

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

“ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA INDUCIDOS POR SISMOS EN EL BARRIO DE SAN LUIS DE MIRAVALLE, PARROQUIA LA FERROVIARIA, SURORIENTE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO

MARCO ALEXANDER YANGUICELA ALBÁN

marco.yanguicela@epn.edu.ec

DIRECTOR: MSc. MARCO CAMILO ZAPATA TAPIA

czapata@igeptn.edu.ec

CODIRECTOR: MSc. PATRICIA A. MOTHE

pmothes@igeptn.edu.ec

Quito, Septiembre 2023

DECLARACIÓN

Yo, MARCO ALEXANDER YANGUICELA ALBÁN declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Marco Alexander Yanguicela Albán

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por MARCO ALEXANDER YANGUICELA ALBÁN, bajo mi supervisión.



MSc, Marco Camilo Zapata Tapia
Director de Proyecto



Msc, Patricia A. Mothes
Codirector de proyecto

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud y sabiduría para poder culminar mi carrera universitaria, por fortalecerme cada día y permitirme creer en él.

A mis padres Marco y Teresa, en especial a mi papá, por cada día luchar por sus hijos, ha sido mi apoyo incondicional cada día, en los momentos más difíciles y nunca dudó de mis conocimientos, siempre fue mi ejemplo a seguir y le agradezco por ser el mejor de todos.

A mis abuelitos Julio e Inés, que desde el cielo supieron guiarme por el camino del bien y cumplir una meta más en mi vida.

A mis hermanos Christian y Daniela, por estar siempre conmigo.

A mi director de tesis MSc, Camilo Zapata junto con el proyecto Tomorrow's Cities, por permitirme realizar este trabajo junto a él, me ha impartido sus grandes conocimientos de un tema nuevo para mi y siempre estaré agradecido por su paciencia y esfuerzo para la culminación de este proyecto.

También agradecer a la MSc. Eliana Jiménez por su gran aporte al desarrollo de este trabajo.

A la Escuela Politécnica Nacional por haberme dado la oportunidad ser parte de ella y haberme abierto las puertas de su seno científico para estudiar mi carrera, así también a los diferentes docentes que impartieron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

A la compañía Rocscience por brindarme su versión gratuita del software Slide 8.0 y poder concluir este proyecto con éxito.

A mis grandes amigos de la carrera, Genecita, Ivonne, Guiss, Eve, Fabri, Juan Pablo y Angelo, y mis amigos de otras facultades, por compartir conmigo sus conocimientos y haber vivido momentos inolvidables a lo largo del periodo universitario.

Finalmente agradecer a Megan Saltos, mi compañera incondicional durante mi carrera universitaria. Su amor y apoyo han sido la base de mi éxito, y valoro profundamente el papel que desempeñaste a lo largo de mi vida. Siempre serás una persona muy importante en mi vida ¡Gracias por todo!.

DEDICATORIA

A mis abuelitos, Julio e Inés

A mi papá que es la persona que más amo en este mundo

A mis hermanos, Christian y Daniela

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Justificación	4
1.3.1 Justificación Teórica	4
1.3.2 Justificación Metodológica.....	6
1.3.3 Justificación Práctica	7
1.4 Hipótesis	8
1.5 Objetivos.....	8
1.5.1 Objetivo General.....	8
1.5.2 Objetivos Específicos	8
1.6 Alcance	8
CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL	10
2.1 Definición de conceptos	10
2.1.1 Amenaza	10
2.1.2 Amenaza natural.....	10
2.1.3 Amenaza Geológica.....	10
2.1.4 Movimientos en masa (MM)	10
2.1.5 Clasificación de Movimientos en Masa	11
2.1.6 Inventario de Movimientos en Masa.....	14
2.1.7 Parámetros Geotécnicos	14
2.1.8 Análisis de estabilidad de taludes	15
2.1.9 Factor de seguridad (F.S).....	16
2.1.10 Programa Slide	16
2.1.11 Desplazamientos de Newmark (D_n).....	17

2.1.12	Zonificación de la amenaza por movimientos en masa.	18
2.2	Geología Regional	20
2.2.1	Cordillera Real	21
2.2.2	Cordillera Occidental.....	21
2.2.3	Valle Interandino (VIA).....	22
2.2.4	Cuenca Quito – Guayllabamba	22
2.3	Geología Local.....	24
2.3.1	Estratigrafía de la cuenca sur de Quito	24
2.3.2	Sistema de fallas de Quito (SFQ).....	26
2.4	Ubicación del Área de Estudio	27
2.4.1	Acceso	28
2.5	Aspecto Físico	29
2.5.1	Clima	29
2.5.2	Hidrografía	29
2.5.3	Morfología	30
	CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS	31
3.1	Análisis de la Amenaza	31
3.2	Litoestratigrafía.....	32
3.2.1	Levantamiento litoestratigráfico.....	32
3.3	Inventario de Movimientos en Masa.....	33
3.4	Parámetros geotécnicos.....	34
3.5	Modelo Digital de Elevación de Terreno (MDT)	35
3.6	Mapa de curvas de nivel.....	35
3.7	Mapa de pendientes	36
3.8	Perfiles topográficos	37
3.9	Geometría del talud	38
3.10	Análisis de estabilidad de taludes	39

3.10.1	Cálculo del factor de seguridad estático con el software Slide 6.0	40
3.10.2	Método de Newmark	44
3.10.3	Desplazamientos de Newmark	46
3.11	Zonificación de la amenaza	48
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS	49
4.1	Análisis de la Amenaza	49
4.2	Litoestratigrafía	49
4.2.1	Levantamiento Litoestratigráfico	49
4.3	Inventario de Movimientos en Masa	52
4.4	Parámetros geotécnicos	53
4.5	Modelo Digital de Elevación de Terreno (MDT)	53
4.6	Mapa de curvas de nivel	54
4.7	Mapa de pendientes	55
4.8	Perfiles topográficos	56
4.9	Geometría del Talud y unidades geológicas	56
4.10	Análisis de estabilidad de taludes	57
4.10.1	Cálculo del Factor de Seguridad estático con el software Slide 6.0	57
4.10.2	Método de Newmark	60
4.10.3	Desplazamientos de Newmark (Dn)	61
4.11	Zonificación de la amenaza	63
	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
5.1	Análisis de estabilidad de taludes	66
5.1.1	Análisis del factor de seguridad estático	66
5.1.2	Desplazamientos de Newmark	69
	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
6.1	Conclusiones	74

6.2 Recomendaciones	76
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Derrumbe en el corte vial del barrio de San Luis de Miravalle.	3
Figura 1.2. Derrumbe en el corte vial del barrio de San Luis de Miravalle.....	4
Figura 2.1 (a) Esquema de un deslizamiento rotacional (b) Esquema de un deslizamiento traslacional.....	11
Figura 2.2 Esquema de caída de rocas.....	12
Figura 2.3 Esquema de vuelco en bloque.. ..	12
Figura 2.4 Esquema de reptación.....	12
Figura 2.5 Esquema de solifluxión.....	13
Figura 2.6 (a) Esquema de flujo canalizado (b) esquema de flujo no canalizado.	13
Figura 2.7 Esquema de extensión lateral.. ..	13
Figura 2.8 Clasificación de los métodos para zonificación de la amenaza.	19
Figura 2.9 Diagrama de flujo de la metodología de los desplazamientos de Newmark.....	19
Figura 2.10 Marco Geodinámico del Ecuador.	20
Figura 2.11 Estratigrafía de la Cuenca Quito-Guayllabamba.....	24
Figura 2.12 Esquema estratigráfico de la subcuenca sur de Quito. ..	26
Figura 2.13 Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	28
Figura 3.1 Metodología para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa	32
Figura 3.2 Modelo de elevación del terreno de la zona de estudio....	35
Figura 3.3 Captura de pantalla del proceso de creación de curvas de nivel utilizando ArcGIS 10.4.....	36

Figura 3.4 Captura de pantalla del proceso de creación del mapa de pendientes utilizando ArcGIS 10.4	37
Figura 3.5 Captura de pantalla del procedimiento para la generación de perfiles topográficos con el software ArcGis 10.4	39
Figura 3.6 Ejemplo de un Perfil topográfico de la zona de estudio	39
Figura 3.7 Geometría del talud y unidades geológicas de la zona de estudio.....	41
Figura 3.8 Características geotécnicas de las unidades geológicas en la zona de estudio	42
Figura 3.9 Geometría del talud con sus unidades geológicas y el peso de viviendas.	42
Figura 3.10 Ejemplo del resultado de factor de seguridad a lo largo del perfil EE´	43
Figura 3.11 Procedimiento para insertar el acelerograma	47
Figura 3.12 Procedimiento para insertar el acelerograma	47
Figura 3.13 Ingreso del acelerograma del sismo de Coalinga (1983) en el Software Slide 8.0	48
Figura 4.1 Afloramiento de la avalancha de escombros en el corte vial del barrio San Luis de Miravalle.	49
Figura 4.2 Afloramiento de la Formación Cangahua en el corte vial del barrio San Luis de Miravalle.	50
Figura 4.3 Columna estratigráfica del barrio San Luis de Miravalle...	51
Figura 4.4 Mapa de inventario de Movimientos en Masa a lo largo de la zona de estudio.....	52
Figura 4.5 Modelo Digital de Terreno (MDT) del barrio San Luis de Miravalle.....	54
Figura 4.7 Mapa de pendientes.	55
Figura 4.8 Perfiles topográficos (polilíneas de color turquesa) a lo largo de la zona de estudio.....	56
.....	57

Figura 4.10 parámetros geotécnicos de cada unidad geológica en el software Slide 6.0	57
Figura 4.11 Ejemplo de factor de seguridad estático con carga de viviendas	58
Figura 4.12 Ejemplo de factor de seguridad estático sin carga de viviendas.	59
Figura 4.13 Mapa de Factor de Seguridad estático en el barrio San Luis de Miravalle.....	60
Figura 4.14 Acelerograma del sismo de Coalinga (1983)	61
Figura 4.15 Acelerograma del sismo de Loma Prieta (1989).....	61
Figura 4.16 Valor del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil EE´del sismo de Loma Prieta	62
Figura 4.17 Valor del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil EE´del sismo de Coalinga	62
Figura 4.18 Mapa de desplazamientos de Newmark en el barrio San Luis de Miravalle (simulación con el sismo de Loma Prieta (1989))...	64
Figura 4.19 Mapa de desplazamientos de Newmark en el barrio San Luis de Miravalle (simulación con el sismo de Coalinga (1983))	65
Figura 5.1 a) Mapa de pendientes del barrio San Luis de Miravalle; b) Mapa de factor de seguridad estático	67
Figura 5.2 a) Mapa de desplazamientos de Newmark modelado con el sismo de Loma Prieta (1989); b) Mapa de desplazamientos de Newmark modelado con el sismo de Coalinga (1983).....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de Movimientos en Masa (MM).....	13
Tabla 3.1 Volumen en metros cúbicos de los MM mapeados en la zona de estudio.....	33
Tabla 3.2 Resumen de datos obtenido de ensayos triaxiales CU	34
Tabla 3.3 Resumen de datos obtenidos de ensayos de densidad de la muestra	34
Tabla 3.4 Resultado de los perfiles topográficos	38
Tabla 3.5 Clasificación del FS de acuerdo al grado de inestabilidad.	43
Tabla 3.6 Registros sísmicos para el DMQ.....	45
Tabla 3.7 Registro sísmico internacional.....	45
Tabla 3.8 Valores de: Vs30	46
Tabla 4.1 Parámetros geotécnicos de cada unidad geológica de la zona de estudio.....	53
Tabla 4.2 Clasificación del grado de pendientes.....	55
Tabla 4.3 Factor de seguridad estático de los 21 perfiles topográficos	59
Tabla 4.4 Clasificación del FS de acuerdo al grado de inestabilidad .	60
Tabla 4.5 Resultados de los desplazamientos de Newmark	63
Tabla 4.6 Clasificación de los desplazamientos de Newmark	64
Tabla 5.1 Perfiles topográficos con sus respectivos factores de seguridad estáticos usado en el presente trabajo.....	68
Tabla 5.2 Perfiles topográficos con sus respectivos factores de seguridad estáticos. Fuente: Dayana Camino	68
Tabla 5.3 Resultado de los desplazamientos de Newmark simulados con el sismo de Loma Prieta (1989).....	70
Tabla 5.4 Resultado de los desplazamientos de Newmark simulados con el sismo de Coalinga (1983)	70

RESUMEN

El presente trabajo de titulación corresponde a un estudio técnico basado en la estabilidad de taludes realizado en el barrio San Luis de Miravalle, ubicado en la parte sur oriental del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), el cuál tiene como objetivo principal zonificar la amenaza por movimientos en masa mediante un disparador sísmico con el método de Newmark (1965) a través de un mapa a escala 1:10.000.

El barrio de San Luis de Miravalle forma parte de la ladera oriental de la Loma de Puengasí, específicamente se encuentra en la parte sur del escarpe del macro movimiento en masa Conocoto – La Armenia (Noroña, 2021), zona que se caracteriza por su alta pendiente, lo que hace una zona de alta inestabilidad. Este barrio ha sido afectado por varios movimientos en masa como derrumbes y flujos disparados en épocas lluviosas, además, se asienta de manera irregular e informal a lo largo de esta zona.

Para la modelación se realizaron 21 perfiles topográficos que se obtuvieron a partir del Modelo Digital de Terreno (MDT) de la zona de estudio, tomando en cuenta que deben ser mayores a 50 metros debido a la escala 1:10.000 en la que se trabajó.

El análisis de estabilidad de taludes se realizó mediante el software Slide en sus dos versiones, la versión 6.0 para hallar los factores de seguridad estáticos y la versión 8.0 para hallar los desplazamientos de Newmark (D_n). Este software considera varios parámetros: la estratigrafía que se obtuvo mediante estudios bibliográficos previos con la ayuda de visitas a campo para una mejor sistematización, características geotécnicas (peso unitario, ángulo de fricción interna y cohesión) obtenidas de estudios previos, geometría del talud obtenidas de los perfiles topográficos y cargas externas como el peso de las viviendas y la carga sísmica como factor detonante. La versión 6.0 sirvió para calcular el factor de seguridad estático, es decir sin un factor detonante, en este caso un sismo. La versión 8.0 es la nueva versión del software Slide, esta nueva versión calcula automáticamente la aceleración crítica y la intensidad de Arias. Para este proyecto de titulación, se tomó dos escenarios sísmicos internacionales en los que deben

tener condiciones sísmicas similares al DMQ como es el sistema de fallas inversas de Quito y una distancia epicentral de 10 a 30 km. Para el primer escenario se tomó el sismo de Loma Prieta (1989) con Mw 6.9 y el segundo escenario el sismo de Coalinga (1983) con Mw 5.7, estos sismos son representados mediante acelerogramas y cargados en la nueva versión 8.0 con la finalidad de obtener los desplazamientos de Newmark (D_n) y realizar la zonificación de la amenaza.

Finalmente, el mapa de zonificación de la amenaza inducidos por sismos se realizó en base a los desplazamientos de Newmark tomando en cuenta los siguientes parámetros: baja amenaza ($D_n < 1$ cm), amenaza moderada (D_n : 1-5 cm), amenaza alta (D_n : 5-15 cm) y amenaza muy alta ($D_n > 15$ cm).

ABSTRACT

The present thesis project corresponds to a technical study based on the stability of slopes carried out in the San Luis de Miravalle neighborhood, located in the southeastern part of the Metropolitan District of Quito (MDQ), whose main objective is to zone the hazard by Mass movements by means of a seismic trigger with the Newmark method (1965) through a map at a scale of 1:10000.

The neighborhood of San Luis de Miravalle is part of the eastern slope of the Loma de Puengasí, specifically it is located in the southern part of the escarpment of the macro movimiento en masa Conocoto - La Armenia (Noroña, 2021), an area in which it is characterized by steep slopes, which makes for high instability. This neighborhood has been affected by several mass movements such as landslides and flows triggered in rainy seasons, which makes it an ideal study area, in addition, the settlement is irregular and informal throughout this area.

For the modeling, 21 topographic profiles were obtained from the Digital Terrain Model (MDT) of the study area, taking into account that they must be greater than 50 meters since the seismic effect in the DMQ is very relevant.

The slope stability analysis was carried out using the Slide software in its two versions. This software considers several parameters: the stratigraphy that was obtained through previous bibliographic studies with the help of field visits for a better systematization, geotechnical characteristics (unit weight, internal friction angle and cohesion) obtained from previous studies, slope geometry obtained from topographic profiles and external loads such as the weight of the houses and the seismic load as a triggering factor. Version 6.0 was used to calculate the static safety factor, that is, without a triggering factor, in this case an earthquake. Version 8.0 is the new version of Slide software, this new version automatically calculates the critical acceleration and Arias intensity. For this project, two international seismic scenarios were used in which they must have similar seismic conditions to the DMQ, such as that of the Quito reverse fault system and an epicentral distance of 10 to 30 km. For the first scenario, the Loma Prieta earthquake (1989) with Mw 6.9 was

taken and the second scenario, the Coalinga earthquake (1983) with Mw 5.7. These earthquakes are represented by accelerograms and loaded in the new version 8.0 in order to obtain the displacements of Newmark (D_n) and carry out the zoning of the threat.

Finally, the hazard zoning map induced by earthquakes was made based on the Newmark displacements, taking into account the following parameters: low hazard ($D_n < 1$ cm), moderate hazard (D_n : 1-5 cm), high hazard (D_n : 5-15 cm) and very high hazard ($D_n > 15$ cm).

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Ecuador se encuentra en un margen tectónicamente activo por estar en un margen de convergencia de placas. Este contexto geodinámico genera la ocurrencia de eventos volcánicos y sísmicos, que se ven influenciados por factores morfológicos, geológicos y climáticos, lo que lo convierte en un país propenso a diversas amenazas naturales. Estas amenazas que han causado pérdidas de vidas humanas, bienes materiales y consecuencias adversas para el desarrollo (INIGEMM, 2013). Una de las amenazas que se presentan con mayor frecuencia y causan un impacto significativo son los movimientos en masa, conocidos en el país como deslizamientos, derrumbes, aluviones, caída de rocas, etc. (Castro, 2013). A esto, se le suma las actividades antrópicas inadecuadas como la gestión deficiente del sistema de alcantarillado, relleno de quebradas y el asentamiento de la población en zonas de riesgo, lo que aumenta la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos (Peltre, 1989).

El Distrito Metropolitano de Quito, DMQ, se encuentra ubicado a 2800 metros sobre el nivel del mar (msnm) en una región de alta sismicidad y volcanismo activo dentro de la cuenca intramontañosa Quito-Guayllabamba, la cual es parte de la Depresión Interandina (DI). Esta área se caracteriza por ser una depresión topográfica de dirección Norte-Sur, delimitada al Este por la Cordillera Real y al oeste por la Cordillera Occidental, consta de una extensión de aproximadamente 300 km y un ancho entre 20 y 30 km (Hall et al., 2008).

La expansión demográfica y la migración poblacional en el Distrito Metropolitano de Quito durante los últimos siglos, ha venido trayendo un desarrollo urbano deficiente y varios cambios negativos en el ordenamiento territorial. La expansión urbana en el DMQ ha traído varios problemas, uno de ellos es el asentamiento de la población en zonas periféricas de la ciudad (Carrión & Erazo, 2012), de alta pendiente y en las cuales se han acelerado procesos de deforestación. Así el crecimiento urbano ha sido causa principal para el cambio drástico en la morfología, ya que con el objetivo de seguir construyendo a lo largo del DMQ, las fuentes naturales de

drenaje han sido rellenadas, constituyendo la causa principal para que se produzcan Movimientos en Masa (MM) e inundaciones en la ciudad (Peltre, 1989).

El barrio de San Luis de Miravalle es una zona donde existen asentamientos no regularizados y en su mayor parte no dispone de un sistema de alcantarillado para la recolección y tratamiento de aguas servidas y aguas pluviales (EPMAPS, 2015).

1.2 Planteamiento del Problema

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se encuentra en la región occidental de los Andes ecuatorianos, que se encuentra rodeado por volcanes con actividad Plio-Cuaternaria. El área urbana se encuentra sobre la depresión delimitada por los volcanes Atacazo, Pichincha y Casitagua, al este. Al oeste, está marcada por una serie de cerros alargados, como El Tablón, Puengasí y Lumbisí, que son una expresión morfológica del Sistema de Fallas de Quito (Alvarado et al. 2014). Estas características morfológicas generan un ambiente montañoso con pendientes pronunciadas y por ende susceptible a la generación de movimientos en masa. Además, el Sistema de Fallas de Quito está activo y representa la principal amenaza en caso de una ruptura (Hibsch et al., 1996; Alvarado et al., 2014 y Beauval et al., 2018).

El barrio de San Luis de Miravalle de la parroquia Ferroviaria, está ubicado en la parte de la ladera que forma parte del flanco oriental del levantamiento tectónico Puengasí. Esta ladera corresponde al escarpe de un antiguo macrodeslizamiento (Noroña, 2021), lo que la convierte en una zona con altas pendientes y es considerada como una zona de muy alta susceptibilidad frente a procesos de movimientos en masa.

A lo largo del escarpe se han observado una variación en el uso del suelo y en la cobertura vegetal, en la parte sur dónde se asienta el barrio de San Luis de Miravalle existen asentamientos humanos con infraestructuras viales que se encuentran en mal estado por dónde escurre agua pluvial hacia la ladera (Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgo, 2019), además, mediante el trabajo de campo que se realizó por medio de visitas técnicas, se identificó acumulación de agua de escorrentía debajo de un grupo de viviendas sobre la ladera.

El barrio de San Luis de Miravalle, junto al barrio de Santa Teresita de Conocoto; ambos se asientan en un área de amenaza alta a muy alta por deslizamientos desencadenados por sismos y/o fuertes lluvias, a lo que se le suma la existencia de asentamientos no regularizados (Municipio de Quito, Contrato de consultoría CEMER N° 08-2011, 2011).

Durante los últimos años, los derrumbes y flujos de lodo han sido los principales movimientos en masa que han afectado al barrio de San Luis de Miravalle (Figura 1.1 y 1.2) el principal motivo de esto son las aguas superficiales e infiltradas en épocas lluviosas, junto a pozos sépticos pero que ya se encuentran en proceso de cierre, lo que hace un problema ya que se ven afectadas varias viviendas y vías de acceso.



Figura 1.1 Derrumbe en el corte vial del barrio de San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela



Figura 1.2. Derrumbe en el corte vial del barrio de San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

El presente trabajo, tiene como objetivo zonificar la amenaza por movimientos en masa disparados por sismos en el barrio de San Luis de Miravalle, para determinar con precisión las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa que puedan afectar a la población e infraestructura pública, lo cual brindará al Municipio del Distrito Metropolitano de Quito un insumo técnico útil para la toma de decisiones en favor de una adecuada Gestión del Riesgo de Desastres.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación Teórica

La mayoría de los taludes se pueden considerar inicialmente estables, pero en la realidad son sistemas dinámicos en evolución (Suárez, 2009). La inestabilidad de los taludes puede ser atribuida a diversas causas, y con frecuencia, se relaciona con la interacción de factores desencadenantes activos y factores condicionantes pasivos, que dependen de los materiales del material involucrado (Gonzales de Vallejo, 2006).

En el DMQ los movimientos en masa han aumentado en frecuencia debido al crecimiento poblacional que ha ido cambiando la morfología de la ciudad y ha generado una transformación con impactos negativos en el entorno, así acelerando y generando la aparición de nuevas amenazas (Córdova & Vallejo, 2012). Esto no solo representa un problema de crecimiento urbano mal controlado, sino también, una amenaza para la población asentada en las riberas y laderas.

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el nivel de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña (Suárez, 2009).

En un talud estable, existe un equilibrio entre las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes, siendo la fuerza gravitatoria un factor determinante. Si se colocan cargas adicionales en la parte superior del talud o se remueven en el pie, se puede producir la inestabilidad de éste. De igual manera, la inestabilidad puede ocurrir por el aumento de la pendiente del talud (Suárez, 1998).

En general, la calidad y el comportamiento de un talud se evalúan comúnmente a través del concepto de factor de seguridad (F.S). Este valor se emplea para analizar el estado de la estabilidad de los taludes y se deriva del método de equilibrio límite en el análisis de su estabilidad.

Este factor es un índice que expresa la relación entre la resistencia de corte del material del macizo a lo largo de una superficie de ruptura y la resistencia de corte necesaria para mantener el terreno en equilibrio (Ludger y Suarez – Burgoa, 2016), expresada de la siguiente manera:

$$F.S = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Terzaghi (1950), hizo una diferenciación entre los factores externos e internos que afectan la ocurrencia de los deslizamientos. Tanto las causas internas como externas afectan el equilibrio de un talud. Las causas internas se refieren a mecanismos que disminuyen la resistencia al corte hasta el punto de inducir una falla, como la meteorización y presión de poro, entre otros. La lluvia produce

modificaciones en la humedad de poros lo cual afecta la resistencia del suelo. Por otro lado, las causas externas son mecanismos por fuera de la masa afectada, los cuales son responsables de un aumento de los esfuerzos por encima de la resistencia al cortante, tales como: sobrecargas, cortes, sismos, vibraciones, entre otros (Suarez, 1998)

Por esta razón, es importante estudiar la amenaza, que se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente dañino, en un área dada y en un período de tiempo específico (UNISDR, 2009). Así mismo, los movimientos en masa están en función de mecanismos disparadores como las precipitaciones y la actividad sísmica. Se debe tomar en cuenta los dos factores para el análisis de la amenaza. En el presente estudio se realizará el factor sísmico como mecanismo disparador.

1.3.2 Justificación Metodológica

El presente trabajo de titulación se enfocará en el análisis de estabilidad de taludes, cuya metodología se basa en los desplazamientos de Newmark (1965) tomando en cuenta factores geológicos, geotécnicos, factor sísmico y cargas externas como es el caso del peso de las viviendas en la zona de estudio.

Existen varias metodologías para el análisis de estabilidad de taludes, entre los más importantes y usados son el método de límite de equilibrio, métodos numéricos y los métodos dinámicos, entre otros. Para el desarrollo de estas metodologías se usan varios tipos de herramientas como por ejemplo: tablas, análisis de gráficos, cálculos manuales, hojas de cálculo y uso de software (Suárez, 2009).

La metodología que se aplicará en el presente trabajo se fundamenta en el análisis propuesto por Newmark (1965) lo cual asume que una masa que se encuentra sobre un suelo potencialmente deslizante puede considerarse como un bloque rígido sometido a fuerzas sísmicas. Estos desplazamientos ocurren cuando la aceleración del bloque excede la aceleración crítica (a_c), factor definido por las propiedades intrínsecas de la pendiente; por ejemplo: resistencia del material, geometría de la pendiente, nivel del agua subterránea. Para este análisis se tomarán en cuenta varios parámetros como perfiles topográficos, obtenidos del Modelo Digital de Terreno (MDT) proporcionado por el proyecto Tomorrow's Cities,

además, se analizarán columnas litoestratigráficas y características geotécnicas. El factor sísmico se añadirá mediante un acelerograma y por último se añadirán los pesos de las viviendas; para el que se utilizará el software Slide. El programa Slide 6.0 (Rocscience, 2016) nos permitirá encontrar el factor de seguridad estático (sin factor sísmico detonante), mientras que la versión 8.0 (Rocscience, 2018), nos permitirá encontrar los desplazamientos de Newmark. Estos cálculos nos ayudarán a determinar los niveles de amenaza y nos servirá para poder tomar acciones o medidas de mitigación (Ávila et al., 2015).

El objetivo final de este trabajo es la elaboración de un mapa de zonificación de la amenaza de movimientos en masa con disparador sísmico en el barrio de San Luis de Miravalle. Para la elaboración de este mapa se realizará tomando en cuenta los desplazamientos de Newmark (D_n) procesado mediante la tecnología SIG, en este caso ArcMap.

Los desplazamientos de Newmark (D_n) nos permitirá cuantificar y zonificar los desplazamientos de acuerdo con los siguientes parámetros:

$D_n < 1$ cm: Riesgo bajo

$D_n = 1 - 5$ cm: Riesgo moderado

$D_n = 5 - 15$ cm: Peligro alto

$D_n > 15$ cm: Peligro muy alto

Estas categorías se basan en investigaciones previas realizadas por Jibson & Michael (2009), los cuales fueron utilizados para la zonificación de deslizamientos de tierra desencadenados por el sismo de Alaska en 1964 representando uno de los mayores peligros geológicos en Anchorage. Además, estos datos también se establecieron en el estudio de (Zapata, 2018) en la evaluación de del peligro de deslizamientos de tierra inducidos por sismos en Quito, Ecuador.

1.3.3 Justificación Práctica

La zonificación de la amenaza por movimientos en masa inducidos por sismos en el barrio de San Luis de Miravalle en el Distrito Metropolitano de Quito, es una herramienta práctica que permitirá delimitar las zonas más propensas a la generación de este tipo de fenómenos para proponer medidas de prevención y

mitigación que ayudará al mejoramiento de la calidad de vida de la población de dicha zona y así el gobierno local podrá tomar decisiones y acciones para disminuir futuros impactos en función de observar las zonas con mayor peligrosidad.

