28,70	51,00	71,69	28,70		

La Figura 6.25 muestra los resultados de aplicar la metodología propuesta González (1999) para determinar el ángulo de fricción interna equivalente (Φ' eq) en materiales granularas a partir del N del Ensayo de Penetración Estándar – SPT

Figura 6.25 Φ' equivalente (González, 1999) para la fracción arenosa del Scor
 Φ' eq Arenas

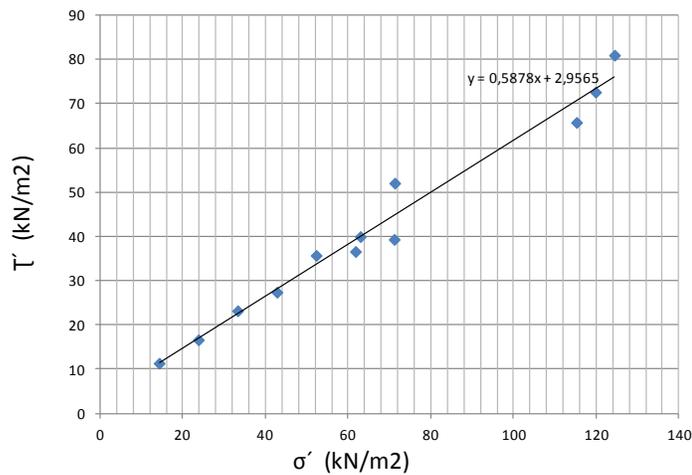


ϕ' eq = $\arctan(\tau'/\sigma') = 37^\circ$
 Cohesión = 0

Componente Limosa del Scor

La fracción limosa que contiene el coluvión, se caracterizó de igual forma que la fracción arenosa, en la Tabla 6.21 y en la Figura 6.26 se muestran los resultados obtenidos:

Figura 6.26 Φ' equivalente (González, 1999) para la fracción limosa del Scor
 Φ' eq Limos



$$\phi' \text{ eq} = \arctan(\tau/\sigma') = 33.67^\circ$$

Cohesión = 3 kN/m²

Tabla 6.21 Valores de C' y Φ' , para la fracción limosa del Scor, a partir del N del SPT.

SIMBOLO	Perforación	Descripción de la Perforación	Prof. (m)	N - SPT	γ (KN/m ³)	Φ' eq (González, A, 1999) (°)	C (kN/m ²) Laboratorio	ϕ Lab (°)	Φ' (Hatanaka y Uchida, 1996) (°)	Φ' (Peck, Hanson y Thornburn, 1974) (°)
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color gris con vetas	2,93	35,00	19,00	37,28			44,40	35,55
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color gris con vetas	3,43	75,00	19,00	46,98				
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color gris con vetas	3,93	60,00	19,00	43,08				
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color violeta con vetas	4,68	50,00	19,00	41,57				
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color violeta con vetas	5,18	34,00	19,00	36,55			43,60	35,04
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color violeta con vetas	5,68	40,00	19,00	37,99			45,19	36,07
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arenoso color gris con vetas	6,18	45,00	19,00	40,38			47,80	37,88
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arenoso color gris con vetas	7,08	25,00	19,00	33,40			40,16	32,97
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color gris con vetas	7,68	50,00	19,00	40,57				
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color gris con vetas	8,13	50,00	19,00	40,24				
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color gris con vetas	8,83	50,00	19,00	39,82				
Scor1 - Scor2	SONDEO 2 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color carmelo con	0,60		19,00					
Scor1 - Scor2	SONDEO 2 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color carmelo con	1,20		19,00					
Scor1 - Scor2	SONDEO 2 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color carmelo con	2,43	55,00	19,00	43,25				
Scor1 - Scor2	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO Y GRIS CON PRESENCIA DE ARENA	0,75	35,00	19,00	38,48			45,72	36,43
Scor1 - Scor2	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO Y GRIS CON PRESENCIA DE ARENA	1,25	27,00	19,00	35,00			41,90	33,99
Scor1 - Scor2	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO Y GRIS CON PRESENCIA DE ARENA	1,75	30,00	19,00	34,89			41,79	33,92
Scor1 - Scor2	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO Y GRIS CON PRESENCIA DE ARENA	2,25	26,00	19,00	32,64			39,33	32,51
Scor1 - Scor2	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO Y GRIS CON PRESENCIA DE ARENA	2,75	34,00	19,00	34,34			41,19	33,56
Scor1 - Scor2	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO Y GRIS CON PRESENCIA DE ARENA	3,25	24,00	19,00	30,65			37,14	31,39
Scor1 - Scor2	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO Y GRIS CON PRESENCIA DE ARENA	3,75	47,00	19,00	36,14	42,48	20,50	43,16	34,76
Scor1 - Scor2	SONDEO 1 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO Y GRIS	6,00	-	19,00	-				
Scor1 - Scor2	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	LIMO ARCILLOSO CON ARENA COLOR HABANO CON VETAS ROJIZAS	4,75	18,00	19,00	28,93			35,26	30,52
Scor1 - Scor2	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO	9,55	23,00	19,00	29,71			36,12	30,90
Scor1 - Scor2	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO	10,05	27,00	19,00	31,22			37,77	31,70
Scor1 - Scor2	SONDEO 2 FISCALA CENTRO	LIMO COLOR HABANO CLARO CON VETAS ROJIZAS	10,55	34,00	19,00	33,05			39,77	32,76
Scor1 - Scor2	SONDEO 4 FISCALA ALTA	Limo arcilloso color rojizo con presencia de arena fina	3,43	24,00	19,00	32,41			39,08	32,38

Fracción Arcillosa del Scor

En la Tabla 6.22, se relacionan los resultados de los ensayos de las compresiones simples y cortes directo realizados a este material:

Tabla 6.22 Ensayos realizados a la fracción arcillosa del Scor

SIMBOLO	PERFORACION	DESCRIPCION DE LA PERFORACIÓN	Z (m)	PROFUNDIDAD (m)	N	Cu (kN/m ²) Laborator	C (kN/m ²) Laborator	φ Lab (°)
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Arcilla limosa color amarillo ocre con vetas grises	1,20 - 1,65	1,43	26,00	100,70	0,00	0,00
Scor1 - Scor2	SONDEO 3 FISCALA ALTA	Arcilla limosa color amarillo ocre con vetas grises	2,25 - 2,70	2,48	32,00	506,04	0,00	0,00
Scor1 - Scor2	SONDEO 2 FISCALA ALTA	Arcilla color café con vetas grises, violetas y presencia de oxidación	1,2 - 2,2	2,20		136,32	38,82	26,00
Scor1 - Scor2	SONDEO 2 FISCALA ALTA	Arcilla color caramelo con vetas grises	3,65 - 4,1	4,10		134,36	0,00	0,00

En la Tabla 6.23, se resumen los parámetros geomecánicos obtenidos para los materiales que se identificaron dentro del coluvión:

Tabla 6.23 Resumen parámetros geomecanicos material Scor

Unidad geológica	γt (KN/m ³)	Cu Lab. (kN/m ²)	C Lab. (kN/m ²)	Φ' Lab. (°)	C' (González, A, 1999) (kN/m ²)	Φ' eq (González, A, 1999) (°)	Φ' (Hatanaka y Uchida, 1996) (°)	Φ' (Peck, Hanson y Thornburn, 1974) (°)
Depósitos de Deslizamientos Recientes (Scor) - Arena	19	45	34	27	0	37	38	33
Depósitos de Deslizamientos Recientes (Scor) - Limo	19	110	40	25	3	34	40	33
Scor1 - Scor2 Arcilla	19	219	39	26				

Teniendo en cuenta que con la información disponible en los estudios no fue posible lograr la geocaracterización de los materiales tales como: Depósitos Antrópicos (Sa), Rellenos Ingenieriles (RI), Depósito Fluviotorrencial Reciente (Dft) y Areniscas (RI), se tomaron los parámetros recomendados por el consultor Consorcio Mitigación 2010 (2012, pp. 108 -110) para el sitio piloto (Tabla 6.24).

Tabla 6.24 Parámetros geomecánicos (Consorcio Mitigación 2010, 2012)

Unidad geológica	γ (KN/m ³)	Φ (°)	C' (kN/m ²)
Arenisca (RI)	22	31	3720
Depósitos Antrópicos (Sa)	17	28	2
Arcillolita (Rb)	21	23	1328
Depósito Fluviotorrencial Reciente (Dft)	19	4	24

6.2.9 Modelo Geológico Geotécnico

El análisis de estabilidad se centro en el deslizamiento activo de la parte alta de la ladera (Deposito de deslizamientos recientes - Scor)

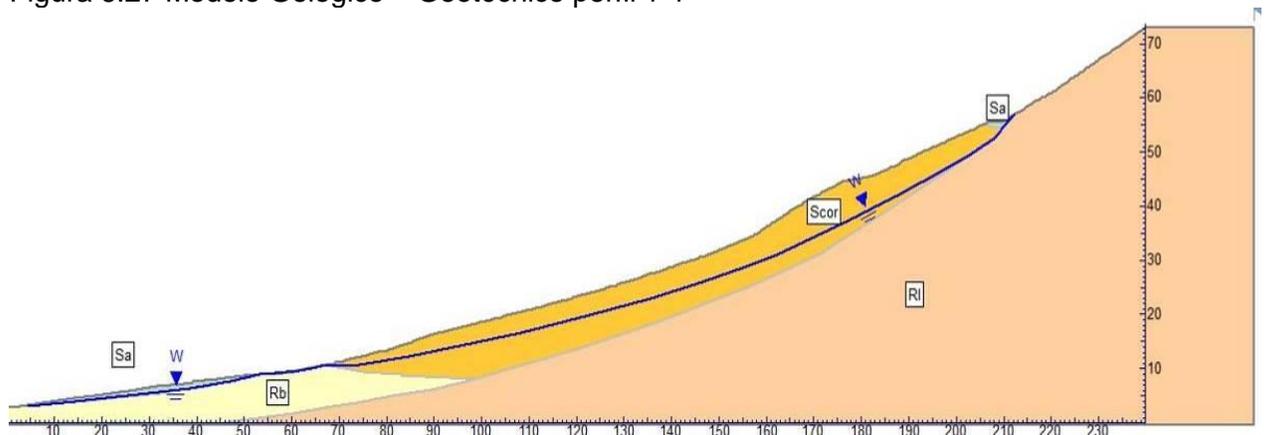
6.2.9.1 Perfil 1 – 1

Parámetros geomecánicos iniciales (Tabla 6.25):

Tabla 6.25 Parámetros geotécnicos iniciales

Unidad geológica	γ (KN/m ³)	C' (kN/m ²)	Φ (°)
Arenisca (Ri)	22	3720	31
Depósitos Antrópicos (Sa)	17	2	28
Arcillolita (Rb)	21	1328	23
Depósitos de Deslizamientos Recientes (Scor)	19	34	27
Depósito Fluviotorrencial Reciente (Dft)	19	24	4

Figura 6.27 Modelo Geológico – Geotécnico perfil 1-1



Distribución de materiales:

- (Scor): Depósito Deslizamiento Recientes, espesor de entre 1.5m y 10m.
- (Sa): Depósito Antrópico - Rellenos Ingenieriles, espesor menores de 4.0m.
- (Roca Blanda – Rb): Roca Formación Regadera, paquete masivo de Arcillolita.
- (Roca Intermedia – Ri): Roca Formación Regadera, paquete masivo de Arenisca.

Mecanismos de falla

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en el inventario de procesos, la disposición (Figura 6.27 y anexo 2) y características mecánicas de los materiales, se presumió que el proceso de remoción en masa está controlado estructuralmente por los paquetes masivos de rocas; por este motivo para el análisis de estabilidad se consideró como mecanismo de falla traslacional limitado por los contactos con la roca, no obstante se pueden presentar fallas de tipo rotacional a menor profundidad.

El modelo contempló la condición de agua normal como los niveles encontrados en la exploración del subsuelo, así:

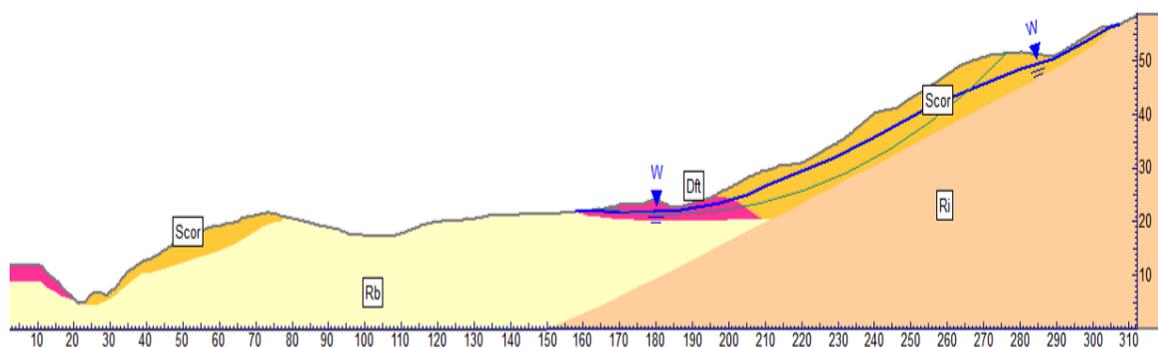
En el sondeo mecánico 2 Fiscalía Alta se identificó la Tabla de agua a 5,5 m de profundidad, mientras que en el sondeo mecánico 3 Fiscalía Alta fue a 2,5 m de profundidad.

La condición de agua extrema se modeló como el nivel de agua normal más la infiltración causada por los aguaceros según fuera el escenario establecido.

6.2.9.2 Perfil 2 – 2

Este perfil se formuló de manera similar al perfil 1 -1 (Figura 6.28):

Figura 6.28 Modelo Geológico – Geotécnico perfil 2-2



Distribución de materiales:

- (Scor): Depósito Deslizamiento Recientes, espesor de entre 1.5m y 10m.
- (Dft): Depósito Fluviotorrenciales, espesor menores de 6.0m.
- (Roca Blanda – Rb): Roca Formación Regadera, paquete masivo de Arcillolita

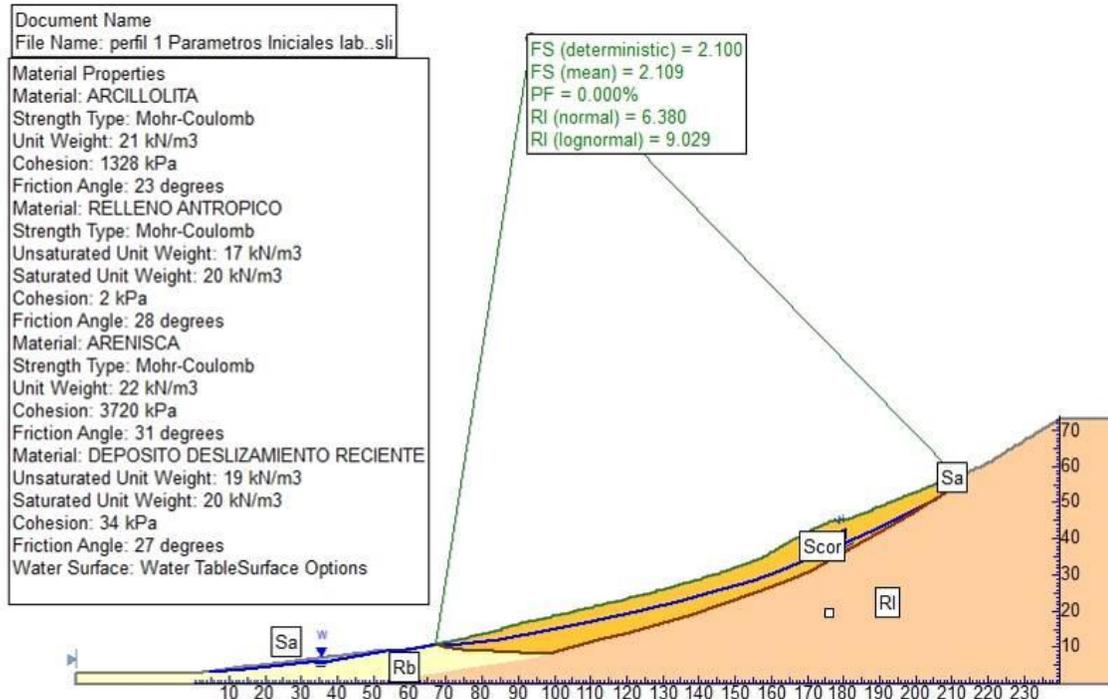
- (Roca Intermedia – Ri): Roca Formación Regadera, paquete masivo de Arenisca

6.2.10 Análisis Probabilístico De Estabilidad De Taludes

Los análisis de estabilidad se realizaron por el método general de Equilibrio Limite GLE propuesto por Morgenstern & Price (1965) mediante el uso del software Slide versión 5.0.

Con la distribución de los materiales, las condiciones del agua subterránea, el mecanismo de falla supuesto y los parámetros geomecánicos de los materiales, se realizaron análisis de estabilidad para calibrar el modelo geológico – geotécnico

Figura 6.29 Análisis de estabilidad de taludes perfil 1-1



Como se observa en la Figura 6.29, el factor de seguridad obtenido del análisis estabilidad no explicó satisfactoriamente los eventos que ocurrieron in situ, la anterior afirmación se debió a que se trata de un deslizamiento activo que involucra el depósito de deslizamiento reciente (Scor), por lo que la relación entre las fuerzas resistentes y actuantes debería ser del orden de 1 o menos.

Esto radicó en que durante la exploración del subsuelo no se identificó la zona de debilidad o superficie de falla, de donde se pudieran obtener los parámetros de resistencia movilizada, ni se realizaron ensayos de laboratorio sobre las muestras

que se tomaron que permitieran suponer los parámetros resistencia residual del material.

Esto obligó a realizar un retro análisis a partir de la topográfica inicial, tal que se pudieran estimar los valores de los parámetros de resistencia movilizados de la unidad geológica (Scor).

6.2.11 Retroanálisis

En este nuevo análisis la estabilidad del talud la condición de agua subterránea se modelo con los datos obtenidos en la exploración subsuelo y que el deslizamiento que afectó la Unidad Geológica superficial (Scor) presentó un mecanismo de falla de tipo traslacional, controlado por los macizos rocosos de mayor rigidez (arenisca y arcillolita), adicionalmente esto se asumió, debido a que la masa de suelos (Scor) presentó grandes deformaciones la cohesión de este material en la superficie de falla es cero (0), por tanto la resistencia al deslizamiento dependió netamente de la fricción.

Partiendo de estas premisas se buscó el valor del ángulo de fricción interna del material que satisficiera la igualdad a 1 de la ecuación de comportamiento ($FS=1$), como supuesto de condición de estabilidad superficial precaria de la masa de suelo (ver Figura 6.30), en la Tabla 6.26, se relacionan los parámetros adoptados para el retroanálisis.

Figura 6.30 Retroanálisis

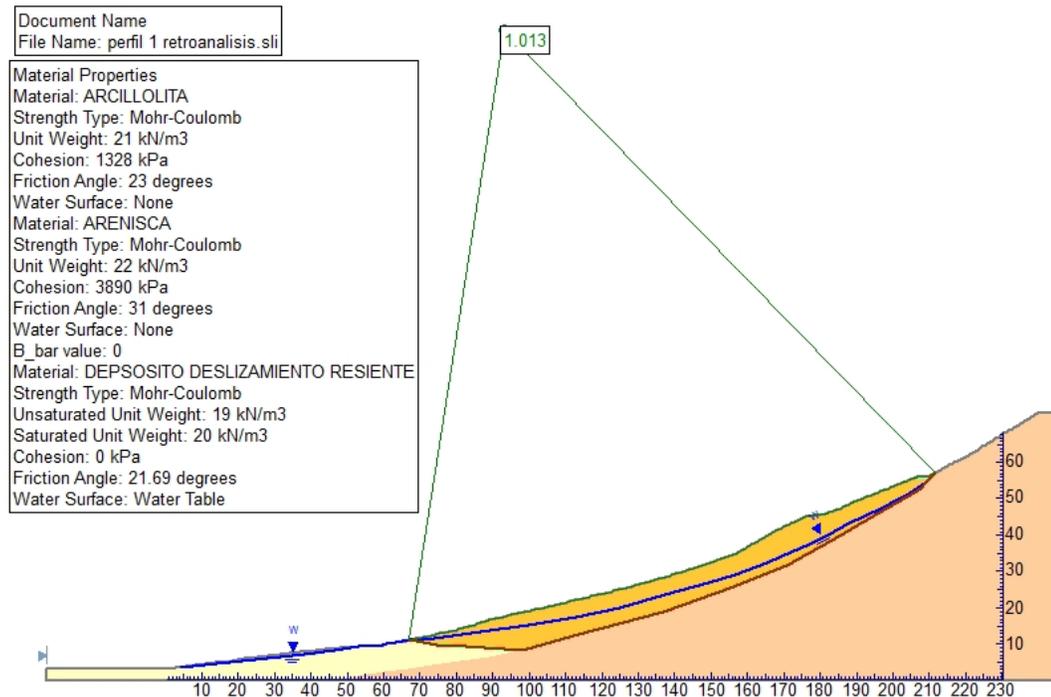


Tabla 6.26 Parámetros adoptados retroanálisis

Unidad geológica	γ (KN/m3)	Φ (°)	C' (kN/m2)
Arenisca (RI)	22	31,00	3720
Depósitos Antrópicos (Sa)	17	28,00	2
Arcillolita (Rb)	21	23,00	1328
Depósitos de Deslizamientos Recientes (Scor)	19	21,69	0,00
Depósito Reciente (Dft) Fluviotorrencial	19	4,00	24

Según Orr & Breysse (2008), la variabilidad de los parámetros mecánicos, puede ser del orden mostrado en la Tabla 6.27.

Tabla 6.27 Rango típico de COV para los parámetros del suelo (Orr & Breysse, 2008).

PARAMETRO DEL SUELO	RANGO TÍPICO DEL COV	VALORES RECOMENDADOS COV
$\tan \Phi$	0.05 - 0.15	0.1
C'	0.20 - 0.40	0.4
C_u	0.20 - 0.40	0.3
m_v	0.20 - 0.40	0.4
γ	0.01 - 0.10	0

No obstante lo anterior, de los ensayos de corte directo realizados en los estudios (5) en total, se estimó el valor del coeficiente de variación para $\tan\Phi$ que se muestra en Tabla 6.28.

Tabla 6.28 Covarianza de Tan Φ ensayos de laboratorio

Descripción	Tan Φ
Fiscalía Centro sondeo 2- 11,3m- 11,80m	0,42
Fiscalía Centro sondeo 2- 7,8 m - 8,30 m	0,53
Fiscalía Alta sondeo 2 - 1,2 m - 2,2 m	0,49
Fiscalía Centro sondeo 1 - 3,5 m - 4 m	0,37
Fiscalía Alta sondeo 4 - 11,50 m - 13,30 m	0,55
Media	0,47
Desviación Estandar	0,07
Cov	15,46%

Por considerar que el número de ensayos realizados no constituyeron una muestra representativa para la caracterización los materiales, de la Tabla 6.27 se tomó el valor del coeficiente de variación de 0.1 para $\tan \phi$, con el fin de realizar el análisis probabilístico de estabilidad por el Modelo de simulación de Montecarlo.

6.2.12 Definición De Los Escenarios De Análisis

En las Tablas 6.29 y 6.30, se muestra los (45) diferentes combinaciones de: nivel freático con infiltración debida a los aguaceros y coeficiente de aceleración sísmica (A_0) para cada perfil geológico - geotécnico.

Para cada escenario se precisó la probabilidad que suceda cada una de estas variables durante el periodo de diseño igual a 50 años, también se calculó la probabilidad acumulada de que ocurra la falla general del talud y el factor de seguridad FS asociado a cada combinación.

Los parámetros geomecánicos de los materiales con los que se realizaron los análisis probabilísticos de estabilidad correspondieron a los parámetros adoptados en la Tabla 6.26, aplicando el valor de coeficiente de variación igual a 0.10, recomendado en la tabla 6.27.

Las Figuras de los análisis de estabilidad se encuentran en el Anexo 3.

En la tabla 6.29 se puede observar que para el perfil 1 – 1, se produjeron 4 diferentes tamaños de superficie de falla profunda, siendo el escenario 24 el que representó la condición de estabilidad mas critica, esto en cuanto al volumen de la masa de suelo a deslizarse y la probabilidad de ocurrencia que para este caso fue igual al 23,42% (Figura 6.31).

A manera de ejemplo, a continuación se muestra el procedimiento de calculo de la probabilidad de falla total del talud para el escenario 24:

La probabilidad de que el aguacero que causa la infiltración de 200mm, se de durante el periodo de diseño de 50 años, es del 99,99%, dado que el aguacero presenta un periodo de retorno de 5 años, se tiene:

$$P_{(LLuvia)} = 1 - \left[1 - \left[\frac{1}{T} \right] \right]^L = 99,99\%$$

L: Periodo de diseño

T: Periodo de retorno

La probabilidad de excedencia del coeficiente sísmico (A_0), durante el periodo de diseño es:

$$P_{(exc A_0)} = 1 - e^{-L\left(\frac{1}{T}\right)} = 39,35\%$$

Donde;

L: Periodo de diseño

T: Periodo de retorno (100 años)

En cuanto a la probabilidad de falla del talud (51,59%), se toma del análisis de estabilida (Slide versión 5).

Tenemos que la probabilidad de falla acumulada es:

$$P_{(falla)} = 99,99\% \times 39,35\% \times 51,59\% = 23,24\%$$

Para el perfil 2 – 2, la Tabla 6.30 nos muestra que sin importar las condiciones análisis, la superficie de falla profunda fue igual en todos los casos, sin embargo la probabilidad acumulada de que se dé la falla del talud difiere para cada escenario, siendo el numero 22 el más crítico con una probabilidad del 90,11% (Figura 6.32)

Tabla 6.29 escenarios de análisis de estabilidad perfil 1-1

Escenario	Condiciones							Área en perfil del deslizamiento (m2)	Altura de la zona a deslizarse H (m)	Probabilidad de falla del talud (SLIDE V 5.0)	F.S. Medio	Probabilidad de falla total
	Condición de agua subterránea	Maxima Infiltración causada por aguaceros (mm)	Probabilidad que se dé el aguacero en el periodo de diseño	Periodo de retorno del aguacero (años)	coeficiente sísmico Ao (g)	Probabilidad de excedencia de Ao en el periodo de diseño	Periodo de retorno del coeficiente sísmico (años)					
1	Normal							633,3215	52,64	53,37%	0,999	53%
2	Normal	100	100%	3				633,32	52,64	53,50%	0,999	53%
3	Normal	200	100%	5				633,32	52,64	53,53%	0,999	54%
4	Normal	300	64%	50				633,32	52,64	53,60%	0,997	34%
5	Normal	350	39%	100				633,32	52,64	53,68%	0,996	21%
6	Normal				0,035	92%	20	855,25	52,64	74,88%	0,937	69%
7	Normal				0,051	63%	50	855,25	52,64	86,65%	0,893	55%
8	Normal				0,062	39%	100	855,25	52,64	94,83%	0,842	37%
9	Normal				0,080	22%	200	855,25	52,64	96,98%	0,822	21%
10	Normal				0,100	16%	286	855,25	52,64	99,36%	0,778	16%
11	Normal				0,120	10%	475	855,25	52,64	100,00%	0,738	10%
12	Normal				0,150	8%	588	855,25	52,64	100,00%	0,685	8%
13	Normal				0,180	5%	1000	807,11	52,64	100,00%	0,767	5%
14	Normal	100	100%	3	0,035	92%	20	865,32	52,64	68,14%	0,958	63%
15	Normal	100	100%	3	0,051	63%	50	865,32	52,64	83,79%	0,992	53%
16	Normal	100	100%	3	0,062	39%	100	865,32	52,64	90,38%	0,876	36%
17	Normal	100	100%	3	0,080	22%	200	865,32	52,64	90,38%	0,876	20%
18	Normal	100	100%	3	0,100	16%	286	865,32	52,64	98,99%	0,785	16%
19	Normal	100	100%	3	0,120	10%	475	865,32	52,64	100,00%	0,744	10%
20	Normal	100	100%	3	0,150	8%	588	865,32	52,64	100,00%	0,689	8%
21	Normal	100	100%	3	0,180	5%	1000	865,32	52,64	100,00%	0,641	5%
22	Normal	200	100%	5	0,035	92%	20	865,32	52,64	77,34%	0,927	71%
23	Normal	200	100%	5	0,051	63%	50	865,32	52,64	88,45%	0,882	56%
24	Normal	200	100%	5	0,062	39%	100	976,78	52,64	59,51%	0,98	23%
25	Normal	200	100%	5	0,080	22%	200	976,78	52,64	78,36%	0,936	17%
26	Normal	200	100%	5	0,100	16%	286	976,78	52,64	91,39%	0,887	15%
27	Normal	200	100%	5	0,120	10%	475	976,78	52,64	97,13%	0,843	10%
28	Normal	200	100%	5	0,150	8%	588	976,78	52,64	99,89%	0,784	8%
29	Normal	200	100%	5	0,180	5%	1000	976,78	52,64	100,00%	0,732	5%
30	Normal	300	64%	50	0,035	92%	20	976,78	52,64	26,17%	1,059	15%
31	Normal	300	64%	50	0,051	63%	50	976,78	52,64	26,17%	1,059	11%
32	Normal	300	64%	50	0,062	39%	100	976,78	52,64	57,73%	0,988	14%
33	Normal	300	64%	50	0,080	22%	200	976,78	52,64	77,83%	0,937	11%
34	Normal	300	64%	50	0,100	16%	286	976,78	52,64	91,39%	0,887	9%
35	Normal	300	64%	50	0,120	10%	475	976,78	52,64	97,14%	0,843	6%
36	Normal	300	64%	50	0,150	8%	588	976,78	52,64	99,89%	0,784	5%
37	Normal	300	64%	50	0,180	5%	1000	976,78	52,64	100,00%	0,732	3%
38	Normal	350	39%	100	0,035	92%	20	976,78	52,64	24,76%	1,064	9%
39	Normal	350	39%	100	0,051	63%	50	976,78	52,64	24,76%	1,064	6%
40	Normal	350	39%	100	0,062	39%	100	976,78	52,64	57,73%	0,987	9%
41	Normal	350	39%	100	0,080	22%	200	976,78	52,64	57,73%	0,988	5%
42	Normal	350	39%	100	0,100	16%	286	976,78	52,64	78,38%	0,936	5%
43	Normal	350	39%	100	0,120	10%	475	976,78	52,64	96,80%	0,847	4%
44	Normal	350	39%	100	0,150	8%	588	976,78	52,64	99,58%	0,802	3%
45	Normal	350	39%	100	0,180	5%	1000	976,78	52,64	100,00%	0,732	2%

Tabla 6.30 escenarios de análisis de estabilidad perfil 2-2

Escenario	Condiciones							Área en perfil del deslizamiento (m2)	Altura de la zona a deslizarse H (m)	Probabilidad de falla del talud (SLIDE V 5.0)	F.S. Medio	Probabilidad de falla total
	Condición de agua subterránea	Maxima Infiltración causada por aguaceros (mm)	Probabilidad que se dé el aguacero en el periodo de diseño	Periodo de retorno del aguacero (años)	coeficiente sísmico Ao (g)	Probabilidad de excedencia de Ao en el periodo de diseño	Periodo de retorno del coeficiente sísmico (años)					
1	Normal							581,44	30,6	74,95%	0,949	75,0%
2	Normal	100	100%	3				581	31	77%	1	77%
3	Normal	200	100%	5				581	31	77%	1	77%
4	Normal	300	64%	50				581	31	77%	1	49%
5	Normal	350	39%	100				581	31	77%	1	30%
6	Normal				0,0350	92%	20	581	31	66%	1	61%
7	Normal				0,0510	63%	50	581	31	80%	1	51%
8	Normal				0,0620	39%	100	581	31	87%	1	34%
9	Normal				0,0800	22%	200	581	31	94%	1	21%
10	Normal				0,1000	16%	286	581	31	77%	1	12%
11	Normal				0,1200	10%	475	581	31	80%	1	8%
12	Normal				0,1500	8%	588	581	31	83%	1	7%
13	Normal				0,1800	5%	1000	581	31	99%	1	5%
14	Normal	100	100%	3	0,0350	92%	20	581	31	98%	1	90%
15	Normal	100	100%	3	0,0510	63%	50	581	31	100%	1	63%
16	Normal	100	100%	3	0,0620	39%	100	581	31	100%	1	39%
17	Normal	100	100%	3	0,0800	22%	200	581	31	100%	1	22%
18	Normal	100	100%	3	0,1000	16%	286	581	31	100%	1	16%
19	Normal	100	100%	3	0,1200	10%	475	581	31	100%	1	10%
20	Normal	100	100%	3	0,1500	8%	588	581	31	100%	1	8%
21	Normal	100	100%	3	0,1800	5%	1000	581	31	100%	1	5%
22	Normal	200	100%	5	0,0350	92%	20	581	31	98%	1	90%
23	Normal	200	100%	5	0,0510	63%	50	581	31	100%	1	63%
24	Normal	200	100%	5	0,0620	39%	100	581	31	100%	1	39%
25	Normal	200	100%	5	0,0800	22%	200	581	31	100%	1	22%
26	Normal	200	100%	5	0,1000	16%	286	581	31	100%	1	16%
27	Normal	200	100%	5	0,1200	10%	475	581	31	100%	1	10%
28	Normal	200	100%	5	0,1500	8%	588	581	31	100%	1	8%
29	Normal	200	100%	5	0,1800	5%	1000	581	31	100%	1	5%
30	Normal	300	64%	50	0,0350	92%	20	581	31	98%	1	57%
31	Normal	300	64%	50	0,0510	63%	50	581	31	100%	1	40%
32	Normal	300	64%	50	0,0620	39%	100	581	31	100%	1	25%
33	Normal	300	64%	50	0,0800	22%	200	581	31	100%	1	14%
34	Normal	300	64%	50	0,1000	16%	286	581	31	100%	1	10%
35	Normal	300	64%	50	0,1200	10%	475	581	31	100%	1	6%
36	Normal	300	64%	50	0,1500	8%	588	581	31	100%	1	5%
37	Normal	300	64%	50	0,1800	5%	1000	581	31	100%	1	3%
38	Normal	350	39%	100	0,0350	92%	20	581	31	98%	1	36%
39	Normal	350	39%	100	0,0510	63%	50	581	31	100%	1	25%
40	Normal	350	39%	100	0,0620	39%	100	581	31	100%	1	16%
41	Normal	350	39%	100	0,0800	22%	200	581	31	100%	1	9%
42	Normal	350	39%	100	0,1000	16%	286	581	31	100%	1	6%
43	Normal	350	39%	100	0,1200	10%	475	581	31	100%	1	4%
44	Normal	350	39%	100	0,1500	8%	588	581	31	100%	1	3%
45	Normal	350	39%	100	0,1800	5%	1000	581	31	100%	1	2%

Figura 6.31 Análisis de estabilidad perfil 1- 1 escenario 24

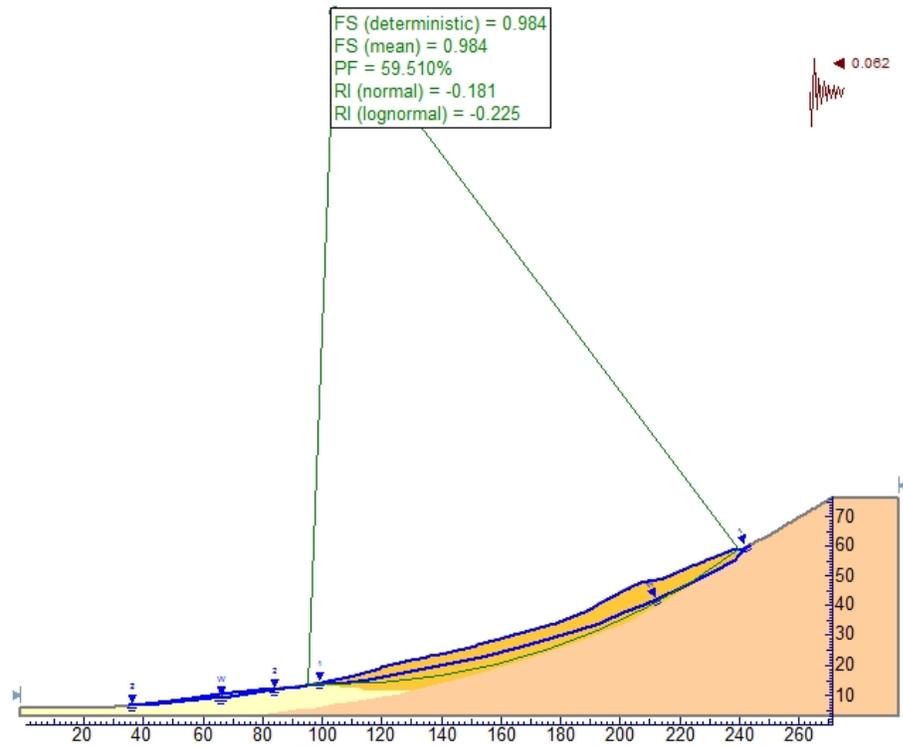
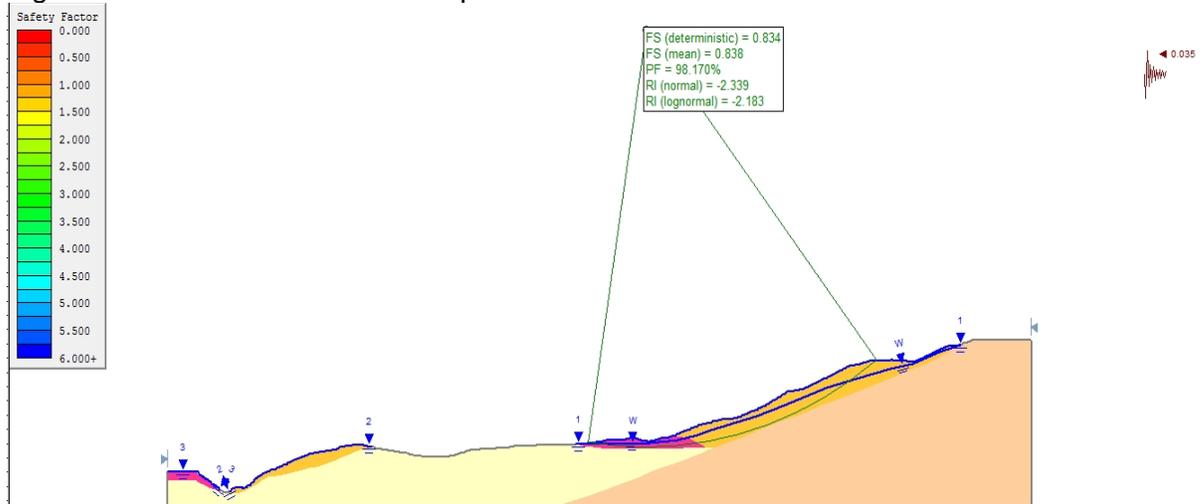


Figura 6.32 Análisis de estabilidad perfil 2-2 escenario 22



6.2.13 Evaluación Cuantitativa Vulnerabilidad

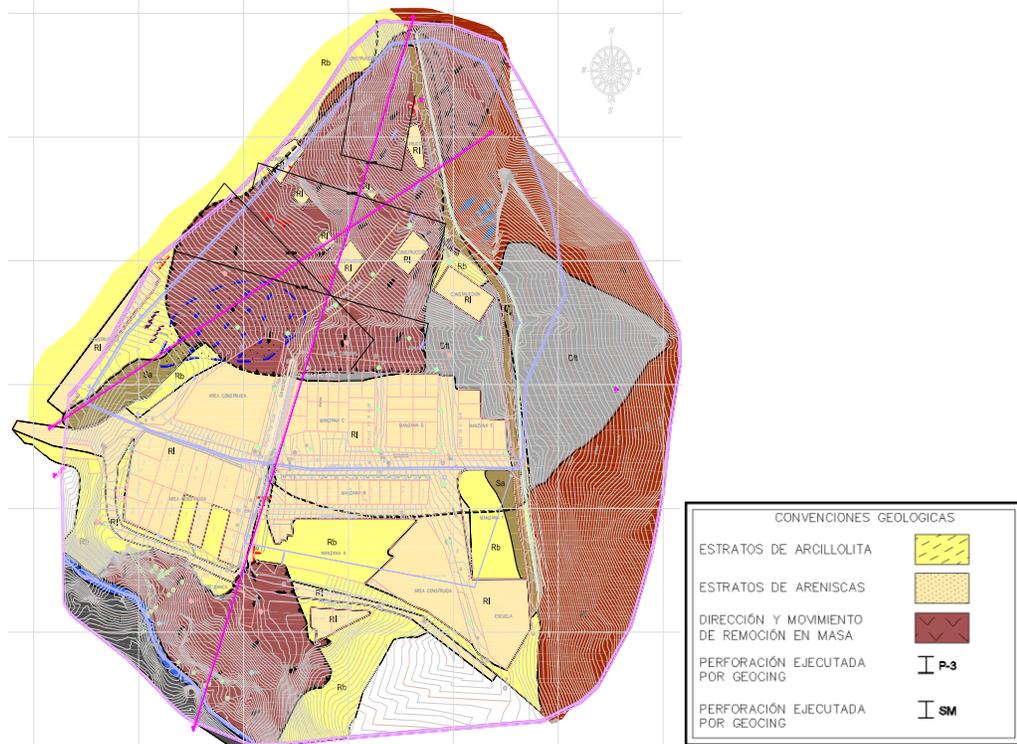
La evaluación de las consecuencias se realizó para los escenarios análisis No. 24 y 22, que corresponden al perfil 1 -1 y perfil 2 – 2, respectivamente; dado que como se menciono anteriormente fueron los escenarios más críticos de cada perfil geológico - geotécnico.

6.2.13.1 Identificación y valuación de los elementos expuestos

Se determinaron las distancias de viaje del deslizamiento para las 5 posibles superficies de falla de mayor magnitud, Así:

De la planta geológica (Figura 6.33), se estimó los posibles anchos de los deslizamientos, teniendo en cuenta que las únicas unidades geológicas susceptibles al movimiento por acción de los factores detonantes son los Depósitos de Deslizamientos Recientes (Scor), Depósito Fluviotorrencial Reciente (Dft) y Depósitos Antrópicos (Sa), dado que según el análisis de estabilidad se pudo suponer que la rigidez de los unidades superficiales de roca cartografiadas controlan los posibles movimientos de la masa de suelo, tanto en profundidad con su ancho. De ahí que el ancho del deslizamiento pudo tomarse como el ancho promedio de la unidad geológica.

Figura 6.33 Planta geología (Consortio Mitigación 2010, 2012)



Una vez estimado el ancho de los posibles deslizamiento en 70 metros para los dos perfiles, las áreas en perfil circunscritas por la superficie del terreno y la superficie de falla profunda identificada en los análisis probabilísticos (Figuras 6.31 y 6.32), se intuyó el volumen de la masa de suelos a deslizarse (Tabla 6.31).

Tabla 6.31 Longitud de viaje del deslizamiento

Perfil	Escenario No.	Área de Deslizamiento (m ²)	Volumen de Deslizamiento (m ³)	Altura H (m)	F=H/L (Figura 6.34)	Longitud de viaje L (m)
1-1	24	976,784	68.374,88	44	0,24	183
2-2	22	581,440	40.700,80	32	0,23	139

Conociendo el volumen del deslizamiento se entra a la Figura 6.34 y se encuentra el valor de f utilizando la línea inferior, siendo $f = H/L$, se despeja (longitud de viaje) (Tabla 6.31).

Figura 6.34 Relación entre el volumen deslizado y la distancia de viaje para diferentes tipos de deslizamiento según (Finlay et al., 1999).

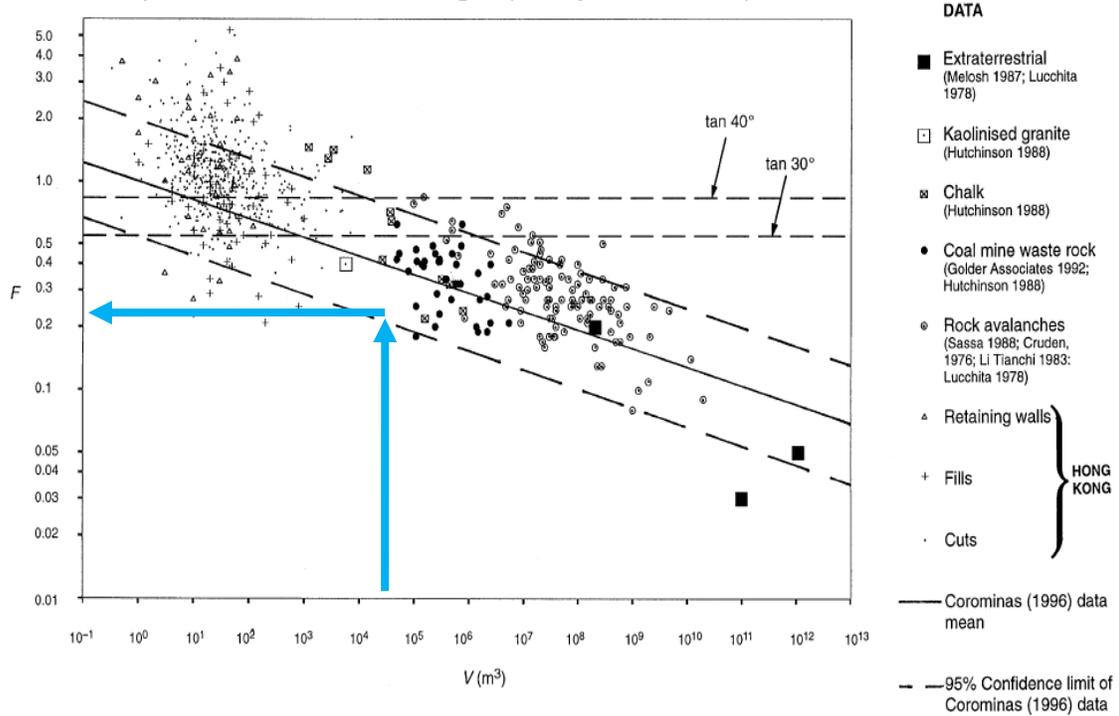


Figura 6.35 Esquema distancia de viaje del deslizamiento perfil 1-1

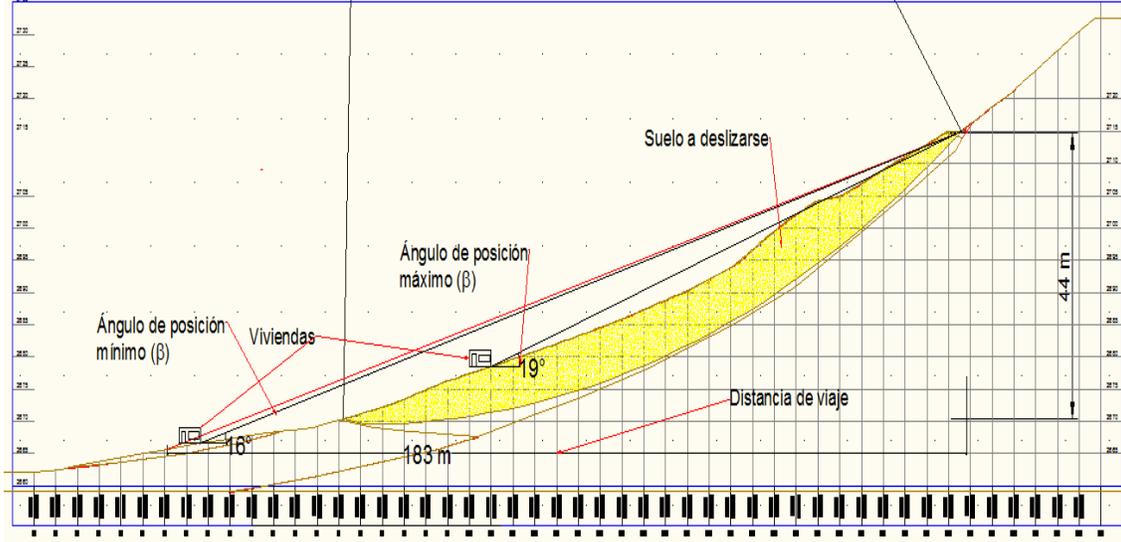
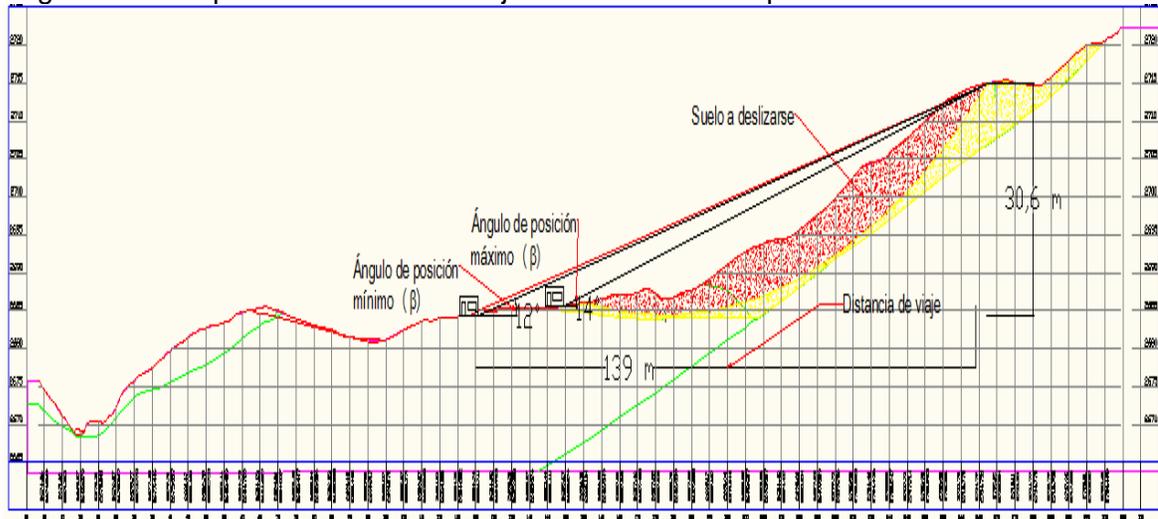


Figura 6.36 Esquema distancia de viaje del deslizamiento perfil 1-1



Con la distancia de viaje y el ancho supuesto del deslizamiento se estableció el área de afectación de presentarse la remoción en masa (Figuras 6.35 y 6.36), el área influencia se superpone al plano catastral (Figuras 6.37 y 6.38), todos los elementos que se identificaron dentro del zona delimitada se consideraron elementos expuestos, cuyo daño se estimó a partir de los índices de vulnerabilidad.