1.4 Hipótesis

Por el contexto geológico, geomorfológico y condiciones de ocupación en la zona, presenta un alto nivel de amenaza por Movimientos en Masa disparados por sismos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Zonificar la amenaza de movimientos en masa con un factor sísmico detonante en el barrio de San Luis de Miravalle, parroquia Ferroviaria.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Calibrar y mejorar el modelo geológico de la zona de estudio.
- Realizar el levantamiento litoestratigráfico de la zona de estudio.
- Definir unidades geotécnicas en función de la geología y estudios geotécnicos previos.
- Obtener perfiles topográficos a partir de un Modelo Digital de Elevación de Terreno (MDT).
- Determinar el factor de seguridad estático mediante el software Slide 6.0 y los desplazamientos de Newmark con un factor sísmico detonante para determinar la estabilidad de los taludes con el software Slide 8.0.
- Realizar un mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa disparado por sismos tomando en cuenta los desplazamientos de Newmark.

1.6 Alcance

Con el objetivo de analizar la estabilidad de taludes, se requiere conocer varios factores que reducen la resistencia al corte de una ladera y la hace más susceptible a deslizarse, en especial cuando hay eventos sísmicos y lluviosos.

El presente estudio propone zonificar la amenaza por movimientos en masa disparados por sismos tomando en cuenta los desplazamientos de Newmark los

cuales se calcularán a través de software Slide 8.0. Para esto se toma en cuenta factores geotécnicos, levantamientos lito-estratigráficos y el análisis de estabilidad, con el fin de comprender las causas de la inestabilidad de un talud. Esto a su vez contribuirá a que el Municipio del DMQ pueda tomar acciones adecuadas en las medidas de mitigación para reducir el riesgo por movimientos en masa en el barrio de San Luis de Miravalle.

CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL

2.1 Definición de conceptos

2.1.1 Amenaza

Se considera como amenaza a un evento que tiene una probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente devastador con una magnitud determinada en un área dada y un periodo de tiempo específico (Varnes, 1984). Pueden caracterizarse por ser únicas, secuenciales, combinadas en su origen y efectos por su magnitud, localización, probabilidad y frecuencia (GEA, 2008).

2.1.2 Amenaza natural

Las amenazas naturales se refieren a fenómenos naturales que tienen el potencial de desencadenar eventos perjudiciales causando daños materiales, interrupción de actividad social y económica, lesiones humanas e incluso pérdida de vidas (GEA, 2008).

2.1.3 Amenaza Geológica

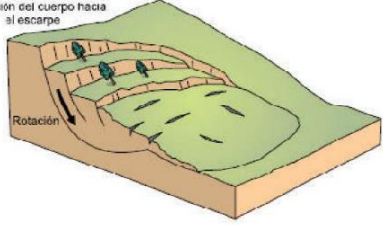

Es un proceso que podría resultar en la pérdida de vidas, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, aspectos sociales y económicos o daños ambientales (Rivera et al., 2015)

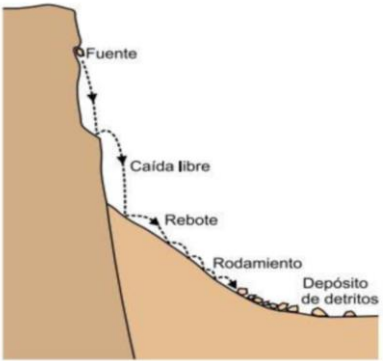
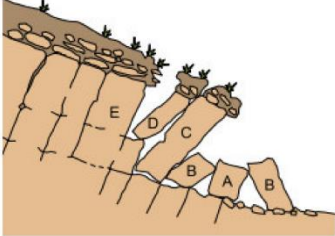
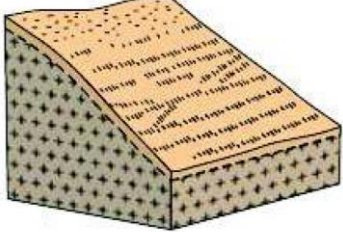
2.1.4 Movimientos en masa (MM)

Los movimientos en masa son parte de procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen parte de una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos. Así, si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, por otra, la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la acción del hombre) actúan sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición más plana (PMA:GCA, 2007). Los movimientos en masa producen cambios en la morfología del terreno y ocurren generalmente a lo largo de una superficie de falla, por caída libre, deslizamientos, erosión o flujos (Suárez, 2009).

2.1.5 Clasificación de Movimientos en Masa

En la Tabla 2.1 se muestra de manera resumida la clasificación de Movimientos en Masa con su respectivo gráfico y descripción de cada uno.

Tipo de Movimiento en masa	Definición	Gráfico
<p>Deslizamiento</p>	<p>Se refieren a desplazamientos de masas de roca o suelo en laderas con diferentes niveles de actividad: Existen dos categorías principales de deslizamientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deslizamiento rotacional (Slump): Son aquellos que ocurren a lo largo de una superficie cóncava, pueden reconocerse con facilidad (Varnes, 1978) y son producidos en rocas, detritos y suelos. -Deslizamiento traslacional: A diferencia de los deslizamientos rotacionales, estos movimientos ocurren a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada (Varnes, 1978), se pueden producir en rocas, detritos y suelos. 	<p>(a)</p>  <p>(b)</p>  <p>Figura 2.1 (a) Esquema de un deslizamiento rotacional (b) Esquema de un deslizamiento traslacional. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).</p>

<p>Desprendimientos, caídas de rocas.</p>	<p>Se considera como una masa de rocas que se desprende de un talud abrupto, en una superficie de corte pequeña (Ayala et al., 1987b). Cuando la ladera presenta una inclinación casi vertical, el material cae debido a la fuerza de gravedad. Las partículas saltan cuando el ángulo de inclinación es menor y ruedan cuando la pendiente es menor a 45° (Cruden y Varnes, 1996),</p>	 <p>Figura 2.2 Esquema de caída de rocas. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).</p>
<p>Vuelcos</p>	<p>Es una rotación hacia afuera de la ladera alrededor de un punto por debajo del centro de gravedad de la masa desplazada (Cruden y Varnes, 1996).</p>	 <p>Figura 2.3 Esquema de vuelco en bloque. Fuente: (De Freitas y Waters, 1973).</p>
<p>Reptación</p>	<p>Son movimientos que suceden a un ritmo lento a extremadamente lento sin una superficie de falla definida. Se consideran dos tipos de reptación, estacional, cuando es asociado a cambios climáticos o humedad en el terreno y verdadera cuando ocurre un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.</p>	 <p>Figura 2.4 Esquema de reptación. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).</p>

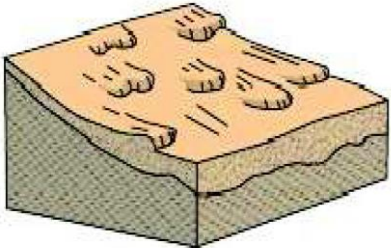
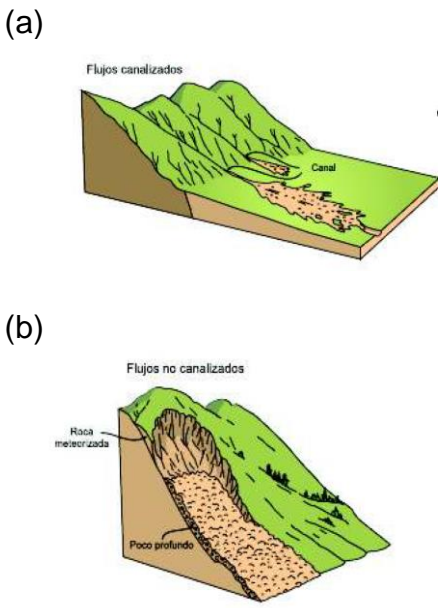
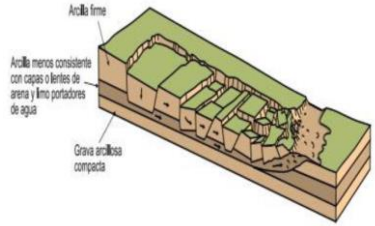
<p>Solifluxión.</p>	<p>Es un tipo especial de reptación, que ocurre en las partes altas de las cordilleras donde se alcanzan temperaturas de congelación.</p>	 <p>Figura 2.5 Esquema de solifluxión. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).</p>
<p>Flujo</p>	<p>Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento se comporta como un fluido, puede ser rápido o lento, saturado o seco. En algunos casos, se originan a partir de otro movimiento, ya sea de un deslizamiento o caída (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Existe dos importantes flujos, flujo canalizado y flujo no canalizado.</p>	 <p>Figura 2.6 (a) Esquema de flujo canalizado (b) esquema de flujo no canalizado.</p>
<p>Extensión lateral</p>	<p>Es un movimiento que ocurre comúnmente en masas de roca, sobre suelos plásticos o finos, como arcillas y limos que pierden gran parte de su resistencia al remodelarse (Suárez, 2009).</p>	 <p>Figura 2.7 Esquema de extensión lateral. Fuente: (Varnes, 1978).</p>

Tabla 2.1 Clasificación de Movimientos en Masa (MM). Fuente: (Cruden y Varnes, 1996)

2.1.6 Inventario de Movimientos en Masa

El levantamiento de Inventario de Movimientos en Masa (MM) se ha llevado a cabo mediante trabajo de campo. Este proceso implica recopilar información sobre un conjunto de MM que han ocurrido en un período de tiempo específico y compilar datos esenciales relacionados con sus características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas.

Para recopilar la información más relevante acerca de los MM se ha tomado el formato propuesto por Carlosama & Carrera (2017) mostrado en el “ANEXO I”. Este formato ha sido adaptado a partir del Formato para Inventario de Movimientos en Masa presente en la publicación Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Para el levantamiento del inventario, los aspectos más importantes que se consideraron fueron: Ubicación, fecha de ocurrencia, tipo de movimiento, volumen del MM, descripción, nivel de humedad, cobertura vegetal y los factores que inciden en los MM.

2.1.7 Parámetros Geotécnicos

Cohesión

La cohesión es el grado de cementación o adherencia entre las partículas del suelo. En la mecánica de suelos, se emplea para representar la resistencia al corte producida por la cementación entre las partículas. En los suelos predominantemente granulares, no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, a estos suelos se les denomina “suelos friccionantes o no cohesivos” y el valor de la cohesión es igual a cero. Por otro lado, en los suelos saturados, la tensión debida a la succión del agua en los poros genera una adhesión aparente entre las partículas debido a las fuerzas capilares, esta cohesión “aparente” desaparece con la saturación (Suárez, 2009)

Ángulo de fricción (ϕ)

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, expresado mediante la ecuación:

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \text{Tan } \phi \text{ (Ecuación 2)}$$

Este ángulo depende de varios factores, entre los más importantes son: tipo de mineral constitutivo de las partículas, tamaño y forma de las partículas, distribución de los tamaños de las partículas, fábrica, densidad, permeabilidad, presión normal o de confinamiento y presión de preconsolidación, por ende, el ángulo de fricción es el resultado de la combinación de todos los factores (Suárez, 2009)

Peso Unitario

El peso unitario se refiere al volumen que ocupa cualquier tipo de materia en el espacio y está relacionado con el contenido de agua. Por lo tanto, el peso unitario representa el peso húmedo por encima del nivel freático (Suárez, 2009).

2.1.8 Análisis de estabilidad de taludes

Para el análisis de estabilidad de taludes se han estudiado una gran variedad de metodologías para una modelación matemática. Los objetivos principales para esta modelación son los siguientes:

- Determinar las condiciones de estabilidad del talud.
- Investigar los posibles mecanismos de falla.
- Evaluar la susceptibilidad de los taludes a diferentes mecanismos de activación.
- Comparar la eficacia de diversas opciones de estabilización y su impacto en la estabilidad del talud.
- Diseñar taludes óptimos en términos de seguridad, fiabilidad y eficiencia económica. (Suárez, 2009).

Una parte muy esencial en la estabilidad de taludes es la ingeniería geotécnica y su rol en la modelación matemática de taludes. El propósito subyacente de esta tarea es llevar a cabo un análisis exhaustivo de las condiciones de estabilidad en taludes naturales y garantizar la seguridad y el rendimiento adecuado en el diseño de taludes artificiales (Suárez, 2009).

Para el análisis de estabilidad, se dispone de varias herramientas, como tablas o ábacos, análisis gráficos, cálculos manuales, hojas de cálculo y el uso de software (Suárez, 2009). En este estudio en particular, se utilizará el programa Slide 8.0 que es un software que nos ayudará a analizar la estabilidad de un talud con el objetivo

de hallar los desplazamientos de Newmark (D_n) mediante la geometría del talud, estratigrafía, características geotécnicas y un factor sísmico como un parámetro detonante.

2.1.9 Factor de seguridad (F.S)

El factor de seguridad se considera como la relación entre las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes para que un talud falle a lo largo de una superficie de ruptura tomando en cuenta el efecto de la gravedad (Suárez, 2009).

El F.S. está expresado por la siguiente fórmula:

$$F.S = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al corte}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Si:

El F.S. < 1, el talud se considera inestable.

El F.S.=1, el talud se encuentra en equilibrio.

El F.S. > 1, el talud se considera estable.

2.1.10 Programa Slide

El programa Slide es una herramienta de software diseñada para llevar a cabo análisis de estabilidad de taludes en 2D mediante la aplicación de métodos de equilibrio límite. Este programa encuentra aplicaciones fundamentales en el ámbito de la minería y obras civiles, y facilita la investigación de cuestiones geotécnicas variadas, tales como la estabilidad de terraplenes, presas, taludes en estructuras de edificación o excavaciones mineras, así como la evaluación de los efectos de cargas externas, incluidos los eventos sísmicos (ICOG, 2016).

A partir de las características geotécnicas (cohesión, ángulo de fricción interna y peso unitario), se utilizará dos versiones de este software. La versión 6.0, nos servirá para calcular el FS en condiciones no dinámicas, es decir, sin un factor detonante (sismo), mientras que la versión 8.0, calculará los desplazamientos de

Newmark en condiciones dinámicas, es decir, con un factor detonante (sismo) que es representado mediante un acelerograma para la respectiva zonificación de la amenaza.

2.1.11 Desplazamientos de Newmark (D_n)

El ingeniero civil Nathan Newmark en 1965 formuló un método para estimar el desplazamiento permanente generado por un movimiento sísmico en espacios de terreno específicos denominado Desplazamiento de Newmark. Hoy en día es muy común aplicar este método en estudios de evaluación de la ocurrencia de inestabilidad de laderas detonadas por sismos (Rodríguez et al., 2009).

El método de Newmark modela un deslizamiento como un bloque rígido que se desplaza sobre una superficie inclinada y tiene una aceleración crítica (a_c). Este enfoque permite calcular los desplazamientos permanentes acumulados del bloque que están sujetos a los efectos de un acelerograma (Jibson et al., 1998).

Para hallar los desplazamientos de Newmark, según Jibson (2007), se propone una ecuación para el cálculo del desplazamiento de Newmark en relación a la aceleración crítica (a_c) y la Intensidad de Arias (I_a).

$$\log (D_n) = A.\log.I_a - B.a_c + C.\log.I_a \pm \sigma \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

A,B,C son constantes referentes a las propiedades de los suelos.

I_a : Intensidad de Arias

a_c : Aceleración crítica

Aceleración crítica (a_c)

La aceleración crítica es considerada la mínima aceleración que requiere el suelo para cambiar su $FS=1$, por lo tanto, se considera una medida de estabilidad del talud y representa la susceptibilidad de ocurrencia para la generación de un deslizamiento inducido por sismo (Figueras et al., 2005).

El método de Newmark establece que, dada una ladera con un factor de seguridad conocido, la aceleración crítica que produce desplazamiento permanente (Figueras et al., 2005) es:

$$a_c = (FS-1) \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

a_c : Aceleración crítica

g : Aceleración de la gravedad

FS : Factor de seguridad

α : Ángulo del talud

Intensidad de Arias (I_a)

La intensidad de Arias está definida como la energía por la unidad de peso disipada por una familia de osciladores de un grado de libertad, cuyas frecuencias están comprendidas en el rango de $(0, +\infty)$ para un sismo y amortiguamiento dados.

Según (Schmidt, 2008) la ecuación está definida por:

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_0} a(t)^2 dt \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

I_a : Intensidad de Arias

a : Aceleración del suelo durante el sismo

t : Variable temporal

t_0 : Duración total del registro de movimiento

2.1.12 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa.

Según Varnes (1984) se define zonificación como la división de la superficie del terreno en áreas y categorizarlas en función del grado actual o potencial de amenaza por deslizamientos u otros movimientos en masa en las laderas (SGC, 2013).

La zonificación de la amenaza permite evaluar, al menos de manera parcial, la incertidumbre en relación con la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento o movimiento en masa, y se convierte en una herramienta muy útil para la toma de decisiones, en especial, para las primeras etapas de un proyecto (Suárez, 2009).

La elaboración de los mapas de zonificación de la amenaza implica la consideración tanto del tipo de proceso como el potencial de daño en términos de intensidad o magnitud. Cualitativamente, se evalúa la probabilidad de ocurrencia (alta, media o baja) y cuantitativamente por medio del cálculo de la frecuencia o probabilidad (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

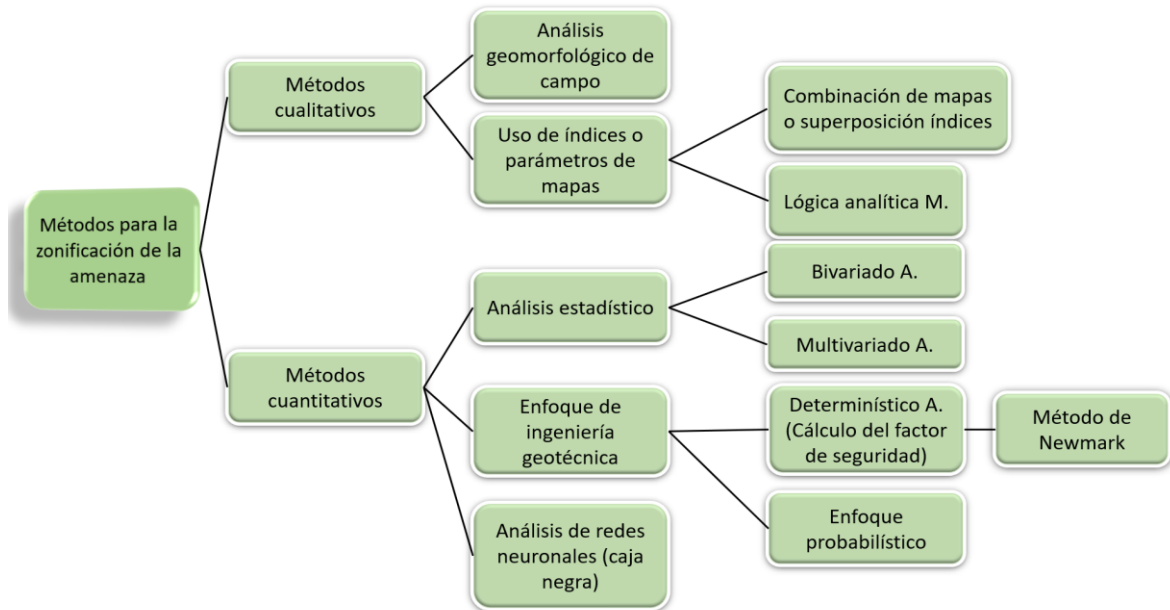


Figura 2.8 Clasificación de los métodos para zonificación de la amenaza. Modificado de Aleotti & Chowdhury, (1999)

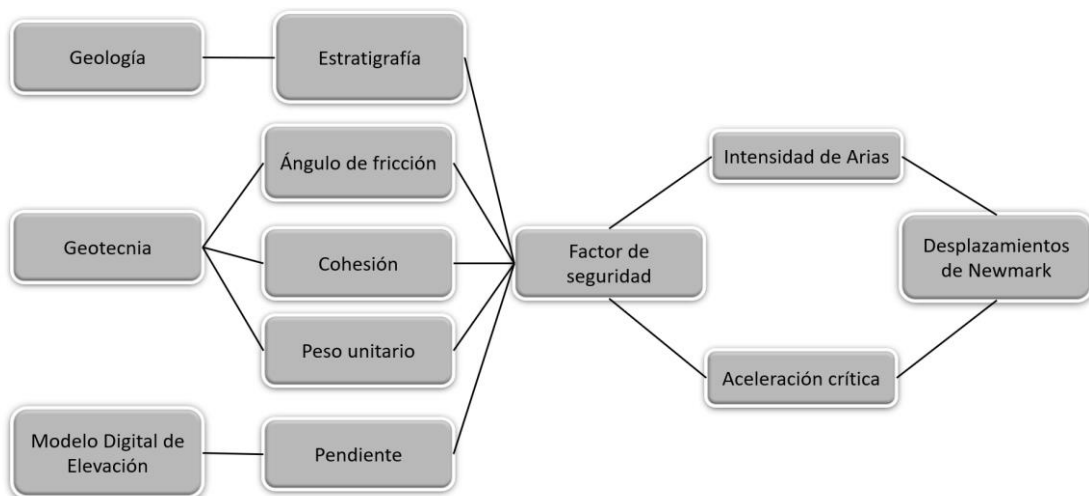


Figura 2.9 Diagrama de flujo de la metodología de los desplazamientos de Newmark. Modificado de Jibson et al., (1998).

2.2 Geología Regional

El Ecuador se encuentra en la parte noroccidental de América del Sur, su dinámica está controlada por el proceso de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, este proceso se estima que comenzó desde el Oligoceno tardío (Gutshcer, Malavieille, Lallemand, & Collot, 1999) con una dirección N83°E y a una velocidad de 56 mm/año (Kendrick et al., 2003). Como resultado de esta subducción, se ha formado el sistema orogénico de los Andes Ecuatorianos, el cual se compone de dos cadenas montañosas sub-lineares de dirección N-S, conocidas como la Cordillera Real al este y la Cordillera Occidental al oeste, separadas por el Valle Interandino (VI) (Villagómez, 2003). Además, el margen ecuatoriano presenta estructuras complejas debido a las deformaciones provocadas por la acción de la subducción, así como la presencia de la Cordillera de Carnegie con 2 km de alto y 400 km de ancho aproximadamente (Collot et al., 2009).

La subducción y acreción de terrenos en el margen Ecuatoriano han conformado ocho divisiones morfo tectónicas: Costa, Cordillera Oriental, Cordillera Occidental, Valle Interandino, Cuenca Oriente, Zona Subandina y Cuenca Alamor – Lancones (Figura 2.10)

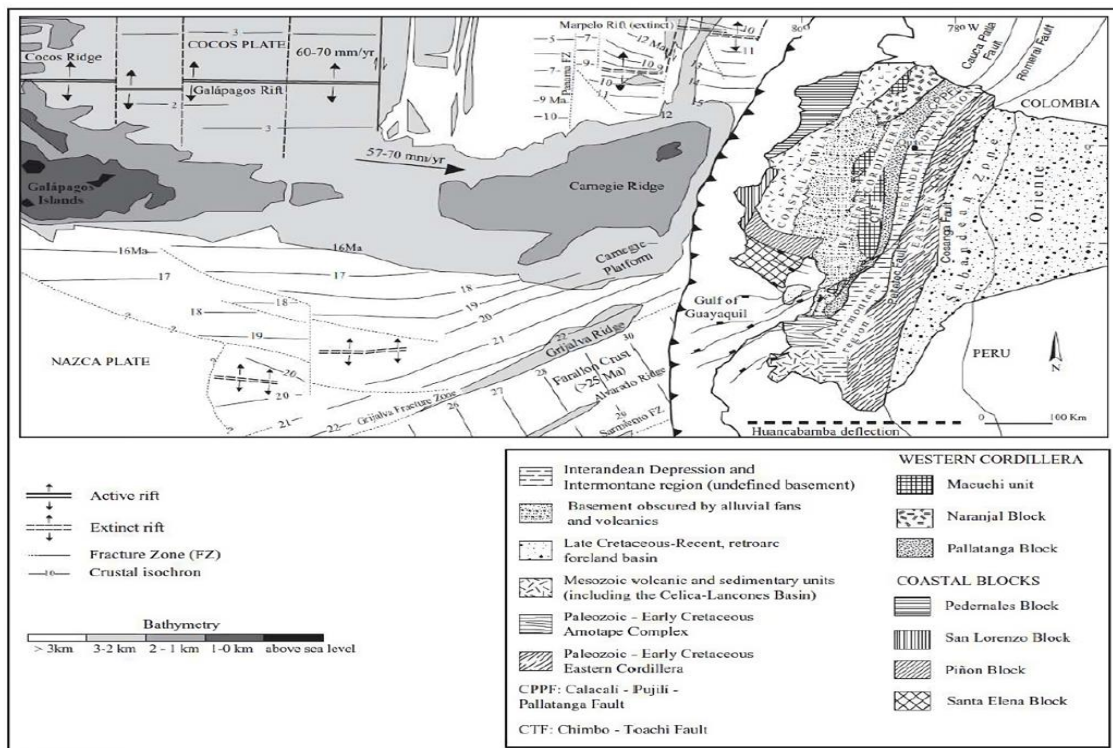


Figura 2.10 Marco Geodinámico del Ecuador. Fuente: (Vallejo et al., 2009)

2.2.1 Cordillera Real

La Cordillera Real constituye la parte este de la Cordillera de los Andes en el territorio ecuatoriano. Esta cordillera tiene una elevación promedio alrededor de 4100 metros y se extiende aproximadamente a lo largo de 660 kilómetros. Representa un cinturón alargado de rumbo NNE formado por terrenos metamórficos autóctonos y alóctonos de edad Paleozoica – Mesozoica (Litherland et al., 1994).

La parte occidental de la Cordillera Real es el resultado de la acreción lateral de terrenos oceánicos cretácicos contra la parte continental (Hughes y Pilatasig, 2002). Estas rocas han experimentado deformaciones a lo largo de diversos eventos tectónicos y han sido intruidas por plutones tipo I y tipo S. Los granitoides calcoalcalinos más significativos se emplazaron entre 100 y 150 Ma. (Aspden & Litherland, 1992).

En el Ecuador se han reconocido cinco divisiones litotectónicas en la Cordillera Real: Guamote, Alo, Loja, Salado y Zamora, que están separadas por sistemas de fallas como: Falla de Peltetec, Falla Cosanga – Méndez, Falla Llanganates, Frente Baños (Aspden & Litherland, 1992).

2.2.2 Cordillera Occidental

La Cordillera Occidental constituye la parte occidental de los Andes ecuatorianos, presenta una altitud media de 4500 metros y una orientación NE-SW. Está formada por una serie de terrenos alóctonos de origen oceánico que incluyen arcos de islas, plateau basálticos, ofiolitas y secuencias volcánicas-sedimentarias (Hughes & Pilatasig, 2002). Estos terrenos se acrecionaron a la parte continental durante el Cretácico Tardío-Eoceno (Spikings et al., 2005).

La Cordillera Occidental comprende dos terrenos principales: el terreno Pallatanga que es el más viejo, formado por un plateau oceánico del Cretácico temprano a tardío. Por otro lado, el terreno Macuchi, que el más joven, corresponde al Eoceno temprano y posiblemente Paleoceno.

2.2.3 Valle Interandino (VIA)

Es una depresión tectónica que se formó en el Mioceno Tardío al Plioceno (Lavenue, 2006) con una longitud aproximada de 300 km de largo y 25 km de ancho y una orientación N-S a NNE-SSW, se encuentra limitada al oeste por la Cordillera Occidental y al este por la Cordillera Oriental (Villagómez, 2003). El VIA está ubicado entre los 0°45'N en el Chota hasta 2°30'S en Alausí donde los Andes del Ecuador Central y Sur forman una única cadena montañosa, sin un valle dominante central (Hall et al., 2008).

2.2.4 Cuenca Quito – Guayllabamba

La Cuenca Quito – Guayllabamba es una depresión que se encuentra al norte del VIA, tiene una dirección aproximada N-S, con una longitud de 30 km y de 3 a 5 km de ancho (Alvarado, 1996). Esta cuenca consta de depósitos volcánicos y volcanoclasticos, morfológicamente se divide en dos subcuencas: Centro – Norte y Sur, separadas por el río Machángara y el Domo Panecillo (Villagómez, 2003).

Estratigrafía de la Cuenca Quito-Guayllabamba

Para el comienzo de la estratigrafía de la Cuenca Quito-Guayllabamba, se tomará en cuenta desde la formación más antigua de la cuenca hasta la más joven.

La formación más antigua corresponde a la Formación Pisque. Las rocas de esta formación corresponden a depósitos volcánicos como coladas de lava, coladas piroclásticas, tobas y cenizas (Alvarado, 2012) y depósitos sedimentarios fluviales y lacustres (Villagómez, 2003).

La Formación San Miguel, que yace en discordancia sobre la Formación Pisque, consiste de una secuencia volcánica rica en tobas de depósitos deltaicos y lacustres que progradan hacia el este. Estos depósitos fueron deformados durante una fase synsedimentaria, influenciados por cargas ejercidas por lahares más jóvenes que se depositaron durante la Formación Guayllabamba (Villagómez, 2003).

La Formación Guayllabamba se encuentra en discordancia sobre la Formación San Miguel y registra un período de actividad volcánica intensa y una tectónica compresiva. En la parte sur y oeste, consta de depósitos volcánicos como flujos

piroclásticos, flujos de lava y avalanchas, mientras que hacia el este prevalece un flujo lahárico que se depositó durante la época de San Miguel. (Alvarado, 2012; Villagómez, 2003).