Figura 6.37 Plano catastral



Figura 6.38 plano catastral con distancia de viaje de los posibles deslizamientos de los perfiles 1-1 y 2-2 adaptado de (Consorcio Mitigación 2010, 2012)

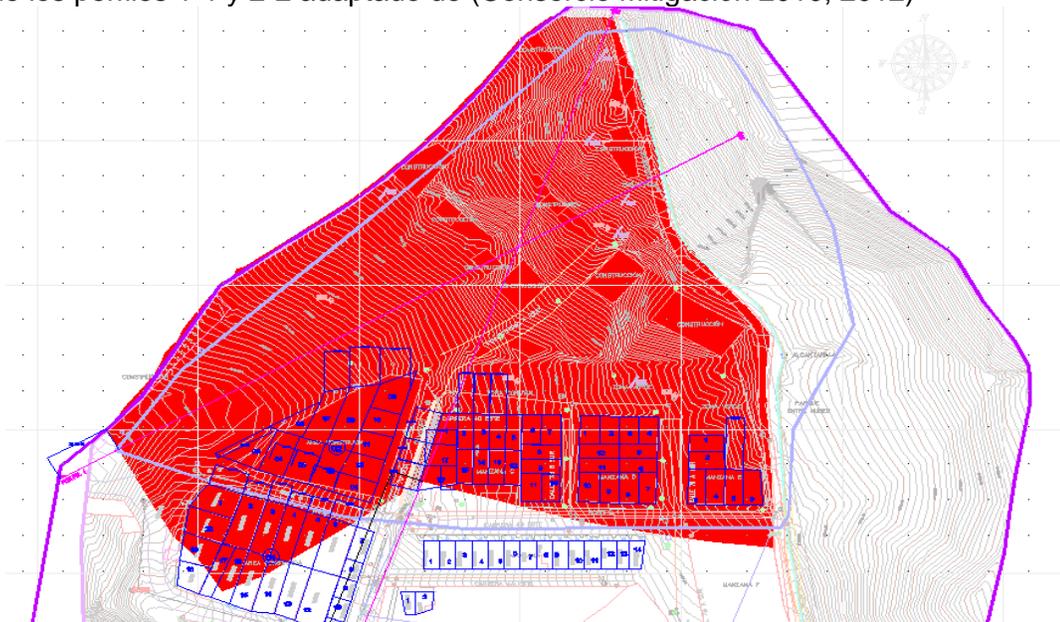


Tabla 6.32 Costo de viviendas ubicadas sobre el cuerpo del deslizamiento

No Predio	Área Terreno Rt	Avaluó					Valor Reconocimientos Económicos (Decreto 329 De 2006)	Valor Reconocimiento Compensación Económica (Decreto 574 De 2011)	Valor de Adquisición
		Vr Terreno (Avaluó Catastral)	Vr Terreno (Avaluó Comercial)	Área Construida	Vr Construcción (Avaluó Catastral)	Vr Construcción (Avaluó Comercial)			
2	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	60,00	\$ 5.909.513	\$ 8.864.270	\$ 11.051.270	\$ 1.320.000	\$ 12.371.270
3	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	76,86	\$ 10.880.443	\$ 16.320.665	\$ 18.507.665	\$ 1.320.000	\$ 19.827.665
4	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
5	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	37,90	\$ 4.583.104	\$ 6.874.656	\$ 9.061.656	\$ 1.320.000	\$ 10.381.656
6	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	51,13	\$ 6.342.565	\$ 9.513.848	\$ 11.700.848	\$ 1.320.000	\$ 13.020.848
7	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
8	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	28,00	\$ 3.184.259	\$ 4.776.388	\$ 6.963.388	\$ 1.320.000	\$ 8.283.388
9	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
10	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
11	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
12	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	36,00	\$ 4.034.919	\$ 6.052.378	\$ 8.239.378	\$ 1.320.000	\$ 9.559.378
13	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
14	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
15	62,00	\$ 1.506.600	\$ 2.259.900	42,00	\$ 4.689.740	\$ 7.034.609	\$ 9.294.509	\$ 1.364.000	\$ 10.658.509
16	4200,00	\$ 102.060.000	\$ 153.090.000	87,60	\$ 16.102.472	\$ 24.153.708	\$ 177.243.708	\$ 92.400.000	\$ 269.643.708
17	540,30	\$ 13.129.290	\$ 19.693.935	-	\$ 0	\$ 0	\$ 19.693.935	\$ 11.886.600	\$ 31.580.535
18	232,40	\$ 5.647.320	\$ 8.470.980	67,20	\$ 16.892.385	\$ 25.338.578	\$ 33.809.558	\$ 5.112.800	\$ 38.922.358
19	231,00	\$ 5.613.300	\$ 8.419.950	48,70	\$ 17.016.681	\$ 25.525.022	\$ 33.944.972	\$ 5.082.000	\$ 39.026.972
20	186,00	\$ 4.519.800	\$ 6.779.700	21,00	\$ 1.943.455	\$ 2.915.182	\$ 9.694.882	\$ 4.092.000	\$ 13.786.882
21	100,00	\$ 2.430.000	\$ 3.645.000	98,20	\$ 24.761.744	\$ 37.142.616	\$ 40.787.616	\$ 2.200.000	\$ 42.987.616
22	94,00	\$ 2.284.200	\$ 3.426.300	111,30	\$ 22.876.362	\$ 34.314.543	\$ 37.740.843	\$ 2.068.000	\$ 39.808.843
23	300,00	\$ 7.290.000	\$ 10.935.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 10.935.000	\$ 6.600.000	\$ 17.535.000
24	165,00	\$ 4.009.500	\$ 6.014.250	-	\$ 0	\$ 0	\$ 6.014.250	\$ 3.600.000	\$ 9.644.250
25	1512,30	\$ 36.748.890	\$ 55.123.335	-	\$ 0	\$ 0	\$ 55.123.335	\$ 33.270.600	\$ 88.393.935
26	68,00	\$ 1.652.400	\$ 2.478.600	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.478.600	\$ 1.496.000	\$ 3.974.600
27	4380,00	\$ 106.434.000	\$ 159.651.000	70,00	\$ 16.505.546	\$ 24.758.320	\$ 184.409.320	\$ 96.360.000	\$ 280.769.320
28	480,00	\$ 11.664.000	\$ 17.496.000	120,70	\$ 19.061.525	\$ 28.592.288	\$ 46.088.288	\$ 10.560.000	\$ 56.648.288
40	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
41	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
42	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
43	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
44	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
45	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
46	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
47	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
48	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
49	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
50	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
51	90,00	\$ 2.187.000	\$ 3.280.500	-	\$ 0	\$ 0	\$ 3.280.500	\$ 1.980.000	\$ 5.260.500
52	52,50	\$ 1.275.750	\$ 1.913.625	-	\$ 0	\$ 0	\$ 1.913.625	\$ 1.155.000	\$ 3.068.625
53	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
54	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
55	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
56	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
57	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
58	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
59	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
60	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
61	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
62	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
63	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
64	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
65	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
66	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
67	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
68	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
69	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
70	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
71	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
72	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
73	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
74	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
75	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
76	107,50	\$ 2.612.250	\$ 3.918.375	-	\$ 0	\$ 0	\$ 3.918.375	\$ 2.365.000	\$ 6.283.375
77	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
78	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
79	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
80	60,00	\$ 1.458.000	\$ 2.187.000	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.187.000	\$ 1.320.000	\$ 3.507.000
81	63,30	\$ 1.538.190	\$ 2.307.285	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.307.285	\$ 1.392.600	\$ 3.699.885
82	64,70	\$ 1.572.210	\$ 2.358.315	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.358.315	\$ 1.423.400	\$ 3.781.715
83	66,00	\$ 1.603.800	\$ 2.405.700	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.405.700	\$ 1.452.000	\$ 3.857.700
84	67,30	\$ 1.635.390	\$ 2.453.085	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.453.085	\$ 1.480.600	\$ 3.933.685
85	70,00	\$ 1.701.000	\$ 2.551.500	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.551.500	\$ 1.540.000	\$ 4.091.500
86	71,30	\$ 1.732.590	\$ 2.598.885	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.598.885	\$ 1.568.600	\$ 4.167.485
87	71,10	\$ 1.727.730	\$ 2.591.595	-	\$ 0	\$ 0	\$ 2.591.595	\$ 1.564.200	\$ 4.155.795
TOTAL									\$ 1.216.940.285

Tabla 6.33 Costo de viviendas localizadas en la parte baja de la ladera

Manzana 1													
Predio No.	Tipología de vivienda	Número de Plantas	Área Lote	Área Construida	Valor m2 Lote (Avaluó Catastral)	Valor m2 Lote (Avaluó Comercial)	Valor Lote (Avaluó Comercial)	Valor m2 Construido (Avaluó Catastral)	Valor m2 Construido (Avaluó Comercial)	Valor Construido (Avaluó Comercial)	Valor Reconocimientos Económicos (Decreto 329 de 2006)	Valor Reconocimiento Compensación Económica (Decreto 574 de 2011)	Valor Total
1	Mampostería confinada	2	116,49	232,98	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.246.061	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 125.302.469	\$ 129.548.529	\$ 1.980.330	\$ 131.528.859
2	Mampostería confinada	1	151,437	151,4367	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 5.519.868	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 81.446.443	\$ 86.966.311	\$ 2.574.424	\$ 89.540.735
3	Mampostería confinada	1	123,03	123,03	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.484.444	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 66.168.610	\$ 70.653.053	\$ 2.091.510	\$ 72.744.563
4	Mampostería confinada	1	126,16	126,16	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.598.532	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 67.852.002	\$ 72.450.534	\$ 2.144.720	\$ 74.595.254
5	Mampostería confinada	1	133,36	133,36	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.860.972	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 71.724.342	\$ 76.585.314	\$ 2.267.120	\$ 78.852.434
6	Mampostería confinada	1	164,87	164,87	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 6.009.512	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 88.671.208	\$ 94.680.719	\$ 2.802.790	\$ 97.483.509
14	Lote		131,62	0	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.797.549	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 0	\$ 4.797.549	\$ 2.237.540	\$ 7.035.089
15	Mampostería confinada	2	134,6	269,2	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.906.170	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 144.782.490	\$ 149.688.660	\$ 2.288.200	\$ 151.976.860
16	Mampostería confinada	1	98,98	98,98	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 3.607.821	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 53.233.919	\$ 56.841.740	\$ 1.682.660	\$ 58.524.400
17	Mampostería confinada	1	80,63	80,63	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.938.964	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 43.364.830	\$ 46.303.793	\$ 1.370.710	\$ 47.674.503
18	Mampostería confinada	1	79,9	79,9	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.912.355	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 42.972.218	\$ 45.884.573	\$ 1.358.300	\$ 47.242.873
19	Mampostería confinada	2	103,84	207,68	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 3.784.968	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 111.695.496	\$ 115.480.464	\$ 1.765.280	\$ 117.245.744
20	Mampostería confinada	2	121,98	243,96	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.446.171	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 131.207.787	\$ 135.653.958	\$ 2.073.660	\$ 137.727.618
Subtotal Manzana 1													\$ 1.112.172.441
Manzana 2													
1	Mampostería confinada	1	85	85	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 3.098.250	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 45.715.125	\$ 48.813.375	\$ 1.445.000	\$ 50.258.375
2	Mampostería confinada	1	121	121	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.410.450	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 65.076.825	\$ 69.487.275	\$ 2.057.000	\$ 71.544.275
3	Mampostería confinada	1	120,66	120,66	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.398.057	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 64.893.965	\$ 69.292.022	\$ 2.051.220	\$ 71.343.242
4	Mampostería confinada	1	118,97	118,97	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.336.457	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 63.985.040	\$ 68.321.497	\$ 2.022.490	\$ 70.343.987
5	Mampostería confinada	2	130,87	261,74	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.770.212	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 140.770.316	\$ 145.540.527	\$ 2.224.790	\$ 147.765.317
6	Mampostería confinada	1	75,96	75,96	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.768.742	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 40.853.187	\$ 43.621.929	\$ 1.291.320	\$ 44.913.249
7	Mampostería confinada	1	138,28	138,28	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 5.040.306	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 74.370.441	\$ 79.410.747	\$ 2.350.760	\$ 81.761.507
8	Mampostería confinada	1	188,43	188,43	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 6.868.274	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 101.342.365	\$ 108.210.638	\$ 3.203.310	\$ 111.413.948
9	Mampostería confinada	1	117,14	117,14	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 4.269.573	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 63.000.821	\$ 67.270.574	\$ 1.991.380	\$ 69.261.954
10	Mampostería confinada	1	84,87	84,87	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 3.093.512	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 45.645.208	\$ 48.738.719	\$ 1.442.790	\$ 50.181.509
11	Mampostería confinada	1	86,88	86,88	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 3.166.776	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 46.726.236	\$ 49.893.012	\$ 1.476.960	\$ 51.369.972
12	Mampostería confinada	1	92,37	92,37	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 3.366.887	\$ 358.550	\$ 537.825	\$ 49.678.895	\$ 53.045.782	\$ 1.570.290	\$ 54.616.072
Subtotal Manzana 2													\$ 874.773.406
Manzana C													
1	Mampostería confinada	1	63,65	63,65	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.320.043	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 37.000.763	\$ 39.320.806	\$ 1.082.050	\$ 40.402.856
2	Mampostería confinada	1	61,39	61,39	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.237.666	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 35.686.989	\$ 37.924.655	\$ 1.043.630	\$ 38.968.285
3	Mampostería confinada	1	61,39	61,39	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.237.666	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 35.686.989	\$ 37.924.655	\$ 1.043.630	\$ 38.968.285
4	Mampostería confinada	1	61,39	61,39	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.237.666	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 35.686.989	\$ 37.924.655	\$ 1.043.630	\$ 38.968.285
5	Mampostería confinada	1	61,39	61,39	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.237.666	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 35.686.989	\$ 37.924.655	\$ 1.043.630	\$ 38.968.285
6	Mampostería confinada	1	62,32	62,32	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.271.564	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 36.227.613	\$ 38.499.177	\$ 1.059.440	\$ 39.558.617
7	Mampostería confinada	2	64,87	129,74	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.364.512	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 75.419.938	\$ 77.784.449	\$ 1.102.790	\$ 78.887.239
8	Mampostería confinada	1	61,2	61,2	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.230.740	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 35.576.539	\$ 37.807.279	\$ 1.040.400	\$ 38.847.679
9	Mampostería confinada	1	61,2	61,2	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.230.740	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 35.576.539	\$ 37.807.279	\$ 1.040.400	\$ 38.847.679
10	Mampostería confinada	1	52,91	52,91	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 1.928.570	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 30.757.430	\$ 32.685.999	\$ 899.470	\$ 33.585.469
11	Mampostería confinada	1	64,88	64,88	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.364.876	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 37.715.782	\$ 40.080.658	\$ 1.102.960	\$ 41.183.618
12	Mampostería confinada	1	59,98	59,98	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.186.271	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 34.867.334	\$ 37.053.605	\$ 1.019.660	\$ 38.073.265
13	Mampostería confinada	1	59,95	59,95	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.185.178	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 34.849.894	\$ 37.035.072	\$ 1.019.150	\$ 38.054.222
14	Mampostería confinada	1	59,72	59,72	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.176.794	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 34.716.192	\$ 36.892.986	\$ 1.015.240	\$ 37.908.226
15	Mampostería confinada	1	59,95	59,95	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.185.178	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 34.849.894	\$ 37.035.072	\$ 1.019.150	\$ 38.054.222
16	Mampostería confinada	1	79,3	79,3	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.890.485	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 46.098.359	\$ 48.988.844	\$ 1.348.100	\$ 50.336.944
17	Mampostería confinada	1	65,03	65,03	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.370.344	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 37.802.979	\$ 40.173.323	\$ 1.105.510	\$ 41.278.833
Subtotal Manzana C													\$ 710.892.007
Manzana D													
1	Mampostería confinada	1	60,78	60,78	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.215.431	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 35.332.386	\$ 37.547.817	\$ 1.033.260	\$ 38.581.077
2	Mampostería confinada	1	57,69	57,69	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.102.801	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 33.536.120	\$ 35.638.921	\$ 980.730	\$ 36.619.651
3	Mampostería confinada	1	57,03	57,03	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.078.744	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 33.152.451	\$ 35.231.195	\$ 969.510	\$ 36.200.705
4	Mampostería confinada	1	57,03	57,03	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.078.744	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 33.152.451	\$ 35.231.195	\$ 969.510	\$ 36.200.705
5	Mampostería confinada	1	59,08	59,08	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.153.466	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 34.344.149	\$ 36.497.615	\$ 1.004.360	\$ 37.501.975
6	Mampostería confinada	1	58,52	58,52	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.133.054	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 34.018.612	\$ 36.151.666	\$ 994.840	\$ 37.146.506
7	Mampostería confinada	1	59,27	59,27	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.160.392	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 34.454.599	\$ 36.614.991	\$ 1.007.590	\$ 37.622.581
8	Mampostería confinada	1	64,18	64,18	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.339.361	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 37.308.861	\$ 39.648.222	\$ 1.091.060	\$ 40.739.282
9	Mampostería confinada	1	62,99	62,99	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.295.986	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 36.617.095	\$ 38.913.080	\$ 1.070.830	\$ 39.983.910
10	Mampostería confinada	1	68,89	68,89	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.511.041	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 40.046.859	\$ 42.557.900	\$ 1.171.130	\$ 43.729.030
11	Mampostería confinada	1	62,46	62,46	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.276.667	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 36.308.997	\$ 38.585.664	\$ 1.061.820	\$ 39.647.484
12	Mampostería confinada	1	61,96	61,96	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.258.442	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 36.018.339	\$ 38.276.781	\$ 1.053.320	\$ 39.330.101
Subtotal Manzana D													\$ 463.303.008
Manzana E													
1	Mampostería confinada	1	63,35	63,35	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.309.108	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 36.826.369	\$ 39.135.476	\$ 1.076.950	\$ 40.212.426
2	Mampostería confinada	1	66,03	66,03	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.406.794	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 38.384.295	\$ 40.791.089	\$ 1.122.510	\$ 41.913.599
3	Mampostería confinada	1	66,68	66,68	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.430.486	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 38.762.151	\$ 41.192.637	\$ 1.133.560	\$ 42.326.197
4	Mampostería confinada	1	70,46	70,46	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.568.267	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 40.959.525	\$ 43.527.792	\$ 1.197.820	\$ 44.725.612
5	Mampostería confinada	1	70,72	70,72	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.577.744	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 41.110.668	\$ 43.688.412	\$ 1.202.240	\$ 44.890.652
6	Mampostería confinada	1	71,23	71,23	\$ 24.300	\$ 36.450	\$ 2.596.334	\$ 387.544	\$ 581.316	\$ 41.407.139	\$ 44.003.472	\$ 1.210.910	\$ 45.214.382
Subtotal Manzana E													\$ 259.282.868

Tabla 6.34 Costo estimado de las redes de Servicios Públicos

Ítem	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Pozo en mampostería e=0.25m	Und	110	\$ 493.595	\$ 54.295.458
Red de Alcantarillado	ml	1066	\$ 180.695	\$ 192.620.806
Red de acueducto	ml	1260	\$ 66.734	\$ 84.085.205
Caja de inspección de 0.6x0.6m (H=0.6m. Incluye Suministro y Construcción. Incluye Marco, Tapa, Base , Cañuela y excavación y retiro.	Und	84	\$ 368.158	\$ 30.925.264
Válvulas de Acueducto o Gas	Und	2	\$ 1.452.792	\$ 2.905.585
Cámara de Teléfono	Und	2	\$ 2.606.172	\$ 5.212.344
Caja Doble de Energía	Und	3	\$ 895.143	\$ 2.685.428
Caja Sencilla y/o Caja de paso de Energía	Und	8	\$ 633.144	\$ 5.065.152
Sumidero Lateral SL-100, H=0.85m (Prefabricado. Incluye Suministro e Instalación. Incluye Sobretapa y Tapa)	Und	1	\$ 1.534.993	\$ 1.534.993
Poste Energía	Und	6	\$ 581.702	\$ 3.490.214
Poste Teléfonos	Und	11	\$ 581.702	\$ 6.398.725
Poste Alta Tensión con base	Und	1	\$ 1.615.439	\$ 1.615.439
Alumbrado	Und	9	\$ 430.498	\$ 3.874.479
Especímenes arbóreos	Und	21	\$ 1.000.000	\$ 21.000.000
			Total	\$ 415.709.090

Para determinar el costo de los vehículos que se verían afectados fue necesario estimar la exposición temporal y espacial de estos cuando transitan por el tramo vial (Tabla 6.35).

Tabla 6.35 Probabilidad espacial y temporal de vehículos

Tipo de vehículo	Número vehículos / hora	Velocidad promedio (km/hora)	Longitud promedio (m)	Probabilidad por Tipo de Vehículo	Probabilidad Espacial	Probabilidad Temporal	Probabilidad
Autos	3	20	4,5	0,8	16	4,00E-07	4,66E-06
Buses	0	-	-	-	-	-	-
Camiones	1	15	10	0,3	7	5,33E-07	9,32E-07
					Probabilidad Total		5,59E-06

Se determinó el costo de los vehículos afectados como el producto del valor comercial por la probabilidad total anual de que los vehículos sean afectados por un deslizamiento, Además se obtuvo el tiempo de espera de la puesta en servicio de la vía, el cual es igual al tiempo de ejecución de las obras (9 meses) (Tabla 6.36).

Tabla 6.36 Pérdidas esperadas para la vía y los automóviles

Tipo de Vehículo	Costo de Vehículo (\$)	Costo de Viaje (\$/hora)	Tiempo de Espera (horas)	Número de Vehículos por Año	Costo de Espera (\$)	Costo Total (\$)
Autos	\$ 56	\$ 2.000		1	\$12.960.000	\$ 12.960.056
Buses	\$ -	\$ -	6480	0	\$ -	\$ -
Camiones	\$ 1.119	\$ 5.500		1	\$35.640.000	\$ 35.641.119
					Total	\$ 48.601.175

El valor estimado de construcción de los 200 metros de vía en afirmado es de \$183'000.000, para un valor total de pérdidas esperadas de vehículos y vías de \$ 231'601.175.

Con respecto a la identificación de los seres humanos que se encuentran expuestos a ser afectados si se produjera los deslizamientos determinados en la evaluación de la amenaza, se debe caracterizar la exposición temporal de los habitantes del sector.

Con un promedio 3.7 habitantes por vivienda Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. -SP (2009) se determina la cantidad de personas afectadas de presentarse el evento (Tabla 6.37)

Tabla 6.37 Cantidad de habitantes identificados

Ubicación	Cantidad de viviendas	Promedio de ocupantes por vivienda	Número de Personas
Manzana 1	11	3,7	41
Manzanas 2, C, D y E	47	3,7	170
Sobre el deslizamiento	16	3,7	30
Total	74		274

En la Tabla 6.38 se calculó la exposición temporal de las personas por periodos de tiempo diario.

Tabla 6.38 Probabilidad de ocupación de los predios

Hora del día	Porcentaje de ocupación (%)	Ocupación (personas)	Probabilidad de Ocupación
00-06	0,95	260	0,23
06-09	0,5	137	0,12
09-12	0,25	68	0,06
12-15	0,25	68	0,06
15-18	0,5	137	0,12
18-21	0,75	205	0,18
21-24	0,95	260	0,23

6.2.13.2 Cuantificación de las consecuencias

Una vez identificados los elementos expuestos y sus respectivos índices de vulnerabilidad se procedió a cuantificar el riesgo económico y social debida al proceso de remoción en masa.

Riesgo social en vías

Por tratarse de un tramo vial localizado en la corona del deslizamiento, se utilizó el mayor el índice de vulnerabilidad de la Tabla 6.32 que es igual a 0.95 y con la ocupación promedio de los vehículos que transitan por esta vía, se estimó las posibles pérdidas de vidas humanas Tabla 6.39

Tabla 6.39 Pérdidas sociales esperadas para la vía y los automóviles

Tipo de vehículo	Número vehículos / hora	Ocupación promedio (personas)	Índice de Vulnerabilidad social para viviendas	Número de muertes esperadas
Autos	3	2	0,95	2
Buses	0	0		0
Camiones	1	1		1
El total de pérdidas de vidas humanas para el caso de la vía es de:				3

Vulnerabilidad social viviendas

Se calcula el número esperado de pérdidas de vidas humanas, así:

Para las viviendas ubicadas sobre el cuerpo del deslizamiento; se tomo de la Tabla 6.33 el mayor índice de vulnerabilidad (0,95), para la estimación de las pérdidas sociales esperadas (Tabla 6.40).

Tabla 6.40 Pérdidas sociales esperadas de los habitantes de las viviendas edificadas sobre el cuerpo del deslizamiento

Hora del día	Porcentaje de ocupación (%)	Ocupación (personas)	Probabilidad de Ocupación	Índice de Vulnerabilidad social para viviendas	Muertes Totales
00-06	0,95	56	0,04		5
06-09	0,5	30	0,02		2
09-12	0,25	15	0,01		1
12-15	0,25	15	0,01	0,95	1
15-18	0,5	30	0,02		2
18-21	0,75	44	0,03		3
21-24	0,95	56	0,04		5
Total esperado de pérdidas de vidas Humanas					19

El cálculo del riesgo social para las viviendas ubicadas en la Manzana 1 (Tabla 6.41), cuya amenaza se debe a la trayectoria del proceso de remoción en masa analizado en el perfil 1 -1, se utilizó de la Tabla 6.33 el menor índice de vulnerabilidad (0,05) ya que los ángulos de posición y de viaje que se muestran en las Figuras 6.35 y 6.36 que son de 19° y 21°, respectivamente, son menores que los ángulos establecidos en los rangos de la Tabla en mención.

Tabla 6.41 Pérdidas sociales esperadas de los habitantes de las viviendas ubicadas en la manzana 1

Hora del día	Porcentaje de ocupación (%)	Ocupación (personas)	Probabilidad de Ocupación	Índice de Vulnerabilidad social para viviendas	Muertes Totales
00-06	0,95	39	0,23		1
06-09	0,5	20	0,12		1
09-12	0,25	10	0,06		1
12-15	0,25	10	0,06	0,05	1
15-18	0,5	20	0,12		1
18-21	0,75	31	0,18		1
21-24	0,95	39	0,23		1
Total esperado de pérdidas de vidas Humanas					7

Al igual que para cálculo del riesgo social para las viviendas ubicadas en la Manzana 1, para las Manzanas 2, C, D y E Tabla 6.42, que están sometidas a los efectos de la acción del deslizamiento del perfil 2-2, se utilizó de la Tabla 6.33 el menor índice de vulnerabilidad (0,05), dado que los ángulos de posición y de viaje que se muestran en la Figura 6.36 que son de 19° y 21°, respectivamente, que fueron los ángulos establecidos en los rangos de la Tabla en mención.

Tabla 6.42 Pérdidas sociales esperadas de los habitantes de las viviendas ubicadas en la manzana 2, C, D y E

Hora del día	Porcentaje de ocupación (%)	Ocupación (personas)	Probabilidad de Ocupación	Índice de Vulnerabilidad social para viviendas	Muertes Totales
00-06	0,95	162	0,23		2
06-09	0,5	85	0,12		1
09-12	0,25	43	0,06		1
12-15	0,25	43	0,06	0,05	1
15-18	0,5	85	0,12		1
18-21	0,75	128	0,18		2
21-24	0,95	162	0,23		2
Total esperado de pérdidas de vidas Humanas					10

Riesgo económico viviendas

En la Tabla 6.43, se muestra el valor de las pérdidas económicas para cara uno de los predios que se identificaron en las trayectorias de viaje de los posibles deslizamientos, a partir de los índices de vulnerabilidad de las curvas de fragilidad propuestas por Cifuentes (2011, pp. 144-156).

Considerando la pérdida total de las viviendas y de lotes localizados sobre el cuerpo del deslizamiento, se estipuló que el valor de las pérdidas económicas esperadas para estos elementos es igual al valor que se muestra en la Tabla 6.32, el cual ascendió a un total de \$ 1.216.940.285.

Para el caso de las redes de servicios públicos identificadas al presentarse la remoción en masa y afectar los predios existentes, estas redes pierden su funcionalidad por tanto se puede decir que quedarían inservibles así el daño estructural no sea severo, debido a esto se tomó como índice de vulnerabilidad física (1) para determinar las posibles pérdidas económicas, por lo tanto las pérdidas económicas por este concepto serían de \$ 415.709.090 (Tabla 6.32).

Tabla 6.43 Pérdidas económicas esperadas de los predios

Manzana 1										
Predio No.	Tipología de vivienda	Número de Plantas	Valor Total Vivienda	Sentido en que recibe la presión	B (ancho de la zona de presión - m)	H (altura de la zona de presión - m)	H (altura de la zona de presión - m)	Presión (kN/m ²) Moriguchi et al. (2009)	Índice de Daño	Perdidas (\$)
1	Mampostería confinada	2	\$ 131.528.859	L	11	4,80	4,80	110,10	79%	\$ 103.907.799
2	Mampostería confinada	1	\$ 89.540.735	B	7,9	2,40	2,40	79,07	39%	\$ 34.920.887
3	Mampostería confinada	1	\$ 72.744.563	B	6,45	2,40	2,40	64,56	37%	\$ 26.915.488
4	Mampostería confinada	1	\$ 74.595.254	B	6,6	2,40	2,40	66,06	37%	\$ 27.600.244
5	Mampostería confinada	1	\$ 78.852.434	B	7,3	2,40	2,40	73,06	38%	\$ 29.963.925
6	Mampostería confinada	1	\$ 97.483.509	B	8,9	2,40	2,40	89,08	39%	\$ 38.018.569
15	Mampostería confinada	2	\$ 151.976.860	B	6,45	1,20	4,80	16,14	21%	\$ 31.915.141
16	Mampostería confinada	1	\$ 58.524.400	B	3,95	1,20	2,40	19,77	26%	\$ 15.216.344
17	Mampostería confinada	1	\$ 47.674.503	B	3,95	1,20	2,40	19,77	26%	\$ 12.395.371
19	Mampostería confinada	2	\$ 117.245.744	L	11	1,20	4,80	27,52	42%	\$ 49.243.212
20	Mampostería confinada	2	\$ 137.727.618	L	11	3,60	4,80	82,57	72%	\$ 99.163.885
Subtotal Manzana 1										\$ 469.260.864
Manzana 2										
1	Mampostería confinada	1	\$ 50.258.375	L	9,2	2,40	2,40	92,08	65%	\$ 32.667.944
2	Mampostería confinada	1	\$ 71.544.275	B	7,9	2,40	2,40	79,07	39%	\$ 27.902.267
3	Mampostería confinada	1	\$ 71.343.242	B	7,9	2,40	2,40	79,07	39%	\$ 27.823.864
4	Mampostería confinada	1	\$ 70.343.987	B	7,9	2,40	2,40	79,07	39%	\$ 27.434.155
5	Mampostería confinada	2	\$ 147.765.317	B	7,9	4,80	4,80	79,07	39%	\$ 57.628.474
6	Mampostería confinada	1	\$ 44.913.249	L	19,26	2,40	2,40	192,77	65%	\$ 29.193.612
7	Mampostería confinada	1	\$ 81.761.507	B	7,2	2,40	2,40	72,06	38%	\$ 31.069.373
8	Mampostería confinada	1	\$ 111.413.948	B	9,4	2,40	2,40	94,08	41%	\$ 45.679.719
9	Mampostería confinada	1	\$ 69.261.954	L	9,2	2,40	2,40	92,08	65%	\$ 45.020.270
10	Mampostería confinada	1	\$ 50.181.509	L	9,2	2,40	2,40	92,08	65%	\$ 32.617.981
11	Mampostería confinada	1	\$ 51.369.972	L	9,2	2,40	2,40	92,08	65%	\$ 33.390.482
12	Mampostería confinada	1	\$ 54.616.072	L	9,2	2,40	2,40	92,08	65%	\$ 35.500.447
Subtotal Manzana 2										\$ 425.928.586
Manzana C										
1	Mampostería confinada	1	\$ 40.402.856	L	4,8	2,40	2,40	48,04	48%	\$ 19.393.371
2	Mampostería confinada	1	\$ 38.968.285	B	5	2,40	2,40	50,04	33%	\$ 12.859.534
3	Mampostería confinada	1	\$ 38.968.285	B	5	2,40	2,40	50,04	33%	\$ 12.859.534
4	Mampostería confinada	1	\$ 38.968.285	B	5	2,40	2,40	50,04	33%	\$ 12.859.534
5	Mampostería confinada	1	\$ 38.968.285	B	5	2,40	2,40	50,04	33%	\$ 12.859.534
6	Mampostería confinada	1	\$ 39.558.617	B	6	2,40	2,40	60,05	36%	\$ 14.241.102
7	Mampostería confinada	2	\$ 78.887.239	B	6,2	4,80	4,80	62,05	37%	\$ 29.188.279
8	Mampostería confinada	1	\$ 38.847.679	L	12,3	2,40	2,40	123,11	55%	\$ 21.366.224
9	Mampostería confinada	1	\$ 38.847.679	L	12,3	2,40	2,40	123,11	55%	\$ 21.366.224
10	Mampostería confinada	1	\$ 33.585.469	B	5,6	2,40	2,40	56,05	36%	\$ 12.090.769
11	Mampostería confinada	1	\$ 41.183.618	B	6,6	2,40	2,40	66,06	37%	\$ 15.237.939
12	Mampostería confinada	1	\$ 38.073.265	B	5	2,40	2,40	50,04	33%	\$ 12.564.177
13	Mampostería confinada	1	\$ 38.054.222	B	5	2,40	2,40	50,04	33%	\$ 12.557.893
14	Mampostería confinada	1	\$ 37.908.226	B	5	2,40	2,40	50,04	33%	\$ 12.509.714
15	Mampostería confinada	1	\$ 38.054.222	B	5	2,40	2,40	50,04	33%	\$ 12.557.893
16	Mampostería confinada	1	\$ 50.336.944	L	7,6	2,40	2,40	76,07	51%	\$ 25.671.841
17	Mampostería confinada	1	\$ 41.278.833	L	9,7	2,40	2,40	97,09	55%	\$ 22.703.358
Subtotal Manzana C										\$ 282.886.920
Manzana D										
1	Mampostería confinada	1	\$ 38.581.077	B	6,4	2,40	2,40	64,06	35%	\$ 13.503.377
2	Mampostería confinada	1	\$ 36.619.651	B	6	2,40	2,40	60,05	35%	\$ 12.816.878
3	Mampostería confinada	1	\$ 36.200.705	B	6	2,40	2,40	60,05	35%	\$ 12.670.247
4	Mampostería confinada	1	\$ 36.200.705	B	5,9	2,40	2,40	59,05	35%	\$ 12.670.247
5	Mampostería confinada	1	\$ 37.501.975	L	11,86	2,40	2,40	118,70	55%	\$ 20.626.086
6	Mampostería confinada	1	\$ 37.146.506	L	11,86	2,40	2,40	118,70	55%	\$ 20.430.578
7	Mampostería confinada	1	\$ 37.622.581	B	5,64	2,40	2,40	56,45	35%	\$ 13.167.903
8	Mampostería confinada	1	\$ 40.739.282	B	6	2,40	2,40	60,05	35%	\$ 14.258.749
9	Mampostería confinada	1	\$ 39.983.910	B	6	2,40	2,40	60,05	35%	\$ 13.994.369
10	Mampostería confinada	1	\$ 43.729.030	B	6,5	2,40	2,40	65,06	35%	\$ 15.305.160
11	Mampostería confinada	1	\$ 39.647.484	L	12,5	2,40	2,40	125,11	55%	\$ 21.806.116
12	Mampostería confinada	1	\$ 39.330.101	L	12,5	2,40	2,40	125,11	55%	\$ 21.631.556
Subtotal Manzana D										\$ 192.881.266
Manzana E										
1	Mampostería confinada	1	\$ 40.212.426	L	10,62	2,40	2,40	106,29	55%	\$ 22.116.834
2	Mampostería confinada	1	\$ 41.913.599	L	10,62	2,40	2,40	106,29	55%	\$ 23.052.479
3	Mampostería confinada	1	\$ 42.326.197	B	5,2	2,40	2,40	52,05	33%	\$ 13.967.645
4	Mampostería confinada	1	\$ 44.725.612	B	5,75	2,40	2,40	57,55	35%	\$ 15.653.964
5	Mampostería confinada	1	\$ 44.890.652	B	5,7	2,40	2,40	57,05	35%	\$ 15.711.728
6	Mampostería confinada	1	\$ 45.214.382	B	5,7	2,40	2,40	57,05	35%	\$ 15.825.034
Subtotal Manzana E										\$ 106.327.685
Total Perdidas económicas esperadas para las viviendas										\$ 1.477.285.321

6.2.14 Evaluación Cuantitativa Del Riesgo

A partir de cuantificar las pérdidas sociales y económicas, el riesgo se estimó como el valor de las pérdidas esperadas dado un evento por la probabilidad anual de que se dé ese evento.

Aplicando la Ecuación 6.11, se determinaron las pérdidas esperadas por año (Tablas 6.44 y 6.46) y para un periodo de 50 años (Tablas 6.45 y 6.47), con estos valores se evaluó la condición de riesgo (Tabla 6.48):

Tabla 6.44 Pérdidas económicas por año

Probabilidad de Falla anual (Perfil 1 - 1)	Probabilidad de Falla anual (Perfil 2 - 2)	Pérdidas económicas esperadas en (\$)					Costo Estimado Pérdidas por año(\$)
		Vía	Viviendas Falla Perfil 1-1	Viviendas Falla Perfil 2-2	Viviendas sobre el deslizamiento	Redes de Servicios Públicos	
0,12%	0,96%	\$ 231.601.175	\$ 469.260.864	\$ 1.008.024.457	\$ 1.216.940.285	\$ 415.709.090	\$ 27.013.022

Tabla 6.45 Pérdidas económicas acumuladas

Probabilidad de Falla Acumulada Perfil 1 - 1	Probabilidad de Falla Acumulada Perfil 2 - 2	Pérdidas económicas esperadas en (\$)					Costo Total de Pérdidas (\$)
		Vía	Viviendas Falla Perfil 1-1	Viviendas Falla Perfil 2-2	Viviendas sobre el deslizamiento	Redes de Servicios Públicos	
23,42%	90,11%	\$ 231.601.175	\$ 469.260.864	\$ 1.008.024.457	\$ 1.216.940.285	\$ 415.709.090	\$ 2.614.919.245

Tabla 6.46 Frecuencia N o pérdidas sociales por año.

Probabilidad de Falla Anual Perfil 1 - 1	Probabilidad de Falla Anual Perfil 2 - 2	Número de muertos debidos al deslizamiento Perfil 2- 2 sobre la vía	Número de muertos debidos al deslizamiento Perfil 1 - 1	Número de muertos debidos al deslizamiento Perfil 2 - 2	Número de Muertes Esperadas por Año
0,12%	0,96%	3	7	29	1

Tabla 6.47 Pérdidas sociales acumuladas

Probabilidad de Falla Acumulada Perfil 1 - 1	Probabilidad de Falla Acumulada Perfil 2 - 2	Número de muertos debidos al deslizamiento Perfil 2- 2 sobre la vía	Número de muertos debidos al deslizamiento Perfil 1 - 1	Número de muertos debidos al deslizamiento Perfil 2 - 2	Número de Muertes Esperadas
23,42%	90,11%	3	7	29	31

Para evaluación del riesgo, se utilizaron los criterios de evaluación empíricos recomendados en la Figura 6.7, para el riesgo económico y en la Figura 6.6, para el riesgo social.

Figura 6.7 Criterios de aceptabilidad del riesgo económico (Baecher, 1987, p. 49)

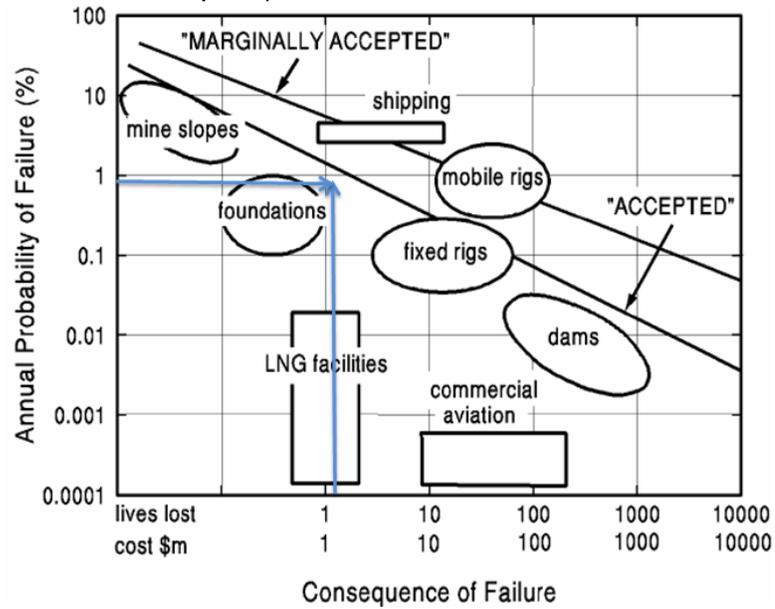


Figura 6.6 Criterios de tolerancia del riesgo social (Song et al., 2007, p. 372)

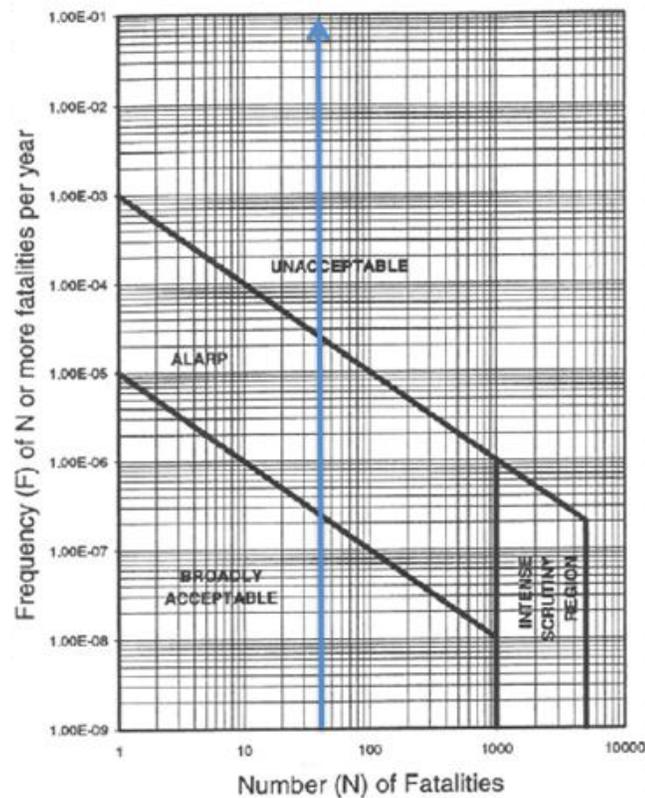


Tabla 6.48 Evaluación del riesgo

Tipo de Pérdidas	Pérdidas Esperadas	Calificación
Económico	\$ 2.614.919.245	ACEPTABLE
Social (número total de muertes esperadas)	31	INACEPTABLE
Social (frecuencia F de (N) o número de fatalidades por año)	1	

Como consecuencia de la evaluación del riesgo relacionada en la Tabla 6.48, se concluyó que es necesario diseñar e implementar sistemas de mitigación del riesgo por deslizamientos, a fin de minimizar las pérdidas que llegasen a suceder de presentarse el evento amenazante.

6.2.15 Diseño De Alternativas De Mitigación Del Riesgo

Con el fin de recomendar la implementación de la alternativa de solución con la mejor relación beneficio/costo, se diseñaron cuatro sistemas de mitigación en las que se contemplaron medidas de intervención tanto estructurales como no estructurales, cumpliendo con las exigencias establecidas para factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos que habla la Norma Sismo Resistente 2010 (ver Tabla 6.49).

Tabla 6.49 Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos adaptada de (Tabla H.2.4-1 NSR -10)

Condición	Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos. Diseño
Taludes – Condición Estática con Agua Subterránea Normal	1.5
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño.	1.05

6.2.15.1 Alternativa 1

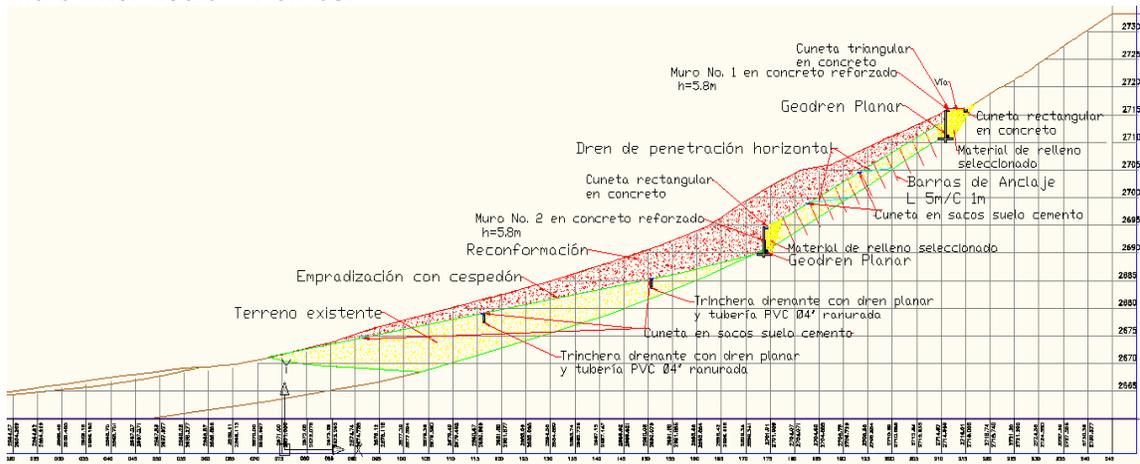
Esta alternativa de Mitigación del Riesgo se muestra en detalle en el Anexo 5 y consiste principalmente en:

El diseño de obra de dos muros en concreto en cantiliver ubicados en la vía de la parte superior y el otro a media ladera, además de reconformar el talud, el material localizado entre los dos muros se estabiliza con el uso de pernos en acero de 5 metros de longitud, separados transversalmente cada metro y 3,5 m en el sentido de la pendiente de la ladera, como manejo de aguas subterráneas, se diseñó también la implementación de drenes de penetración horizontal de 6,40 metros separados cada 2 metros (Figura 6.40).

Esta alternativa también contempló la construcción de obras de drenaje y subdrenaje, como son las cunetas, canales, trincheras drenantes y obras de arte.

Las obras que se consideraron en esta intervención tienen un costo de \$ 6.830.484.242, incluye un A.I.U. del 26% (Tabla 6.50), a este valor se le suman los costos de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico (6.51).

Figura 6.40 Alternativa 1 de mitigación del riesgo, Perfil 1-1, Reconformación + Muro Vía + Muro Intermedio + Pernos.



Las Figuras 6.41 – 6.44, corresponden al análisis de estabilidad del talud con obras, se observa que las alternativas cumplen con los factores de seguridad mínimos exigido en la NSR – 2010 (Tabla 6.49).

Figura 6.41 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.

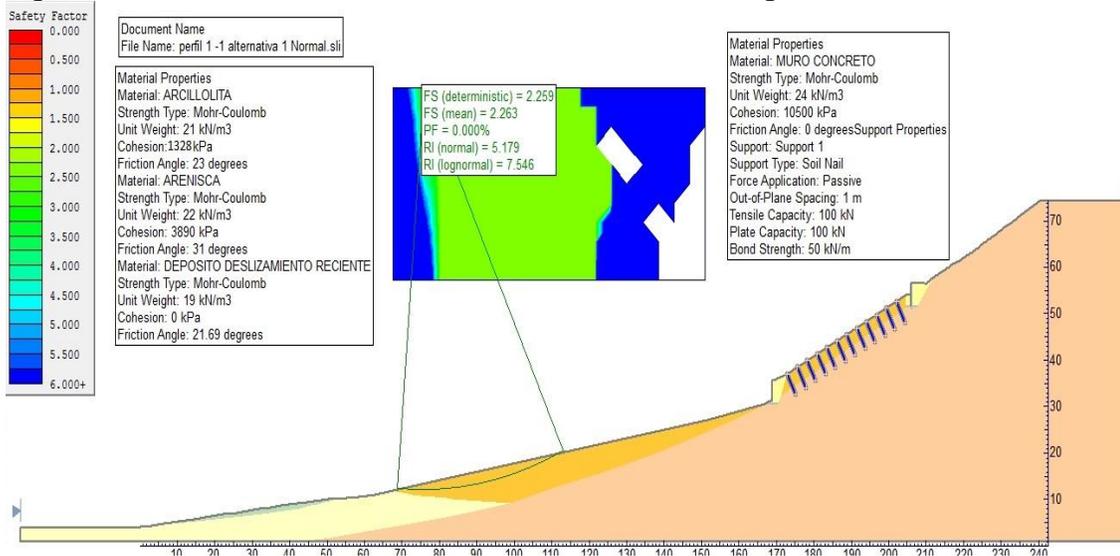


Figura 6.42 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.

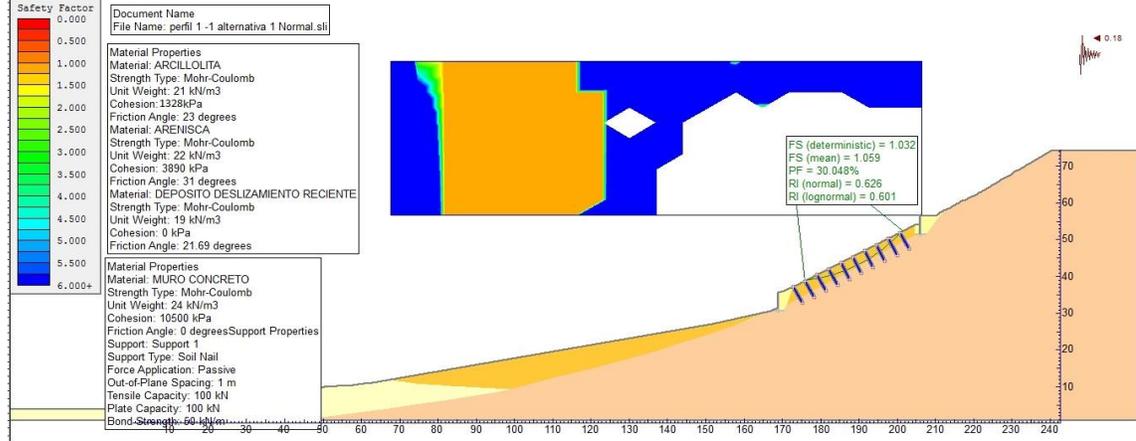


Figura 6.43 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.

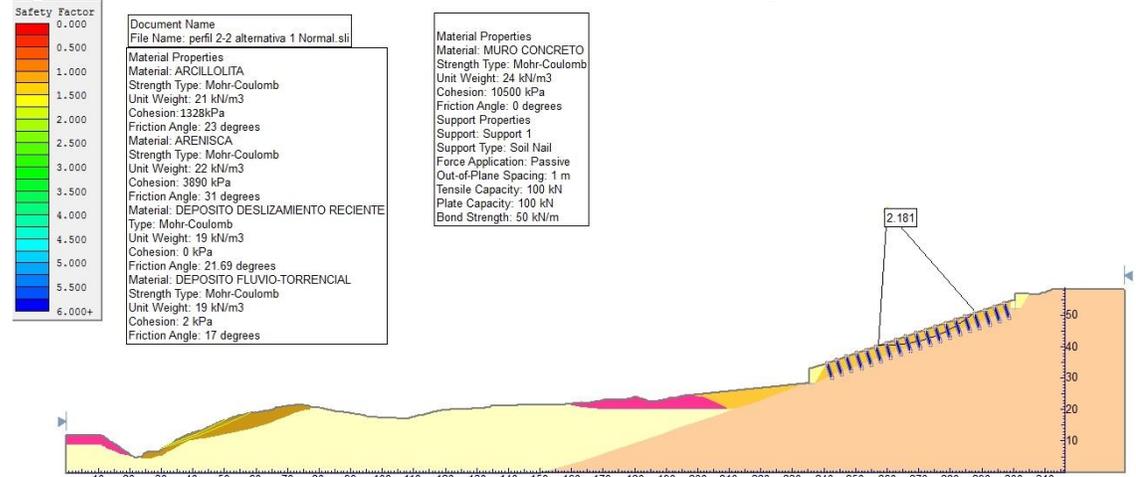


Figura 6.44 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.