Sobre la Fm. Guayllabamba y Fm. San Miguel descansa en discordancia erosiva y angular la Fm. Chiche (Villagómez, 2003). Su nombre proviene debido a afloramientos encontrados en el río Chiche y está formada por depósitos lacustres y fluviales intercalados con tobas (Villagómez, 2003). De acuerdo con Lavenu (1996), en la cima de esta formación se han encontrado dientes fósiles y se ha interpretado que es de edad pleistoceno medio (alrededor de 0.5 Ma).

Sobreyaciendo a la Fm. Chiche se encuentran las formaciones Machángara, Mojanda y Cangahua.

La Formación Machángara se encuentra dividida en dos partes: la parte basal corresponde a la Unidad Volcánicos Basales, que contiene depósitos volcánicos como flujos de escombros, avalanchas y flujos de lava, mientras que la parte superior, corresponde a la Unidad Quito, conformada por sedimentos fluviales, lahares y tobas (Alvarado et al., 2014).

Otra formación que se encuentra sobre la Formación Chiche, es la Formación Mojanda, que se encuentra principalmente en el centro-norte de la cuenca y consiste en depósitos volcánicos y volcanosedimentarios pertenecientes al Complejo Volcánico Mojanda – Fuya Fuya (Jaya, 2009; Villagómez, 2003). En esta formación predominan los depósitos de flujos de escombros intercalados con niveles de ceniza, lahares, conglomerados, arenas fluviales y oleadas piroclásticas. Dentro de esta formación constan caídas de tefras denominadas R1 y R2 (Robin et al., 1997).

Sobre la tefra Mojanda R1, se encuentra la Formación Cangahua, ubicada en la parte nororiental de la Cuenca Quio-Guayllabamba. Esta formación es un depósito periclinal de color caqui-amarillento, que se extiende desde el sur de Ecuador (Cañar) hasta el sur de Colombia (Pasto) y cubre a las regiones del Valle Interandino. Su origen se atribuye a procesos de compactación de flujos piroclásticos y meteorización del arco volcánico Ecuatoriano, principalmente del Valle Interandino (Vera y López, 1986).

Mientras que Clapperton (1993) asocia el origen de la Fm. Cangahua a grandes periodos de glaciación en las cordilleras Real u Occidental y con las condiciones secas del Valle Interandino.

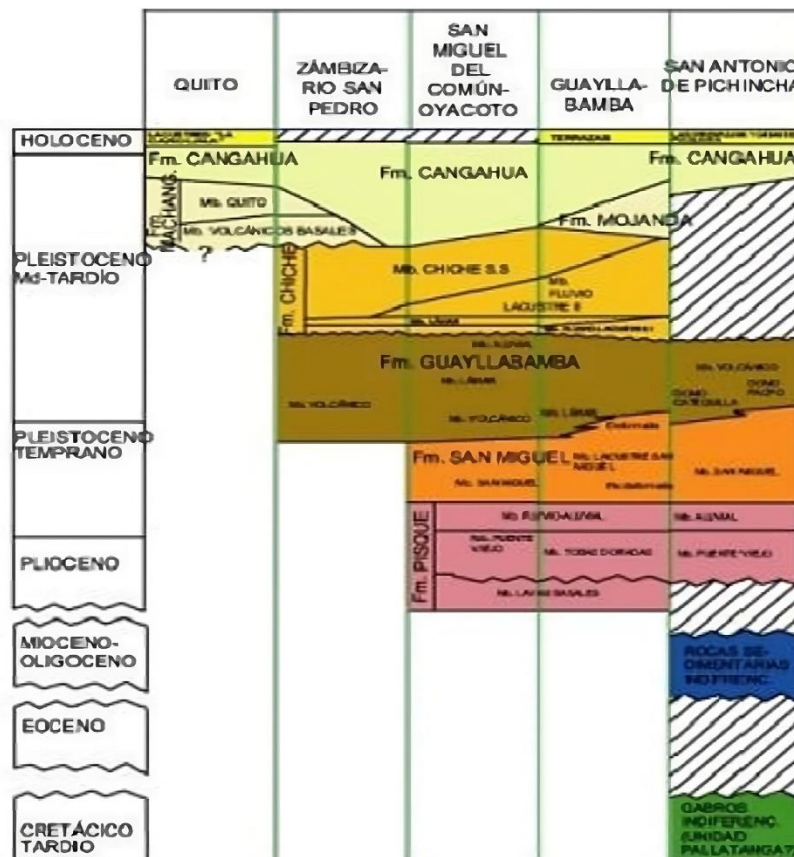


Figura 2.11 Estratigrafía de la Cuenca Quito-Guayllabamba. Fuente: Villagómez (2003).

2.3 Geología Local

2.3.1 Estratigrafía de la cuenca sur de Quito

FORMACIÓN MACHÁNGARA

- **Miembro Volcánicos Basales**

En este miembro está la Unidad Basamento y se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular sobre la Formación Chiche con una edad perteneciente al Pleistoceno Superior (Villagómez, 2003). Esta unidad comprende una variedad de

depósitos, que incluyen avalancha de escombros, flujos de lava, flujos de lodo y brechas volcánicas procedentes tanto del Complejo Volcánico Atacazo – Ninahuilca como del Complejo Volcánico Pichincha. Algunas áreas específicas, como la Av. Simón Bolívar, exhiben afloramientos de flujos de lava y avalancha de escombros con una composición andesítica (Peñañiel, 2009).

- **Miembro Quito**

- **Unidad volcanosedimentaria Guamaní**

Esta unidad está conformada por depósitos de caída de pómez, flujos piroclásticos y ceniza, se encuentra sobreyaciendo en discordancia erosiva a la Unidad Basamento. En la parte superior, encontramos capas de cenizas y oleadas piroclásticas estratificadas que están sobreyaciendo concordantemente al flujo piroclástico block and ash (arena y grava) (Peñañiel, 2009).

- **Unidad Fluvio – lacustre El Pintado**

A la base de esta unidad se encuentra una secuencia de brechas volcánicas intercaladas con estratos de areniscas finas y arcillas con espesores que van desde los 0.3 m. hasta 1 m. Por encima de este conjunto se encuentran estratos de arena y arcilla con gradación normal y clastos subredondeados, lo que sugiere que fueron depositados en un ambiente fluvial. En la parte superior de esta unidad, se identifican una serie de turbas, paleosuelos y tobas que alcanzan hasta los 50 m., indicando un ambiente lacustre en su proceso de deposición (Peñañiel, 2009).

FORMACIÓN CANGAHUA

La Formación Cangahua oscila entre los 14 y 40 metros de espesor y se encuentra distribuida ampliamente a lo largo de la cuenca de Quito (Alvarado, 1996) y abarca un gran porcentaje en el DMQ. Esta formación se caracteriza por su composición limo – arenosa, con tobas alteradas de color amarillento a marrón que se encuentran intercaladas con caídas de ceniza, pómez y paleosuelos (Villagómez, 2003). Mineralógicamente está compuesto por: 15-20 % de cuarzo, 2-5% de hornblenda, 1% de plagioclasa y magnetita, 56-76 % de líticos correspondientes a tobas volcánicas y lavas ácidas intermedias (Procel Guerra, 2008).

En la parte inferior de los flancos de los complejos volcánicos Pichincha y Atacazo – Ninahuilca se encuentran una serie de coluviales que alcanzan hasta los 2 metros de espesor, esta serie está conformada por bloques de andesita, dacita y pómez dentro de una matriz limo arenosa de color café. La formación Cangahua se encuentra sobreyaciendo en discordancia erosiva a la unidad volcanosedimentaria Guamaní (Peñafiel, 2009).













			LITOLOGÍA
FORMACIÓN CANGAHUA Holoceno (0.01 Ma)			 Cangahua (Acuitardo)  Coluviales
FORMACIÓN MACHÁNGARA Pleistoceno Tardío	Mb. Quito	U. Fluvio - Lacustre El Pintado	 Turbas, paleosuelos y tobas  Niveles de arcilla verde y cenizas  Brechas, arcillas y areniscas finas
		U. Volcanosedimentaria Guamaní aprox. 410 - 70 Ka.	 Cenizas y oleadas piroclásticas  Flujo piroclástico "block and ash" (Acuífero)  Toba blanca
	Mb. Volcánicos Basales	U. De Basamento	 Flujos de lodo proximales y distales  Avalanchas de Escombros (Acuífero)  Brecha volcánica soldada  Flujos de lava andesítica

Figura 2.12 Esquema estratigráfico de la subcuenca sur de Quito. Fuente: Peñafiel, 2009

2.3.2 Sistema de fallas de Quito (SFQ)

El sistema de fallas de Quito (SFQ), también conocido como QFS por sus siglas en inglés, se extiende en dirección N-S, abarcando un rango geográfico que va desde los 0° y 0.4°S, con una longitud total aproximada de 60 km. a lo largo de la Depresión Interandina en el Ecuador (Alvarado, 2012).

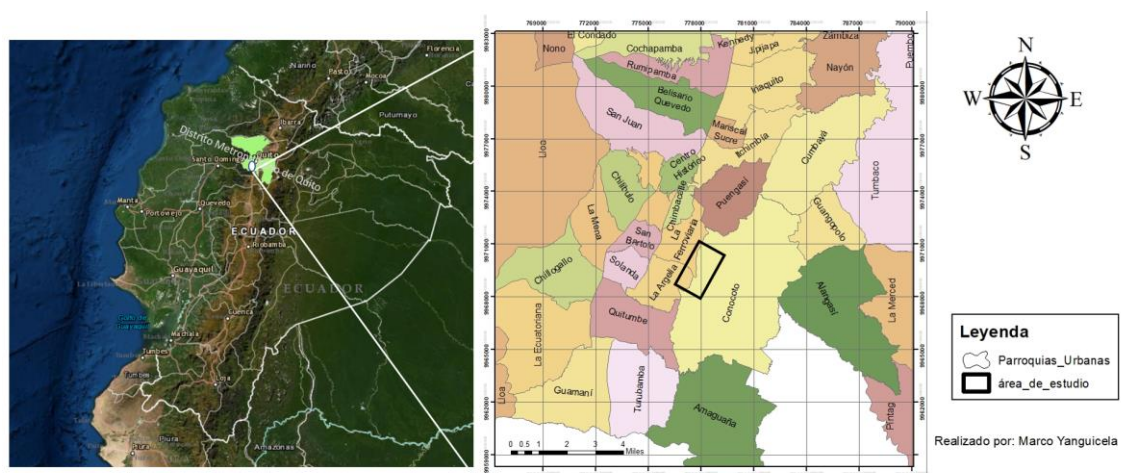
Este sistema es una zona compresiva en la que se manifiestan estructuras de acortamiento de cada uno de los segmentos de falla en ech-elón. La evidencia en la superficie se observa en el levantamiento de las lomas de: Calderón-Catequilla, Batán-La Bota y Lumbisí-Puegasí (Villagomez, 2003), que se extienden en dirección N-NNE y están ubicadas en el borde oriental de la ciudad de Quito.

Es importante destacar que el SFQ es un sistema de tipo cinemático inverso, cuyos planos de falla son ciegos, es decir no son evidentes en superficie (Villagómez, 2003). Según Alvarado et al. (2014) sugiere que el Sistema de Fallas de Quito tiene un buzamiento de 45° hacia el occidente. Su formación de este sistema está relacionada a la deformación compresional en dirección E-W a lo largo del Valle Interandino durante el Pleistoceno Medio al Holoceno y posiblemente está vinculada al proceso de subducción de la placa de Nazca junto al ridge de Carnegie y al movimiento hacia el NNE del bloque Nor-Andino (Villagómez, 2003; Winkler et al., 2005).

2.4 Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio correspondiente al barrio de San Luis de Miravalle, se ubica en la parte sur oriental del Distrito Metropolitano de Quito, en la parroquia de la Ferroviaria correspondiente a la Administración Eloy Alfaro.

Este barrio está ubicado en una ladera que forma parte del flanco oriental del levantamiento tectónico Puengasí. Desde una perspectiva geomorfológica, esta ladera corresponde al escarpe (zona de alta pendiente) donde ocurrió un antiguo macrodeslizamiento, presumiblemente hace miles de años en el pasado. La zona del escarpe se extiende en sentido norte-sur con una longitud aproximada de 3 kilómetros y pendientes que varían entre 25° y 35° inclinadas hacia el Este.



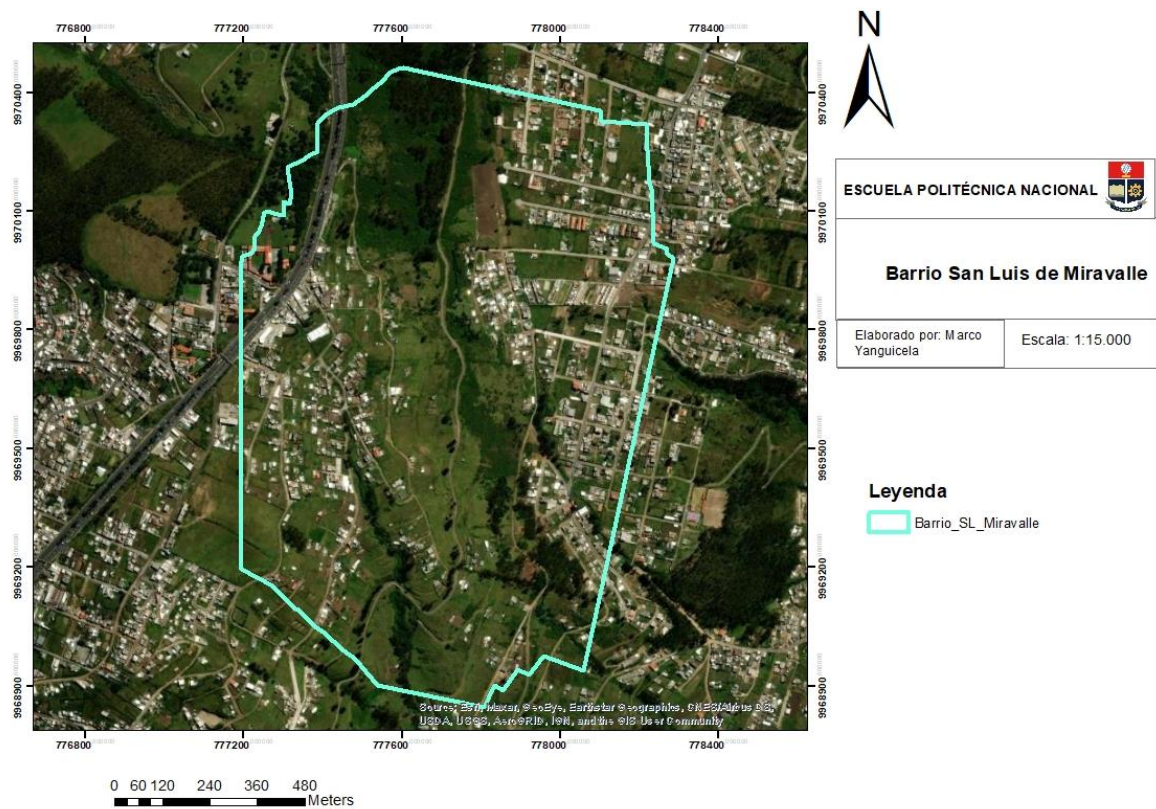


Figura 2.13 Mapa de ubicación de la zona de estudio. Fuente: Marco Yanguicela

2.4.1 Acceso

El acceso hacia el barrio de San Luis de Miravalle se lo puede hacer de dos formas, una es tomando la Avenida Simón Bolívar con dirección sur a norte y tomar la calle que se encuentra una cuadra antes de la gasolinera Petro-Comercial que se encuentra frente al colegio Ludoteca PVG, y la otra forma es siguiendo la misma Avenida Simón Bolívar hasta llegar al mirador de la Argelia y la primera cuadra a mano derecha.

Tener en cuenta que casi en su totalidad las calles no cuentan con adoquinado o no están asfaltadas y se encuentran totalmente descuidadas con una difícil circulación para vehículos.

2.5 Aspecto Físico

2.5.1 Clima

El clima en esta zona se enmarca en el contexto de la región interandina ecuatorial húmeda. Las temperaturas oscilan entre 8 °C y 27 °C, con una temperatura media anual de 15.7 °C. Estas cifras establecen que el clima en San Luis de Miravalle es moderado y propicio para una fácil adaptación (Pachala, 2014).

Este clima se caracteriza por ser templado y agradable, con ocasiones en que el calor se hace presente en días soleados, alcanzando máximas de hasta los 27 °C. Por otro lado, las noches llegan hasta los 8 °C, llegando a ser muy frío a lo largo del valle de los Chillos. Además, en la zona se distinguen dos estaciones bien definidas, marcadas por períodos de sequía y de fuerte lloviznas. Estas condiciones climáticas hacen que el entorno sea propicio para actividades agrícolas y ganaderas, gracias a su rica flora y fauna (Pachala, 2014).

2.5.2 Hidrografía

El barrio de San Luis de Miravalle se encuentra en el límite entre las parroquias de la Ferroviaria y Conocoto, y está situado dentro de la subcuenca del río San Pedro.

Esta subcuenca se caracteriza por su sistema de drenaje, que fluye en dirección sur a norte. Entre los principales cursos de agua que conforman esta subcuenca se encuentran el río Blanco, que posteriormente recibe el nombre de Jambelí, y el río Pedregal. Además, la red hidrográfica incluye varias quebradas que recibe su abastecimiento de deshielos y vertientes procedentes de los volcanes Ilinizas, Rumiñahui, Corazón, Atacazo y Pasochoa (Valenzuela, 2005).

La zona de estudio es atravesada por varios drenajes pequeños y algunos secos que nacen del canal de agua Pita-Tambo. Es posible que la formación de estos drenajes a lo largo del tiempo haya sido resultado de la escorrentía superficial, ya que no había suficientes sistemas de drenaje para aguas pluviales, además de la filtración de agua procedente de las tuberías que se conectan al canal.

2.5.3 Morfología

La configuración morfológica de la cuenca de Quito se debe en gran medida a la influencia del sistema de fallas inversas de Quito, lo que se evidencia a través de una serie de lomas alargadas en dirección N-NNE. Estas lomas se dividen en 3 segmentos principales: Lomas Ilimbisi – Puengasí, Lomas Batán – La Bota y Lomas Calderón Catequilla (Villagómez, 2003).

El barrio de San Luis de Miravalle se encuentra a unas altitudes que varían desde 2384 hasta 2981 msnm., formando parte de la cuenca de Quito – Guayllabamba y ubicada a lo largo de la parte oriental de la Loma de Puengasí.

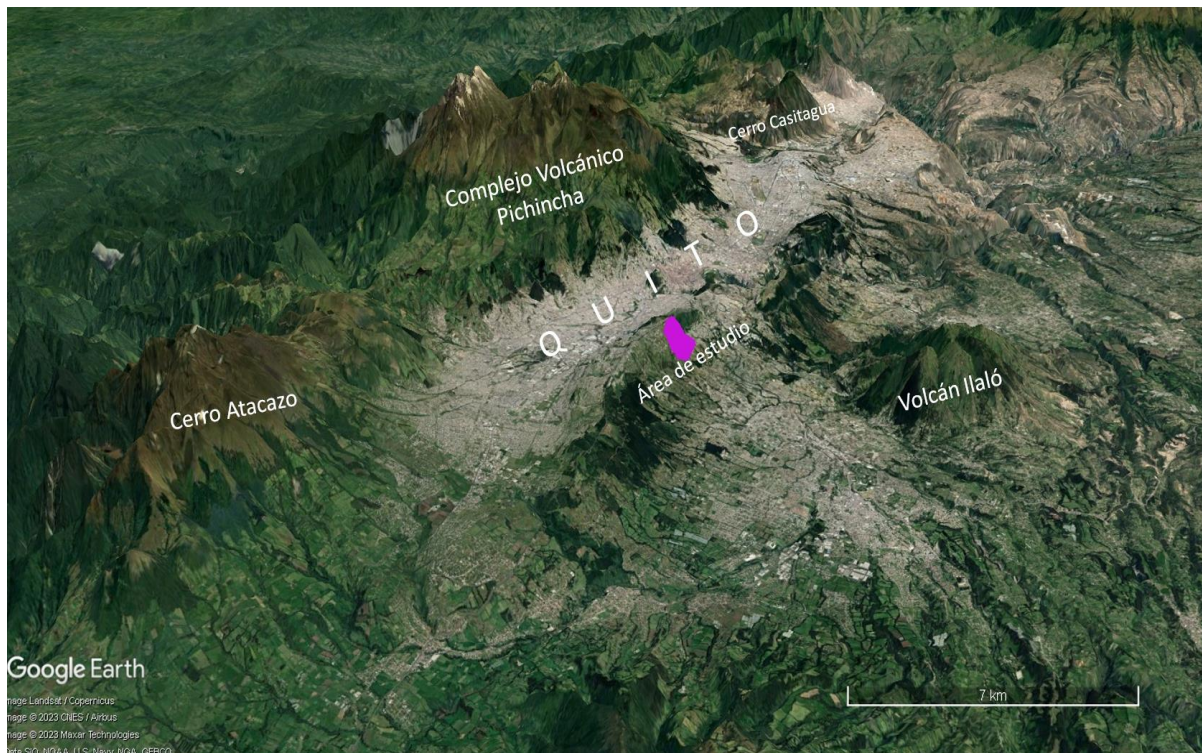


Figura 2.14 Morfología de la zona de estudio vista en 3D. Fuente: Google Earth Pro, modificado por Yanguicela, 2023

CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para realizar la zonificación de amenaza por Movimientos en Masa se utilizará el método determinístico basado en los desplazamientos de Newmark (1965), el cuál se ha establecido para el análisis de estabilidad de taludes. Este método utiliza datos litoestratigráficos, geotécnicos y geometría del talud, etc., entre los más importantes, ya que son factores que afectan directamente a la resistencia al corte.

El presente trabajo es parte del proyecto “Tomorrow’s Cities” (pie-dg-ig-uedinburgh-2020), el cuál nos ha proporcionado información de campo como el registro de deslizamientos ocurridos a lo largo de la zona de estudio, que es el punto de partida para la realización del Inventario de Movimientos en Masa, además, el Modelo Digital de Terreno (MDT), se obtuvo a través de imágenes de vuelos de un Vehículo aéreo no tripulado (VANT) realizados por el mismo proyecto, así como registros fotográficos de la ladera y cortes de talud.

3.1 Análisis de la Amenaza

El análisis de la amenaza se realizará mediante el análisis de estabilidad de taludes con el propósito de identificar las condiciones en las que se encuentran estos taludes y obtener factores de seguridad que nos proporcionarán información sobre su grado de estabilidad. Como parte de este análisis, se incorporará un valor sísmico como un factor detonante.

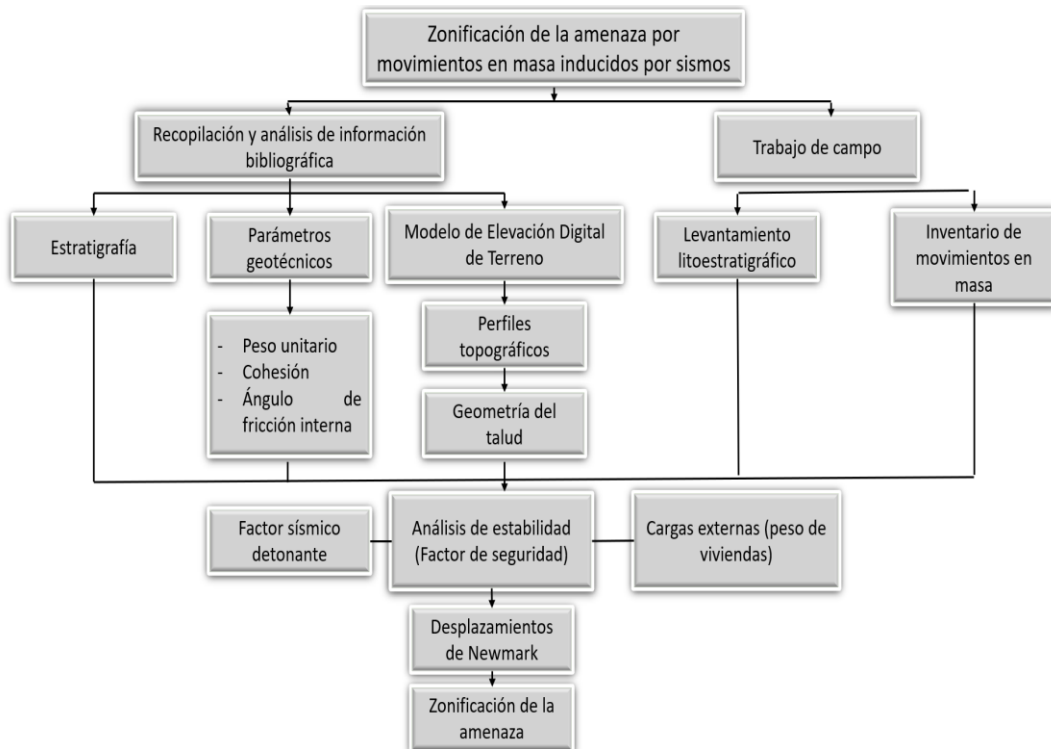


Figura 3.1 Metodología para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa

3.2 Litoestratigrafía

3.2.1 Levantamiento litoestratigráfico

La estratigrafía de la zona de estudio se obtuvo mediante estudios bibliográficos previos y con la ayuda de trabajo en campo se obtuvo una mejor calibración.

El levantamiento litoestratigráfico se hizo a lo largo de la zona de estudio desde la parte inferior correspondiente al canal de Pita – Tambo hasta la parte superior correspondiente a la Av. Simón Bolívar.

El levantamiento se realizó mediante trabajo de campo en taludes a lo largo de la zona de estudio. Las diferentes unidades geológicas mapeadas, en su mayoría se encontraban aflorando a lo largo del corte de las vías. La mayoría de taludes, estaban cubiertos simplemente por vegetación herbácea, lo que facilitaba el levantamiento estratigráfico, además, varios movimientos en masa se encontraban a lo largo del corte de las vías, lo que aún más facilitaba el levantamiento. En la parte superior del barrio, a lo largo de la Av. Simón Bolívar, se encuentra la zona de relleno, esta zona no se pudo mapear ya que no se encontraba aflorando por el

hecho de las construcciones encima de esta unidad, pero los datos se obtuvieron mediante información bibliográfica previa. Para el levantamiento, se realizó una breve descripción petrográfica de los diferentes estratos que afloraban, así, entre los más importantes se describió el color, tamaño de grano, textura y composición mineralógica.

3.3 Inventario de Movimientos en Masa

El inventario de movimientos en masa ha servido como una recolección y control detallada de los diferentes tipos de movimientos en masa observados en campo.

Los movimientos en masa encontrados en la zona fueron levantados mediante trabajo de campo y analizados con la ayuda del formato modelo propuesto por Carlosama y Carrera (2017) (ANEXO I). Esto ayudó a definir el tipo de movimiento, la cantidad y su magnitud. Se registraron un total de 12 MM y de acuerdo al volumen de cada uno (Tabla 3.1) se han categorizado como pequeños deslizamientos según Varnes (1984), tomando en cuenta el análisis, estos deslizamientos y las observaciones en campo, su resistencia al corte se redujo principalmente debido a las temporadas de lluvia del sector por lo que el suelo se encontraba en su gran parte de manera húmeda.

Código del MM	Altura (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
IMM1	4	8	0.5	16
IMM2	6	17	2	204
IMM3	8	18	5	720
IMM4	4	2.5	0.5	5
IMM5	4	8	1	32
IMM6	5.5	6	1.5	49.5
IMM7	5.5	5.5	2	60.5
IMM8	4	9	0.5	18
IMM9	2.5	10	0.5	12.5
IMM10	4	20	0.5	40
IMM11	4	18	0.5	36
IMM12	4	2	0.5	4

Tabla 3.1 Volumen en metros cúbicos de los MM mapeados en la zona de estudio

3.4 Parámetros geotécnicos

Los parámetros geotécnicos de las distintas unidades geológicas se obtuvieron mediante información bibliográfica de estudios técnicos previos. Para la unidad más basal de la zona de estudio correspondiente a la unidad Volcánicos Basales, se tomó las características basadas en Hoek & Bray (1981) correspondiente a datos de avalancha de escombros en la zona de estudio. Para la unidad Cangahua se tomaron datos proporcionados por Montatixe y Chango (2018) en su proyecto de titulación, estos datos fueron obtenidos a partir de ensayos realizados por el Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR) de la Escuela Politécnica Nacional como se muestra en las Tablas 3.2 y 3.3; tanto para la Cangahua primaria como para la Cangahua retrabajada se realizará un promedio para poder obtener los datos geotécnicos de cada una.