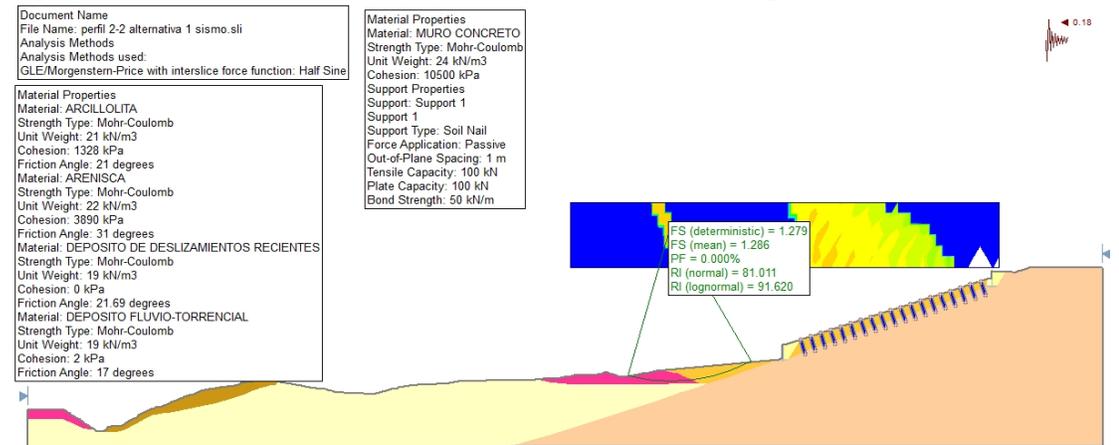


Tabla 6.50 Presupuesto alternativa 1 - Reconformación + Muro Vía + Muro Intermedio + Pernos

Descripción	Und.	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total Ítem
GENERALIDADES				\$ 14.994.315
Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	1.761,00	\$ 2.535	\$ 4.464.135
Aislamiento y Protección de la zona a intervenir H= 2.0 m en repisa y lona verde	ml	855,00	\$ 12.316	\$ 10.530.180
EXCAVACIONES				\$ 1.342.446.373
DESCAPOTE A MAQUINA EN MATERIAL COMUN (e=0.1m. Incluye Cargue). INCLUYE DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS	m ²	13.482,00	\$ 2.872	\$ 38.720.304
Excavación mecánica en material común (incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m ³	48.414,70	\$ 25.367	\$ 1.228.135.695
Excavación manual en suelo (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m ³	554,29	\$ 38.795	\$ 21.503.758
Excavación manual en roca blanda o suelo residual (Incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado)	m ³	1.231,20	\$ 43.930	\$ 54.086.616
ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN				\$ 2.380.795.262
Emptradización con sepedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estación)	m ²	12.133,80	\$ 11.876	\$ 144.101.009
Concreto de 3000 PSI para estructuras de contención (suministro e instalación)	m ³	1.231,20	\$ 562.426	\$ 692.458.608
Suministro y colocación de acero de refuerzo de fy=4200Kg/m ²	Kg	140.088,74	\$ 2.526	\$ 353.808.123
Lloraderos - Tubería en PVC f=1,5"	ml	153,90	\$ 13.348	\$ 2.054.257
Pernos (incluye suministro e instalación), longitud ≥ 2 y ≤ 5 metros(D=25mm, Pult = 100 kN)	ml	5.950,00	\$ 196.433	\$ 1.168.776.350
Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m ³	69,96	\$ 280.116	\$ 19.596.915
OBRAS DE DRENAJE				\$ 278.092.493
DREN HORIZONTAL D = 5 cm	ml	913,08	\$ 186.622	\$ 170.401.282
Geodren Planar	m ²	1.590,00	\$ 29.974	\$ 47.658.660
Cuneta en concreto (rectangular)	ml	437,00	\$ 26.807	\$ 11.714.659
Cuneta tipo 3 en concreto (triangular)	ml	170,00	\$ 56.362	\$ 9.581.540
Construcción cunetas y descoles en sacos de suelo-cemento	ml	526,45	\$ 36.388	\$ 19.156.463
Suministro e instalación de Tubería Ø12" Novafort para conducción a pozo principal (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	ml	87,50	\$ 136.918	\$ 11.980.325
Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	10,00	\$ 302.807	\$ 3.028.070
Malla electrosoldada Q5, para construcción de cunetas	Kg	1.572,96	\$ 2.906	\$ 4.571.494
RELLENOS Y PAVIMENTOS				\$ 152.013.900
Relleno con material seleccionado B-200 (incluye suministro y compactación)	m ³	2.300,00	\$ 66.093	\$ 152.013.900
OBRAS COMPLEMENTARIAS				\$ 1.252.676.897
Demolición manual de viviendas	m ²	1.105,65	\$ 23.253	\$ 25.709.793
Transporte de escombros producto de demolición de viviendas (incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado por la autoridad ambiental)	m ³	431,21	\$ 23.253	\$ 10.026.819
Compra de predios objeto de Reasentamiento.	GL	1,00	\$ 1.216.940.285	\$ 1.216.940.285
			COSTO DIRECTO	\$ 5.421.019.240
AIU			26%	\$ 1.409.465.002
			VALOR OBRA	\$ 6.830.484.242

Plan de seguimiento y monitoreo

Se recomendó realizar un reconocimiento visual periódico de las obras y del terreno, de tal forma que se preste mayor atención a la presencia de síntomas de deterioro prematuro de las obras, movimientos del suelo o del macizo rocoso. Además de la Medición de movimientos horizontales y verticales:

- para esto se disponen 4 inclinómetros, 2 en la parte alta (entre los muros) con una profundidad de 6,5 m cada uno, en la parte baja del coluvión se instalan otros dos inclinómetros de 11 metros cada uno.
- Las lecturas de los inclinómetros se hacen por lo menos cada 15 días durante el primer año, esto con el fin de llevar el registro de los movimientos durante las dos temporadas de lluvias que se presentan al año, para los siguientes 4 años se realizan por lo menos trimestralmente.
- El control de las obras se hacen mediante mediciones topográficas de precisión y tienen la misma frecuencia que la lectura de los inclinómetros.
- Durante la construcción de las obras se debe realizar seguimiento topográfico tanto a las excavaciones como a las obras.

Tabla 6.51 Costo Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico

Ítem	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Mantenimiento y conservación mensual				\$ 716.238
Cuadrilla (1 ofic + 3 ayudantes)	Jornal	3	\$ 182.079	\$ 546.238
Transporte de escombros (incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado por la autoridad ambiental)	m3	2	\$ 50.000	\$ 100.000
Materiales y herramienta menor	GL	1	\$ 70.000	\$ 70.000
Monitoreo				\$ 31.013.200
Topografía (instalación de mojones)	Und	3	\$ 915.200	\$ 2.745.600
Suministro e instalación de piezómetro	ml	35	\$ 445.744	\$ 15.601.040
Suministro e instalación de Inclinómetro	ml	15	\$ 455.104	\$ 6.826.560
Campañas de medición mensual				
Lectura Inclinómetro	Día	2	\$ 1.500.000	\$ 3.000.000
Lectura Piezómetro	Día	2	\$ 120.000	\$ 240.000
Chequeo topográfico	Día	2	\$ 1.300.000	\$ 2.600.000

El registro de los niveles de agua subterránea, se hacen mediante la instalación de dos piezómetros uno en la parte alta de la ladera (entre los muros) y el otro en la parte baja, la profundidad mínima será de 5 m y 10 m, respetivamente, dichos registros se toman cada 15 días durante el primer año, durante los siguientes 4 años se llevan a cabo por lo menos trimestralmente.

De presentarse un sismo y/o un aguacero que sobrepase las condiciones extremas de diseño, debe hacerse inspecciones visuales y campañas de medición.

6.2.15.1.1 Reducción del riesgo

Con esta alternativa se interviene la amenaza de tal forma que la magnitud de los eventos amenazantes se reduzca al punto que de suceder los eventos de inestabilidad local, que se observan en las Figuras 6.41 – 6.44, no afecten los elementos existentes.

La afirmación del párrafo anterior se fundamenta en que las distancias de viaje calculadas para la superficie de falla en cemento, son las que se muestran en la Tabla 6.52:

Tabla 6.52 Longitud de viaje de las superficies de falla locales

Perfil	Área de Deslizamiento (m ²)	Volumen de Deslizamiento (m ³)	Altura H (m)	F=H/L (Figura 6.34)	Longitud de viaje L (m)
1 -1	43	3010	5	0,28	18
2-2	148	10360	15	0,23	65

Además, para los nuevos procesos de remoción en masa supuestos, que tienen un menor tamaño que el proceso inicial, la probabilidad de falla se reduce sustancialmente, como se muestra en la Tabla 6.53:

Tabla 6.53 Probabilidad de falla superficies de falla locales

Condiciones					
Coefficiente sísmico Ao (g)	Probabilidad de excedencia de Ao en el periodo de diseño	Periodo de retorno del coeficiente sísmico (años)	Probabilidad de falla del talud (SLIDE V 5.0)	F.S. Medio	Probabilidad de falla total
PERFIL 1 – 1					
0,18	10%	475	30,04%	1,059	3,00%
PERFIL 2 -2					
0,18	10%	475	0%	1,286	0,00%

Sin embargo; como se dijo anteriormente las distancias de viaje de los procesos de remoción en masa que llegasen a producirse, no generarían pérdidas, ya que no habría elementos expuestos, así las cosas al controlar la amenaza o reducirla a cero, el riesgo por deslizamiento es también cero.

6.2.15.2 Alternativa 2

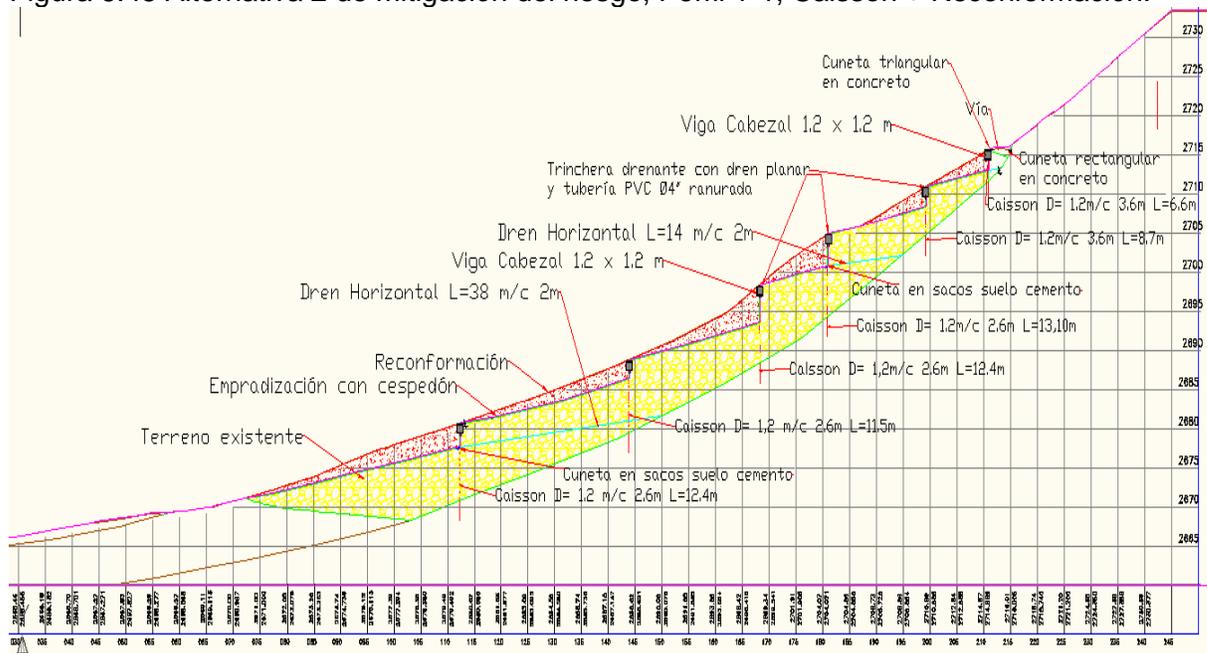
La Alternativa planteada se muestra en detalle en el anexo 5, y consiste principalmente de:

Esta alternativa consta del diseño de 6 hileras de caissons con diámetro igual a 1,2m, con separaciones que varían entre 2,6m y 3,6m, la longitud de empotramiento mínima en el estrato rocoso (arenisca) es de 2m, estos caisson se amarran con vigas cabezales en concreto y reconfiguración del talud entre hileras (Figura 6.45).

El manejo de la escorrentía superficial se hace mediante obra la construcción de trincheras drenantes adyacentes a las vigas de amarre de los caissons, mientras que el agua subsuperficial se maneja con la instalación de drenes de penetración horizontal.

Las obras que se contemplaron en esta intervención tienen un costo de \$10.909.417.632, incluye un A.I.U. del 23% (Tabla 6.54), a este valor se le deben sumar los costos de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico (Tabla 6.55).

Figura 6.45 Alternativa 2 de mitigación del riesgo, Perfil 1-1, Caisson + Reconfiguración.



Las Figuras 6.46-6.49, corresponde al análisis de estabilidad del talud con obras, se observa que la alternativa cumple con los factores de seguridad mínimos exigido en la NSR 2010 (Tabla 6.49).

Figura 6.46 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.

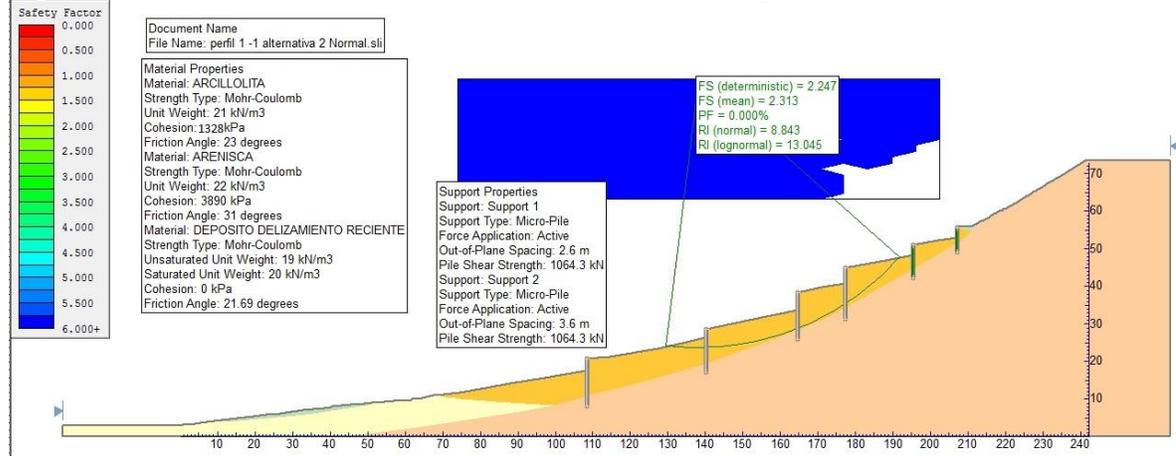


Figura 6.47 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.

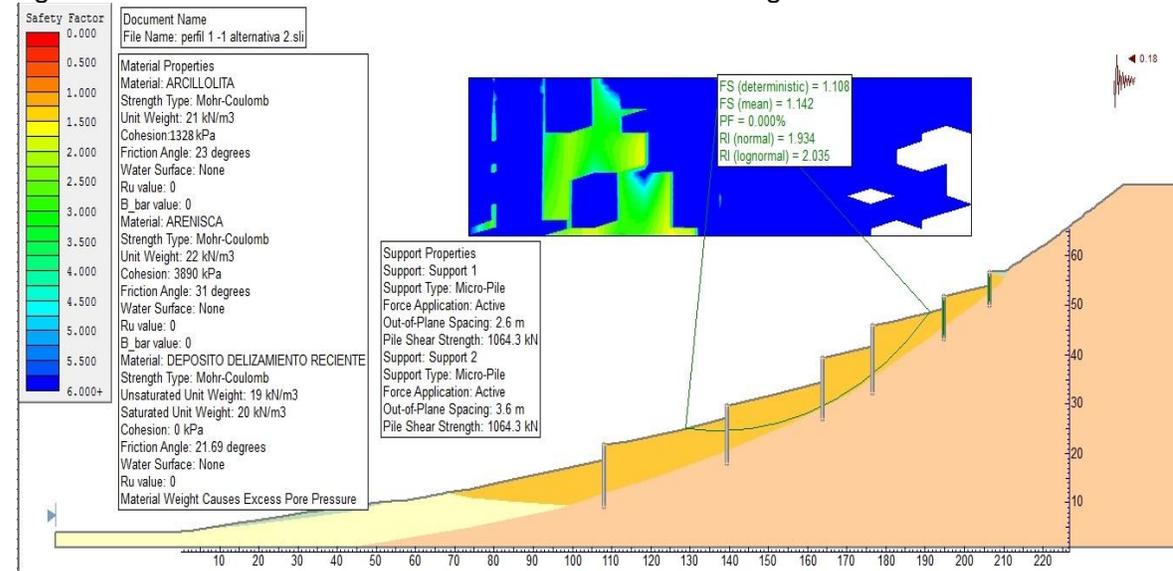


Figura 6.48 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.

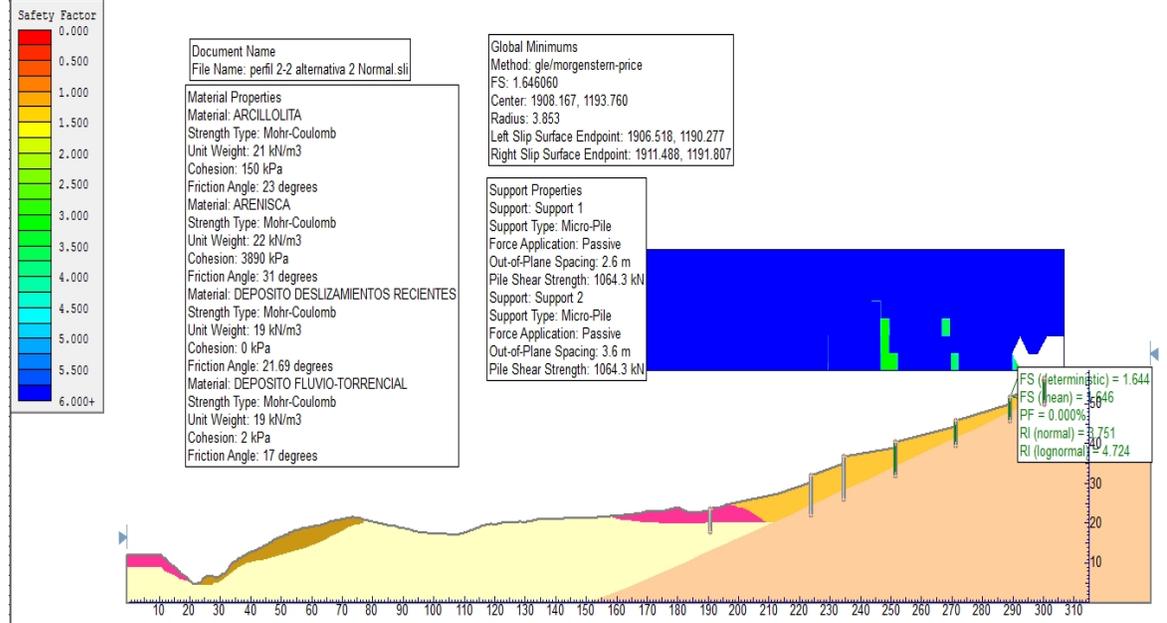


Figura 6.49 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.

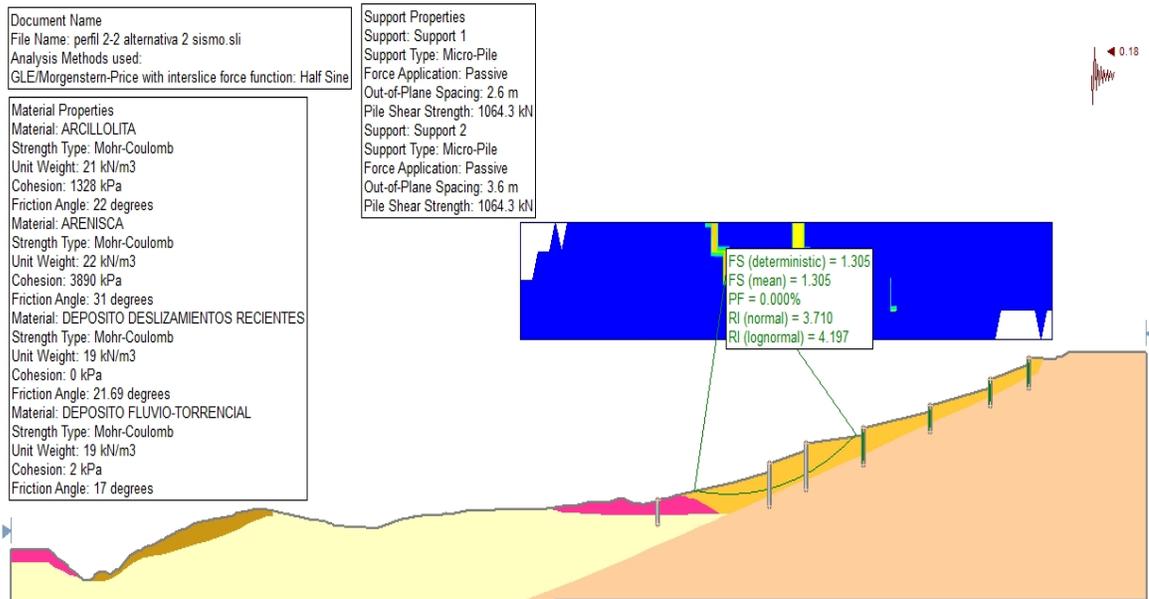


Tabla 6.54 Presupuesto alternativa 2 - Caisson + Reconformación

Descripción	Und.	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total Ítem
GENERALIDADES				\$ 37.898.911
Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	3432,25	\$ 2.535	\$ 8.700.754
Aislamiento y Protección de la zona a intervenir H= 2.0 m en repisa y lona verde	ml	2370,75	\$ 12.316	\$ 29.198.157
EXCAVACIONES				\$ 587.199.530
DESCAPOTE A MAQUINA EN MATERIAL COMUN (e=0.1m. Incluye Cargue).	m ²		\$ 2.872	\$ 34.377.840
INCLUYE DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS		11970,00		
Excavación mecánica en material común (incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m ³	21168,00	\$ 25.367	\$ 536.968.656
Excavación manual en suelo (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m ³	408,64	\$ 38.795	\$ 15.853.034
ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN				\$ 6.541.847.446
Empradización con cespedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estación)	m ²	10773,00	\$ 11.876	\$ 127.940.148
Concreto de 3000 PSI para estructuras de contención (suministro e instalación)	m ³	1175,90	\$ 562.426	\$ 661.358.713
Caisson de D= 1,2 m (incluye suministro e instalación de acero de refuerzo y concreto; excavación, cargue, trasiego y disposición de material sobrante)	ML	2665,98	\$ 2.056.257	\$ 5.481.932.947
Suministro y colocación de acero de refuerzo de fy=4200Kg/m ²	Kg	97112,52	\$ 2.526	\$ 245.267.381
Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m ³	90,49	\$ 280.116	\$ 25.348.257
OBRAS DE DRENAJE				\$ 449.822.445
DREN HORIZONTAL D = 5 cm	ml	1518,43	\$ 186.622	\$ 283.373.190
Cuneta en concreto (rectangular)	ml	728,10	\$ 26.807	\$ 19.518.177
Cuneta tipo 3 en concreto (triangular)	ml	170,00	\$ 56.362	\$ 9.581.540
Construcción cunetas y descoles en sacos de suelo-cemento	ml	237,00	\$ 36.388	\$ 8.623.956
Suministro e instalación de Tubería Ø12" Novafort para conducción a pozo principal (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	ml	172,20	\$ 136.918	\$ 23.577.280
Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	10,00	\$ 302.807	\$ 3.028.070
Malla electrosoldada Q5, para construcción de cunetas	Kg	2417,15	\$ 2.906	\$ 7.024.963
Trinchera drenante con dren planar y tubería PVC Ø4" ranurada (incluye excavación y rellenos, así como suministro e instalación del material a utilizar) de 1,5m de profundidad.	ml	751,10	\$ 126.608	\$ 95.095.269
OBRAS COMPLEMENTARIAS				\$ 1.252.676.897
Demolición manual de viviendas	m ²	1105,65	\$ 23.253	\$ 25.709.793
Transporte de escombros producto de demolición de viviendas (incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado por la autoridad ambiental)	m3	431,21	\$ 23.253	\$ 10.026.819
Compra de predios objeto de Reasentamiento.	GL	1,00	\$ 1.216.940.285	\$ 1.216.940.285
			COSTO DIRECTO	\$ 8.869.445.229
		AIU	23%	\$ 2.039.972.403
			VALOR OBRA	\$ 10.909.417.632

Plan de seguimiento y monitoreo

Se recomendó realizar un reconocimiento visual periódico de las obras y del terreno, prestando mayor atención a la presencia de síntomas deterioro prematuro de las obras, movimientos del suelo o del macizo rocoso. Y la medición de movimientos horizontales y verticales:

- Para esto se disponen 4 inclinómetros de 13 m de profundidad cada uno, 2 en la parte alta y otros 2 en la parte baja del coluvión.
- Las lecturas de los inclinómetros se hacen por lo menos cada 15 días durante el primer año, esto con el fin de llevar el registro de los movimientos durante las dos temporadas de lluvias que se presentan al año, para los siguientes 4 años se realizan por lo menos trimestralmente.
- El control de las obras se hacen mediante mediciones topográficas de precisión y tienen la misma frecuencia que la lectura de los inclinómetros.
- Durante la construcción de las obras se debe realizar seguimiento topográfico tanto a las excavaciones como a las obras.

Tabla 6.55 Costo Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico

Ítem	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Mantenimiento y conservación mensual				\$ 848.317
Cuadrilla (1 ofic + 3 ayudantes)	Jornal	4	\$ 182.079	\$ 728.317
Transporte de escombros (incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado por la autoridad ambiental)	m3	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Materiales y herramienta menor	GL	1	\$ 70.000	\$ 70.000
Monitoreo				\$ 48.297.792
Topografía (instalación de mojones)	Und	3	\$ 915.200	\$ 2.745.600
piezómetro	ml	36	\$ 445.744	\$ 16.046.784
Inclino metro	ml	52	\$ 455.104	\$ 23.655.408
Campañas de Medición				
Lectura Inclinómetro	Día	2	\$ 1.500.000	\$ 3.000.000
Lectura Piezómetro	Día	2	\$ 120.000	\$ 240.000
Chequeo topográfico	Día	2	\$ 1.300.000	\$ 2.600.000

El registro de los niveles de agua subterránea, se hace mediante la instalación de tres piezómetros uno en la parte alta de la ladera y los otros dos en la parte baja, la profundidad mínima será de 12 m, dichos registros se toman cada 15 días durante el primer año, durante los siguientes 4 años se llevan a cabo por lo menos trimestralmente.

De presentarse un sismo y/o un aguacero que sobrepase las condiciones extremas de diseño, se debe hacer inspección visual y campañas de medición.

6.2.15.2.1 Reducción del riesgo

Con esta alternativa se interviene la amenaza de tal forma que la magnitud de los eventos amenazantes se reduzca al punto que de suceder los eventos de inestabilidad local, que se observan en las Figuras 6.46-6.49, no afecten los elementos existentes.

La afirmación del párrafo anterior se fundamenta en que las distancias de viaje calculadas para la superficie de falla en comento, son las que se muestran en la Tabla 6.56:

Tabla 6.56 Longitud de viaje de las superficies de falla locales

Perfil	Área de Deslizamiento (m ²)	Volumen de Deslizamiento (m ³)	Altura H (m)	F=H/L (Figura 6.34)	Longitud de viaje L (m)
1 -1	237	16590	20	0,24	83
2-2	19	1330	4	0,29	14

Además, para los nuevos procesos de remoción en masa supuestos, que tienen un menor tamaño que el proceso inicial, la probabilidad de falla se reduce sustancialmente, como se muestra en la Tabla 6.53:

Tabla 6.53 Probabilidad de falla superficies de falla locales

Coeficiente sísmico Ao (g)	Condiciones		Probabilidad de falla del talud (SLIDE V 5.0)	F.S. Medio	Probabilidad de falla total
	Probabilidad de excedencia de Ao en el periodo de diseño	Periodo de retorno del coeficiente sísmico (años)			
PERFIL 1 – 1					
0,18	10%	475	0,000%	1,934	0,00%
PERFIL 2 -2					
0,18	10%	475	0,000%	1,305	0,00%

Sin embargo; como se dijo anteriormente las distancias de viaje de los procesos de remoción en masa que llegasen a producirse, no generarían pérdidas, ya que no habría elementos expuestos, así las cosas al contralar la amenaza o reducirla a cero, el riesgo por deslizamiento es también cero.

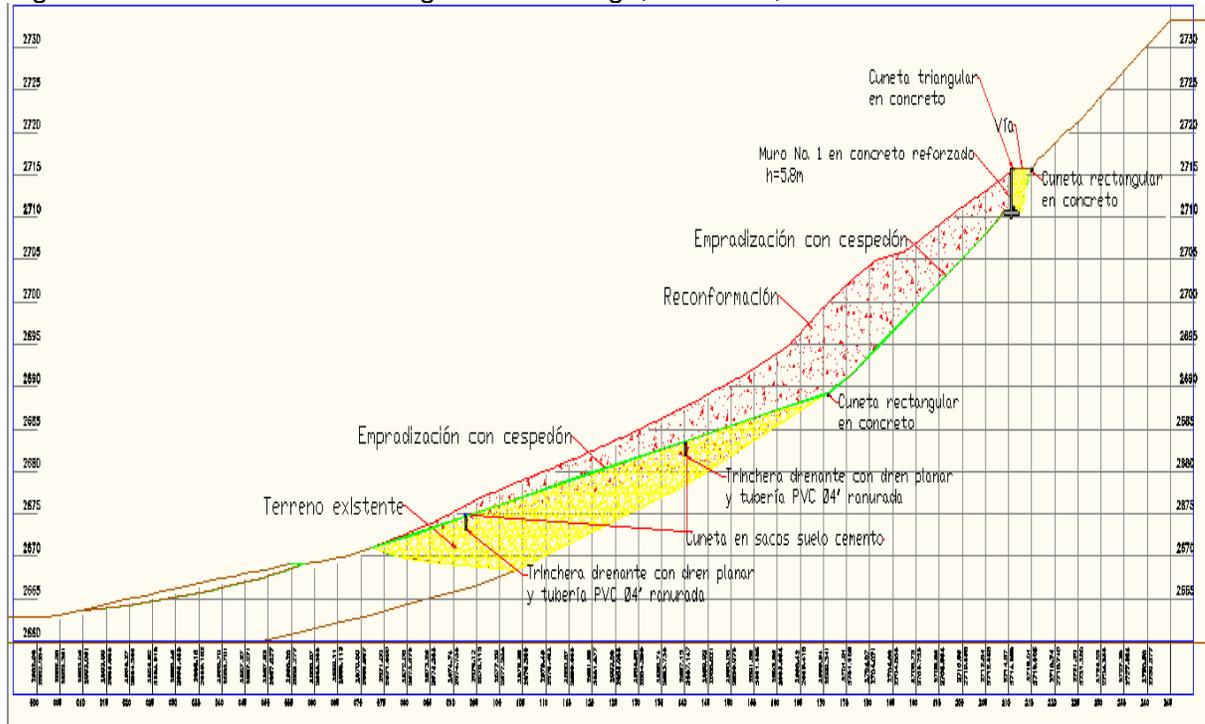
6.2.15.3 Alternativa 3

Otra de las alternativas que se propuso es la No. 3, que se muestra en detalle en el Anexo 7, consiste en:

Retirar la mayor parte del coluvión, de tal forma que la masa de suelo que no se retira, se encuentre estable para las condiciones morfológicas y las propiedades geomécanicas de los materiales existentes; para conservar la vía se diseñó un muro en concreto en cantiliver apoyado en una zarpa y para el manejo del agua se contempló la construcción de trincheras drenantes, cunetas y canales en concreto (Figura 6.50).

Las obras que se plantearon en esta intervención tienen un costo de \$ 4.907.872.807, incluye un A.I.U. del 27% (Tabla 6.58), a este valor se le deben sumar los costos de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico (Tabla 6.59).

Figura 6.50 Alternativa 3 de mitigación del riesgo, Perfil 1-1, Reconformación + Muro Vía.



La Figura 8.7.1.1, corresponde al análisis de estabilidad del talud con obras, se observa que la alternativa cumple con los factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR 2010

Figura 6.51 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.

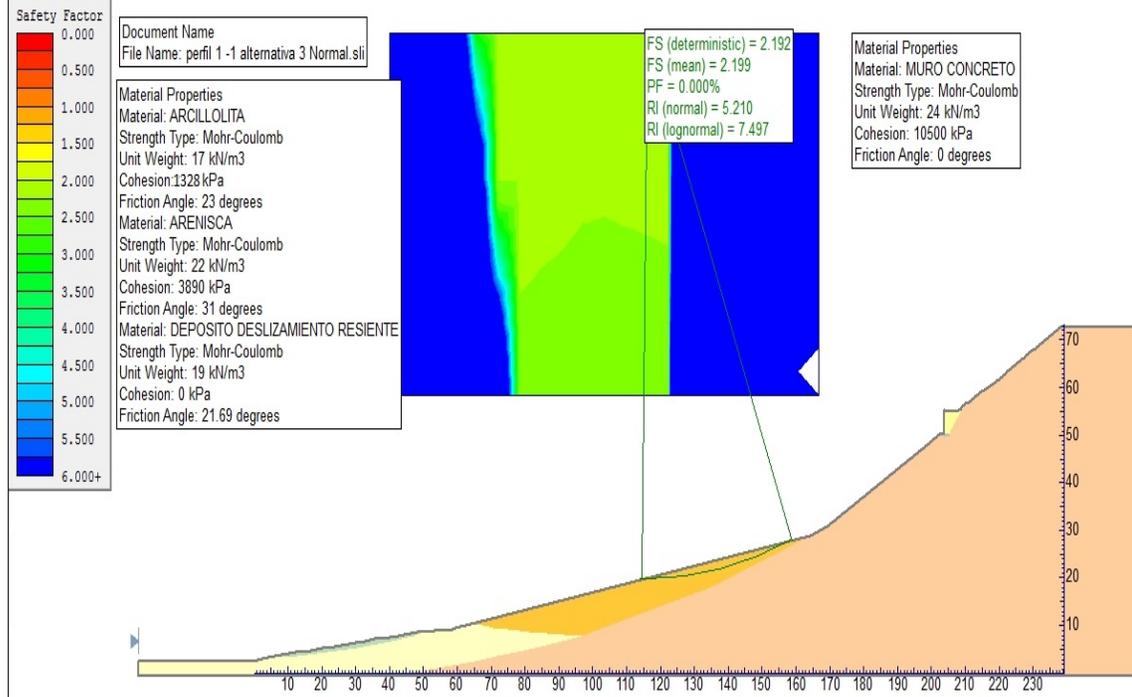


Figura 6.52 Perfil 1-1 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.

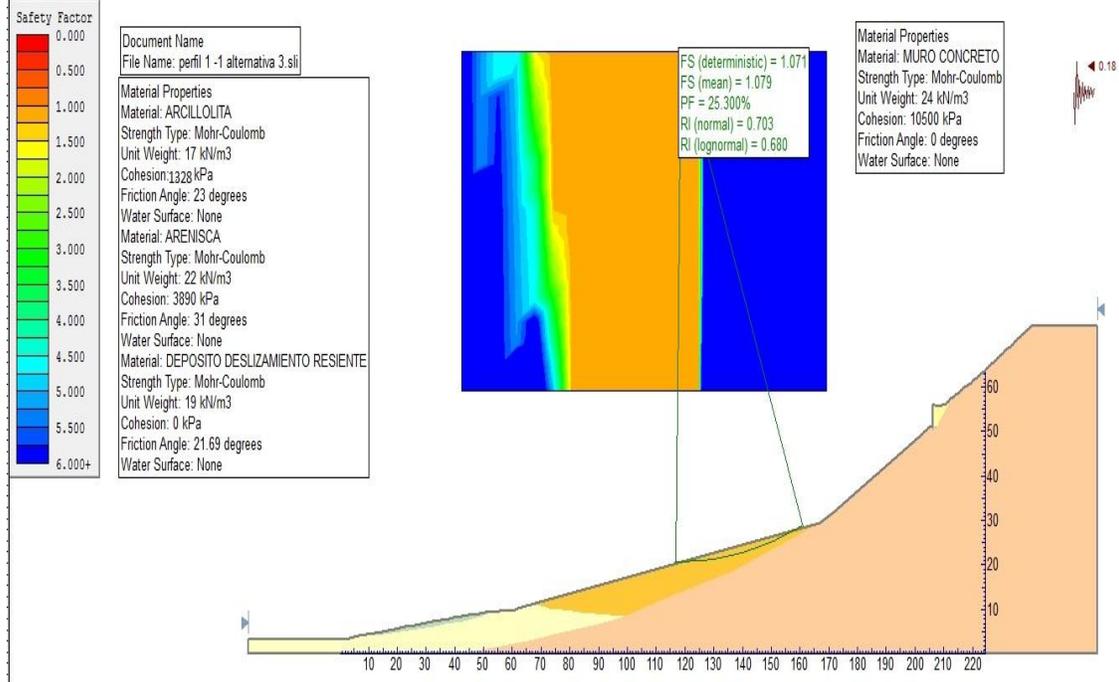


Figura 6.53 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal, sin sismo.

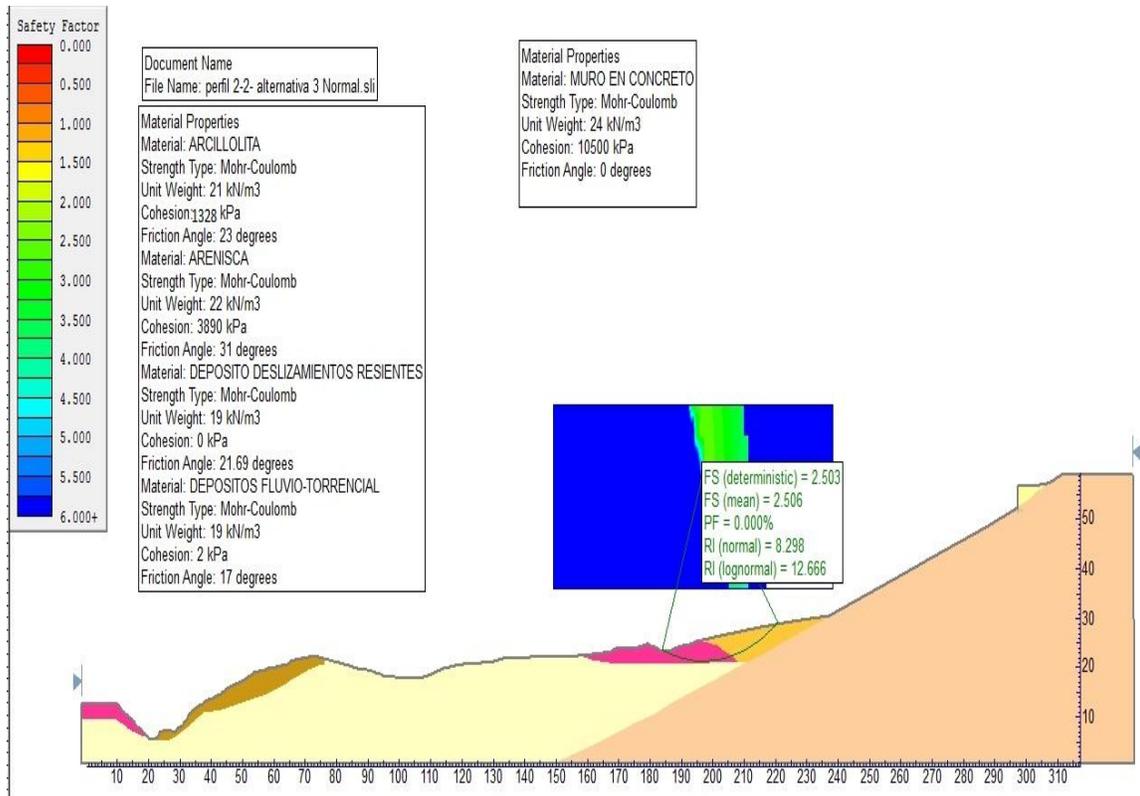


Figura 6.54 Perfil 2-2 Análisis de estabilidad condiciones agua normal con sismo.

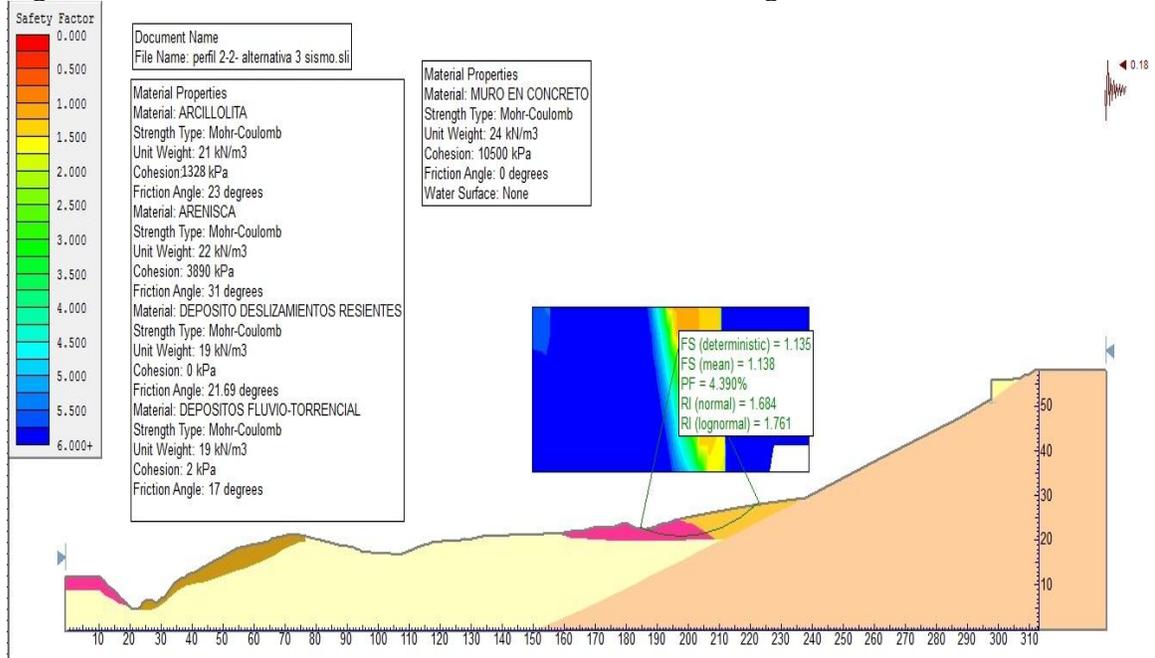


Tabla 6.58 Presupuesto alternativa 3 - Reconformación + Muro Vía

Descripción	Und.	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total Ítem
GENERALIDADES				\$ 12.652.790
Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	1397,25	\$ 2.535	\$ 3.542.029
Aislamiento y Protección de la zona a intervenir H= 2.0 m en repisa y lona verde	ml	739,75	\$ 12.316	\$ 9.110.761
EXCAVACIONES				\$ 1.637.076.465
DESCAPOTE A MAQUINA EN MATERIAL COMUN (e=0.1m. Incluye Cargue). INCLUYE DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS	m ²	13482,00	\$ 2.872	\$ 38.720.304
Excavación mecánica en material común (incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m ³	60489,80	\$ 25.367	\$ 1.534.444.757
Excavación manual en suelo (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m ³	852,50	\$ 38.795	\$ 33.072.544
Excavación manual en roca blanda o suelo residual (Incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado)	m ³	702,00	\$ 43.930	\$ 30.838.860
ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN				\$ 769.856.088
Empradización con cespedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estacón)	m ²	13482,00	\$ 11.876	\$ 160.112.232
Concreto de 3000 PSI para estructuras de contención (suministro e instalación)	m ³	702,00	\$ 562.426	\$ 394.822.891
Suministro y colocación de acero de refuerzo de fy=4200Kg/m ²	Kg	79875,16	\$ 2.526	\$ 201.732.702
Lloraderos - Tubería en PVC f=1,5"	ml	87,75	\$ 13.348	\$ 1.171.287
Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m ³	42,90	\$ 280.116	\$ 12.016.976
OBRAS DE DRENAJE				\$ 68.610.627
Construcción de filtro con geodren planar (incluye suministro e instalación del material) Altura 0,5m	ml	195,00	\$ 49.593	\$ 9.670.635
Cuneta en concreto (rectangular)	ml	341,50	\$ 26.807	\$ 9.154.591
Cuneta tipo 3 en concreto (triangular)	ml	170,00	\$ 56.362	\$ 9.581.540
Construcción cunetas y descoles en sacos de suelo-cemento	ml	135,50	\$ 36.388	\$ 4.930.574
Suministro e instalación de Tubería Ø12" Novafort para conducción a pozo principal (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	ml	100,90	\$ 136.918	\$ 13.815.026
Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	16,00	\$ 302.807	\$ 4.844.912
Malla electrosoldada Q5, para construcción de cunetas	Kg	1296,01	\$ 2.906	\$ 3.766.594
Trinchera drenante con dren planar y tubería PVC Ø4" ranurada (incluye excavación y rellenos, así como suministro e instalación del material a utilizar) de 1,5m de profundidad.	ml	135,50	\$ 94.810	\$ 12.846.755
RELLENOS Y PAVIMENTOS				\$ 123.593.910
Relleno con material seleccionado B-200 (incluye suministro y compactación)	m ³	1870,00	\$ 66.093	\$ 123.593.910
OBRAS COMPLEMENTARIAS				\$ 1.252.676.897
Demolición manual de viviendas	m ²	1105,65	\$ 23.253	\$ 25.709.793
Transporte de escombros producto de demolición de viviendas (incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado por la autoridad ambiental)	m3	431,21	\$ 23.253	\$ 10.026.819
Compra de predios objeto de Reasentamiento (ubicados sobre el cuerpo del deslizamiento).	GL	1,00	\$ 1.216.940.285	\$ 1.216.940.285
			COSTO DIRECTO	\$ 3.864.466.777
	AIU		27%	\$ 1.043.406.030
			VALOR OBRA	\$ 4.907.872.807

Plan de seguimiento y monitoreo

Se recomendó realizar un reconocimiento visual periódico de las obras y del terreno, prestando mayor atención a la presencia de síntomas deterioro prematuro de las obras, movimientos del suelo o del macizo rocoso. Y la medición de movimientos horizontales y verticales:

- Para esto se dispone de 1 inclinómetros de 12 m de profundidad en la parte baja del coluvión.
- Las lecturas de los inclinómetros se hacen por lo menos cada 15 días durante el primer año, esto con el fin de llevar el registro de los movimientos durante las dos temporadas de lluvias que se presentan al año, para los siguientes 4 años se realizan por lo menos trimestralmente.
- El control de las obras se hace mediante mediciones topográficas de precisión y tienen la misma frecuencia que la lectura de los inclinómetros.
- Durante la construcción de las obras se debe realizar seguimiento topográfico tanto a las excavaciones como a las obras.

El registro de los niveles de agua subterránea, se hace mediante la instalación de un piezómetro en la parte baja de la ladera, la profundidad mínima será de 12 m, dichos registros se toman cada 15 días durante el primer año, durante los siguientes 4 años se llevan a cabo por lo menos trimestralmente.

De presentarse un sismo y/o un aguacero que sobrepase las condiciones extremas de diseño, se debe hacer inspección visual y campañas de medición.

Tabla 6.59 Costo Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico

Ítem	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Mantenimiento y conservación mensual				\$ 464.158
Cuadrilla (1 ofic + 3 ayudantes)	Jornal	2	\$ 182.079	\$ 364.158
Transporte de escombros (incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado por la autoridad ambiental)	m3	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Materiales y herramienta menor	GL	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Monitoreo				\$ 19.395.776
Topografía (instalación de mojones)	Und	3	\$ 915.200	\$ 2.745.600
piezómetro	ml	12	\$ 445.744	\$ 5.348.928
Inclino metro	ml	12	\$ 455.104	\$ 5.461.248
Campañas de medición				
Lectura Inclinometro	Día	2	\$ 1.500.000	\$ 3.000.000
Lectura Piezómetro	Día	2	\$ 120.000	\$ 240.000
Chequeo topográfico	Día	2	\$ 1.300.000	\$ 2.600.000

6.2.15.3.1 Reducción del riesgo

Con esta alternativa se interviene la amenaza de tal forma que la magnitud de los eventos amenazantes se reduzca al punto que de suceder los eventos de inestabilidad local, que se observan en las Figuras 6.51-6.54, no afecten los elementos existentes.

La afirmación del párrafo anterior se fundamenta en que las distancias de viaje calculadas para la superficie de falla en comento, son las que se muestran en la Tabla 6.60:

Tabla 6.60 Distancia de viaje calculada para posibles superficies de falla locales

Área de Deslizamiento (m ²)	Volumen de Deslizamiento (m ³)	Altura H (m)	F=H/L (Figura 6.34)	Longitud de viaje L (m)
28	1960	3	0,29	10
137	9590	6	0,24	25

Además, para los nuevos procesos de remoción en masa supuestos, que tienen un menor tamaño que el proceso inicial, la probabilidad de falla se reduce sustancialmente, como se muestra en la Tabla 6.61:

Tabla 6.61 Probabilidad de falla superficies de falla locales

Condiciones			Probabilidad de falla del talud (SLIDE V 5.0)	F.S. Medio	Probabilidad de falla total
Coefficiente sísmico Ao (g)	Probabilidad de excedencia de Ao en el periodo de diseño	Periodo de retorno del coeficiente sísmico (años)			
PERFIL 1 – 1					
0,18	10%	475	0,000%	1,079	0,00%
PERFIL 2 -2					
0,18	10%	475	4,390%	1,138	0,44%

Sin embargo; como se dijo anteriormente las distancias de viaje de los procesos de remoción en masa que llegasen a producirse, no generarían pérdidas, ya que no habría elementos expuestos, así las cosas al contralar la amenaza o reducirla a cero, el riesgo por deslizamiento es también cero.

6.2.15.4 Alternativa 4

Esta la última alternativa que se propuso se muestra en detalle en el Anexo 8, consiste principalmente de:

Se considero el reasentamiento de familias y la compra de 74 predios edificados, que podrían verse afectados si ocurrieran los deslizamientos previstos en los perfiles 1-1 y 2-2.

El valor de reconocimiento mínimo de los predios incluidos dentro del programa de reasentamiento fue de \$ 25'000.000.

A demás se diseñó la construcción de un muro en concreto reforzado que garantizaría que la vía se conserve a pesar de que presente la falla del talud en condiciones extremas, lluvia con periodo de retorno de 100 años y un sismo que produjera una aceleración sísmica $A_0 = 0,18 g$, lo anterior se debió a que se requiere garantizar el funcionamiento de la infraestructura existente en el sector (Figura 6.55).

Las obras de drenaje y subdrenaje diseñadas permiten abatir el nivel freático existente y evitan la erosión del material de relleno detras del muro.

Las obras que se contemplaron en esta intervención tienen un costo de \$7.266.977.793, incluye un A.I.U. del 25% (Tabla 6,42), a este valor se le debe sumar los costos de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico (Tabla 6.43).

Figura 6.55 Alternativa 2 de mitigación del riesgo, Perfil 1-1.

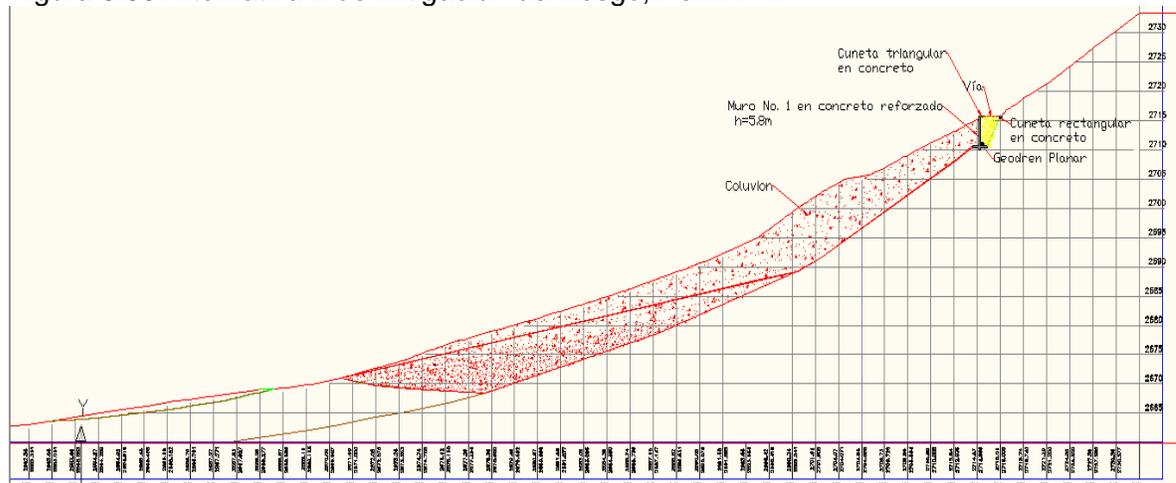


Tabla 6.62 Presupuesto alternativa - Reasentamiento + Muro Vía

Descripción	Und.	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total Ítem
GENERALIDADES				\$ 7.681.290
Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m ²	700,50	\$ 2.535	\$ 1.775.768
Aislamiento y Protección de la zona a intervenir H= 2.0 m en repisa y lona verde	ml	479,50	\$ 12.316	\$ 5.905.522
EXCAVACIONES				\$ 82.647.860
DESCAPOTE A MAQUINA EN MATERIAL COMUN (e=0.1m. Incluye Cargue). INCLUYE DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS	m ²	723,60	\$ 2.872	\$ 2.078.179
Excavación manual en suelo (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m ³	1383,80	\$ 38.795	\$ 53.684.521
Excavación manual en roca blanda o suelo residual (Incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado)	m ³	612,00	\$ 43.930	\$ 26.885.160
ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN				\$ 531.571.566
Concreto de 3000 PSI para estructuras de contención (suministro e instalación)	m ³	612,00	\$ 562.426	\$ 344.204.571
Suministro y colocación de acero de refuerzo de fy=4200Kg/m ²	Kg	69634,75	\$ 2.526	\$ 175.869.535
Lloraderos - Tubería en PVC f=1,5"	ml	76,50	\$ 13.348	\$ 1.021.122
Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m ³	37,40	\$ 280.116	\$ 10.476.338
OBRAS DE DRENAJE				\$ 199.488.008
Construcción de filtro con geodren planar (incluye suministro e instalación del material) Altura 0,5m	ml	170,00	\$ 49.593	\$ 8.430.810
Cuneta en concreto (rectangular)	ml	170,00	\$ 26.807	\$ 4.557.190
Cuneta tipo 3 en concreto (triangular)	ml	170,00	\$ 56.362	\$ 9.581.540
Suministro e instalación de Tubería Ø12" Novafort para conducción a pozo principal (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	ml	21,80	\$ 136.918	\$ 2.984.812
Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	4,00	\$ 302.807	\$ 1.211.228
Malla electrosoldada Q5, para construcción de cunetas	Kg	798,66	\$ 2.906	\$ 2.321.146
DREN HORIZONTAL D = 5 cm	ml	913,08	\$ 186.622	\$ 170.401.282
RELLENOS Y PAVIMENTOS				\$ 123.593.910
Relleno con material seleccionado B-200 (incluye suministro y compactación)	m ³	1870,00	\$ 66.093	\$ 123.593.910
OBRAS COMPLEMENTARIAS				\$ 4.608.253.301
Demolición manual de viviendas	m ²	7154,20	\$ 23.253	\$ 166.356.536
Transporte de escombros producto de demolición de viviendas (incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado por la autoridad ambiental)	m3	2790,14	\$ 23.253	\$ 64.879.049
Compra de predios objeto de Reasentamiento (ubicados sobre el cuerpo del deslizamiento).	GL	1,00	\$ 956.593.986	\$ 956.593.986
Compra de predios objeto de Reasentamiento.	GL	1,00	\$ 3.420.423.730	\$ 3.420.423.730
			COSTO DIRECTO	\$ 5.553.235.935
		AIU	25%	\$ 1.388.308.984
			VALOR OBRA	\$ 6.941.544.919

Plan de seguimiento y monitoreo

Se recomendó realizar un reconocimiento visual periódico de las obras y del terreno, prestando mayor atención a la presencia de síntomas deterioro prematuro de las obras, movimientos del suelo o del macizo rocoso y la medición de movimientos horizontales y verticales:

- Para esto se dispone de 1 inclinómetros de 15 m de profundidad a media ladera.
- Las lecturas de los inclinómetros se hacen por lo menos cada 15 días durante el primer año, esto con el fin de llevar el registro de los movimientos durante las dos temporadas de lluvias que se presentan al año, para los siguientes 4 años se realizan por lo menos trimestralmente.
- El control de las obras se hacen mediante mediciones topográficas de precisión y tendrán la misma frecuencia que la lectura de los inclinómetros.
- Durante la construcción de las obras se debe realizar seguimiento topográfico tanto a las excavaciones como a las obras.