CÓDIGO	HUMEDAD	PARÁMETRO B	DENSIDAD	PESO UNITARIO	COHESIÓN		COHESIÓN EFECTIVA		ÁNGULO FRICCIÓN	ANGULO FRICCIÓN EFECTIVO	VELOCIDAD DE CARGA
	%				%	gr/cm3	kN/m3	kg/cm2			
MV-C1-2	34.30	100.00	1.67	16.37	0.91	89.24	0.79	77.47	20.81	28.81	0.15
MV-C4-1	44.06	100.00	1.47	14.41	0.52	50.99	0.37	36.28	16.17	27.47	0.15
SB_C6_2	17.46	100.00	1.57	15.39	0.26	25.50	0.12	11.77	41.67	48.49	0.15
SB_C9_2	4.59	100.00	1.44	14.11	0.83	81.40	0.72	70.61	40.36	48.99	0.15
SB_C11_2	27.48	100.00	1.61	15.78	0.60	58.84	0.41	40.21	26.10	37.95	0.15
SB_C12_1	24.59	100.00	1.60	15.68	1.38	135.33	1.09	106.89	25.64	33.82	0.15
SB_C15_1	30.29	100.00	1.35	13.23	0.13	12.75	0.28	27.46	50.89	53.06	0.15

Tabla 3.2 Resumen de datos obtenido de ensayos triaxiales CU. Fuente: (Montatixe y Chango, 2018)

CÓDIGO	TIPO DE ENSAYO	HUMEDAD	DENSIDAD HÚMEDA	DENSIDAD SECA	PESO UNITARIO
		%	gr/cm3	gr/cm3	kN/m3
MV-C1-1	Densidad de muestra	13.00	1.28	1.13	12.54
MV-C2-2	Densidad de muestra	3.00	1.58	1.53	15.48
MV-C3-1	Densidad de muestra	1.94	1.21	1.19	11.86
SB-C6-1	Densidad de muestra	23.16	1.47	1.19	14.41
SB-C6-3	Densidad suelta	3.43	1.08	1.04	10.19
	Densidad compacta	3.43	1.27	1.23	12.45

Tabla 3.3 Resumen de datos obtenidos de ensayos de densidad de la muestra. Fuente: (Montatixe y Chango, 2018)

Además, los datos geotécnicos del suelo y del relleno se muestra en la Tabla 4.1 y fueron tomados de Cañari & Alva (2001) y Jiménez (1999), respectivamente.

3.5 Modelo Digital de Elevación de Terreno (MDT)

Se ha obtenido el Modelo Digital de Terreno (Figura 3.2) de la zona de estudio proporcionado por un VANT dentro del proyecto Tomorrow's Cities (2020) con una resolución de 0.3 x 0.3 metros, a partir de este se generará un mapa de curvas de nivel para la generación de perfiles topográficos y adicional se realizará un mapa de pendientes para una mejor calibración.

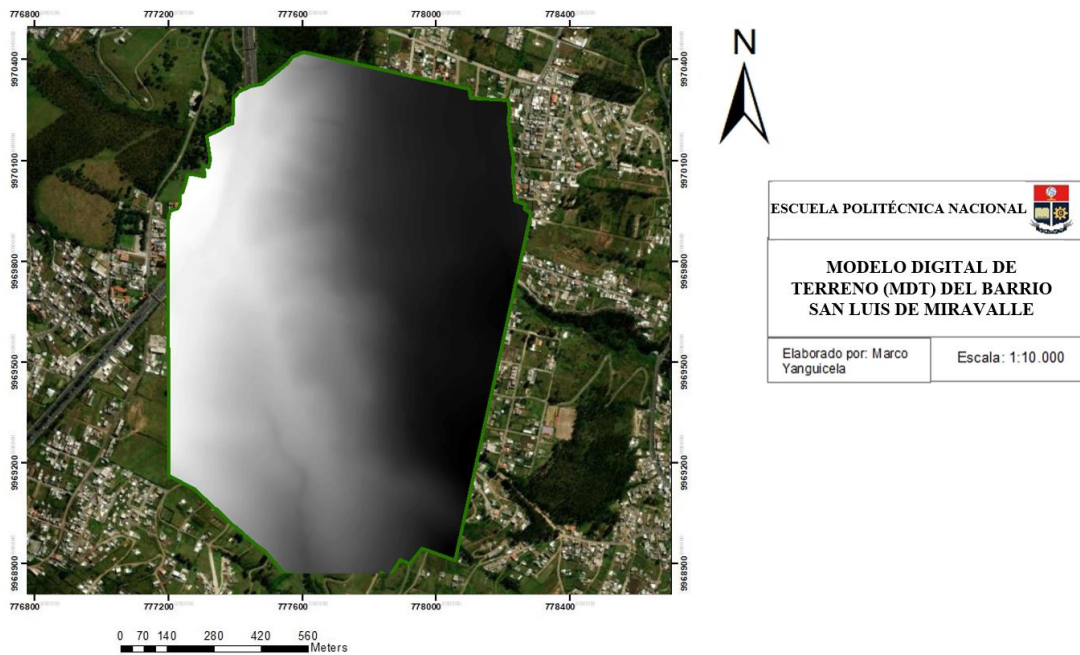


Figura 3.2 Modelo de elevación del terreno de la zona de estudio

3.6 Mapa de curvas de nivel

A partir del MDT de la zona de estudio, se generó un mapa de curvas de nivel con el objetivo de visualizar zonas de más altas pendientes para la ubicación de los perfiles topográficos a lo largo de la zona de estudio. El proceso se realizó mediante el software ArcGis, con la herramienta ArcToolbox, 3D Analyst Tools, Ráster Surface y la opción de Contour, como se muestra en la Figura 3.3. Para este caso las curvas de nivel se tomaron cada 5 metros de distancia.

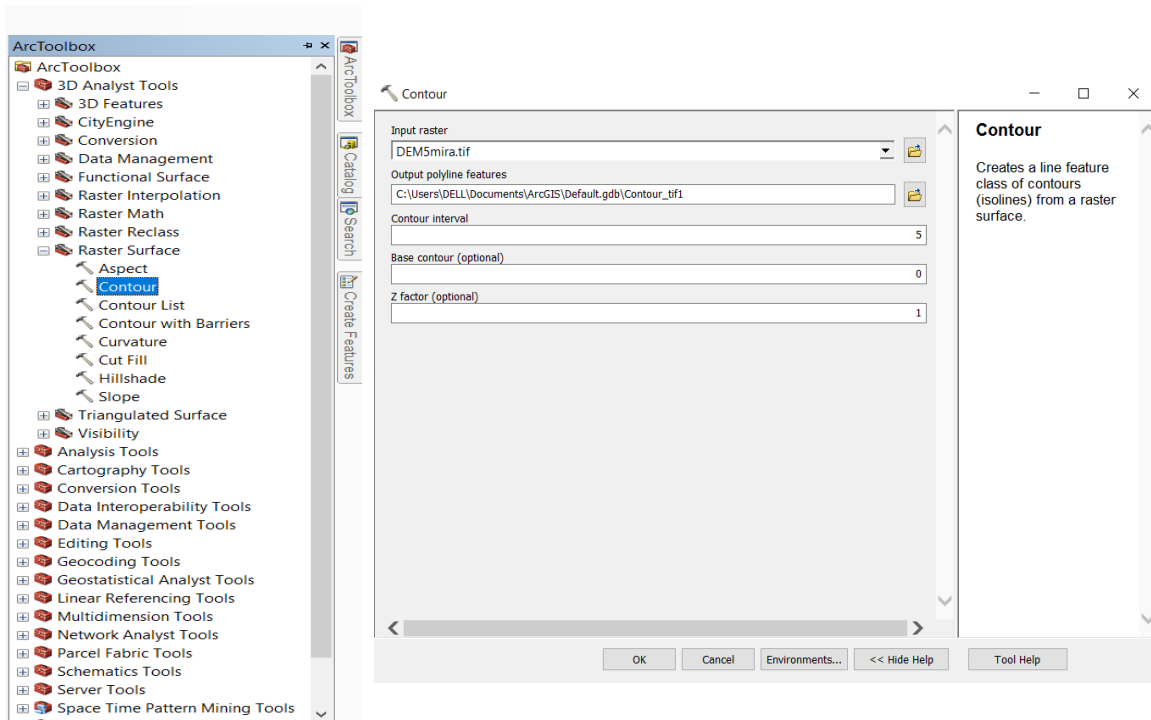


Figura 3.3 Captura de pantalla del proceso de creación de curvas de nivel utilizando ArcGIS 10.4

3.7 Mapa de pendientes

Para tener una mejor calibración acerca de las pendientes de la zona de estudio, se realizará un mapa de pendientes. Este proceso se efectuó mediante el software ArcGis 10.4 efectuando los siguientes pasos:

Se abre la pestaña Spatial Analyst Tools, Surface y la opción de Slope, a continuación se ingresa el archivo Ráster (MDT) de la zona de estudio y se escoge la opción de “DEGREE” en la pestaña de Output measurement para trabajar en grados. (Figura 3.4)

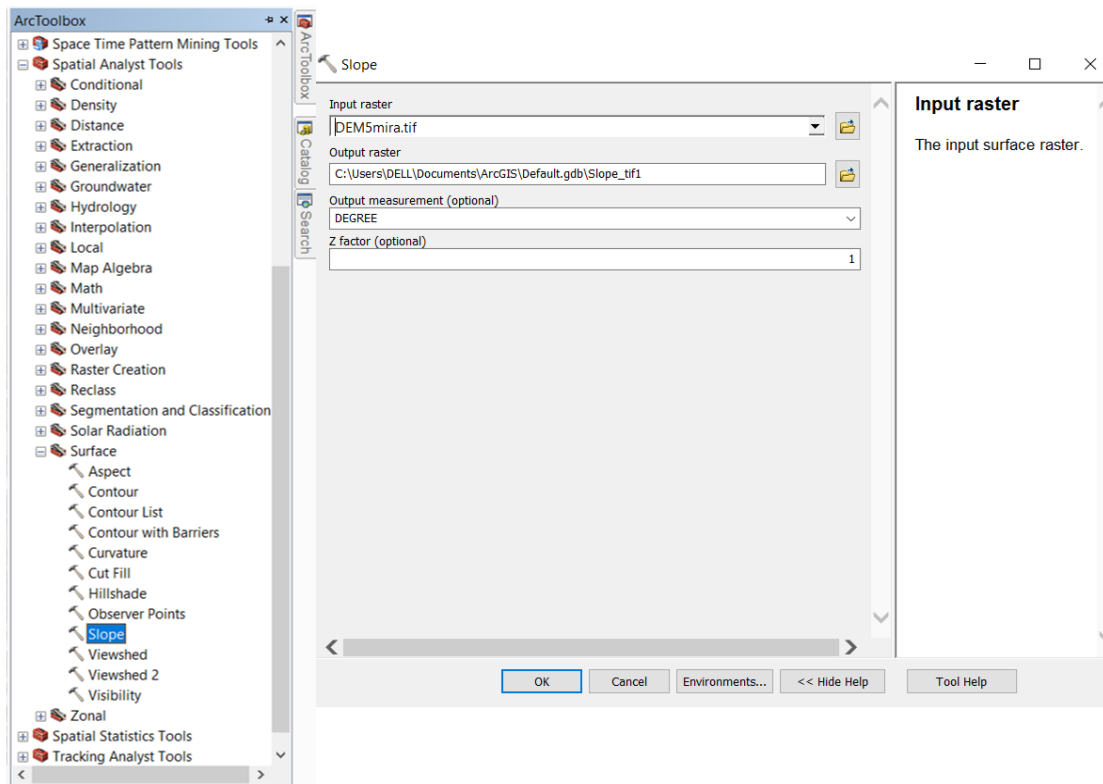


Figura 3.4 Captura de pantalla del proceso de creación del mapa de pendientes utilizando ArcGIS

10.4

3.8 Perfiles topográficos

En el software ArcGis, se realizaron 21 perfiles topográficos a lo largo de toda la zona de estudio obtenidos del mapa de curvas de nivel. Para estos perfiles se tuvo que tomar en cuenta varias características, entre ellas: las curvas de nivel deben estar estrechamente unidas ya que esto nos indica una pendiente fuerte, adicional, deben estar equidistantes entre sí y lo más paralelas posible.

En la Tabla 3.4 se muestra los datos de los 21 perfiles trazados a lo largo de la zona de estudio, también se indica las características más importantes como las coordenadas, que fueron tomadas en el punto medio de cada perfil y la longitud de cada uno, cabe mencionar que los perfiles son todos mayores a 50 metros debido a que está sometido a un factor sísmico como detonante y principalmente a la escala en la que se trabajó.

Perfil	Ubicación del perfil (Coordenadas)		Longitud (m)
	X	Y	
AA´	777,803,177	9,968,958,684	107,7
BB´	777,834,927	9,969,033,826	118,6
CC´	777,842,336	9,969,108,968	237,7
DD´	777,931,236	9,969,259,251	73,97
EE´	777,461,335	9,969,103,676	156,8
FF´	777,333,276	9,969,277,243	202,7
GG´	777,301,526	9,969,489,969	213,2
HH´	777,308,935	9,969,531,244	219,6
II´	777,323,751	9,969,601,094	235,0
JJ´	777,325,868	9,969,779,952	31,51
KK´	777,786,244	9,969,318,518	210,0
LL´	777,671,944	9,969,388,368	107,5
MM´	777,850,802	9,969,428,585	103,3
NN´	777,822,227	9,969,529,127	136,1
OO´	777,630,669	9,969,620,144	120,2
PP´	777,808,469	9,969,627,552	187,5
QQ´	777,421,118	9,969,822,286	385,0
RR´	777,757,669	9,969,815,936	116,2
SS´	777,492,027	9,969,970,453	371,6
TT´	777,538,593	9,970,109,095	305,1
UU´	777,551,469	9,970,196,937	347,1
VV´	777,682,527	9,970,307,004	140,0

Tabla 3.4 Resultado de los perfiles topográficos

3.9 Geometría del talud

La geometría del talud se obtuvo a partir de los perfiles topográficos con la ayuda de la herramienta ArcToolbox y con la opción de Interpolate Shape (Figura 3.5) para luego ingresar el DEM con respecto al que queremos hallar los perfiles. Esta geometría del talud nos ayudará para generar los bordes externos de cada talud de los 21 perfiles topográficos trazados para luego ser ingresado en el software Slide 6.0, esto permitirá obtener una mejor precisión en el modelamiento y ayudará a determinar de mejor manera las superficies de ruptura

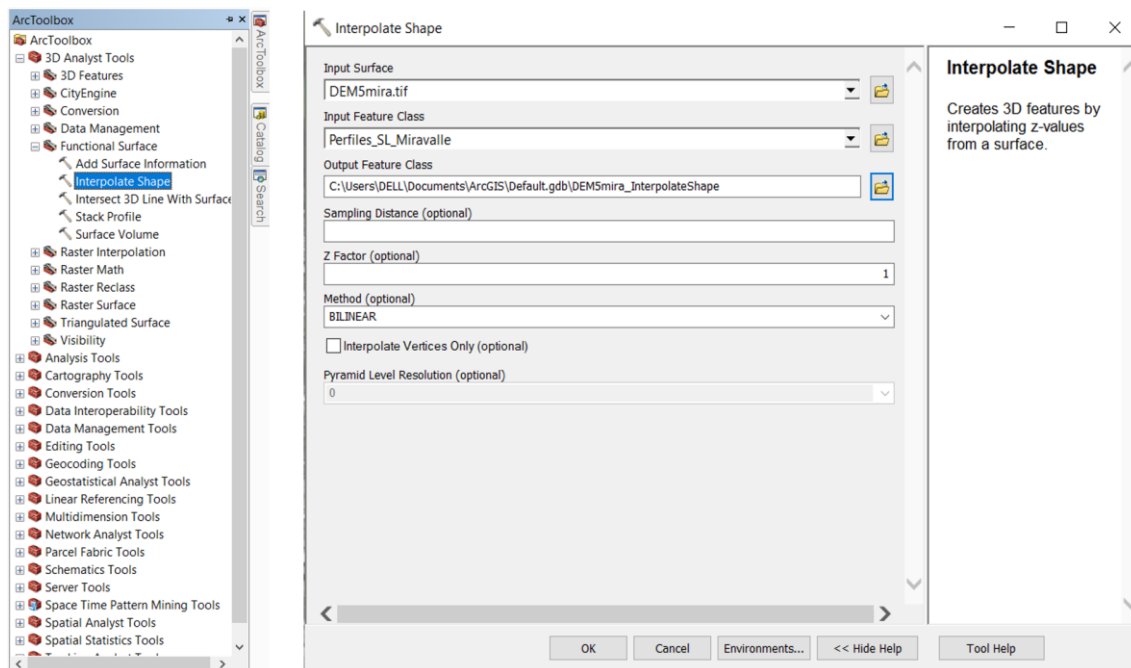


Figura 3.5 Captura de pantalla del procedimiento para la generación de perfiles topográficos con el software ArcGis 10.4

En la Figura 3.6 se muestra el resultado como ejemplo de uno de los 21 perfiles topográficos que se utilizará como el borde externo para cada modelamiento de salud.

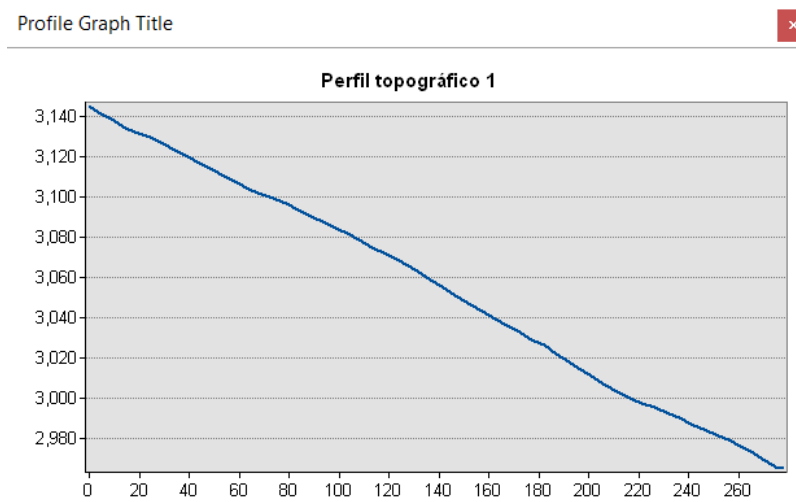


Figura 3.6 Ejemplo de un Perfil topográfico de la zona de estudio

3.10 Análisis de estabilidad de taludes

Para el análisis de estabilidad de taludes se aplicará un tipo de método determinístico, dónde utiliza ecuaciones o algoritmos desarrollados previamente

para situaciones similares, dónde ya en el software Slide 8.0 ya vienen programados automáticamente. Estos métodos no involucran enfoques estocásticos o estadísticos. En el presente trabajo, se ha utilizado el método de Newmark. Para este análisis se asume que una masa que se encuentra sobre un suelo potencialmente deslizante puede considerarse como un bloque rígido expuesto a la acción de fuerzas sísmicas. Estos desplazamientos ocurren cuando la aceleración del bloque excede la aceleración crítica (a_c), factor definido por las propiedades intrínsecas de la pendiente.

Este estudio a su vez implica caracterizar la resistencia del suelo y detonar una superficie de falla para obtener el factor de seguridad.

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el nivel de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña (Suárez, 2009).

Se debe considerar que en un talud estable hay un equilibrio entre las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes, entre las cuales es determinante la fuerza de gravedad. Si se colocan cargas adicionales en la parte superior del talud o se remueven en el pie, se puede producir la inestabilidad de éste. De igual manera, la inestabilidad puede ocurrir por el aumento de la pendiente del talud (Suárez, 1998).

Por lo general, se tiende a asegurar la calidad o el buen comportamiento de un talud a partir del concepto de factor de seguridad (FS). Este valor se usa para examinar el estado de la estabilidad de los taludes. El factor de seguridad es un concepto que se origina del método de equilibrio límite en el análisis de estabilidad de taludes.

3.10.1 Cálculo del factor de seguridad estático con el software Slide 6.0

Para el cálculo del factor de seguridad estático (FS) se utilizó el software Slide 6.0 de la compañía RocScience y se tomaron en cuenta varios pasos a considerar:

Primero, a partir del DEM se obtuvieron los perfiles topográficos calculados en base las curvas de nivel para obtener la geometría del talud y su modelación en el software.

Segundo, una vez obtenido la geometría del talud, se procedió a añadir cada una de las unidades geológicas pertenecientes a la zona de estudio. (Figura 3.7)

En el software Slide se definieron 4 unidades geológicas: avalancha de escombros, Cangahua primaria, Cangahua retrabajada y suelo, dependiendo en qué parte se haya ubicado los perfiles topográficos se tendrá o no la zona de relleno, ya que esta zona solo se ubica en la parte superior del barrio a la altura de la Av. Simón Bolívar, el mismo caso sucede con las cargas externas (peso de las viviendas).

En la Figura 3.7 se tiene el perfil topográfico cargado en el software Slide 6.0 con las 4 unidades geológicas, sin la zona de relleno.

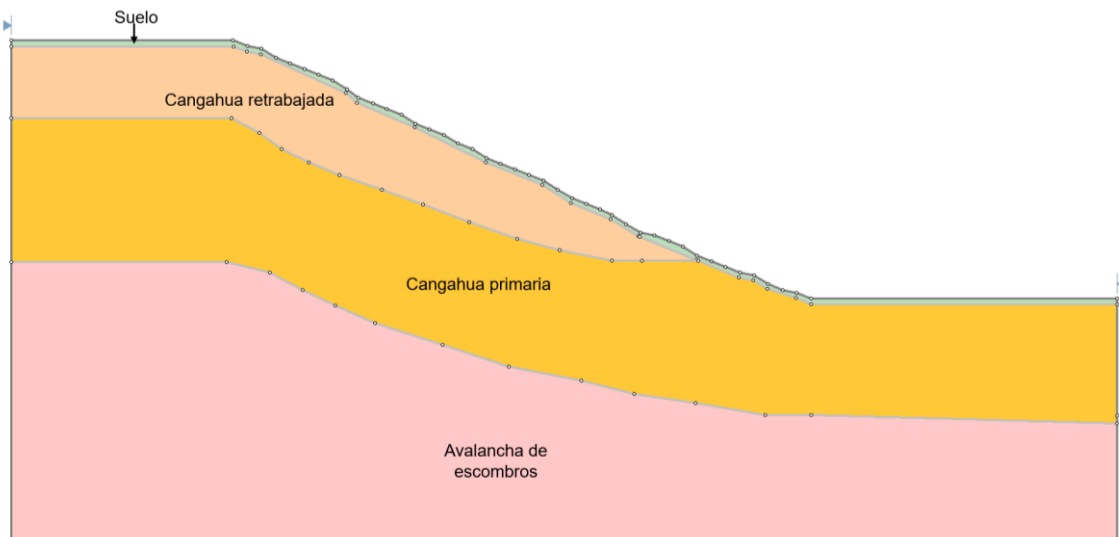


Figura 3.7 Geometría del talud y unidades geológicas de la zona de estudio

Tercero, para cada unidad geológica, se añadió sus respectivos datos geotécnicos como el ángulo de fricción interno, cohesión y peso unitario (Figura 3.8)

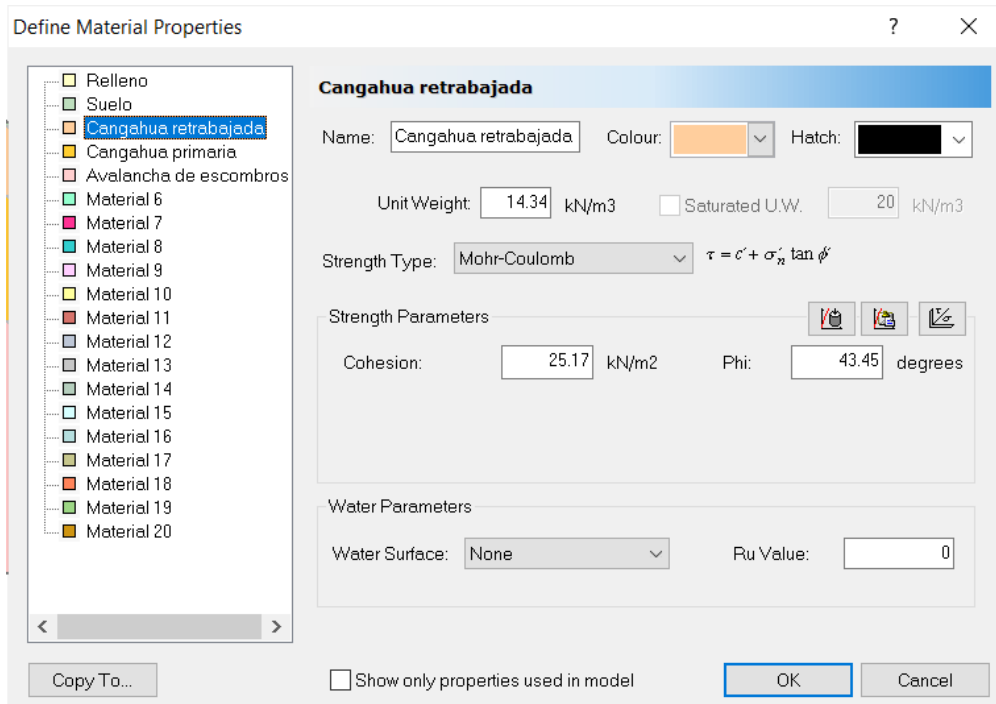


Figura 3.8 Características geotécnicas de las unidades geológicas en la zona de estudio

Por último, se introdujo cargas externas como el peso de las viviendas (Figura 3.9), cabe mencionar, que dependiendo del perfil topográfico, se debe tomar en cuenta que el peso de las viviendas podrán estar ubicados en la parte superior del talud, al medio del talud o al pie del talud y no todos los perfiles topográficos cortarán viviendas. Para la modelación, se considera un promedio de 35 kN/m² por vivienda.

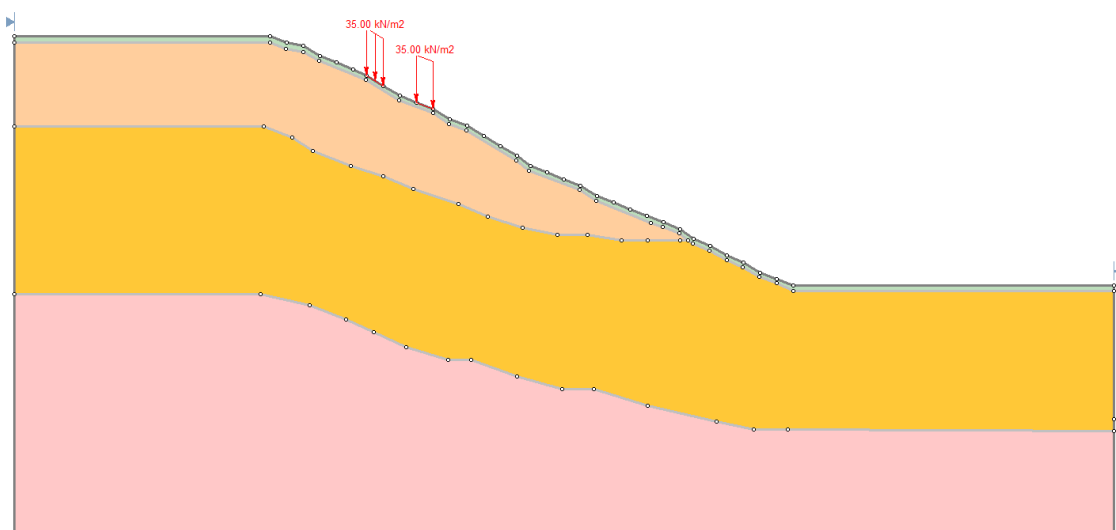


Figura 3.9 Geometría del talud con sus unidades geológicas y el peso de viviendas.

Después se obtuvo el factor de seguridad estático con todos los datos mencionados con anterioridad como se muestra en la Figura 3.10. El valor de 2.476 se considera como un promedio y es el mínimo valor del FS que calcula el software.

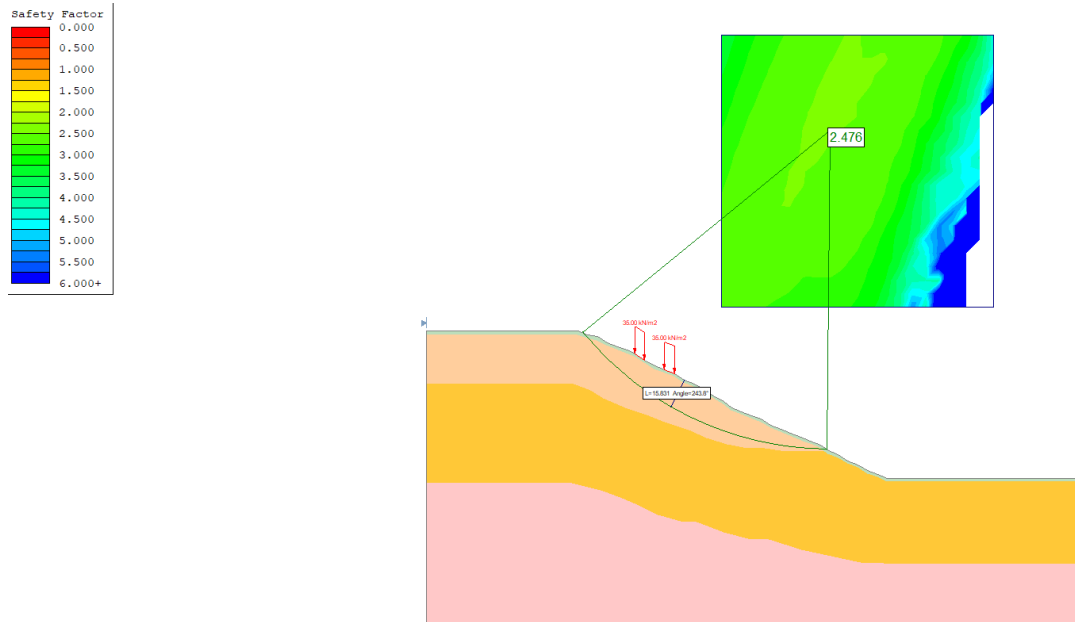


Figura 3.10 Ejemplo del resultado de factor de seguridad a lo largo del perfil EE´

Por último se obtiene un mapa de factor de seguridad a lo largo del barrio en una escala 1:10.000. Este mapa sirve para determinar el grado de inestabilidad de un talud sin factor sísmico detonante. El factor de seguridad se ha clasificado según Hernández et al., (2017) como se muestra en la Tabla 3.5

Grado de inestabilidad	Factor de seguridad estático FS
Muy alto	<1
Alto	1 - 1,1
Medio	1,1 - 1,3
Moderado	1,3 - 1,5
Bajo	1,5 - 2
Muy bajo	>2

Tabla 3.5 Clasificación del FS de acuerdo al grado de inestabilidad. Fuente: Hernández et al., (2017 in press)

3.10.2 Método de Newmark

Para el modelamiento con el método de Newmark, se utilizó la nueva versión 8.0 del software Slide, con los parámetros mencionados con anterioridad, se procedió a calcular los desplazamientos pero en este caso se añadió el factor sísmico detonante (sismo) como el punto más importante a considerar y que se representa mediante un acelerograma, esta nueva versión calculará automáticamente la aceleración crítica y la intensidad de Arias que son parámetros necesarios para obtener los desplazamientos con los cuáles se zonificará la amenaza.

Factor sísmico

El factor sísmico se añadió en el software Slide 8.0 a través de dos acelerogramas que se obtuvo mediante la base de datos de “Pacific Earthquake Engineering Research Center “PEER” Ground Motion Database, USA”. Según (Cañizares, 2017) este factor se considera en base a estudios realizados en otras partes del mundo y se debe considerar que abarque características sísmicas similares al Sistema de Fallas de Quito como: el mecanismo de falla inversa (Alvarado, 2012) y valores de distancia epicentral entre 10 – 30 km (Cañizares, 2017).

Para el cálculo de los desplazamientos de Newmark, se seleccionaron dos sismos internacionales (Tabla 3.7) para el respectivo modelamiento tomando varias consideraciones descritas a continuación:

Según Alvarado (2012), describe que el DMQ está ubicado dentro de una fuente sismogénica dónde se encuentran varios sistemas de fallas como el Sistema de Fallas de Quito, por lo que se espera sismos de magnitud Mw 4.1 hasta Mw 6.9, estos datos fueron tomados mediante recopilaciones de sismos recientes e históricos.

Cañizares (2017), seleccionó varios sismos locales ocurridos en el DMQ (Tabla 3.6) para poder comparar y obtener sismos internacionales (Tabla 3.7), los cuales están caracterizados por medio de acelerogramas y deben tener condiciones compatibles con el contexto sísmico del Distrito Metropolitano de Quito.

Sismo	Fecha	Mw	Profundidad	dt	Mecanismo de falla
Conocoto	7/2/2011	4.2	12	0.01	Inverso
Guayllabamba	19/10/2011	4.1	3	0.01	Inverso
Calderón	12/8/2014	5.1	5.3	0.01	Inverso
Calderón 2	16/8/2014	4.7	8	0.01	Inverso
Puembo	8/8/2016	4.6	7.3	0.01	Inverso
Puembo-Tababela	4/9/2016	4.7	2.7	0.01	Inverso

Tabla 3.6 Registros sísmicos para el DMQ. Fuente:(Cañizares, 2017)

Sismo	Estación	Año	Mw	Rjb (Km)	Rrup (Km)	Tipo de suelo	dt
Coalinga	Sulphur Baths_Tem	1983	5.7	9.7	12.1	C	0.005
Loma Prieta	San José-Sant. Ter	1989	6.9	14.1	14.7	C	0.02

Tabla 3.7 Registro sísmico internacional. Fuente: (Cañizares, 2017)

Para la selección de los sismos internacionales, se tomó en cuenta a partir de la base de datos Pacific Earthquake Engineering Center PEER Ground Motion Database, los cuales fueron procesados en el software SeismoSignal y cargados en la versión 8.0 de Slide.

León (2018), clasifica al DMQ en diferentes microzonas sísmicas, el barrio de San Luis de Miravalle, se encuentra en la Microzona 7, denominada Cangahua Sur. Esta zona contiene valores de Vs30, i.e., la velocidad de onda de corte en los primeros 30 metros, en un rango de 270 – 290 (m/s) (Tabla 3.8) y sirve para clasificar el tipo de suelo en un determinado valor de amplificación, correspondiente al promedio de la velocidad de onda de corte (Schmidt, 2012).

Microzona sísmica	Rango de Vs30 (m/s)	Prof. de sedimentos (m)	Período del suelo (s)
1. Flancos del Pichincha	270-315	45	0.3
2. Conos de Deyección	270-370	500	2.15
3. Lacustres Norte	220-330	500	2.15
4. Lacustres-Palustres Sur	200-350	470-720	2.8-3.15
5. Sedimentos Pomasqui	250-350	450-480	1.9
6. Cangahua Norte	320-550	480	2
7. Cangahua Sur	270-290	700-720	2.8-3.15
8. Cangahua sobre Chiche	290-430	560-570	2.4
9. Lahares del Cotopaxi	350-380	360	2.3
10. Coluviales	365	480	2-2.15
11a. Red de quebradas (Río Monjas)	250-350	450-480	1.9
11b. Red de quebradas (Ríos Machángara-S. Pedro)	320-550	480	2

Tabla 3.8 Valores de: Vs30 obtenido de León (2018); profundidad de sedimentos obtenidos de Kramer (1996); períodos del suelo obtenidos de Alfonso-Naya et al., (2012).

3.10.3 Desplazamientos de Newmark

Para el cálculo de los desplazamientos de Newmark se utilizó la versión 8.0 , en esta nueva versión ya se integra la nueva función para hallar los desplazamientos de Newmark en base al acelerograma. Para añadir el acelerograma, primero debemos ir a "Project Settings" y en la opción de "Seismic" disponemos la pestaña "Newmark Analysis Options" (Figura 3.11); en "Define Seismic Record" (Figura 3.12) se integrará los dos acelerogramas pertenecientes a los sismos de Coalinga (1983) (Figura 3.13) y Loma Prieta (1989) mencionados anteriormente con el objetivo de modelar como un factor detonante, adicionalmente, esta nueva versión calculará la aceleración crítica y la intensidad de Arias de manera automática como se mencionó con anterioridad, con las cuales tendremos como resultado final los desplazamientos de Newmark.

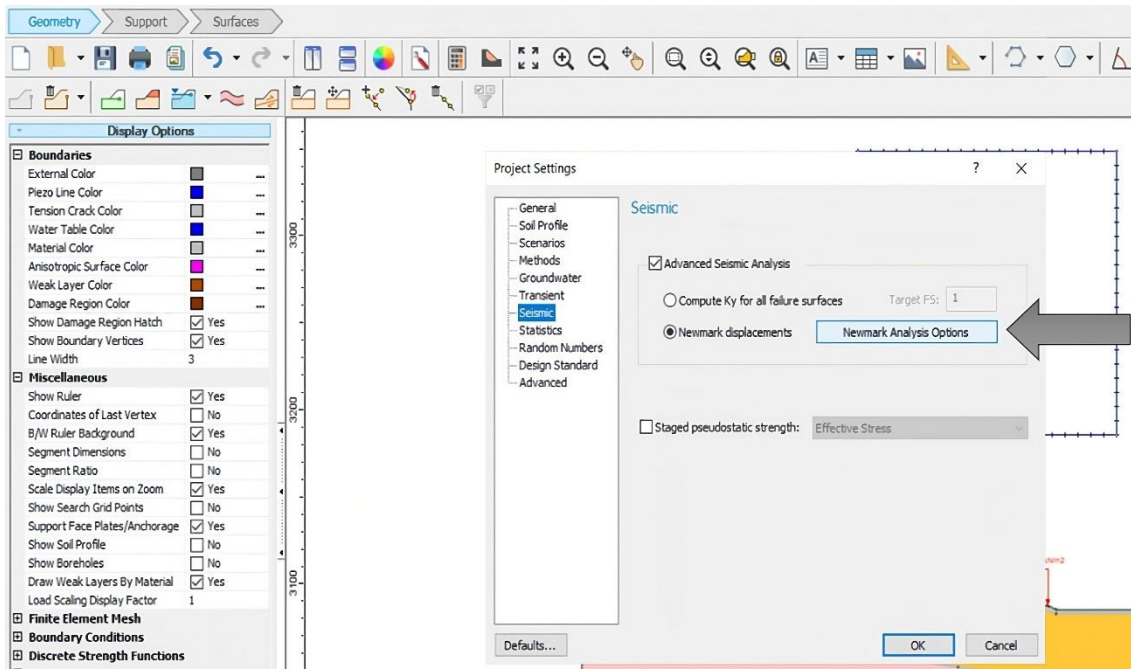


Figura 3.11 Procedimiento para insertar el acelerograma

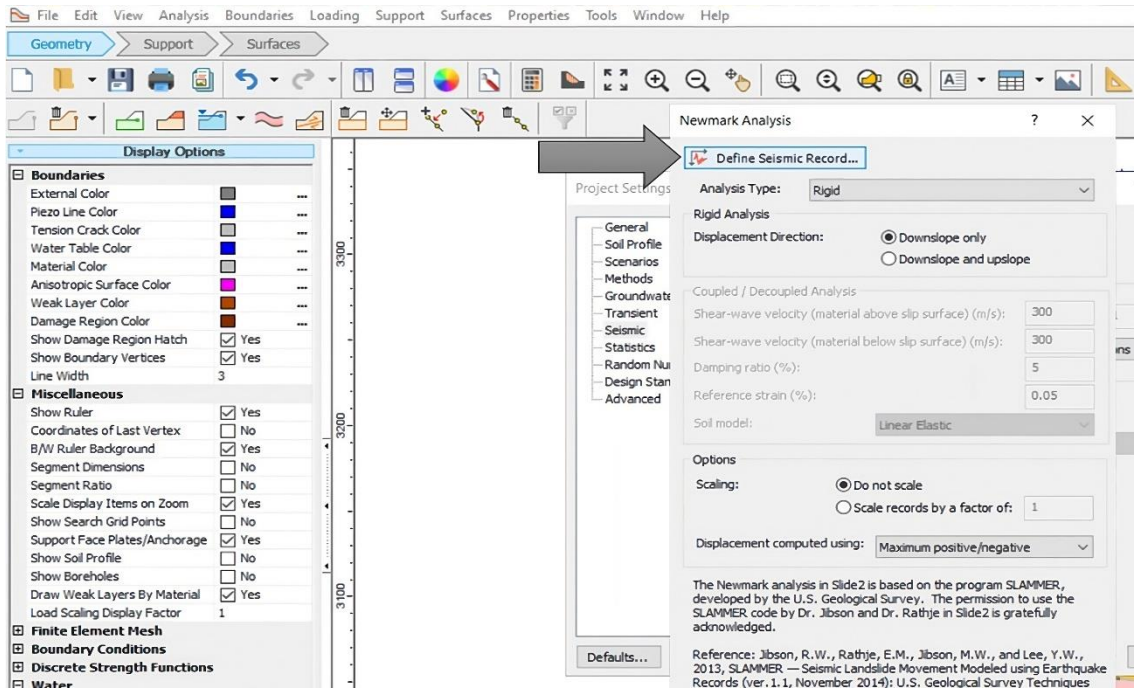


Figura 3.12 Procedimiento para insertar el acelerograma

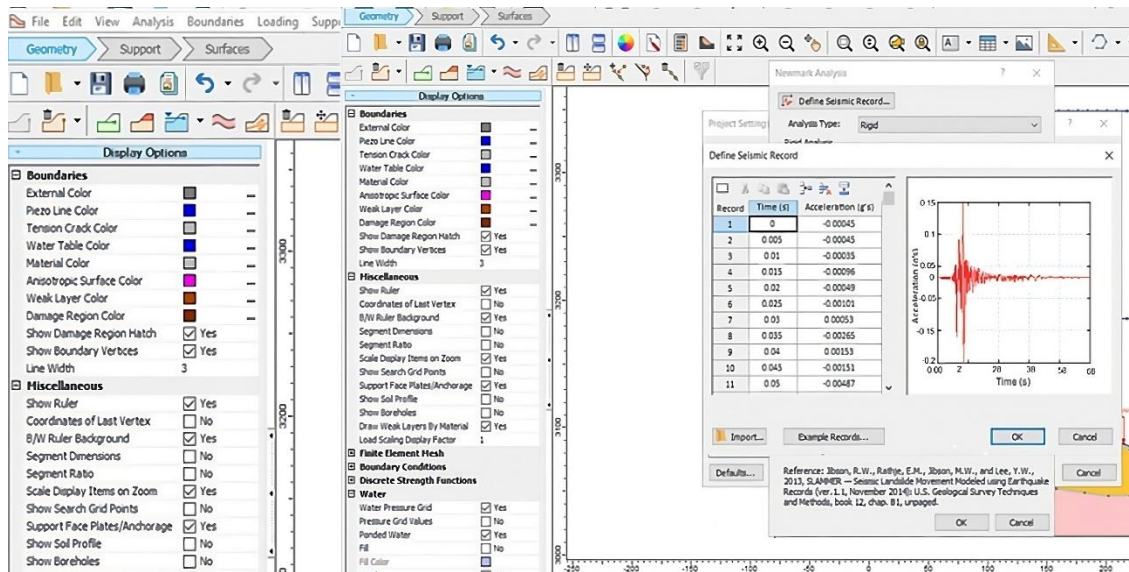


Figura 3.13 Ingreso del acelerograma del sismo de Coalinga (1983) en el Software Slide 8.0

3.11 Zonificación de la amenaza

El objetivo final de este trabajo es la elaboración de un mapa de zonificación de la amenaza de movimientos en masa con disparador sísmico. Este mapa se realizará tomando en cuenta los desplazamientos de Newmark (D_n) procesado mediante la tecnología SIG, en este caso ArcGIS. Los desplazamientos de Newmark (D_n) nos permitirá cuantificar y zonificar la amenaza por Movimientos en Masa.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Análisis de la Amenaza

4.2 Litoestratigrafía.

4.2.1 Levantamiento Litoestratigráfico

Unidad Volcánicos Basales

En la Figura 4.1 se observa el afloramiento perteneciente al denominado “avalancha de escombros” de aproximadamente 5.7 metros de altura, en este depósito se logró evidenciar clastos principalmente andesíticos dentro de un depósito de cangahua, estos clastos varían desde 6 cm aproximadamente hasta más de 2 metros, evidenciado en campo con una gran variedad de tamaño dando como resultado un mal sorteo, estos clastos van desde angulares a subangulares y por la gran cantidad de clastos se considera como clasto soportado. La composición química macroscópica de cada clasto contiene minerales como anfíbol, piroxeno y plagioclasa con una textura porfirítica, estructura masiva y colores entre gris claro hasta gris oscuro.



Figura 4.1 Afloramiento de la avalancha de escombros en el corte vial del barrio San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

Formación Cangahua

La Formación Cangahua se caracteriza por tener un color café amarillento a marrón, los tamaños de grano varían entre limo y arena con intercalaciones de pómez y tefras. Macroscópicamente consta de cuarzo, plagioclasa y vidrio volcánico, su consistencia por lo general alta.



Figura 4.2 Afloramiento de la Formación Cangahua en el corte vial del barrio San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

Para la modelación en el barrio de San Luis de Miravalle, se consideró dos clases de Cangahua, Cangahua primaria y Cangahua secundaria o retrabajada. La Cangahua primaria, considerada como un depósito que no ha sufrido movilización o algún tipo de retrabajamiento, mientras que la Cangahua secundaria o retrabajada ha sido relacionada con algunos depósitos coluviales provenientes la Fm. Cangahua que han sufrido movimiento y/o retrabajamiento.

Suelo

Por evidencias en trabajo de campo, se observó que el suelo está distribuido a lo largo de toda la zona de estudio, es un depósito compuesto principalmente por material orgánico de color café oscuro, su espesor varía entre 0.3 a 0.5 metros.

Relleno

Es un depósito conformado por material antrópico o artificial como: fundas, botellas plásticas, escombros de material de construcción, etc., su espesor varía dependiendo de la zona topográfica pero va desde 1 hasta 2 metros, se encuentra a lo largo de un tramo de la Av. Simón Bolívar, en la parte alta del barrio, comúnmente para completar y rellenar la topografía faltante y hacerla más regular para construcciones de viviendas.

Como resultado final del levantamiento litoestratigráfico se realizó la comuna litoestratigráfica general del barrio San Luis de Miravalle mostrado en la Figura 4.3

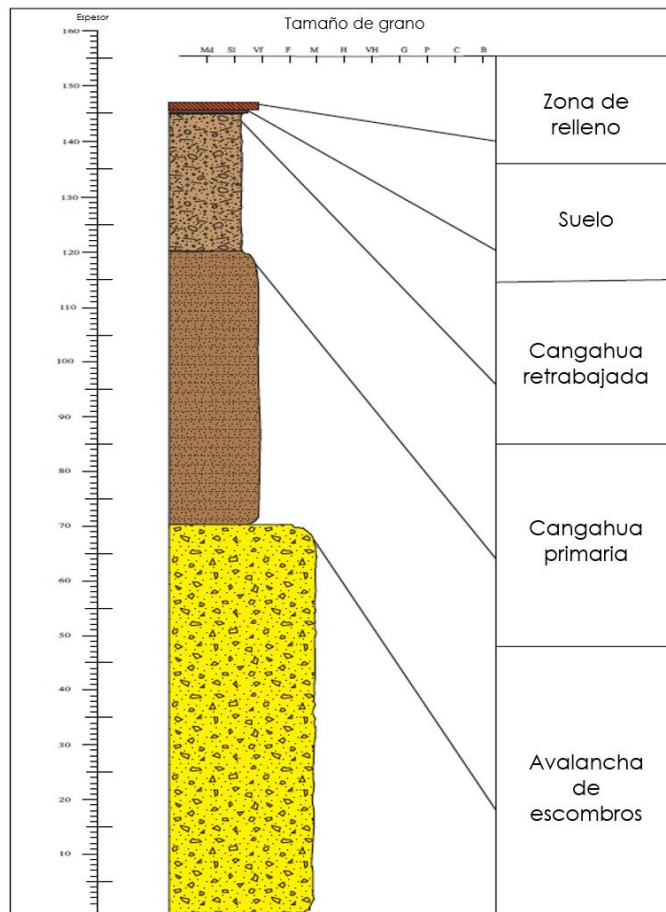


Figura 4.3 Columna estratigráfica del barrio San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

4.3 Inventario de Movimientos en Masa

El levantamiento de campo que se realizó en la zona de estudio sirvió para obtener datos acerca de los movimientos en masa, estos datos fueron el resultado de la recopilación de información basado en el formato modelo propuesto por Carlosama y Carrera (2017) (Anexo I), además, en el “Anexo II” se muestra algunas fotografías tomadas en el trabajo de campo ejecutado con anterioridad, mientras que en el “ANEXO III” se muestra la tabla resumen de Movimientos en Masa y sus características.

En el área se registraron un total de 23 movimientos en masa, los cuales, 12 se obtuvieron con el levantamiento de campo y 11 fueron proporcionados por el Proyecto Tomorrow’s Cities. Entre los movimientos más importantes encontrados son: deslizamientos rotacionales, correspondiente a un 21.73 %, caídas con un 65.21% y flujos con 13.04%.

En la Figura 4.4 se muestra el mapa de inventario de movimientos en masa, dónde consta los 23 movimientos correspondientes al barrio de San Luis de Miravalle, este mapa ubica cada movimiento a lo largo de la zona de estudio.

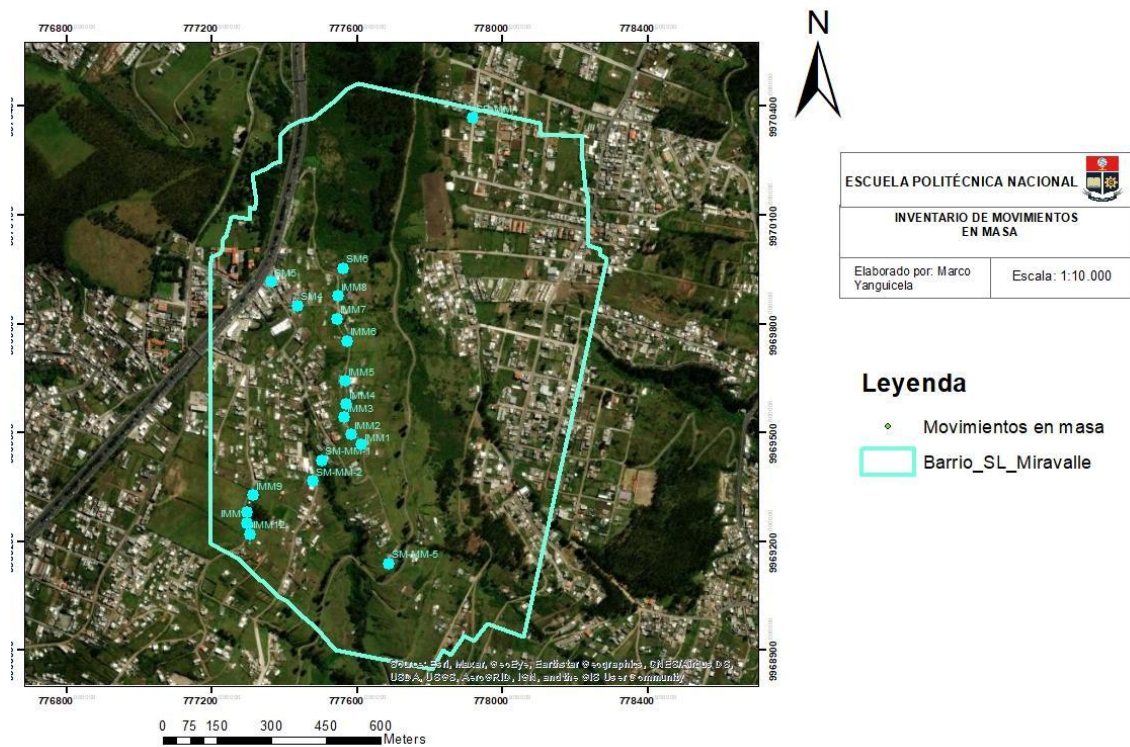


Figura 4.4 Mapa de inventario de Movimientos en Masa a lo largo de la zona de estudio. Fuente: Marco Yanguicela

4.4 Parámetros geotécnicos

Los resultados de los parámetros geotécnicos como el peso unitario, cohesión y ángulo de fricción interna se muestran en la Tabla 4.1 respectivamente, estos datos se obtuvieron a partir de información bibliográfica recopilada con anterioridad y se detalla los valores de peso unitario, cohesión y ángulo de fricción interna con su respectiva bibliografía.

Unidad geológica	Peso Unitario (KN/m3)	Cohesión (KN/m2)	Angulo de fricción interna (°)	Fuente
Relleno	17.64	4.9	3.28	Cañari & Alva (2001); Jiménez (1999).
Suelo	14.49	14.71	28.49	Jiménez (1999)
Cangahua retrabajada	14.34	25.17	43.45	Montatixe y Chango (2018)
Cangahua primaria	15.42	62.76	35.58	Montatixe y Chango (2018)
Avalancha de escombros	30	55	45	Hoek & Bray (1981)

Tabla 4.1 Parámetros geotécnicos de cada unidad geológica de la zona de estudio

4.5 Modelo Digital de Elevación de Terreno (MDT)

En la Figura 4.5 se muestra el MDT de la zona de estudio que tiene una resolución de 0.3 x 0.3 metros el cuál sirvió para la generación del mapa de curvas de nivel y el mapa de pendientes.

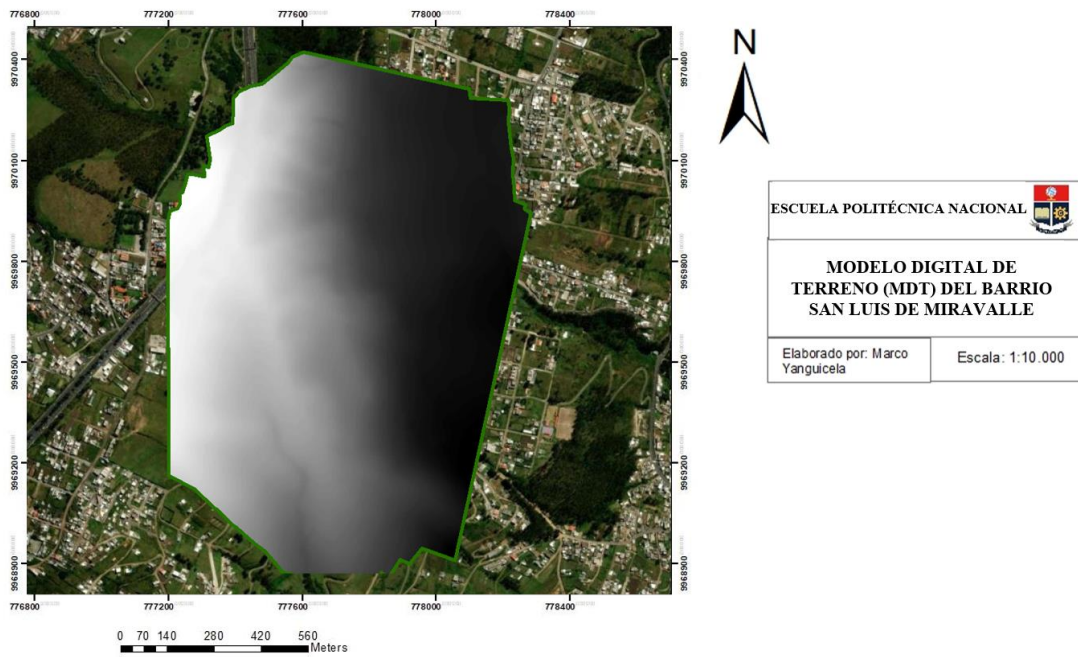


Figura 4.5 Modelo Digital de Terreno (MDT) del barrio San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

4.6 Mapa de curvas de nivel

El resultado del mapa de curvas de nivel se muestra en la Figura 4.6, este sirvió para la generación de los perfiles topográficos que sirvieron para el análisis de estabilidad de taludes.

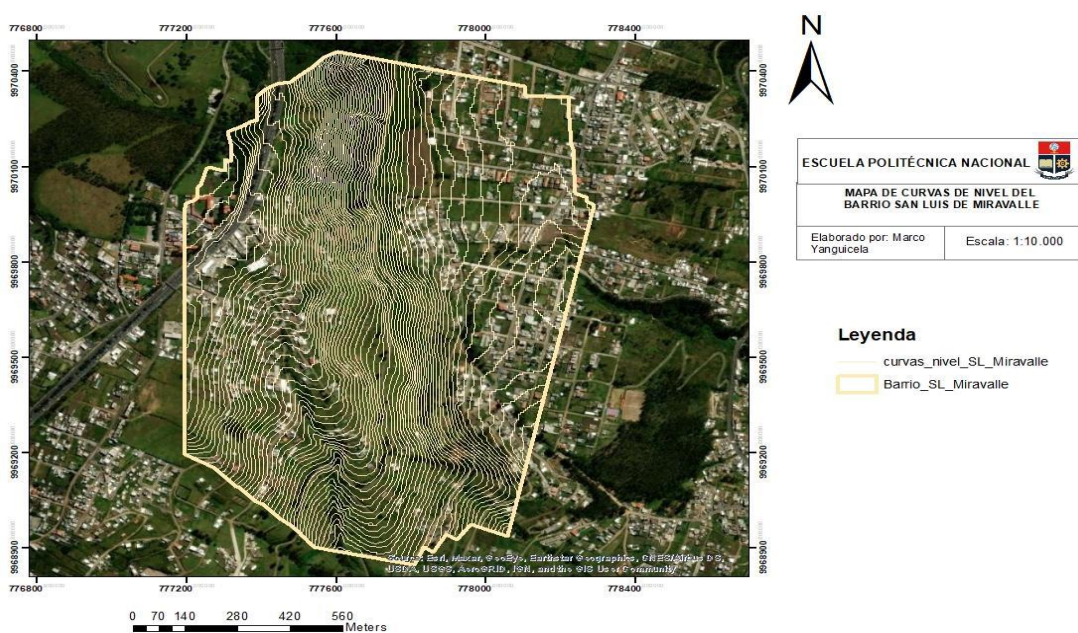


Figura 4.6 Mapa de curvas de nivel del barrio San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

4.7 Mapa de pendientes

El Modelo Digital de Elevación de Terreno sirvió para obtener el mapa de pendientes (Figura 4.7) y calibrar para una mejor visualización de zonas de pendientes altas y poder delimitar los 21 perfiles topográficos basándose en la topografía de la zona de estudio.