De presentarse un sismo y/o un aguacero, se hará inspección visual y campañas de medición.

Tabla 6.63 Costo Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico

Ítem	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Mantenimiento y conservación mensual				\$ 282.079
Cuadrilla (1 ofic + 3 ayudantes)	Jornal	1	\$ 182.079	\$ 182.079
Transporte de escombros (incluye cargue, retiro y disposición final en sitio autorizado por la autoridad ambiental)	m3	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Materiales y herramienta menor	GL	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Monitoreo				\$ 15.172.160
Topografía (instalación de mojones)	Und	3	\$ 915.200	\$ 2.745.600
Inclino metro	ml	15	\$ 455.104	\$ 6.826.560
Campañas de medición				
Lectura Inclino metro	Día	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Chequeo topográfico	Día	1	\$ 1.300.000	\$ 1.300.000

6.2.15.5 Reducción del riesgo

Al retirar los elementos expuestos se consideró que no existe vulnerabilidad física ni social en el sector en estudio; así las cosas, si se presentara cualquiera de los deslizamientos supuestos no habría pérdidas, por tanto el riesgo aceptable.

Los elementos expuestos retirados son los que se encontraron dentro de las áreas de afectación calculadas para cada perfil en lo análisis de estabilidad en condiciones extremas.

6.2.16 Condición Del Riesgo Con Obras

La mitigación del riesgo por deslizamiento en las alternativas 1, 2 y 3, se concentraron en reducir la amenaza al diseñar obras de estabilidad y/o el retiro del material amenazante, los diseños de estas alternativas cumplieron con los factores de seguridad exigidos para toda la ladera en la Norma Sismo Resistente 2010 (Tabla), así las cosas desde los umbrales antes mencionados la amenaza se elimina.

Respecto a la alternativa 4, con base en el resultado del análisis de estabilidad realizado, se buscó eliminar la vulnerabilidad al recomendar la compra de los elementos que se encontraron expuestos, de producirse el evento amenazante,

6.2.17 Relación Beneficio/Costo De Las Alternativas De Mitigación Del Riesgo Por Deslizamientos

6.2.18 Relación Beneficio/Costo Inicial

Se obtuvo el valor de los sistema de mitigación para el año (0) (Tabla 6.64).

Tabla 6.64 Valor inicial de las alternativas de mitigación (año 0)

Ítem	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
Valor compra de los terrenos de los predios ubicados sobre el cuerpo del deslizamiento	\$ 629.819.550	\$ 629.819.550	\$ 629.819.550	\$ 376.360.830
Valor compra de los predios (terreno más edificaciones) ubicados sobre el cuerpo del deslizamiento	\$ 1.216.940.285	\$ 1.216.940.285	\$ 1.216.940.285	\$ 956.593.986
Valor compra de los terrenos de los predios en riesgo que tienen que ser comprados por reasentamiento				\$ 183.937.515
Valor compra de los predios (terreno más edificaciones) en riesgo que tienen que ser comprados por reasentamiento				\$ 3.420.423.730
Valor Obras (incluye A.I.U.)	\$ 5.613.543.957	\$ 9.692.477.347	\$ 3.690.932.522	\$ 2.564.527.203
Valor Total Alternativa	\$ 6.830.484.242	\$ 10.909.417.632	\$ 4.907.872.807	\$ 6.941.544.919

Las pérdidas económicas esperadas totales se tasaron en \$ 2.614.919.245 (Tabla 6.45), para efectos de determinar la relación beneficio/ costo inicial se consideró como el beneficio el valor de las pérdidas esperadas, ya que al implementar el sistema de mitigación se evita que se causen dichas pérdidas.

Para estimar las relaciones beneficio/costo inicial de cada proyecto, se utilizó la Ecuación 6.14. , los resultados que se relacionan en la Tabla 6.65, resultaron de

dividir las pérdidas esperadas (Beneficio) entre el valor total inicial de las alternativas.

Tabla 6.65 Relación beneficio/costo valores iniciales (año 0)

Ítem	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA
	1	2	3	4
Relación Beneficio Costo Inicial	0,38	0,24	0,53	0,38

6.2.19 Costo De Implementación, Servicio Y Valor Residual De Las Alternativas

Seguidamente se procedió a estimar el valor de cada sistema de mitigación para el tiempo de diseño, considerando todos los costos asociados a cada uno de estos.

Como los terrenos de los predios que adquiere el Distrito para poder desarrollar las obras se vuelven un activo contable, determinó el Valor Futuro de estos (Tabla 6.66), utilizando la Ecuación 6.16 de valor futuro para un periodo de diseño de 50 años, dicho valor se consideró como el Valor Residual de cada alternativa, ya que los terrenos se podrían vender o utilizar.

$$VF = VI + (1 + IA)^n \quad (6.16)$$

Donde;

VI: Valor Inicial de los terrenos sin edificaciones.

IA: Incremento Anual (según Metro Cuadrado los predios ubicados en el sector de Fiscala Parte Alta en condiciones normales o sin riesgo por deslizamiento tenían un incremento anual promedio en su valor del (1%) hasta la declaratoria de la emergencia, mientras que los predios que se compran y permanecen en riesgo por deslizamiento no tienen incremento en su valor.

N: Periodo de Diseño 50 años.

Tabla 6.66 valor futuro de los terrenos compadrados por el Distrito

Ítem	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA
	1	2	3	4
Valor Futuro de los terreno comprados por el Distrito (interés compuesto)	\$1.025.565.618	\$1.025.565.618	\$1.025.565.618	\$560.298345

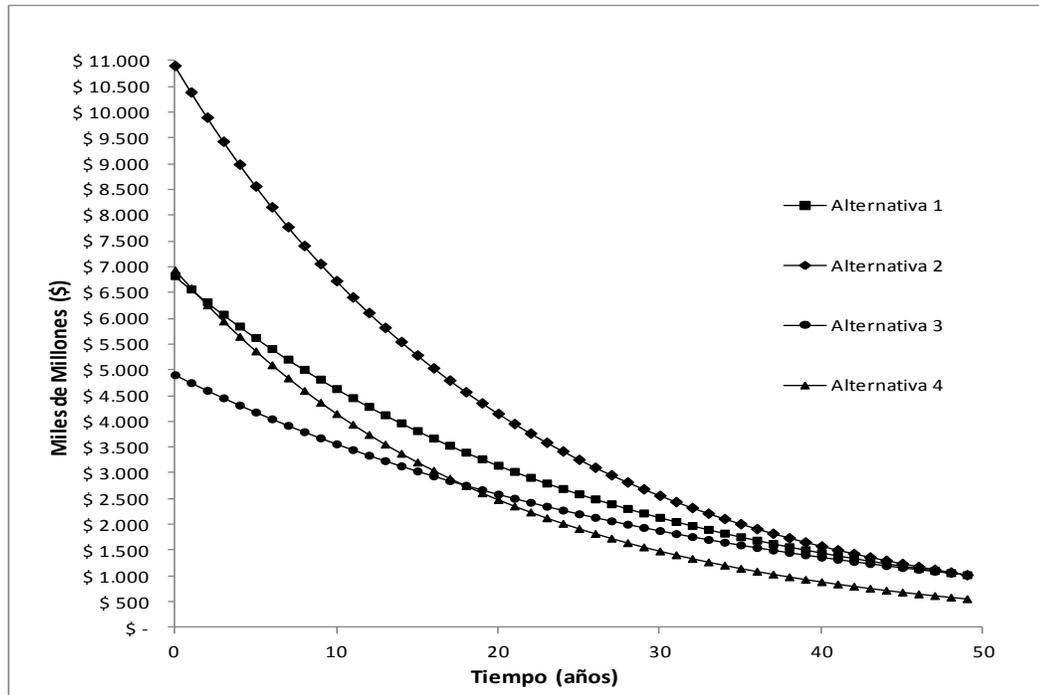
Con el fin de poder realizar una comparación para un mismo tiempo, se calculó el Valor Presente Neto (Ecuación 6.15) de los programas de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico (Tabla 6.68) y de los terrenos adquiridos (Tabla 6.67), considerando una tasa de descuento de 1,62% obtenida de la proyección de la variación porcentual del IPC DANE para los 50 años de servicio.

Tabla 6.67 Valor presente neto de los predios adquiridos – (Valor Residual)

Ítem	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
Valor Presente Neto de los terrenos comprados por el Distrito	\$ 465.794.557	\$ 465.794.557	\$ 465.794.557	\$ 254.478.031

Se consideró que las obras construidas sufren una depreciación del 100% al final de su vida útil, en este caso 50 años, por lo que se puede decir que pasado este periodo de tiempo, la depreciación del valor de las proyectos sería hasta el valor residual mencionado en la Tabla 6.67 (Figura 6.56) .

Figura 6.56 Depreciación de los sistemas de mitigación para el final del periodo de diseño



De la Figura anterior se observó claramente que la alternativa 2 es la que más depreciación de su valor presenta, mientras que la alternativa 3 es la que menos depreciación sufre.

Dentro del valor total de cada proyecto se tuvo en cuenta los costos de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico para cada año durante el periodo de servicio para el cual fueron diseñadas las alternativas de mitigación del riesgo por deslizamiento (Tabla 6.68).

Tabla 6.68 Costo anual de implementación del programa de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico.

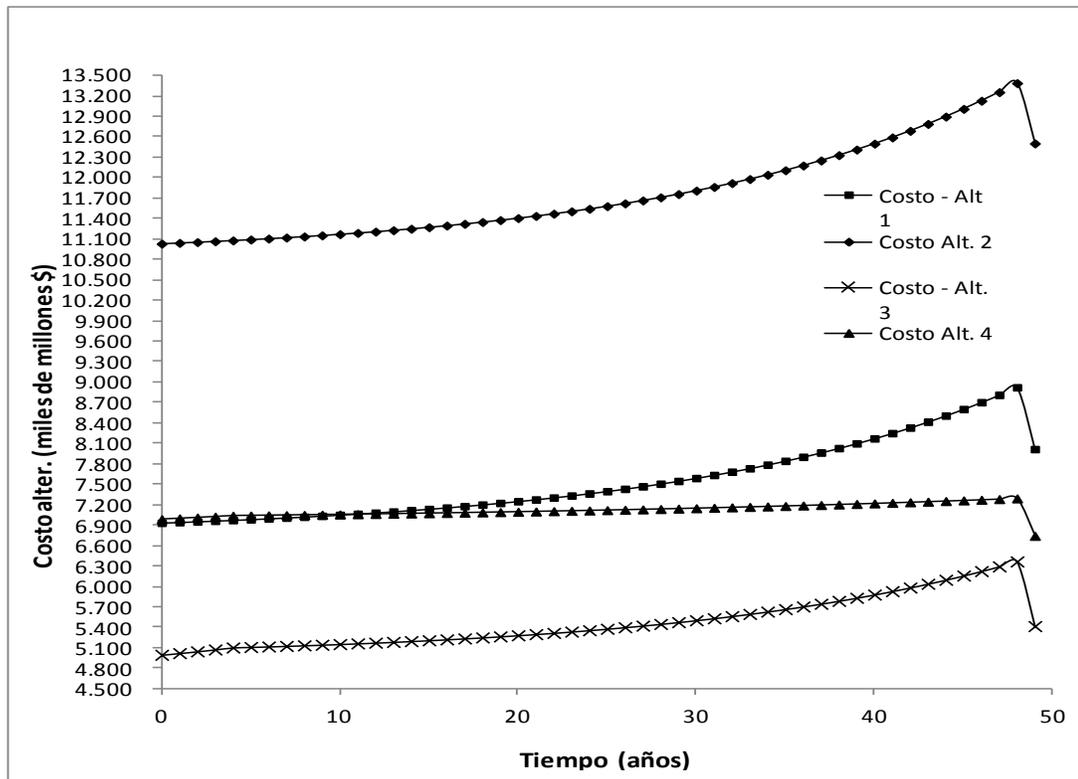
año	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4	
	Costo Mantenimiento, conservación y Monitoreo geotécnico (millones)	Valor Presente Neto del Mantenimiento, conservación y Monitoreo geotécnico (millones)	Costo Mantenimiento, conservación y Monitoreo geotécnico (millones)	Valor Presente Neto del Mantenimiento, conservación y Monitoreo geotécnico (millones)	Costo Mantenimiento, conservación y Monitoreo geotécnico (millones)	Valor Presente Neto del Mantenimiento, conservación y Monitoreo geotécnico (millones)	Costo Mantenimiento, conservación y Monitoreo geotécnico (millones)	Valor Presente Neto del Mantenimiento, conservación y Monitoreo geotécnico (millones)
0	\$ 103.848.050	\$ 103.848.050	\$ 122.717.592	\$ 122.717.592	\$ 89.205.676	\$ 89.205.676	\$ 45.357.110	\$ 45.357.110
1	\$ 9.446.879	\$ 9.295.934	\$ 11.119.001	\$ 10.941.339	\$ 24.735.242	\$ 24.340.017	\$ 11.851.478	\$ 11.662.113
2	\$ 9.572.442	\$ 9.268.985	\$ 11.336.531	\$ 10.977.150	\$ 26.001.733	\$ 25.177.448	\$ 12.466.456	\$ 12.071.255
3	\$ 10.092.528	\$ 9.616.436	\$ 11.953.642	\$ 11.389.755	\$ 27.430.302	\$ 26.136.338	\$ 13.151.513	\$ 12.531.119
4	\$ 10.647.514	\$ 9.983.138	\$ 12.610.989	\$ 11.824.097	\$ 28.938.944	\$ 27.133.233	\$ 13.874.836	\$ 13.009.084
5	\$ 11.233.125	\$ 10.363.923	\$ 13.304.591	\$ 12.275.102	\$ 7.279.637	\$ 6.716.349	\$ 2.855.642	\$ 2.634.677
6	\$ 11.850.947	\$ 10.759.234	\$ 14.036.344	\$ 12.743.311	\$ 7.680.017	\$ 6.972.531	\$ 2.941.312	\$ 2.670.357
7	\$ 12.502.749	\$ 11.169.623	\$ 14.808.343	\$ 13.229.379	\$ 8.102.417	\$ 7.238.484	\$ 3.029.551	\$ 2.706.520
8	\$ 13.190.400	\$ 11.595.666	\$ 15.622.802	\$ 13.733.987	\$ 8.548.050	\$ 7.514.581	\$ 3.120.437	\$ 2.743.173
9	\$ 13.915.872	\$ 12.037.959	\$ 16.482.056	\$ 14.257.842	\$ 9.018.193	\$ 7.801.210	\$ 3.214.051	\$ 2.780.322
10	\$ 14.681.245	\$ 12.497.123	\$ 17.388.569	\$ 14.801.679	\$ 9.514.194	\$ 8.098.771	\$ 3.310.472	\$ 2.817.975
11	\$ 15.488.714	\$ 12.973.800	\$ 18.344.940	\$ 15.366.259	\$ 10.037.474	\$ 8.407.682	\$ 3.409.786	\$ 2.856.137
12	\$ 16.340.593	\$ 13.468.660	\$ 19.353.912	\$ 15.952.374	\$ 10.589.536	\$ 8.728.377	\$ 3.512.080	\$ 2.894.816
13	\$ 17.239.326	\$ 13.982.395	\$ 20.418.377	\$ 16.560.845	\$ 11.171.960	\$ 9.061.303	\$ 3.617.442	\$ 2.934.019
14	\$ 18.187.489	\$ 14.515.725	\$ 21.541.388	\$ 17.192.525	\$ 11.786.418	\$ 9.406.928	\$ 3.725.965	\$ 2.973.752
15	\$ 19.187.801	\$ 15.069.398	\$ 22.726.164	\$ 17.848.299	\$ 12.434.671	\$ 9.765.736	\$ 3.837.744	\$ 3.014.024
16	\$ 20.243.130	\$ 15.644.190	\$ 23.976.103	\$ 18.529.087	\$ 13.118.578	\$ 10.138.231	\$ 3.952.877	\$ 3.054.842
17	\$ 21.356.502	\$ 16.240.906	\$ 25.294.789	\$ 19.235.841	\$ 13.840.099	\$ 10.524.933	\$ 4.071.463	\$ 3.096.212
18	\$ 22.531.109	\$ 16.860.382	\$ 26.686.002	\$ 19.969.554	\$ 14.601.305	\$ 10.926.385	\$ 4.193.607	\$ 3.138.142
19	\$ 23.770.320	\$ 17.503.488	\$ 28.153.732	\$ 20.731.252	\$ 15.404.377	\$ 11.343.150	\$ 4.319.415	\$ 3.180.640
20	\$ 25.077.688	\$ 18.171.123	\$ 29.702.188	\$ 21.522.004	\$ 16.251.617	\$ 11.775.812	\$ 4.448.998	\$ 3.223.714
21	\$ 26.456.961	\$ 18.864.224	\$ 31.335.808	\$ 22.342.917	\$ 17.145.456	\$ 12.224.976	\$ 4.582.468	\$ 3.267.370
22	\$ 27.912.094	\$ 19.583.761	\$ 33.059.277	\$ 23.195.143	\$ 18.088.457	\$ 12.691.274	\$ 4.719.942	\$ 3.311.619
23	\$ 29.447.259	\$ 20.330.744	\$ 34.877.538	\$ 24.079.875	\$ 19.083.322	\$ 13.175.357	\$ 4.861.540	\$ 3.356.466
24	\$ 31.066.858	\$ 21.106.220	\$ 36.795.802	\$ 24.998.353	\$ 20.132.904	\$ 13.677.904	\$ 5.007.386	\$ 3.401.921
25	\$ 32.775.535	\$ 21.911.274	\$ 38.819.571	\$ 25.951.865	\$ 21.240.214	\$ 14.199.620	\$ 5.157.608	\$ 3.447.991
26	\$ 34.578.190	\$ 22.747.035	\$ 40.954.648	\$ 26.941.746	\$ 22.408.426	\$ 14.741.236	\$ 5.312.336	\$ 3.494.685
27	\$ 36.479.990	\$ 23.614.675	\$ 43.207.153	\$ 27.969.385	\$ 23.640.889	\$ 15.303.511	\$ 5.471.706	\$ 3.542.012
28	\$ 38.486.390	\$ 24.515.409	\$ 45.583.547	\$ 29.036.221	\$ 24.941.138	\$ 15.887.232	\$ 5.635.857	\$ 3.589.979
29	\$ 40.603.141	\$ 25.450.500	\$ 48.090.642	\$ 30.143.749	\$ 26.312.901	\$ 16.493.219	\$ 5.804.933	\$ 3.638.596
30	\$ 42.836.314	\$ 26.421.258	\$ 50.735.627	\$ 31.293.521	\$ 27.760.110	\$ 17.122.319	\$ 5.979.081	\$ 3.687.872
31	\$ 45.192.311	\$ 27.429.044	\$ 53.526.087	\$ 32.487.150	\$ 29.286.916	\$ 17.775.416	\$ 6.158.453	\$ 3.737.815
32	\$ 47.677.888	\$ 28.475.269	\$ 56.470.022	\$ 33.726.307	\$ 30.897.697	\$ 18.453.423	\$ 6.343.207	\$ 3.788.434
33	\$ 50.300.172	\$ 29.561.401	\$ 59.575.873	\$ 35.012.728	\$ 32.597.070	\$ 19.157.292	\$ 6.533.503	\$ 3.839.738
34	\$ 53.066.681	\$ 30.688.961	\$ 62.852.546	\$ 36.348.218	\$ 34.389.909	\$ 19.888.008	\$ 6.729.508	\$ 3.891.738
35	\$ 55.985.349	\$ 31.859.530	\$ 66.309.436	\$ 37.734.648	\$ 36.281.354	\$ 20.646.596	\$ 6.931.393	\$ 3.944.441
36	\$ 59.064.543	\$ 33.074.747	\$ 69.956.455	\$ 39.173.960	\$ 38.276.828	\$ 21.434.119	\$ 7.139.335	\$ 3.997.859
37	\$ 62.313.093	\$ 34.336.317	\$ 73.804.060	\$ 40.668.172	\$ 40.382.054	\$ 22.251.680	\$ 7.353.515	\$ 4.052.000
38	\$ 65.740.313	\$ 35.646.006	\$ 77.863.283	\$ 42.219.377	\$ 42.603.067	\$ 23.100.425	\$ 7.574.121	\$ 4.106.874
39	\$ 69.356.030	\$ 37.005.651	\$ 82.145.764	\$ 43.829.750	\$ 44.946.236	\$ 23.981.544	\$ 7.801.344	\$ 4.162.491
40	\$ 73.170.612	\$ 38.417.157	\$ 86.663.781	\$ 45.501.548	\$ 47.418.279	\$ 24.896.272	\$ 8.035.385	\$ 4.218.861
41	\$ 77.194.996	\$ 39.882.502	\$ 91.430.289	\$ 47.237.112	\$ 50.026.284	\$ 25.845.890	\$ 8.276.446	\$ 4.275.995
42	\$ 81.440.720	\$ 41.403.740	\$ 96.458.954	\$ 49.038.877	\$ 52.777.729	\$ 26.831.729	\$ 8.524.739	\$ 4.333.902
43	\$ 85.919.960	\$ 42.983.002	\$ 101.764.197	\$ 50.909.366	\$ 55.680.505	\$ 27.855.172	\$ 8.780.482	\$ 4.392.594
44	\$ 90.645.558	\$ 44.622.502	\$ 107.361.228	\$ 52.851.201	\$ 58.742.932	\$ 28.917.651	\$ 9.043.896	\$ 4.452.080
45	\$ 95.631.063	\$ 46.324.537	\$ 113.266.095	\$ 54.867.103	\$ 61.973.794	\$ 30.020.656	\$ 9.315.213	\$ 4.512.372
46	\$ 100.890.772	\$ 48.091.493	\$ 119.495.731	\$ 56.959.898	\$ 65.382.352	\$ 31.165.734	\$ 9.594.669	\$ 4.573.480
47	\$ 106.439.764	\$ 49.925.846	\$ 126.067.996	\$ 59.132.519	\$ 68.978.382	\$ 32.354.488	\$ 9.882.509	\$ 4.635.417
48	\$ 112.293.951	\$ 51.830.167	\$ 133.001.736	\$ 61.388.010	\$ 72.772.193	\$ 33.588.585	\$ 10.178.985	\$ 4.698.191
49	\$ 118.470.119	\$ 53.807.124	\$ 140.316.831	\$ 63.729.531	\$ 76.774.663	\$ 34.869.753	\$ 10.484.354	\$ 4.761.816
Total	\$ 1.334.776.230	\$ 1.334.776.230	\$ 1.580.567.525	\$ 1.580.567.525	\$ 964.964.254	\$ 964.964.254	\$ 256.464.609	\$ 256.464.609

A partir de los presupuestos se establecieron los costos de implementar los programas de mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico por cada año del periodo de diseño.

El mantenimiento tuvo un incremento anual igual al 1,62% (IPC - DANE) y la mano de obra se calculó con el incremento promedio del salario mínimo (5,5%).

En la Figura 6.57, se muestra el flujo de inversión proyectado para cada alternativa de mitigación del riesgo por deslizamiento.

Figura 6.57 Flujos de Inversión por Alternativa proyectado para el periodo de servicio.



Como se indicó en la metodología propuesta, el Valor Presente Neto de los sistemas de mitigación del riesgo diseñados resultó de sumar el valor inicial del sistema de mitigación con los costos a Valor Presente Neto de la implementación del programa de Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico y de restar el Valor Residual del Proyecto (Tabla 6.69).