Para la clasificación de pendientes, se ha tomado valores de trabajos previos de zonificación de la amenaza propuesto por Hernández y otros (2017) como indica la Tabla 4.2

Color representativo de la pendiente	Pendiente (°)	Tipo de pendiente
	0° - 11°	Muy suave
	11° - 21°	Suave
	21° - 31°	Moderada
	31° - 45°	Fuerte
	>45°	Muy fuerte

Tabla 4.2 Clasificación del grado de pendientes. Fuente: Hernández y otros (2017)

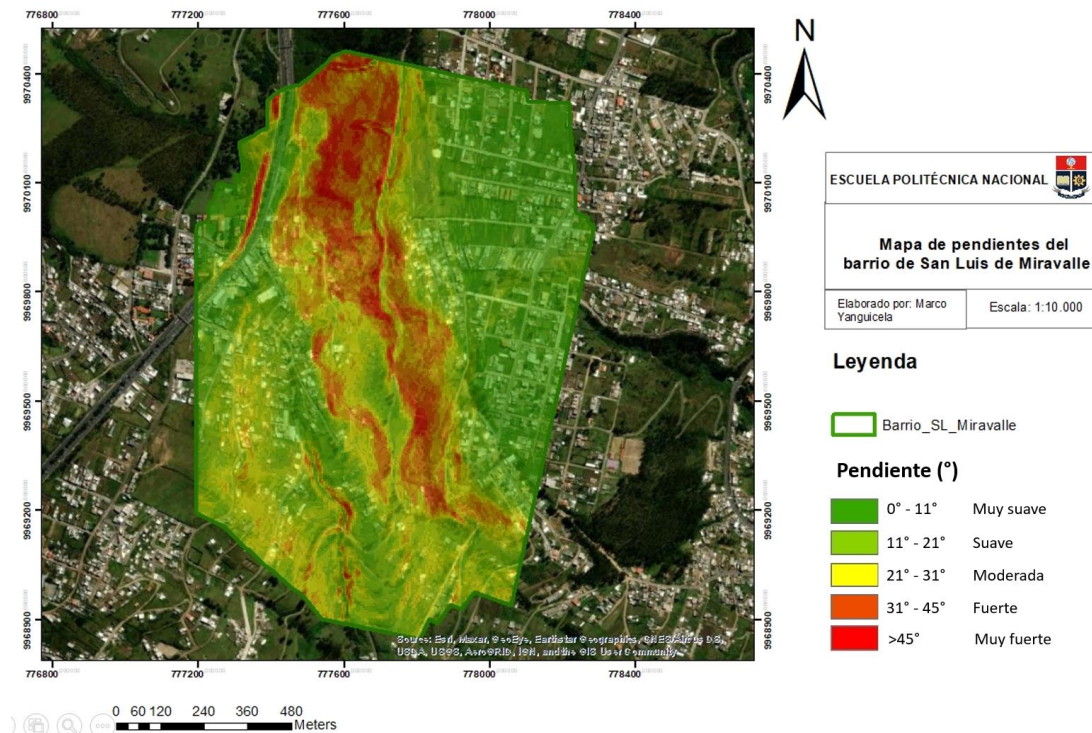


Figura 4.7 Mapa de pendientes. Fuente: Marco Yanguicela

4.8 Perfiles topográficos

El resultado de los 21 perfiles topográficos se muestra en la Figura 4.8 que se obtuvieron a partir del mapa de curvas de nivel. Para una visualización más detallada de estos perfiles, se puede observar en el “ANEXO IV”.

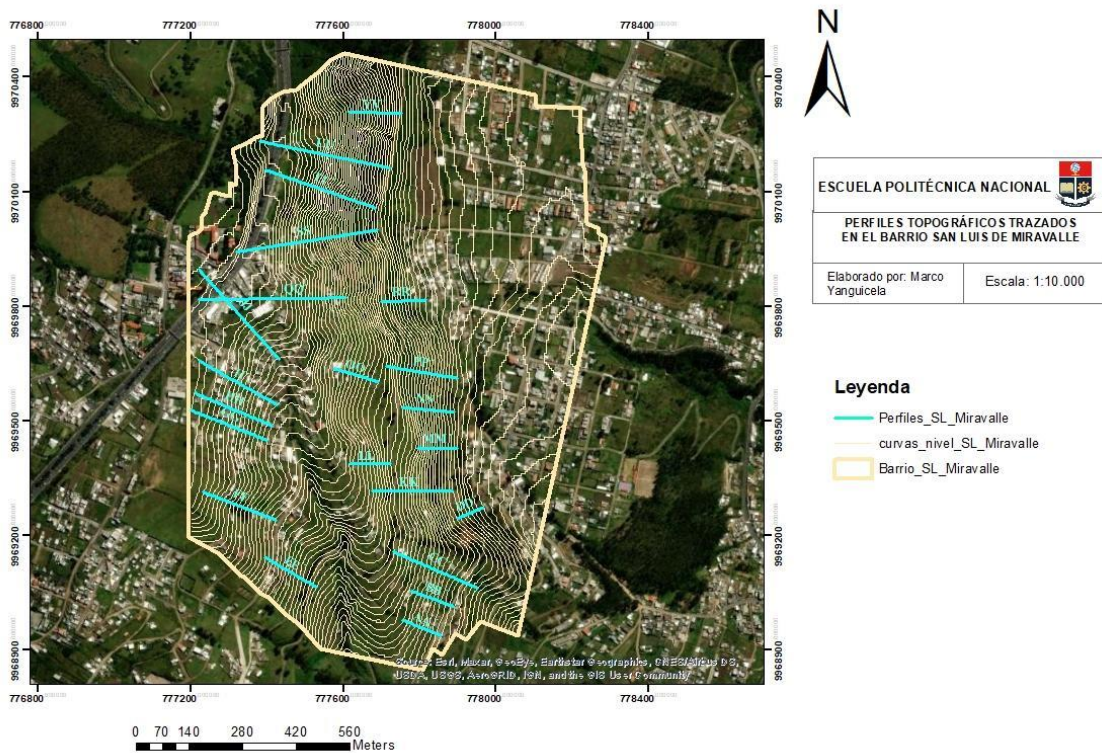


Figura 4.8 Perfiles topográficos (polilíneas de color turquesa) a lo largo de la zona de estudio.

Fuente: Marco Yanguicela

4.9 Geometría del Talud y unidades geológicas.

La geometría de cada talud, se muestra mediante un ejemplo obtenido a partir de los 21 perfiles topográficos (Figura 4.9) junto con las 4 unidades geológicas con sus respectivos colores que les diferencian entre cada una de ellas, por otra parte en la Figura 4.10 se muestra los parámetros geotécnicos modelados en el Slide. Todos estos parámetros fueron ingresados en el software Slide 6.0 para su respectiva modelación.

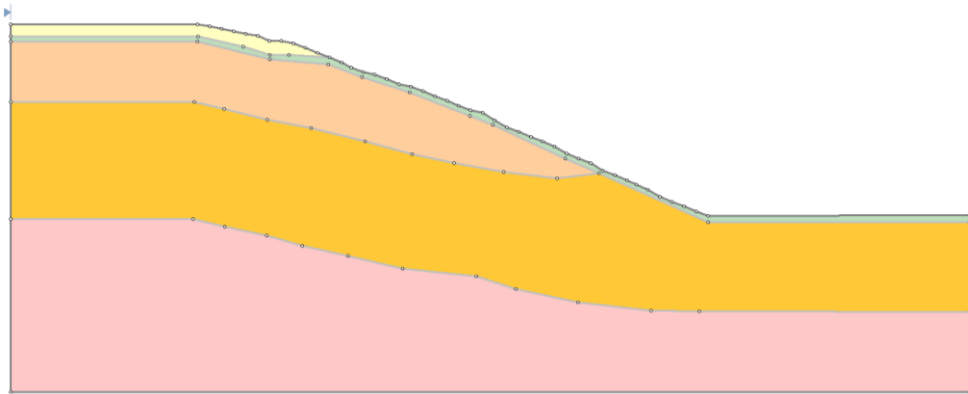


Figura 4.9 Ejemplo de geometría de talud con las unidades geológicas de la zona de estudio en el software Slide.

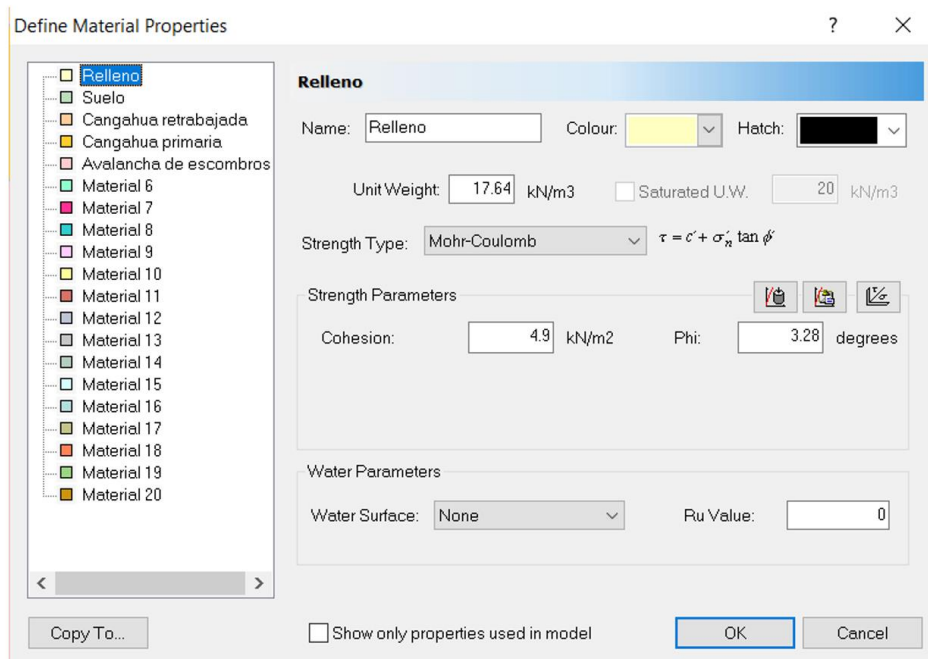


Figura 4.10 parámetros geotécnicos de cada unidad geológica en el software Slide 6.0

4.10 Análisis de estabilidad de taludes

4.10.1 Cálculo del Factor de Seguridad estático con el software Slide 6.0

Los resultados del modelamiento de los factores de seguridad estáticos se muestran en las Figuras 4.11 y 4.12. Estos dos resultados se han tomado como ejemplos de los 21 perfiles topográficos. En la primera Figura (4.11) se muestra el

resultado del modelamiento considerando las cargas de las viviendas, mientras que en la segunda (4.12) se muestra el resultado sin cargas por el peso de viviendas.

A partir de su modelamiento, se consiguió los 21 factores de seguridad estáticos mostrados en la Tabla 4.3, en esta tabla se muestra cada perfil con sus respectivas coordenadas (UTM), la longitud total de cada perfil (metros), la longitud del arco de la cuña (metros), la altura de la cuña (metros) y el factor de seguridad estático (adimensional); este factor se ha calculado a partir de las características geotécnicas de cada unidad geológica, geometría del talud y las cargas externas representadas por el peso de las viviendas. Para su cálculo se ha tomado en cuenta un valor constante para el peso de las viviendas, debido a que se ha considerado un promedio entre todas las viviendas que corte el talud.

En el ANEXO V se muestra el resultado de los demás FS estáticos modelados en el software Slide 6.0.

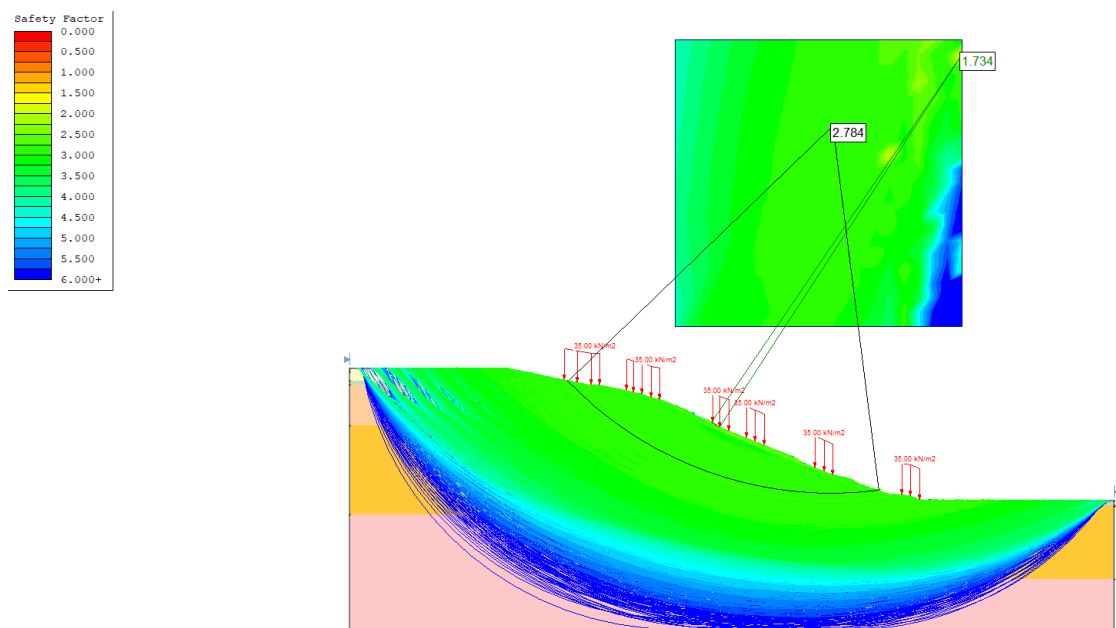


Figura 4.11 Ejemplo de factor de seguridad estático con carga de viviendas.

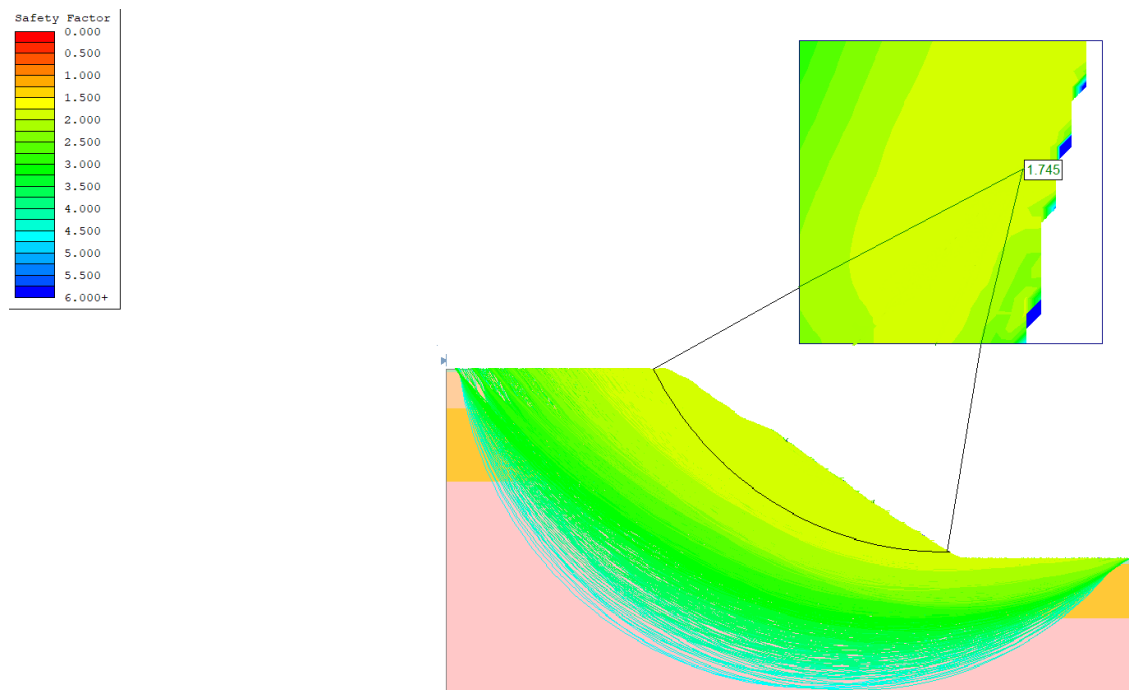


Figura 4.12 Ejemplo de factor de seguridad estático sin carga de viviendas.

Perfil	Ubicación del perfil (Coordenadas)		Longitud del perfil (m)	Longitud del arco de la cuña (m)	Altura de la cuña (m)	Número de viviendas que corta el perfil topográfico	Promedio carga de viviendas (KN/m ²)	Factor de seguridad estático
	X	Y						
AA'	777,803,177	9,968,958,684	107,7	105	13	1	35	2.916
BB'	777,834,927	9,969,033,826	118,6	105.018	13.89	1	35	2.845
CC'	777,842,336	9,969,108,968	237,7	274.45	33.816	1	35	2.628
DD'	777,931,236	9,969,259,251	73,97	84.615	10.695	0	0	1.879
EE'	777,461,335	9,969,103,676	156,8	139	16	2	70	2.476
FF'	777,333,276	9,969,277,243	202,7	157	15.2	3	105	2.608
GG'	777,301,526	9,969,489,969	213,2	103.348	13.5	3	105	2.861
HH'	777,308,935	9,969,531,244	219,6	63.418	2.369	3	105	2.094
II'	777,323,751	9,969,601,094	235,0	190.967	33.795	6	210	2.784
JJ'	777,325,868	9,969,779,952	315,51	112.25	13.54	5	175	1.784
KK'	777,786,244	9,969,318,518	210,0	82.947	3.01	0	0	1.745
LL'	777,671,944	9,969,388,368	107,5	116.846	12.531	0	0	2.129
MM'	777,850,802	9,969,428,585	103,3	119.581	14.29	0	0	2.777
NN'	777,822,227	9,969,529,127	136,1	141.288	12.784	0	0	1.732
OO'	777,630,669	9,969,620,144	120,2	117.497	12.169	3	105	2.777
PP'	777,808,469	9,969,627,552	187,5	200.954	17.566	0	0	1.886
QQ'	777,421,118	9,969,822,286	385,0	66.62	3.245	4	140	1.469
RR'	777,757,669	9,969,815,936	116,2	106.225	9.111	0	0	2.208
SS'	777,492,027	9,969,970,453	371,6	298.077	29.551	2	70	1.815
TT'	777,538,593	9,970,109,095	305,1	242.621	16.797	0	0	1.236
UU'	777,551,469	9,970,196,937	347,1	279.115	32.079	0	0	1.449
VV'	777,682,527	9,970,307,004	140,0	154.679	13.59	0	0	1.684

Tabla 4.3 Factor de seguridad estático de los 21 perfiles topográficos

En base a todos los resultados mencionados con anterioridad se ha clasificado el grado de inestabilidad de acuerdo a la Tabla 4.4 y se obtuvo el mapa de Factor de

Seguridad estático como se muestra en la Figura 4.13 en una escala 1:10.000, indicando así el grado de inestabilidad a lo largo de toda la zona de estudio.

Color representativo del grado de inestabilidad	Grado de inestabilidad	Factor de seguridad estático (FS)
	Muy alto	<1
	Alto	1 - 1,1
	Medio	1,1 - 1,3
	Moderado	1,3 - 1,5
	Bajo	1,5 - 2
	Muy bajo	>2

Tabla 4.4 Clasificación del FS de acuerdo al grado de inestabilidad. Fuente: Hernández et al., (2017 in press)

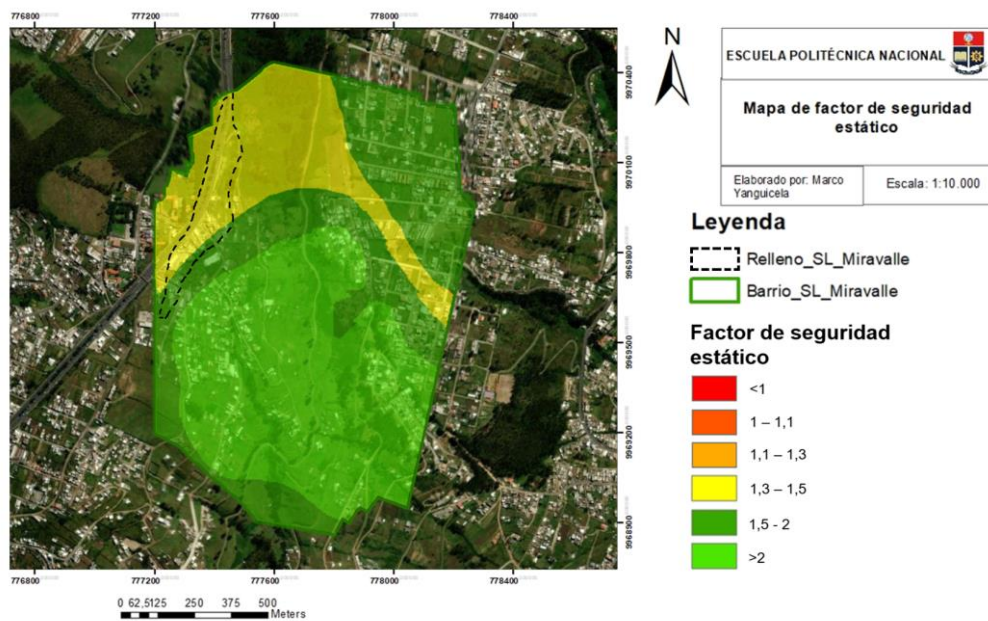


Figura 4.13 Mapa de Factor de Seguridad estático en el barrio San Luis de Miravalle.

4.10.2 Método de Newmark

Factor sísmico

El factor sísmico se obtiene como resultado un gráfico que representa la variación de las aceleraciones con respecto al tiempo en un lugar determinado, a este gráfico se le denomina acelerograma. Para el presente caso de estudio se obtuvieron dos

acelerogramas de dos sismos internacionales, el de Coalinga (1983) (Figura 4.14) y el de Loma Prieta (1989) (Figura 4.15).

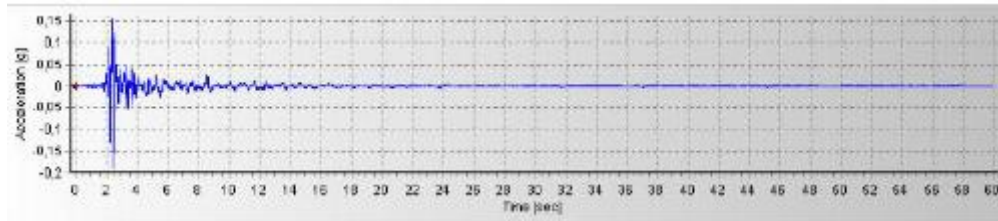


Figura 4.14 Acelerograma del sismo de Coalinga (1983)

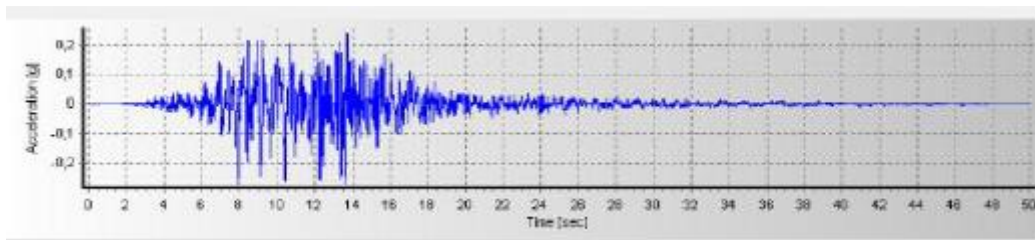


Figura 4.15 Acelerograma del sismo de Loma Prieta (1989)

4.10.3 Desplazamientos de Newmark (Dn)

El cálculo de los desplazamientos de Newmark fue realizado a lo largo de los 21 perfiles topográficos trazados a lo largo de la zona de estudio. Los escenarios que se tomaron en cuenta, fueron los sismos pertenecientes a Coalinga y Loma Prieta, en base a los acelerogramas de estos sismos, el programa calculó automáticamente la Intensidad de Arias y la aceleración crítica para cada sismo, lo que da como resultado final dichos desplazamientos.

En la Figura 4.16 se presenta un ejemplo del resultado de los 21 desplazamientos perteneciente al sismo de Loma Prieta y en la Figura 4.17 del sismo de Coalinga, mientras que en la Tabla 4.5 se proyectan los resultados de dichos desplazamientos, estos están acompañados con sus respectivas coordenadas (UTM), la longitud total de cada perfil (metros), la longitud del arco de la cuña (metros), la altura de la cuña (metros), factor de seguridad estático (adimensional) y los desplazamientos de Newmark (centímetros); cabe recalcar que estos

desplazamientos deben tener la misma longitud del arco de cuña y altura de la cuña con el que fue calculado los factores de seguridad estáticos.

El resultado total de los desplazamientos de Newmark faltantes obtenidos a través del software Slide 8.0 se muestran en el “ANEXO VI” Y “ANEXO VII”, simulados con el sismo de Loma Prieta (1989) y Coalinga (1983), respectivamente.

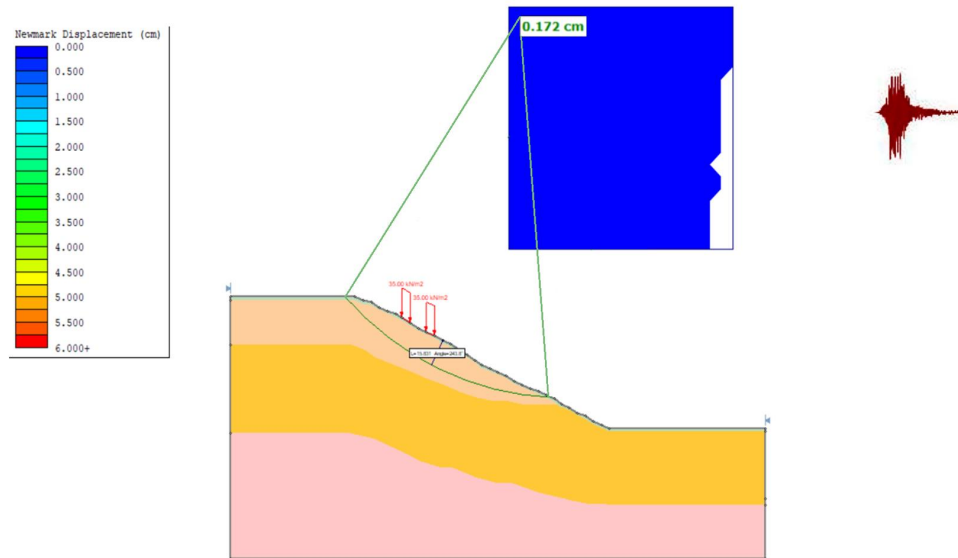


Figura 4.16 Valor del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil EE´ del sismo de Loma Prieta

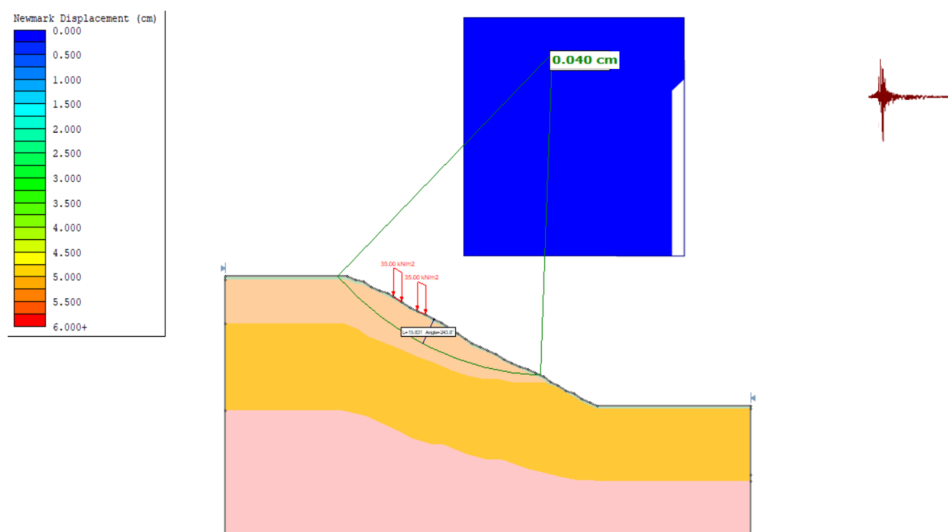


Figura 4.17 Valor del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil EE´ del sismo de Coalinga

Perfil	Ubicación del perfil (Coordenadas)		Longitud del perfil (m)	Longitud del arco de la cuña (m)	Altura de la cuña (m)	Número de viviendas que corta el perfil topográfico	Promedio carga de viviendas (KN/m2)	Factor de seguridad estático	Desplazamientos de Newmark (cm)	
	X	Y							Loma Prieta	Coalinga
AA'	777,803,177	9,968,958,684	107,7	105	13	1	35	2.916	0.356	0.01
BB'	777,834,927	9,969,033,826	118,6	105.018	13.89	1	35	2.845	0.425	0.011
CC'	777,842,336	9,969,108,968	237,7	274.45	33.816	1	35	2.628	0.368	0.037
DD'	777,931,236	9,969,259,251	73,97	84.615	10.695	0	0	1.879	0.502	0.009
EE'	777,461,335	9,969,103,676	156,8	139	16	2	70	2.476	0.172	0.04
FF'	777,333,276	9,969,277,243	202,7	157	15.2	3	105	2.608	0.25	0.04
GG'	777,301,526	9,969,489,969	213,2	103.348	13.5	3	105	2.861	0.42	0.062
HH'	777,308,935	9,969,531,244	219,6	63.418	2.369	3	105	2.094	0.38	0.053
II'	777,323,751	9,969,601,094	235,0	190.967	33.795	6	210	2.784	0.47	0.025
JJ'	777,325,868	9,969,779,952	315,51	112.25	13.54	5	175	1.784	0.25	0.013
KK'	777,786,244	9,969,318,518	210,0	82.947	3.01	0	0	1.745	0.56	0.172
LL'	777,671,944	9,969,388,368	107,5	116.846	12.531	0	0	2.129	0.35	0.019
MM'	777,850,802	9,969,428,585	103,3	119.581	14.29	0	0	2.777	0.46	0.012
NN'	777,822,227	9,969,529,127	136,1	141.288	12.784	0	0	1.732	0.68	0.026
OO'	777,630,669	9,969,620,144	120,2	117.497	12.169	3	105	2.777	0.78	0.048
PP'	777,808,469	9,969,627,552	187,5	200.954	17.566	0	0	1.886	1.002	0.056
QQ'	777,421,118	9,969,822,286	385,0	66.62	3.245	4	140	1.469	1.2	0.23
RR'	777,757,669	9,969,815,936	116,2	106.225	9.111	0	0	2.208	1.002	0.014
SS'	777,492,027	9,969,970,453	371,6	298.077	29.551	2	70	1.815	1.08	0.726
TT'	777,538,593	9,970,109,095	305,1	242.621	16.797	0	0	1.236	1.1	0.014
UU'	777,551,469	9,970,196,937	347,1	279.115	32.079	0	0	1.449	1.2	0.017
VV'	777,682,527	9,970,307,004	140,0	154.679	13.59	0	0	1.684	1.008	0.025

Tabla 4.5 Resultados de los desplazamientos de Newmark

4.11 Zonificación de la amenaza

El objetivo final de este trabajo es la elaboración de un mapa a escala 1:10.000 de zonificación de la amenaza de movimientos en masa con disparador sísmico como factor detonante.

Esta zonificación se realizó tomando en cuenta los desplazamientos de Newmark (D_n) obtenidos a través de los sismos de Coalinga (1983) y Loma Prieta (1989), estos fueron procesados mediante la tecnología SIG, en este caso ArcGIS y ejecutado por el método de interpolación "KRIGING".

Los desplazamientos de Newmark (D_n) nos permitió cuantificar y zonificar la amenaza de acuerdo con los parámetros de la Tabla 4.6.

Color representativo del grado de amenaza	Grado de amenaza	Desplazamientos de Newmark (Cm)
	Baja	≤ 1
	Moderada	1 - 5
	Alta	5 - 15
	Muy Alta	> 15

Tabla 4.6 Clasificación de los desplazamientos de Newmark. Fuente: Jibson & Michael (2009) y Zapata, (2018).

El resultado final del mapa de desplazamientos de Newmark se muestra en las Figuras 4.18 perteneciente a la simulación con el sismo de Loma Prieta (1989), mientras que en la Figura 4.19 es el resultado de la simulación del sismo de Coalinga (1983).

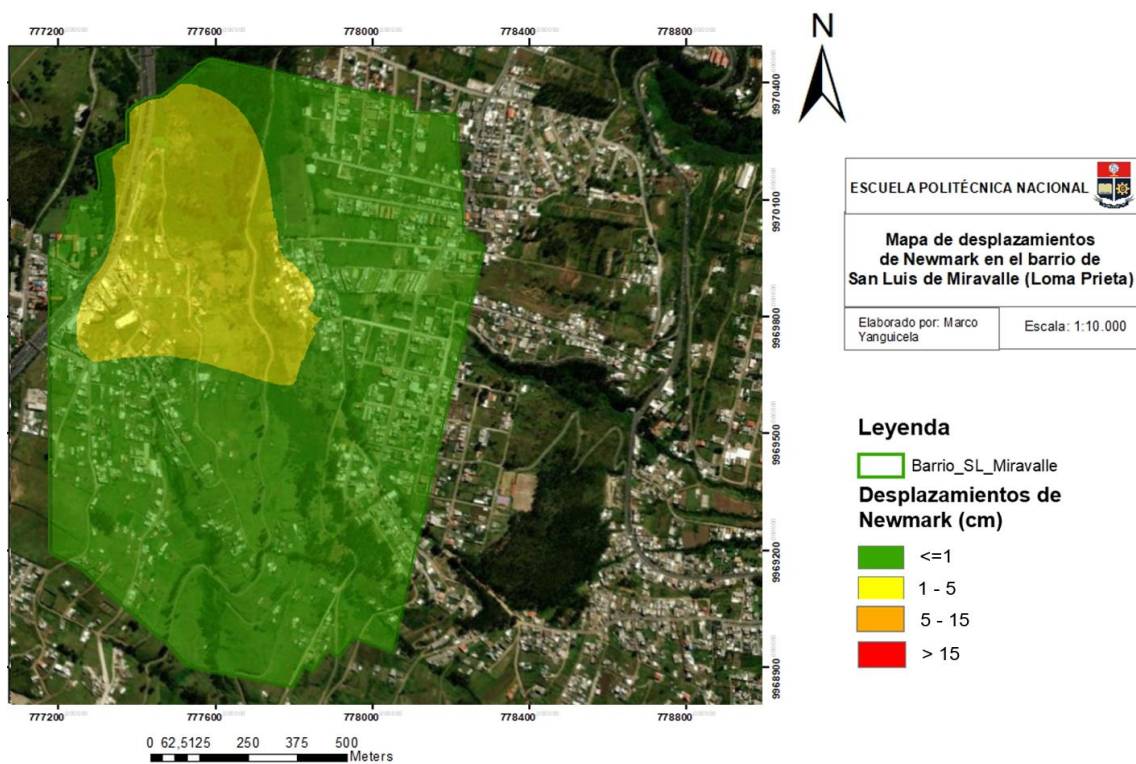


Figura 4.18 Mapa de desplazamientos de Newmark en el barrio San Luis de Miravalle (simulación con el sismo de Loma Prieta (1989))

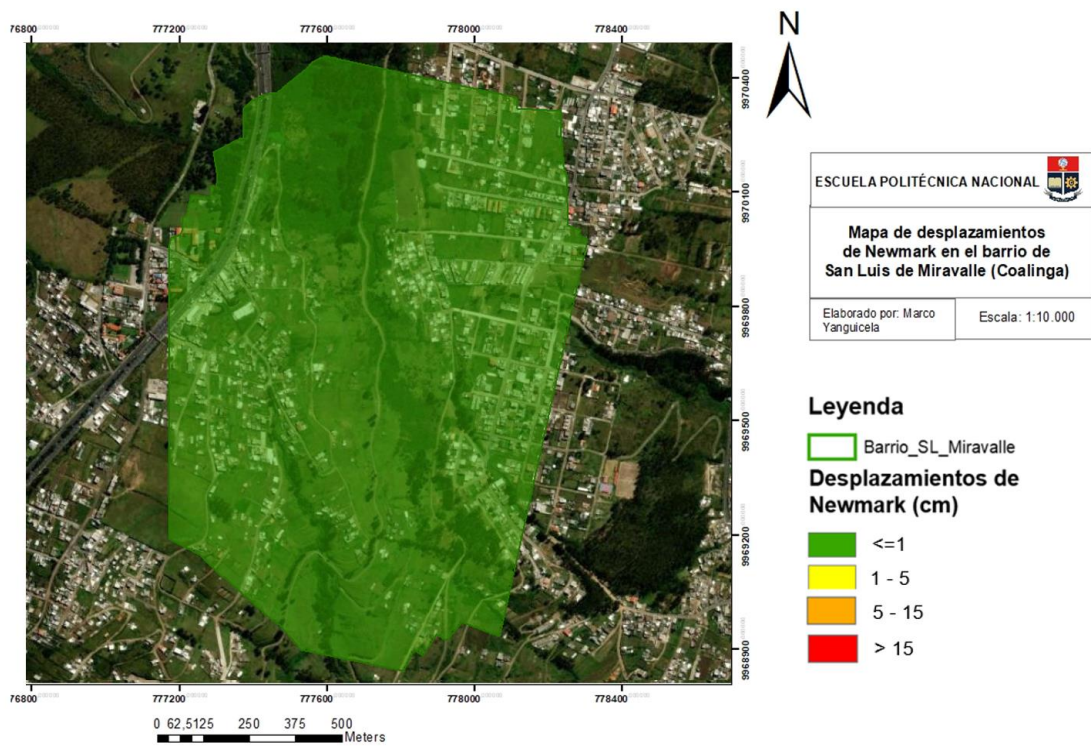


Figura 4.19 Mapa de desplazamientos de Newmark en el barrio San Luis de Miravalle (simulación con el sismo de Coalinga (1983))

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Análisis de estabilidad de taludes

5.1.1 Análisis del factor de seguridad estático

El análisis de estabilidad de taludes se realizó mediante el software Slide versión 6.0. Este programa nos ayudó a calcular el factor de seguridad estático (sin factor detonante sísmico), que considera las peores condiciones para que un talud falle (Suárez, 2009). El factor de seguridad estático es una relación entre las propiedades de resistencia al corte (parámetros geotécnicos) y los esfuerzos al cortante como las cargas externas (peso de las viviendas) y el grado de inclinación de la pendiente.

En el presente estudio, se evaluó la litoestratigrafía, características geotécnicas y la topografía, considerando la geometría de cada talud para el análisis del factor de seguridad estático. Tomando en cuenta las 5 diferentes unidades geológicas que se encuentran en esta zona, se llegó a la conclusión de que aún con pendientes fuertes (31° a 45°) a muy fuertes ($>45^\circ$) el FS no llega a valores menores a 1 (el talud no falla). Esto se debe a que las propiedades geotécnicas tienen valores suficientemente altos para que el talud no falle. El otro punto a considerar es que la superficie de falla de los 21 perfiles, corta tanto la zona de relleno, los suelos y los estratos de Cangahua retrabajada ya que tienen valores bajos de cohesión, ángulo de fricción interna y peso específico.

Cabe mencionar que, los perfiles varían en longitud de 73 m. a 385 m., teniendo valores de longitudes de las cuñas desde los 63 m. hasta los 298 m. y alturas de las cuñas desde 13 m. hasta 34 m, longitudes grandes por lo que mantienen factores de seguridad altos, a diferencia de perfiles pequeños que son más propensos a ocurrir movimientos en masa ya que por observación en campo estos han sido muy frecuentes.

El mapa de factor de seguridad estático mostró resultados considerables, con valores de FS entre 1.3 hasta 1.5 en la zona superior del barrio, lo que se considera un “grado de inestabilidad moderado” según la Tabla 4.4. Esta zona se destaca por tener el mayor grado de inestabilidad a lo largo del barrio San Luis de Miravalle, ya

que está ubicada sobre el escarpe del macro movimiento en masa Conocoto – La Armenia. Aquí, las pendientes oscilan entre los 31° hasta 45°, llegando incluso a 50° en áreas de menor tamaño. La presencia de la zona de relleno contribuye a reducir el factor de seguridad debido a sus propiedades geotécnicas más bajas. Además, la mayor concentración de viviendas en la parte superior del barrio, cerca de la Av. Simón Bolívar añade una carga adicional a los taludes, aumentando su grado de inestabilidad.

Por otro lado, los valores más altos del factor de seguridad y en su gran parte, mayores a 2, se encuentra en las partes más bajas del barrio hasta la altura del canal de Pita – Tambo. Esto se debe a pendientes suaves a muy suaves (Figura 5.1a) y por la gran ausencia de la zona de relleno. Además, existen menos viviendas en comparación con la parte superior, lo que resulta un “grado de inestabilidad es muy bajo”.

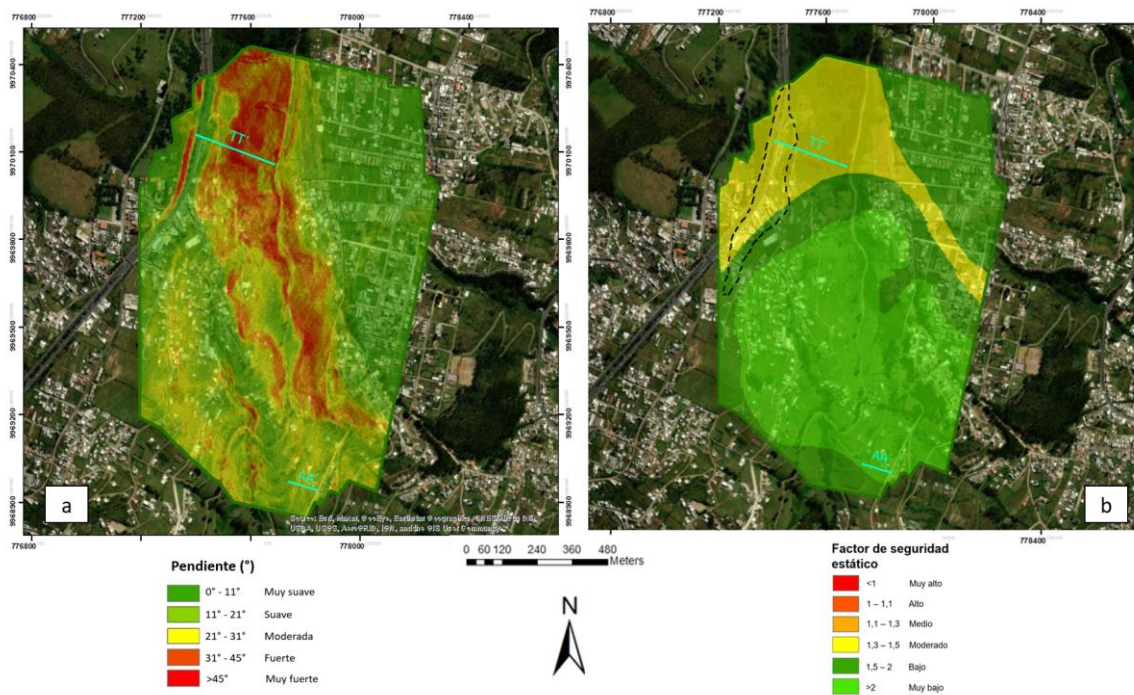


Figura 5.1 a) Mapa de pendientes del barrio San Luis de Miravalle; b) Mapa de factor de seguridad estático

Es relevante destacar la importancia de los perfiles ya que proyectan valiosa información para el cálculo del F.S. El factor de seguridad estático es crucial para realizar una comparación que permita evaluar cómo varía el grado de estabilidad con el grado de amenaza que considera el factor detonante sísmico.

Los resultados arrojan que el menor F.S. estático registrado es de 1.236, correspondiente al perfil TT' en la parte superior del barrio como se muestra en la Figura 5.1b y sus características mostradas en la Tabla 5.1. Como se observa en dicha tabla, esto se debe principalmente a la pendiente pronunciada que oscila entre los 31° a 45°, la longitud total del perfil es de 305 metros y corta la zona de relleno. Por otro lado, el valor más alto del factor de seguridad es de 2.916 correspondiente al perfil AA', ubicado en la parte inferior del barrio. En este caso, las pendientes son más suaves, oscilando entre 16° hasta 29° en promedio a lo largo de todo el perfil y la longitud total del mismo es de 107.7 metros sin cortar la zona de relleno.

Perfil	Ubicación del perfil (Coordenadas)		Longitud del perfil (m)	Longitud del arco de la cuña (m)	Pendiente promedio (°)	Altura de la cuña (m)	Número de viviendas que corta el perfil topográfico	Promedio carga de viviendas (KN/m2)	Factor de seguridad estático
	X	Y							
AA'	777,803,177	9,968,958,684	107.7	105	16	13	1	35	2.916
TT'	777,538,593	9,970,109,095	305.1	242.621	31-45	16.797	0	0	1.236

Tabla 5.1 Perfiles topográficos con sus respectivos factores de seguridad estáticos usado en el presente trabajo.

Ubicación perfil	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (°)	Factor de seguridad estático
lote 40	1	9.565	4.2	3
lote 124	16	25.603	32	1

Tabla 5.2 Perfiles topográficos con sus respectivos factores de seguridad estáticos. Fuente: Dayana Camino (2018)

Estos datos se han comparado con los datos obtenidos por Camino (2018). Su estudio se realizó en el barrio de Santa Teresita de Conocoto, lugar cercano al barrio San Luis de Miravalle y los datos que obtuvo se muestran en la Tabla 5.2.

Como se observa en la Tabla 5.1, vemos que el principal factor que determina el grado de susceptibilidad es la pendiente. Comparado los datos de este trabajo con los de Camino (2018), llegamos a la conclusión que a mayor pendiente, menor es

el factor de seguridad estático, y viceversa. Además, observamos que, a medida que la longitud total del perfil aumenta, los valores de F.S. disminuyen. Esto no excluye la importancia de las características geotécnicas y el peso de las viviendas. Es importante destacar que, al tratarse de una zona cercana al barrio San Luis de Miravalle, los datos de factor de seguridad estático son similares, lo que refuerza la validez de la metodología.

5.1.2 Desplazamientos de Newmark

Para el análisis de los desplazamientos de Newmark el factor más importante a considerar fue la carga sísmica o factor sísmico representado mediante el acelerograma. Para entender cómo funciona este factor, se tomó en cuenta algunos parámetros que deben tener compatibilidad con el entorno sísmico de Quito. Entre estos factores está que Quito se encuentra en una fuente sismogénica activa asociada al Sistema de fallas inversas de Quito, por lo que se espera sismos de magnitud 4.1 Mw hasta 6.9 Mw , valores de distancia epicentral entre 10 – 30 Km y valores de Vs30 entre 360 – 600 m/s (Cañizares, 2017). Sin embargo, para ser mas específicos, se consideraron valores de Vs30 entre 270 y 290 (m/s) correspondiente a la Cangahua sur dónde se asienta el barrio San Luis de Miravalle.

A lo largo de los años, el Instituto Geofísico (IG) ha monitoreado la actividad sísmica de Quito. El último sismo registrado se remonta a 1587, con una estimación de magnitud de 6.7 Mw. (Beauval et al., 2010), asociado a uno de los segmentos del sistema de fallas. Desde entonces, no se ha registrado ningún sismo con magnitudes superiores a 6 Mw, pero si, con magnitudes entre 3 y 5.3 Mw (Alvarado et al., 2014).

Para el modelamiento se tomó los acelerogramas de dos sismos internacionales que cumplieron con los requisitos de compatibilidad con el contexto sísmico del DMQ. Estos sismos son el de Coalinga (1983) con una magnitud de 5.7 Mw y el de Loma Prieta (1989) con una magnitud de 6.9 Mw, que son magnitudes que están en el rango esperado para el DMQ. Los resultados de los desplazamientos de Newmark arrojaron los siguientes datos:

Es importante destacar que el análisis de los desplazamientos está directamente relacionado con el factor de seguridad estático, por lo tanto, los resultados se

obtuvieron en función de las características y parámetros de la zona de estudio previamente analizados y mencionado con anterioridad en la sección “5.1.1”.

En el caso del sismo de Loma Prieta, con una magnitud de 6.9 Mw, se obtuvieron valores de D_n entre 0.172 cm. como valor mínimo y 1.2 cm. como valor máximo (Tabla 5.3). Como se puede apreciar en la Figura 5.2a, el perfil **QQ'** presenta el mayor valor de desplazamiento, al igual que los demás perfiles a su alrededor, lo que resulta en una “amenaza moderada” en la parte superior del barrio. Por otro lado, el perfil **EE'**, muestra el menor valor de D_n , lo que se traduce en una “amenaza baja” en la parte inferior del barrio.

Es importante destacar que durante el modelamiento se obtuvieron algunos valores de D_n que alcanzaron hasta 15 cm. aproximadamente, lo que se considera una “amenaza alta”. Estos valores se localizaron en la zona de mayor pendiente afectada por el relleno. Sin embargo, es relevante señalar que la superficie de ruptura del talud proporcionada por el modelamiento era aproximadamente de entre 3 hasta 7 m., lo que en este estudio no se tomó en cuenta ya para el análisis, se enfocó en superficies de falla más grandes, mayores a 50 m. No obstante, este es un punto importante a tener en cuenta.

Perfil	Ubicación del perfil (Coordenadas)		Longitud del perfil (m)	Longitud del arco de la cuña (m)	Altura de la cuña (m)	Número de viviendas que corta el perfil	Promedio carga de viviendas (KN/m ²)	Desplazamiento de Newmark (cm)
	X	Y						
QQ'	777,421,118	9,969,822,286	385,0	66.62	3.245	4	140	1.2
EE'	777,461,335	9,969,103,676	156,8	139	16	2	70	0.172

Tabla 5.3 Resultado de los desplazamientos de Newmark simulados con el sismo de Loma Prieta (1989)

Perfil	Ubicación del perfil (Coordenadas)		Longitud del perfil (m)	Longitud del arco de la cuña (m)	Altura de la cuña (m)	Número de viviendas que corta el perfil topográfico	Promedio carga de viviendas (KN/m ²)	Desplazamiento de Newmark (cm)
	X	Y						
DD'	777,931,236	9,969,259,251	73,97	84.615	10.695	0	0	0.009
SS'	777,492,027	9,969,970,453	371,6	298.077	29.551	2	70	0.726

Tabla 5.4 Resultado de los desplazamientos de Newmark simulados con el sismo de Coalinga (1983)

La simulación del sismo de Coalinga (1983) se obtuvieron valores de D_n equivalentes a los del sismo de Loma Prieta. En este contexto, el término “equivalente” se refiere a que los valores más altos se encuentran en la parte superior del barrio mientras que los valores más bajos en la parte inferior del barrio.

Como se muestra en la Figura 5.2b el perfil **SS'** tiene el valor más alto y el perfil **DD'** el valor más bajo con sus respectivas características mostradas en la Tabla 5.4

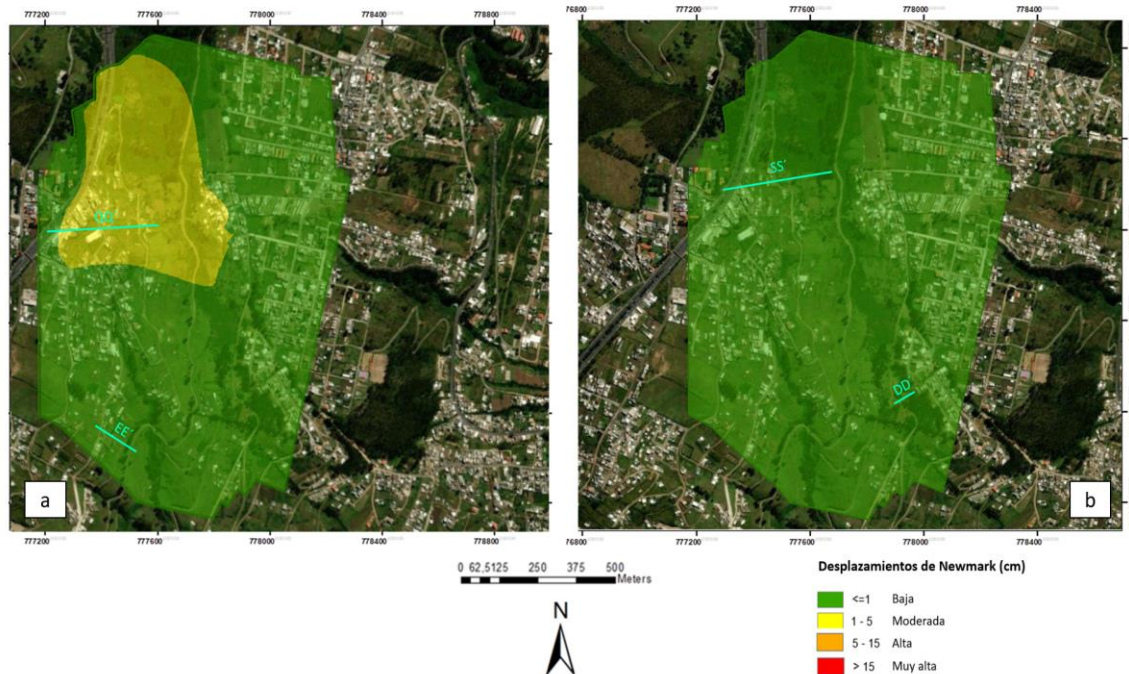


Figura 5.2 a) Mapa de desplazamientos de Newmark modelado con el sismo de Loma Prieta (1989); b) Mapa de desplazamientos de Newmark modelado con el sismo de Coalinga (1983).

La diferencia en el grado de amenaza y los valores de D_n entre los sismos de Loma Prieta y Coalinga se debe principalmente al resultado a sus diferentes magnitudes sísmicas y características del factor detonante.

En resumen, los desplazamientos de Newmark del sismo de Loma Prieta (1989) fueron mayores en comparación con el sismo de Coalinga (1983), esto es debido a que el sismo de Coalinga tiene una magnitud de 5.7 Mw, mientras que el sismo de Loma Prieta tiene una magnitud de 6.9 Mw. Estos resultados se resumen de la siguiente manera:

- Sismo de Loma Prieta: Nivel de “amenaza moderada” en la parte superior del barrio y “amenaza baja” en la parte inferior.
- Sismo de Coalinga: Nivel de “amenaza baja” en toda la zona de estudio.

Para validar los resultados, se compararon con trabajos previos que han utilizado la misma metodología con el objetivo de zonificar la amenaza mediante los

desplazamientos de Newmark y se obtuvo los siguientes criterios y comparaciones realizadas:

- Camino (2018): Este estudio se realizó cerca de la zona de estudio en el barrio de Santa Teresita de Conocoto, la zonificación de la amenaza no se pudo realizar debido a que solo se consideraron 2 perfiles a lo largo del barrio por ende no se logró desarrollar la zonificación.
- Zapata (2018); En su proyecto “Evaluación de la amenaza de deslizamientos inducidos por sismos en Quito”, se realizó una zonificación tomando dos escenarios, condiciones secas y saturadas. Los parámetros más importantes al considerar este análisis fueron las características sísmicas como el epicentro ubicado en Puengasí que se encuentra cercano a la zona de estudio y la magnitud del sismo de 6.4 Mw comparado al del actual trabajo de 6.9 Mw. que son magnitudes sísmicas cercanas y similares, tomando en cuenta estos criterios, la modelación que más se asemeja entre Zapata (2018) y el presente trabajo, es con el sismo de Loma Prieta por su magnitud y epicentro dando como resultado un nivel de “amenaza moderado” alrededor de las zonas ubicadas en la Loma de Puengasí, datos que son similares entre los dos trabajos y así dando la validez de la metodología. Al contrario, trabajos como el de Merino (2018) y Benítez (2018) realizaron la zonificación en la parte norte de Quito con los siguientes resultados:
- Benítez (2018), tanto en el sismo de Coalinga como en el de Loma Prieta en condición seca, las zonas de relleno tienen valores mayores a 5 cm entrando en la categoría de “amenaza alta”, mientras que el resto de la zona de estudio arrojan valores menores a 0.5 cm, entrando en la categoría de “amenaza baja”.
- Merino (2018), obtiene valores de D_n simulados con el sismo de Coalinga menores a 0.5 cm (amenaza baja) en los bordes y sur del área, en los bordes de los ríos Pusuqui, Monjas y quebrada Almeida 2.5 – 5 cm (amenaza moderada) y >5 cm (amenaza alta). Para el sismo de Loma Prieta, en la parte norte y sur se obtuvo una amenaza baja (1.3 – 2.5cm) y amenaza moderada (2.5 - 5cm) a alta (>5 cm.) en los bordes de los ríos Pusuqui, Monjas, quebrada Almeida y zonas de relleno. Estos datos principalmente varían un poco con respecto al presente trabajo debido a que las pendientes

son más fuertes y toman valores entre 45° - 60° lo que hace que varíen un poco los D_n , pero aún así se tiene valores similares a los obtenidos en el presente proyecto.

Cabe mencionar que los trabajos de Benítez (2018) y Merino (2018), se categorizaron a la amenaza según (Hernández y otros, 2017) y (Jibson et al., 1998) respectivamente pero para la comparación con el presente proyecto, todos los valores de D_n se tomaron en cuenta la clasificación de (Jibson & Michael, 2009) y (Zapata, 2018) para obtener la misma categoría del nivel de amenaza.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- San Luis de Miravalle es un barrio asentado de manera informal sobre el escarpe del macro movimiento en masa Conocoto – La Armenia, por lo que hace una zona con un grado de pendientes altas por lo que se ha visto afectado por varios movimientos en masa de dimensiones pequeñas observadas a lo largo de los cortes de las calles causados principalmente por el factor de lluvias y escorrentía superficial.
- En el área se identificaron 5 zonas desde la base hasta el tope: avalancha de escombros, cangahua primaria, cangahua retrabajada, suelo y zonas de relleno, siendo la formación Cangahua la más extendida a lo largo del barrio.
- El análisis de estabilidad de taludes mediante el software Slide 6.0 permitió obtener el factor de seguridad estático a partir de la litoestratigrafía, características geotécnicas, geometría del talud y el peso de las viviendas, dando como resultado un “grado de inestabilidad moderado” en la parte superior del barrio y “grado de inestabilidad muy bajo” en la parte inferior del barrio.
- El análisis de estabilidad de taludes mediante el software Slide 8.0 permitió obtener valores de desplazamientos de Newmark que arrojan valores optimistas empleando datos pertenecientes al Sismo de Loma Prieta con una magnitud de 6.9 Mw, se obtuvo una amenaza moderada en la parte superior del barrio, mientras que en la parte inferior se obtuvo una “amenaza baja”. Y empleando datos sobre el sismo de Coalinga con una magnitud de 5.7 Mw, se obtuvo una amenaza baja a lo largo de todo el barrio.
- Después de comparar los factores de seguridad estático con los desplazamientos de Newmark, se llega a la conclusión que, el principal factor para la generación de movimientos en masa o para que un talud falle a lo largo de una superficie de ruptura es la pendiente, principalmente en este caso de estudio ya que se encuentra sobre el escarpe del macro movimiento en masa Conocoto – La Armenia.
- Los valores del factor de seguridad estático y los desplazamientos de Newmark tienen una correlación alta ya que el grado de inestabilidad como en nivel de

amenaza concuerdan y apuntan a zonas más probables a fallar en la parte superior de barrio dónde se encuentran las pendientes más altas, la zona de relleno y se acumula la mayor cantidad de viviendas, aún así, los resultados apuntan que el nivel de amenaza no llega a ser alto.