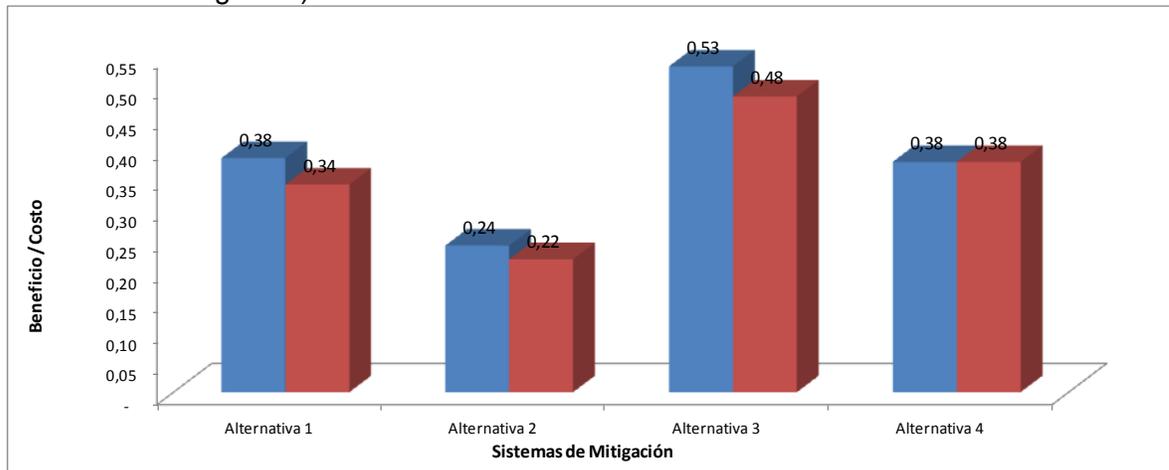
Tabla 6.69 Valor Total Presente Neto de los sistemas de mitigación del riesgo.

Alternativa	Valor Inicial (Pesos)	Valor Presente Neto Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico (Pesos)	Valor Residual del Proyecto (Pesos)	Valor Total Presente Alternativas (Pesos)	Relación Beneficio - Costo
1	\$ 6.830.484.242	\$ 1.334.776.229,77	\$ 465.794.557,44	\$ 7.699.465.914,33	0,34
2	\$ 10.909.417.632	\$ 1.580.567.524,71	\$ 465.794.557,44	\$ 12.024.190.599,27	0,22
3	\$ 4.907.872.807	\$ 964.964.254,41	\$ 465.794.557,44	\$ 5.407.042.503,96	0,48
4	\$ 6.941.544.919	\$ 256.464.608,59	\$ 254.478.031,43	\$ 6.943.531.496,17	0,38

6.2.20 Comparativo De Las Relaciones Beneficio/Costo

En la Figura 6.58, se compararon las relaciones beneficio/costo inicial con la relación donde se consideraron todos los valores asociados a la implementación de cada sistema de mitigación, así como el valor residual de cada una de estas.

Figura 6.58 Comparativo relaciones Beneficio/costo iniciales vs finales (VPN de los sistemas de mitigación).



6.2.21 Selección De Alternativas De Mitigación

Se estableció que el sistema de mitigación del riesgo por proceso de remoción en masa diseñando, que presento la mayor relación beneficio/ costo, fue el número 3, motivo por el cual se recomienda para implementación esta alternativa.

7. Análisis De Resultados Y Discusión

Como resultado de la revisión de la información secundaria, para realizar la evaluación cuantitativa de la amenaza, se propusieron 2 nuevos perfiles geológicos – geotécnicos, así como 45 diferentes escenarios de evaluación de la estabilidad para cada perfil, para esto fue necesario determinar la influencia del agua y de la amenaza sísmica local en la estabilidad de la ladera; a su vez se trato sin éxito de caracterizar geomecánicamente los materiales encontrados en condiciones de falla, lo que obligo a realizar un retroanálisis a partir del levantamiento topográfico realizado previo a que se presentara los movimientos de la masa de suelo, esto con el fin de inducir los parámetros geomecánicos de los materiales.

De la evaluación cuantitativa de la amenaza (Tabla 6.29) se obtuvo que para el perfil 1 – 1, se produjeron 4 diferentes tamaños de superficie de falla profunda, siendo el escenario 24 el que representó la condición de estabilidad más crítica, esto en cuanto al volumen de la masa de suelo a deslizarse y la probabilidad falla total que para este caso es del 23%, este escenario fue dado por la condición de agua subterránea normal, infiltración debida a un aguacero con periodo de retorno de 5 años y coeficiente sísmico de diseño A_0 igual a 0,062 g, cuyo periodo de retorno es de 100 años, mientras que para él para el perfil 2 – 2, la Tabla 6.30 nos mostró que sin importar las condiciones análisis la superficie de falla profunda fue igual en todos los casos, sin embargo la probabilidad acumulada de que se dé la falla del talud difiere para cada escenario, siendo el numero 22 el mas critico con una probabilidad de falla total del talud igual al 90,11%, infiltración debida a un aguacero con periodo de retorno de 5 años y coeficiente sísmico de diseño A_0 igual a 0,035 g, cuyo periodo de retorno es de 20 años.

Considerando que la NSR 10, exige que los análisis de estabilidad del talud se deben realizar para dos diferentes escenarios, uno en condición estática y agua subterránea normal (influencia del aguacero con periodo de retorno 50 años) y el otro con condición de agua subterránea normal (influencia del aguacero con periodo de retorno 50 años) y coeficiente sísmico de diseño A_0 con periodo de retorno 475 años, se puede decir que los mecanismos de falla con mayor tamaño se alcanzaron para los dos perfiles en condiciones de magnitud inferior y con periodos de retorno mucho menores a los que hace referencia la NSR10, esto que hace que la probabilidad de falla del talud sea muy superior, afectando sustancialmente la estimación de pérdidas esperadas (Tabla 7.2).

En la Tabla 7.1, se muestra la comparación entre el escenario mas crítico de cada perfil con los escenarios exigidos por la NSR-10 (escenario 35), encontrándose una diferencia en la probabilidad de falla total o acumulada de un 17%, en el perfil 1-1 y de un 83% en el perfil 2-2, en forma similar sucedió con la probabilidad de falla anual del talud (Tabla 7.2).

Tabla 7.1 Condiciones de análisis de estabilidad de los escenarios críticos encontrados VS los exigidos en la NSR-10 (Probabilidad de falla acumulada).

Escenario	Condiciones							Área en perfil del deslizamiento (m2)	Altura de la zona a deslizarse H (m)	Probabilidad de falla del talud (SLIDE V 5.0)	F.S. Medio	Probabilidad de falla total
	Condición de agua subterránea	Maxima Infiltración causada por aguaceros (mm)	Probabilidad que se dé el aguacero en el periodo de diseño	Periodo de retorno del aguacero (años)	coeficiente sísmico Ao (g)	Probabilidad de excedencia de Ao en el periodo de diseño	Periodo de retorno del coeficiente sísmico (años)					
PERFIL 1 - 1												
24	Normal	200	100%	5	0,062	39%	100	977	52,64	59,51%	0,98	23,42%
35*	Normal	300	64%	50	0,120	10%	475	977	52,64	97,14%	0,843	6,17%
PERFIL 2 - 2												
22	Normal	200	100%	5	0,0350	92%	20	581	31	98%	1	90,11%
35*	Normal	300	64%	50	0,120	10%	475	581	31	100%	1	6,35%

*Escenarios de análisis de estabilidad en condiciones extremas NSR-10.

Tabla 7.2 Condiciones de análisis de estabilidad de los escenarios críticos encontrados VS los exigidos en la NSR-10 (Probabilidad de falla anual).

Escenario	Condiciones							Área en perfil del deslizamiento (m2)	Altura de la zona a deslizarse H (m)	Probabilidad de falla del talud (SLIDE V 5.0)	F.S. Medio	Probabilidad Anual de falla talud
	Condición de agua subterránea	Maxima Infiltración causada por aguaceros (mm)	Probabilidad Anual que se dé el aguacero	Periodo de retorno del aguacero (años)	coeficiente sísmico Ao (g)	Probabilidad anual de excedencia de Ao	Periodo de retorno del coeficiente sísmico (años)					
PERFIL 1 - 1												
24	Normal	200	✓ 20%	5	0,062	✓ 1%	100	977	52,64	59,51%	0,984	✓ 0,118%
35*	Normal	300	✓ 2%	50	0,120	✓ 0%	475	977	52,64	97,14%	0,843	✓ 0,004%
PERFIL 2 - 2												
22	NORMAL	200	✓ 20%	5	0,035	✓ 5%	20	581	0	98,17%	0,834	✓ 0,958%
35*	NORMAL	300	✓ 2%	50	0,120	✓ 0%	475	581	0	100,00%	0,648	✓ 0,004%

*Escenarios de análisis de estabilidad en condiciones extremas NSR 10.

Conocidos los mecanismos y tamaños de falla mas criticos para cada perfil, que para este caso fueron los mismos que producirian las condiciones exigidas en la NSR-10, se estimó la vulnerabilidad social y económica con los siguientes resultados:

La distancia de viaje calculada para el perfil 1-1 fue de 183 y para el perfil 2 -2 fue de 139 m.

Con la distancia de viaje y el ancho supuesto del deslizamiento (70 m) se estableció el área influencia del deslizamiento que superpuesto en el plano catastral nos indicó los elementos expuestos, que para este caso se trataron de 133 predios de los cuales solamente 74 están edificados, además se identificaron redes de servicios públicos y elementos de infraestructura.

Para determinar la vulnerabilidad económica, a cada elemento se le asignó un valor que al operarlo por un índice de vulnerabilidad, dio como resultado las pérdidas económicas esperadas si llegará suceder alguno de los dos deslizamientos supuestos.

El avalúo de las viviendas se realizó de acuerdo con los certificados catastrales y el de los elementos de infraestructura y equipamiento resultó de utilizar los precios unitarios de contratos de construcción de este tipo obras.

En este trabajo se considero que el índice de vulnerabilidad para las redes de servicios públicos y elementos de infraestructura sea igual a uno lo que supone la pérdida total del elemento completamente diferente a lo que presentan (Veloza & Moreno, 2012) en su trabajo de grado, al calcular un índice de resistencia de los elementos; esto se debe a que al afectarse las viviendas quedarían deshabitadas, lo que provocaría que el objeto para el cual fueron construidas redes y la infraestructura desaparece, por lo cual así quedarán en condiciones de seguir funcionando no prestarían ningún servicio.

La Vulnerabilidad social se obtuvo de considerar un cierto número de personas existentes en un espacio y durante un tiempo determinado, los índices de vulnerabilidad social que se utilizaron en el desarrollo de este trabajo son producto de tendencias en los registros de sucesos similares que diferentes autores han documentado en otras partes de mundo.

A vulnerabilidad social se estimó en 39 muertes y mientras que la vulnerabilidad económica asciende a \$ 3.341.535.871 pesos M/cte.

La evaluación cuantitativa del riesgo por deslizamiento, se compuso de tres partes: evaluación cuantitativa de la amenaza, evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad y por último la estimación del riesgo por deslizamiento.

Este tipo de evaluación presentó ventajas sobre la estimación del riesgo de forma cualitativa o semicuantitativa, ya que nos permitió determinar en forma concreta las pérdidas sociales y económicas esperadas debidas a la ocurrencia del evento amenazante, esto se debió entre otras cosas, a que los índices de vulnerabilidad en metodologías de evaluación cuantitativas son producto de un estudio de respuesta de los elementos expuestos frente al suceso o de las tendencias que muestran los registros de eventos con similares características, mientras que para otros tipos de evaluación diferente a estas, la susceptibilidad a los deslizamientos o los índices de vulnerabilidad son producto de establecer categorías de valor o la convolución de variables cuya importancia dentro del sistema está dada expertos.

La evaluación del riesgo arrojó que la frecuencia F de (N) o número de fatalidades por año podría ser de 0,333471, el número pérdidas sociales esperadas es de 31 muertes, en cuanto a las pérdidas económicas esperadas, estas ascenderían a \$ 2.614.919.245 pesos M/cte.

Si comparamos la evaluación del riesgo relacionada en el párrafo anterior con la evaluación del riesgo empleando las probabilidades de falla del talud para los escenarios exigidos en la NSR-10 (Tabla 7.3), tendríamos que la estimación de las

pérdidas económicas disminuyó en un 91,92%, que la frecuencia F de (N) o número de fatalidades por año se redujo en un 93,54% y que el número de pérdidas sociales esperadas en un 92%.

No obstante lo anterior, según los criterios de evaluación del riesgo propuestos por la Song et al. (2007) y por Baecher (1987) los resultados obtenidos para ambos casos se catalogan como inaceptables para la frecuencia F de (N) o número de fatalidades por año y aceptable para las pérdidas económicas esperadas, por este motivo se hizo necesario diseñar sistemas de mitigación del riesgo por deslizamiento.

Tabla 7.3 Evaluación del riesgo escenarios de estabilidad NSR-10

Tipo de Pérdidas	Valor	Calificación
Económicas	\$ 211.199.628	ACEPTABLE
Social (número total de muertes esperadas)	3	INACEPTABLE
Social (frecuencia F de (N) o número de fatalidades por año)	0,02163	

Se diseñaron cuatro diferentes sistemas de mitigación del riesgo por deslizamiento, donde las alternativas 1, 2 y 3, se enfocaron en controlar a amenaza mediante el retiro del material inestable y/o la construcción de obras de estabilidad; la alternativa 4 se concentró en reducir la vulnerabilidad mediante el reasentamiento de los habitantes del sector, sumado la construcción de obras de protección de los elementos de infraestructura expuestos.

Para las tres primeras alternativas las distancias de viaje de los procesos de remoción en masa que llegasen a producirse, no generarían pérdidas, ya que no habría elementos expuestos, así las cosas al contralar la amenaza o reducirla a cero, el riesgo por deslizamiento es también cero.

Mientras que la alternativa 4 por su naturaleza, al retirar los elementos expuestos se consideró que no existe vulnerabilidad física ni social en el sector en estudio; de tal forma que de presentarse cualquiera de los deslizamientos supuestos no habría pérdidas, por tanto el riesgo es cero o aceptable.

La Tabla 7.4, muestra el resumen de los costos de las alternativas donde se observo que al considerar el valor residual del proyecto y los costos del mantenimiento, conservación y monitoreo geotécnico, en los análisis económicos de cada sistema su relación beneficio/costo decreció en un 11%, 9% y 9%, para las alternativas 1, 2 y 3, respectivamente y se sostuvo para la alternativa 4.

Tabla 7.4 Comparativo entre las relaciones Beneficio/costo calculadas con valores iniciales (año 0) y las obtenidas con valores finales.

Valor Inicial (Pesos)	Valor Presente Neto Mantenimiento, Conservación y Monitoreo Geotécnico (Pesos)	Valor Presente Neto del Valor Residual del Proyecto (Pesos)	Valor Total Presente Alternativas (Pesos)	Relación Beneficio - Costo Valores iniciales	Relación Beneficio - Costo
\$ 6.830.484.242	\$ 1.334.776.230	\$ 465.794.557	\$ 7.699.465.914	0,383	0,340
\$ 10.909.417.632	\$ 1.580.567.525	\$ 465.794.557	\$ 12.024.190.599	0,240	0,217
\$ 4.907.872.807	\$ 964.964.254	\$ 465.794.557	\$ 5.407.042.504	0,533	0,484
\$ 6.941.544.919	\$ 256.464.609	\$ 254.478.031	\$ 6.943.531.496	0,377	0,377

Así las cosas el análisis financiero de los proyectos mitigación del riesgo debe contemplar todos los costos asociados a la implementación y puesta en servicio, ya que como se mostro los indicadores financieros variaron sustancialmente con respecto a los indicadores obtenidos considerando únicamente los valores de implementación de cada proyecto.

8. Conclusiones

1. Se propuso y aplicó una metodología de selección de alternativas de mitigación del riesgo por procesos de remoción en masa, aplicable a estudios de escala detallada.
2. Se evaluó cuantitativamente el riesgo económico por deslizamientos, mientras que el riesgo social se obtuvo de forma semicuantitativamente.

La evaluación de la amenaza se realizó en forma cuantitativa, para cada uno de los escenarios de análisis de estabilidad creados para los perfiles geológicos-geotécnicos. Los análisis de estabilidad del talud carecen de precisión ya que se basaron en parámetros supuestos de resistencia del suelo y modelaciones del comportamiento del régimen del agua subterránea.

Por lo anterior se requiere, que la caracterización geomecánica de las materiales en la falla cuente con mayor precisión, además de establecer de con mayor rigor el comportamiento del régimen de agua subterránea; no obstante lo anterior se identificaron los escenarios para cada perfil que desde el volumen de masa involucrada y probabilidad de falla muestran las condiciones de estabilidad mas criticas.

Con respecto a la vulnerabilidad social, la carencia de índices de vulnerabilidad cuantitativos obligo a realizar la cuantificación de manera semicuantitativa, por otra parte las consecuencias económicas se estimaron cuantitativamente a partir de conocer las curvas de fragilidad propuestas por Cifuentes (2011), para el caso que nos ocupa dichas curvas fueron construidas para la tipología de las viviendas existentes en el sector de La Fiscala Parte Alta, así como el tipo de solicitudes a las cuales se verían expuestas los inmuebles.

3. La evaluación del riesgo se realizó con los escenarios de cada perfil que desde el volumen de masa de suelo involucrada y la probabilidad de falla muestran las condiciones de estabilidad mas criticas y no con los escenarios exigidos en la NSR-10, que para este caso presentan una probabilidad de falla menor cambiando considerablemente la evaluación del riesgo.
4. Las alternativas de mitigación 1, 2 y 3 se diseñaron para intervenir la amenaza por procesos de remoción en masa, mediante la construcción de obras de estabilidad de taludes y/o remoción del material amenazante, la alternativa 4 se diseño para reducir la vulnerabilidad reasentando a los habitantes de los predios identificados como en amenaza alta, aunado a la protección de los elementos de infraestructura con obras de estabilidad de taludes; estas 4 alternativas reducen el riesgo a niveles aceptables.

No obstante lo anterior, la solución diseñada más robusta y que demanda una mayor inversión de recursos no es la más eficiente en términos de mitigación del riesgo por deslizamientos.

5. Del ejercicio realizado para determinar la relación benéfico/costo de cada alternativa, teniendo en cuenta todos los costos a valor presente, que implica la implementación, mantenimiento, conservación, monitoreo geotécnico y valor residual; se concluyó que la alternativa 3 es la que presenta un mejor indicador financiero para su ejecución.
6. Para seleccionar la alternativa mitigación adecuada es necesario determinar todos los costos a valor presente, que implica la implementación, mantenimiento, conservación, monitoreo geotécnico y valor residual, ya que así se puede establecer la relación beneficio/costo real de los proyectos.
7. Como resultado del presente trabajo se generó una guía metodológica para la selección de alternativas de mitigación del riesgo por proceso de remoción en masa, basados en la relación beneficio/ costo –, que permite establecer desde la perspectiva económica la opción de intervención de mayor eficiencia.

9. Recomendaciones

1. Se recomienda que para el análisis de estabilidad de taludes, una mayor rigurosidad por parte de los contratantes al establecer los parámetros técnicos de ejecución de los estudios.
2. A los consultores se les recomienda mayor exactitud en el diagnóstico y modelación del problema geológico-geotécnico.
3. A los contratantes se les recomienda exigir la realización de los estudios socio-económicos, ambientales y prediales, que permitan establecer los costos reales de los proyectos.
4. A los contratantes de las consultorías de estudios y diseños, exigir la presentación de los diseños de alternativas excluyentes que contemplen la reducción de la amenaza y de la vulnerabilidad.
5. A los contratantes y consultores de estudios y diseños de alternativas de mitigación del riesgo por deslizamiento, garantizar que en los diseños de sistemas de mitigación se contemplen los costos de implementación del proyecto, así como de mantenimiento, conservación monitoreo geotécnico y valores residuales, que permitan determinar con exactitud las relaciones benéfico/costo.
6. A la academia, a los contratantes y consultores de estudios y diseños, procurar la generación índices de vulnerabilidad social, económica y ambiental, aplicables a las condiciones del país.
7. A los contratantes y consultores de estudios y diseños, implementar metodologías cuantitativas para la evaluación del riesgo por procesos de remoción en masa, de tal forma que se pueda realizar la evaluación económica real de los proyectos, para así poder establecer la viabilidad de ejecución y comparación con otras alternativas.

10. Bibliografía

- Alcaldía mayor de Bogotá D.C. -SP. (2009). Diagnostico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos.
- Baecher, G. B. (1987). *Geotechnical Risk Analysis User's Guide*, 49.
- Cardona, O. D. (1991). Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo (p. 3). Presentado en Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres, Bogotá D.C.: ONAD/PNUD/OPS/UNDRO.
- Cifuentes, D. (2011). *Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos*. Universidad Nacional de Colombia - Bogotá D.C.
- Consortio Mitigación 2010, U. (2012). *Informe Final Barrio La Fiscala Parte Alta para la UAERMV* (Estudios y Diseños No. 1). Bogotá D.C.: UAERMV - FDL USME.
- Contreras, S. (2007, marzo). *Avalúo de edificaciones y construcciones*. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora "UNELLEZ", Guanare, Venezuela, Recuperado a partir de <http://search.iminent.com/SearchTheWeb/v6/3082/homepage/Default.aspx>
- Cruz, Z. (2011). *Análisis Probabilístico de Fallas Superficiales en Taludes Debido a Procesos de Infiltración*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá Colombia.
- Cuadros, A., & Zambrano, S. (2012). *Metodología para la cuantificación de pérdidas económicas en corredores viales por deslizamientos y avalanchas*. Pontificia Universidad Javeriana Bogota, Bogota Colombia.
- Einstein, H. H. (1988). *Special Lecture: Landslide risk assessment procedure*. In *Landslides* (Vol. 2). Rotterdam: Bonnard, C.
- Fell, R., Ho, K., K., K. S., & Leroi, E. (2005). A framework for landslide risk assessment and management. En *Landslide Risk Management* (pp. 3-25). Vancouver, Canada: A.A. Balkema Publishers, Taylor & Francis Group, pp.
- Finlay, P. J., Mostyn, G. R., & Fell, R. (1999). Landslide Risk Assessment: prediction of travel distance. *Canadian Geotechnical Journal*, 36: 556-562.
- FOPAE, F. (2010, octubre). Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones.
- GEOCING LTDA. (2004). *Estudios y diseños de intervención física para recuperar y evitar la ocupación de la zona de alta amenaza en el desarrollo nueva esperanza, de la localidad de Rafael Uribe, en la ciudad de Bogotá D.C.* Bogotá Colombia: Banco Mundial - Departamento Nacional De Planeación Dirección De Política Ambiental.
- González, Á. (1999). Estimativos de Parámetros Efectivos de Resistencia con el SPT. *X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana*. Recuperado a partir de <http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/ESTIMATIVOS-DE-PARAMETROS-DE-RESISTENCIA-CON-SPT.pdf>
- Hayne, M., Michael-Leiba, M., Gordon, D., Lacey, R., & Granger, K. (2000). *Natural hazards and the risks they pose to South-East Queensland*. eds.

- Granger K. and Hayne M. Recuperado a partir de Disponible en Geoscience Australia website: <<http://www.AGSO.gov.au>>
- Ingeocim Ltda., & UPES. (1998). *Zonificación de riesgos por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá. Informe de Hidrología*. Bogotá.
- Ingeominas, & Unal. (2010). Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia.
- Keiler, M., Sailer, R., Jörg, P., Weber, C., Fuchs, S., Zischg, A., & Sauermoser, S. (2006). *Avalanche risk assessment - A multi-temporal approach*. Austria: Natural Hazards and Earth System Sciences.
- Kim, J., Jeong, S., Park, S., & Sharma, J. (2004). Influence of rainfall-induced wetting on the stability of slopes in weathered soils. *www.sciencedirect.com*, 251-262.
- Lee, E. M., & Jones, D. K. C. (2004). *Landslide risk assessment* (Thomas Telford., p. 256). London.
- Mavrouli, O. and Corominas, J. (2010a). Vulnerability of simple reinforced concrete buildings in front of the rockfall impact. *Landslides*, 7 (2): pp. 169–180.
- Michael-Leiba, M., Granger, K., & Scott, G. (2000). Landslide Risk in Cairns. *Australian Journal of Emergency Management*, 32-34.
- Monsalve Sáenz, G. (2004). *Hidrología en la ingeniería* (Primera.). Bogotá Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado a partir de <http://www.slideshare.net/LibrosyEditores/hidrologa-en-la-ingenieragermn-monsalve-senzescuela-colombiana-de-ingeniera>
- Montoya, D., & Reyes, G. (2005). *GEOLOGÍA DE LA SABANA DE BOGOTÁ*. Bogota Colombia: INGEOMINAS.
- Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. *Géotechnique*, 15.
- Moriguchi, S., Borja, R., Yashima, A., & Sawada, K. (2009). Estimating the impact force generated by granular flow on a rigid obstruction. En *Acta Geotechnica* (Vol. 4, pp. 57-71.). NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities. (1990). Highway bridge design specification.
- Orr, & Breyse. (2008). Eurocode 7 and Reliability – Based Desing: Computations and Applications, 298.
- Pradel, D., & Raad, G. (1993). Effect of permeability on surficial stability of homogeneous slopes. *Journal of Geotechnical Engineering*, 315– 332.
- Ramírez, A., Vidal, M., & Domínguez, R. (2009, marzo). Etapas del Análisis de Factibilidad. Compendio Bibliográfico. *Contribuciones a la Economía*,
- Rodríguez, C. E., & Jiménez, D. Y. (2009). Vulnerabilidad física ante deslizamientos (p. 10). Presentado en V Encuentro de Ingenieros de Suelos y Estructuras, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.
- Soler - Sierra, F. (2012). *Guía metodológica para evaluación de riesgos por deslizamientos en zonas urbanas a escala de diseño*. Bogotá Colombia.
- Song, Q. H., Liu, D. S., & Wu, Y. X. (2007). Study on the Acceptable and Tolerable Risk Criteria for Landslide Hazards in the Mainland of China (p. 372).

Presentado en First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk, Shanghai Tongji University, China.

VanDine, D. F., Jordan, P., & Boyer, D. C. (2002). An example of risk assessment from British Columbia, Canada (pp. 399-406). Presentado en Instability-Planning and Management. (Eds McInnes, R.G., Jakeways, J), London: Thomas Telford.

11. Anexos

- I. Levantamiento geológico de la zona de estudio
- II. Perfil geológico geotécnico
- III. Análisis de estabilidad para cada escenario
- IV. Certificados Catastrales (base de avalúos de predios).
- V. Planta y perfil Alternativa 1.
- VI. Planta y perfil Alternativa 2.
- VII. Planta y perfil Alternativa 3.
- VIII. Perfil Alternativa 4.