- Los valores bajos de los desplazamientos de Newmark se le atribuye a la Fm. Cangahua, ya que esta unidad geológica abarca casi en su totalidad la zona de estudio y se mantiene estable en condiciones secas.
- La nueva versión 8.0 del software Slide, nos permite zonificar la amenaza a partir de la metodología de los desplazamientos de Newmark con mayor facilidad ya que calcula automáticamente la aceleración crítica y la intensidad de Arias mediante el factor sísmico representado por el acelerograma.
- El mapa de desplazamientos de Newmark no ha mostrado una buena distribución ya que se ha utilizado 21 puntos pertenecientes a los perfiles para poder interpolar un área de 17 hectáreas perteneciente al barrio.
- La metodología de Newmark ha sido aplicada a nivel regional para el análisis de estabilidad de laderas con factores detonantes sísmicos, estos estudios han mostrado que los desplazamientos pueden llegar a ser nulos, por lo que el método a escala local pueden ser más confiables y detallar mayor información (Rodríguez et al., 2009). Con esta información podemos corroborar los valores bajos obtenidos de los desplazamientos en este estudio ya que la modelación se hizo a lo largo de perfiles de gran longitud, que van desde los 50 m. hasta los 300 m. por lo que podemos llegar a la conclusión que, la metodología de Newmark es más factible para perfiles con menor longitud ya que a mayor longitud de perfil, menores valores de desplazamientos.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda hacer estudios geofísicos para obtener mejores resultados de la distribución de las unidades litológicas del subsuelo y minimizar el rango de error de los resultados finales.
- Se debe efectuar nuevos estudios geotécnicos de cada unidad litológica como perforaciones y ensayos in – situ para épocas secas y épocas lluviosas con el fin de analizar la variación en la modelación de los factores de seguridad estáticos y desplazamientos de Newmark.
- Se sugiere poner más énfasis en los movimientos en masa inducidos por lluvias en la zona de estudio ya que en trabajo de campo se observó que en su gran mayoría fueron detonados en épocas lluviosas.
- Se debe gestionar de mejor manera las zonas de relleno ya que por sus características geotécnicas de bajo valor hacen que sea muy inestable, por ende aumenta el grado de amenaza ante un evento sísmico.
- Para mejorar el mapa de zonificación de la amenaza, se requiere realizar más perfiles a lo largo de toda la zona de estudio, ya que mediante la interpolación (kriging) no se logra tener una buena distribución de los resultados mostrados en el mapa.
- Hacer estudios más minuciosos con perfiles de menor longitud, ya que en base a este estudio, los desplazamientos de Newmark arrojaban valores mucho más altos (amenaza alta) en perfiles de menor longitud.
- Enfatizar las zonas pertenecientes al escarpe del macro movimiento en masa Conocoto – La Armenia, ya que son las zonas de más altas pendientes de todo el barrio y son las que más altos valores de D_n se obtuvieron.

BIBLIOGRAFÍA

- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and environment*, 58(1), 21-44.
- Alvarado, A. (1996). Evolución geológica cuaternaria y paleosismicidad de la cuenca de Quito. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniera Geóloga, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Alvarado, A. (2012). Nèotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equator. Tesis de Doctorado, Universidad de Grenoble, Francia.
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., Lamarque, G., Yepes, H., Mothes, P., Rolandone, F., Jarrín, P., y Quidelleur, X. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *Tectonics*, 33(2), 67-83.
- Aspden, J., & Litherland, M. (1992). The Geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysic*.
- Ávila, G. E., Cubillos, C. E., Granados, A. E., Medina, E., Rodríguez, É. A., Rodríguez, C. E., & Ruiz, G. L. (2015). *Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa*. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Ayala, F. J., Andreu Fc, M., Ferrer, M., de Simón, A., Fernández, L., Olalla, C., Gómez, J., Sanpedro, J., y Cienfuegos, F. J. (1987b). Manual de taludes. Instituto Geológico y minero de España, Madrid, 456 págs.
- Beauval, C., Marinière, J., Yepes, H., Audin, L., Nocquet, J. M., Alvarado, A., y Jomard, H. (2018). A new seismic hazard model for Ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(3A), 1443-1464.

- C. E., & Ruiz, G. L. (2015). *Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa*. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Carlosama, F. y Carrera, S. (2017). Análisis del peligro por Fenómenos de Remoción en Masa en los taludes de un tramo de la quebrada Shanshayacu, zona Quitumbe, DMQ. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingenieros Geólogos, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Carrión, F., & Erazo, J. (2012). La forma urbana de Quito: una historia de centros y periferias. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, (41(3)), 503-522).
- Castro, J. (2013). Evaluación y zonificación de los procesos geodinámicos que influyen en el área urbana del Cantón Guaranda. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Clapperton, C. (1993). Quaternary geology and geomorphology of South – America (Vol. 25).
- Córdova, M., & Vallejo, A. (2012). Riesgos Urbanos en América Latina. *Letras Verdes*, 1-3.
- Cruden, D. y Varnes, D. (1996). Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3- Landslide types and processes.
- De Freitas, M. H., y Watters, R. J. (1973). Some field examples of toppling failure: *Geotechnique*, v, 23, 495-514.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres [UNISDR] (2009). Terminología sobre reducción del riesgo de desastres.
- Figueras, S., Macau, A., Goula, X., & Gonzalez, M. (2005). Aplicación del método de Newmark para el estudio de los movimientos de ladera activados por terremotos en Andorra. *VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Valencia

- García MJ (2008) Metodologías para la evaluación de peligrosidad a los deslizamientos inducidos por terremotos. Doctoral thesis. Universidad de Alcalá. Spain.
- GEA, G. (2008). Gestión para la Educación Ambiental. Más de 12 años contribuyendo a la Educación ambiental. *Boletín Electrónico*, 6(21).
- González de Vallejo, L. I., & Ferrer, M. (2002). Geological Engineering. Leiden, The Netherlands: CRC Press/Balkema.
- Gutscher, M., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 168. 225-270.
- Hall, M., Samaniego, P., Le Pennec, J., & Johnson, J. (2008). A review of Late Pliocene to present activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1-6.
- Hall, M., Samaniego, P., Le Pennec, J., & Johnson, J., (2008). A review of Late Pliocene to present activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1-6.
- Hernández, J., Jiménez, E., Osorio, I., Parra, J., Singer, A., Rodríguez, L., & Marrero, J. (2017 in press). Peligro de deslizamientos en Portoviejo.
- Hibsch, C., Alvarado, A. P., Yepes, H. A., Sebrier, M., & Pérez, V. H. (1996). Riesgo sísmico de Quito (Ecuador) con el análisis de los sedimentos cuaternarios. *Bull. Inst. fr. études andines*, 25(3), 359-388.
- Hoek, E, & Bray, J. (1981). Rock slope engineering. Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E. and Bray, J. (1981) *Rock Slope Engineering*, The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hughes, R., & Pilatasig, L. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics*.

- INIGEMM (2013). Memoria Técnica, Ensayos Metodológicos para la Zonificación de la Susceptibilidad/Amenaza por Movimientos en Masa; Zona de Riobamba.
- Jaya, D. (2009). Origen de los depósitos volcánicos de la cuenca de Quito: Implicación de la evolución del complejo Pichincha y del sistema de fallas de Quito. *Mémoire M2 Prefalc, Université Sophie Antipolis Nice*, 28.
- Jibson, R. (2007). Regression models for estimating coseismic landslide displacement. *Engineering Geology*, 209-218.
- Jibson, R. W., y Michael, J. A. (2009). Maps Showing Seismic Landslide Hazards in Anchorage, Alaska. U.S.
- Jibson, R., Harp, E., & Michael, J. (1998). A Method for producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps: An Example from de Los Angeles, California. U.S. Geological Survey, U.S. Department of the interior, Denver.
- Kendrick, E., Bevis, M., Smalley, R., Brooks, B., Barriga, R., Lauria, E., & Souto, L. (2003). The Nazca-South America Euler vector and its rate of change. *Journal South Am Earth Sc* 16, 125-131.
- Kramer, S. (1996). Geotechnical earthquake engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J. State: All. Topic: Hazard/Risk.
- Lavenu, A. (2006). Neotectónica de los Andes entre 1 N y 47 S (Ecuador, Bolivia y Chile): una revisión. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61 (4), 504-524.
- Lavenu, A., Baudino, R., & Égo, F. (1996). Stratigraphie des dépôts tertiaires et quaternaires de la dépression interandine d'Équateur (entre 0 et 2 15'S).
- León, A. (2018). Generación de mapas Vs30 y microzonas sísmicas en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Geofísico, Universidad Simón Bolívar, Quito, Ecuador.

- Litherland, M., Aspend, J., & Jemielita, R. (1994). The metamorphic belts of Ecuador (Vol. 11). British Geological Survey.
- Ludger, O., & Suárez – Burgoa. (2016). Análisis de estabilidad de taludes. Medellín: Independiente.
- Montatixe, E., & Chango, D. (2018). Análisis de estabilidad de taludes en un tramo de las avenidas Simón Bolívar y Gonzalo Pérez Bustamante, Distrito Metropolitano de Quito. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingenieras en Geología, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Municipio del DMQ, Contrato de consultoría CEMER N° 08-2011. (2011). Estudio de Condiciones de Riesgo y Amenazas de los sectores de Santa Teresita y Ontandera de la parroquia de Conocoto, y Bolaños de la parroquia Itchimbía, de las administraciones zonales Los Chillos y norte en el Distrito Metropolitano de Quito, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos.
- Newmark, N. M (1965). Effects of Earthquakes on Dams and Embankments. *Geotechnique*, 15(2), 139-160.
- Niño M, Jaimes MA, Reinoso E (2014). Seismic-event-based methodology to obtain earthquake-induced translational landslide regional hazard maps. *Natural Hazards*, 73(3), 1697–1713. doi:10.1007/s11069-014-1163-y
- Noroña, E. (2021). Modelo geológico del macro movimiento en masa Conocoto – La Armenia, asociado al Sistema de Fallas de Quito, DMQ. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniera Geóloga, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Ormaza, W. (2017). Zonificación de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el barrio Atacaba, Noroccidente de Quito. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

- Peltre (1989). Quebradas y riesgos naturales en Quito, periodo 1900 – 1988. Estudios de Geografía, vol. II. Colegio de Geógrafos del Ecuador.
- Peñañiel, L. (2009). Geología y análisis del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del sur de Quito. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniera Geóloga, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Procel, S. (2008). Modelación del acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniera Geóloga, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Proyecto Multinacional Andino – Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA) (2007). Movimientos en masa en la región Andina, una guía para la evaluación de amenazas.
- Rivera, M., Salazar, A., Carvajal, A., Galárraga, R., Plaza, G., Singaicho, J. C., & Salazar, D. (2015). *Actualización de la Zonificación por Amenaza de Deslizamiento en el Distrito Metropolitano de Quito*. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Quito: FUNEPSA CÍA. LTDA.
- Robin, C., Hall, M., Jimenez, M., Monzier, M., & Escobar, P. (1997). Mojanda volcanic complex (Ecuador): development of two adjacent contemporaneous volcanoes with contrasting eruptive styles and magmatic suites. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(5-6), 345-359.
- Rocsiense. (2016). Slide (6.0) [Software de computador]. Rocsiencie Inc. <http://www.rocscience.com>
- Rocsiense. (2018). Slide (8.0) [Software de computador]. Rocsiencie Inc. <http://www.rocscience.com>
- Rodríguez, M., García, J., & Azañon, J. (2009). Comparación del método de Newmark a escala regional, local y de emplazamientos: el caso del desprendimiento de la Paca.

- Schmidt, V. (2008). Correlaciones a partir de la Intensidad de Arias para datos acelerográficos de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 38, 95-117.
- Schmidt, V. (2012). Determinación del parámetro vs30 usando los métodos FK y SPAC en la bahía de Cádiz (sur de España). *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, 22(1), 39-54.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2013. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa Esc. 1:100.000. Bogotá D.C., 135p.
- Spikings, R., Winkler, W., Hughes, R., & Handler, R. (2005). Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: Unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes. *Tectonophysics*.
- Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga – Colombia: Institutos de investigaciones sobre erosión y deslizamientos.
- Suárez, J. (2009). Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo. En J. Suárez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico Vol I.
- Valenzuela, P. (2005). Aplicación del Modelo Hidrico Swat 9.2 para el análisis del impacto de la deforestación y del avance de la frontera agrícola en la producción y almacenamiento del recurso agua en las partes altas y media de la subcuenca del Río San Pedro. Sangolquí: Investigación previa a la obtención del título de ingeniera geógrafa y del medio ambiente.
- Varnes, D. (1978). Slope movements types and processes. In: R.L. Schuster, R.J. Krizek (eds). Landslides, analysis and control. Special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, 11-33.

- Varnes, D.K. (1984). Landslide Hazard zonation: a review of principals and practice. Natural Hazards. UNESCO, Paris.
- Vera, R., & López, R. (1986). El origen de la cangahua. *Paisajes Geográficos CEPEIGE* (16).
- Villagómez, D. (2003). Evolución Plio-cuaternaria del valle Interandino Central en Ecuador (zona Quito-Guayllabamba-San Antonio de Pichincha). Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen. P., Tobler, S., & Egüez, A. (2005). The Chota Basin and its significance for the inception and tectonic settings of the Interandean depression in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences* 19, 5-19.
- Zapata, C. (2018). Assessment of earthquake-induced landslides hazard in Quito, Ecuador. [Tesis de maestría, Universidad EAFIT].

ANEXOS

ANEXO I: FORMATO MODELO DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

Nombre del encuestador: _____ Fecha: ____/____/____ Hora: _____

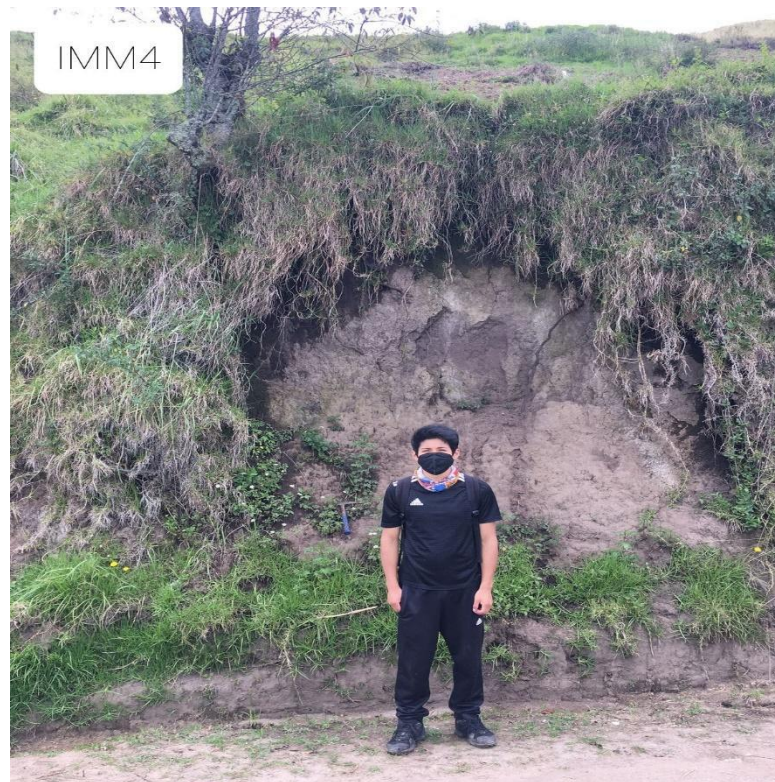
UBICACIÓN Localidad: _____ UTM: _____ X: _____ Y: _____ Altura: _____		FECHA DE OCURRENCIA (dd/mm/aaaa) Primer Movimiento: ____/____/____ _____/____/____		TIPO DE MOVIMIENTO: <table border="0"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Caída</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Desliz. Rotacional</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Propagación Lateral</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Reptación</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Flujo</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Desliz. Traslacional</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Otros _____</td> </tr> </table> Nota: 1=Primer Movimiento 2=Segundo Movimiento		1	2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Caída	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Desliz. Rotacional	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Propagación Lateral	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Reptación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Flujo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Desliz. Traslacional	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Otros _____	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA (ver columna en la parte posterior) _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____			
1	2																																
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Caída																															
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Desliz. Rotacional																															
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Propagación Lateral																															
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Reptación																															
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Flujo																															
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Desliz. Traslacional																															
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Otros _____																															
Nivel de Humedad Seco <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Muy Húmedo <input type="checkbox"/>		CAUSAS DEL MOVIMIENTO: <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Material Plástico débil.</td> <td><input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de дрена</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Material deleznable.</td> <td><input type="checkbox"/> Sismo.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Material Meteorización</td> <td><input type="checkbox"/> Lluvias.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Material Fisuradoo agrietado</td> <td><input type="checkbox"/> Erosión Superficial.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Orientación desfavorable</td> <td><input type="checkbox"/> Socavación al pie del talud</td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/> Material Plástico débil.	<input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de дрена	<input type="checkbox"/> Material deleznable.	<input type="checkbox"/> Sismo.	<input type="checkbox"/> Material Meteorización	<input type="checkbox"/> Lluvias.	<input type="checkbox"/> Material Fisuradoo agrietado	<input type="checkbox"/> Erosión Superficial.	<input type="checkbox"/> Orientación desfavorable	<input type="checkbox"/> Socavación al pie del talud	POBLACIÓN DAMNIFICADA: _____ _____ _____ _____		Convención para intensidad de daño. DL: Daño leve. DM: Daño Moderado DS: Daño severo DT: Destrucción Total NC: No cuantificable.																	
<input type="checkbox"/> Material Plástico débil.	<input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de дрена																																
<input type="checkbox"/> Material deleznable.	<input type="checkbox"/> Sismo.																																
<input type="checkbox"/> Material Meteorización	<input type="checkbox"/> Lluvias.																																
<input type="checkbox"/> Material Fisuradoo agrietado	<input type="checkbox"/> Erosión Superficial.																																
<input type="checkbox"/> Orientación desfavorable	<input type="checkbox"/> Socavación al pie del talud																																
COBERTURA Y USO DE SUELO: Tipos de cobertura. Uso de suelo <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Vegetación Herbácea</td> <td><input type="checkbox"/> Ganadería.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Árboles</td> <td><input type="checkbox"/> Área protegida.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Matorrales.</td> <td><input type="checkbox"/> Agrícola</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Cuerpo agua.</td> <td><input type="checkbox"/> Recreación.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Cultivos</td> <td><input type="checkbox"/> Zona Industrial</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Construcciones</td> <td><input type="checkbox"/> Viviendas</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Sin cobertura</td> <td><input type="checkbox"/> Vías</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Otros _____</td> <td><input type="checkbox"/> Otros: _____</td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/> Vegetación Herbácea	<input type="checkbox"/> Ganadería.	<input type="checkbox"/> Árboles	<input type="checkbox"/> Área protegida.	<input type="checkbox"/> Matorrales.	<input type="checkbox"/> Agrícola	<input type="checkbox"/> Cuerpo agua.	<input type="checkbox"/> Recreación.	<input type="checkbox"/> Cultivos	<input type="checkbox"/> Zona Industrial	<input type="checkbox"/> Construcciones	<input type="checkbox"/> Viviendas	<input type="checkbox"/> Sin cobertura	<input type="checkbox"/> Vías	<input type="checkbox"/> Otros _____	<input type="checkbox"/> Otros: _____	DAÑOS. <table border="0"> <tr> <td>INF</td> <td>AE</td> <td>DA</td> <td>Tipo</td> <td>Intensidad y cantidad</td> <td>Observaciones</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>DL DM DS DT NC</td> <td></td> </tr> </table>				INF	AE	DA	Tipo	Intensidad y cantidad	Observaciones					DL DM DS DT NC	
<input type="checkbox"/> Vegetación Herbácea	<input type="checkbox"/> Ganadería.																																
<input type="checkbox"/> Árboles	<input type="checkbox"/> Área protegida.																																
<input type="checkbox"/> Matorrales.	<input type="checkbox"/> Agrícola																																
<input type="checkbox"/> Cuerpo agua.	<input type="checkbox"/> Recreación.																																
<input type="checkbox"/> Cultivos	<input type="checkbox"/> Zona Industrial																																
<input type="checkbox"/> Construcciones	<input type="checkbox"/> Viviendas																																
<input type="checkbox"/> Sin cobertura	<input type="checkbox"/> Vías																																
<input type="checkbox"/> Otros _____	<input type="checkbox"/> Otros: _____																																
INF	AE	DA	Tipo	Intensidad y cantidad	Observaciones																												
				DL DM DS DT NC																													

ANEXO II: FOTOGRAFÍAS PARA EL INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA



Fotografía IMM2. Deslizamiento rotacional en el corte vial del barrio de San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

Movimiento en Masa de tipo deslizamiento rotacional, encontrado en un corte de la vía en el barrio San Luis de Miravalle, con coordenadas UTM: X:777583, Y:9969494 y a una altura de 3069 msnm. Sus dimensiones son: 6 metros de altura, 17 metros de ancho y 2 metros de profundidad, dando un volumen total de 204 metros cúbicos. Sin cobertura vegetal distintiva excepto pastizal en su alrededor, se presume que la fecha de ocurrencia de este MM fue entre marzo y noviembre del 2021 y el principal factor que desencadenó este MM fue en épocas lluviosas.



Fotografía IMM4 Caída en el corte vial del barrio de San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

Movimiento en Masa de tipo caída, encontrado en un corte de la vía en el barrio San Luis de Miravalle, con coordenadas UTM: X:777569, Y:9969578 y a una altura de 3072 msnm. Sus dimensiones son: 4 metros de altura, 2.5 metros de ancho y 0.5 metros de profundidad, dando un volumen total de 5 metros cúbicos. Sin cobertura vegetal distintiva excepto pastizal en su alrededor, se presume que la fecha de ocurrencia de este MM fue entre marzo y noviembre del 2021 y el principal factor que desencadenó este MM fue en épocas lluviosas.



Fotografía IMM6 Caída en el corte vial del barrio de San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

Movimiento en Masa de tipo caída, material menos orgánico encontrado en un corte de la vía en el barrio San Luis de Miravalle, con coordenadas UTM: X:777573, Y:9969753 y a una altura de 3085 msnm. Sus dimensiones son: 5.5 metros de altura, 6 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad, dando un volumen total de 49.5 metros cúbicos. Sin cobertura vegetal distintiva excepto pastizal en su alrededor, se presume que la fecha de ocurrencia de este MM fue entre marzo y noviembre del 2021 y el principal factor que desencadenó este MM fue en épocas lluviosas con incidencia de grietas de erosión.



Fotografía IMM7Caída en el corte vial del barrio de San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

Movimiento en Masa de tipo caída con material orgánico, encontrado en un corte de la vía en el barrio San Luis de Miravalle, con coordenadas UTM: X:777544, Y:9969814 y a una altura de 3094 msnm. Sus dimensiones son: 5.5 metros de altura, 5.5 metros de ancho y 2 metros de profundidad, dando un volumen total de 60.5 metros cúbicos. Sin cobertura vegetal distintiva excepto pastizal en su alrededor, se presume que la fecha de ocurrencia de este MM fue entre marzo y noviembre del 2021 y el principal factor que desencadenó este MM fue en épocas lluviosas con grietas de erosión.



Fotografía IMM8 Caída en el corte vial del barrio de San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

Movimiento en Masa de tipo deslizamiento rotacional con material menos orgánico, encontrado en un corte de la vía en el barrio San Luis de Miravalle, con coordenadas UTM: X:777546, Y:9969877 y a una altura de 3095 msnm. Sus dimensiones son: 4 metros de altura, 9 metros de ancho y 0.5 metros de profundidad, dando un volumen total de 18 metros cúbicos. Este MM dispone de cobertura vegetal (arbustos) por encima y sus alrededores, se presume que la fecha de ocurrencia fue hace varios años atrás del 2021 ya que el material se encontraba consolidado y el presunto principal factor que desencadenó este MM fue en épocas lluviosas con grietas de erosión.



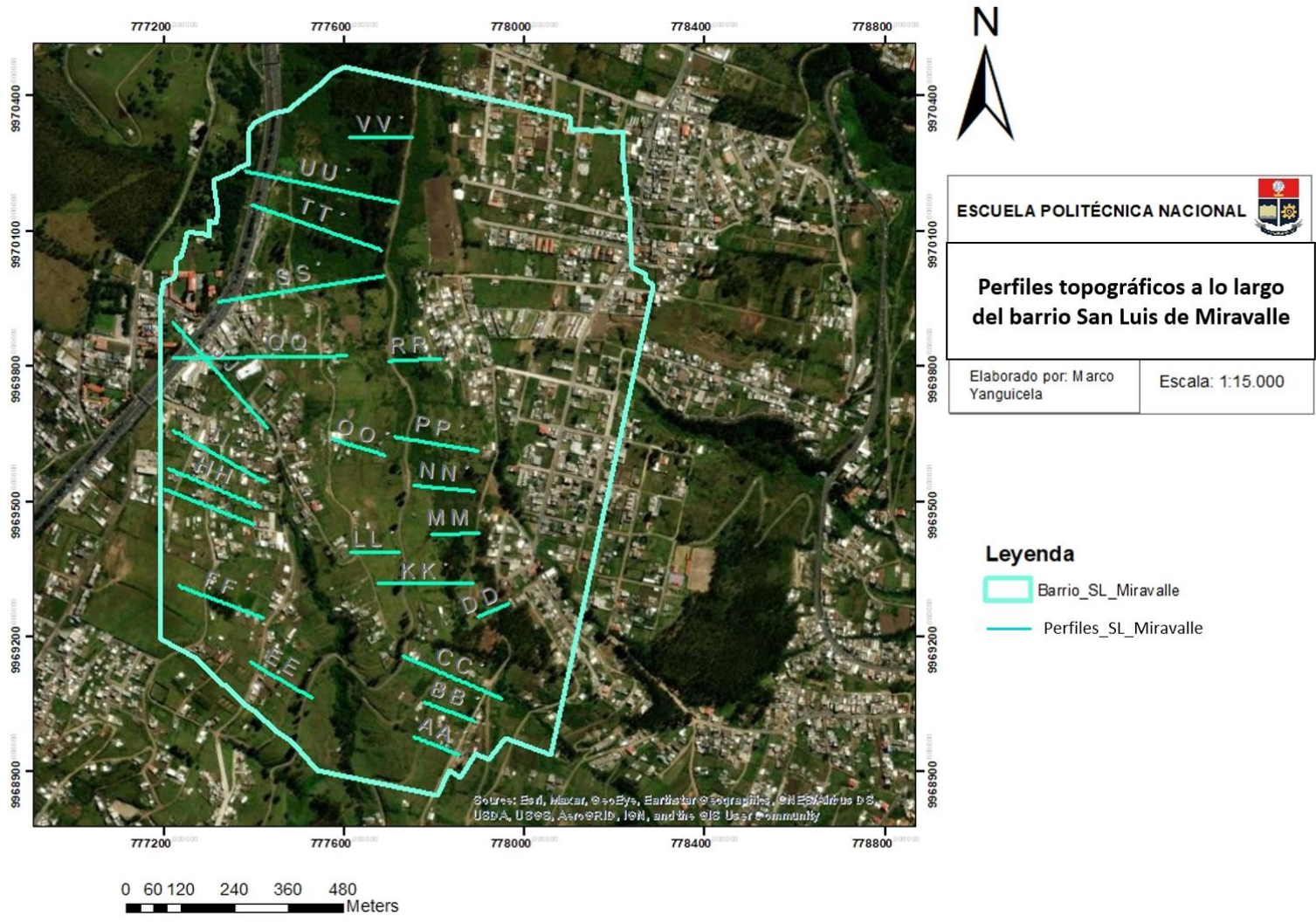
Fotografía IMM10 Caída en el corte vial del barrio de San Luis de Miravalle. Fuente: Marco Yanguicela

Movimiento en Masa de tipo caída con material orgánico, encontrado en un corte de la vía en el barrio San Luis de Miravalle, con coordenadas UTM: X:777295, Y:9969281 y a una altura de 3123 msnm. Sus dimensiones son: 4 metros de altura, 20 metros de ancho y 0.5 metros de profundidad, dando un volumen total de 40 metros cúbicos. Sin cobertura vegetal distintiva excepto pastizal en su alrededor, se presume que la fecha de ocurrencia fue entre marzo y noviembre de y el presunto principal factor que desencadenó este MM fue en épocas lluviosas con grietas de erosión.

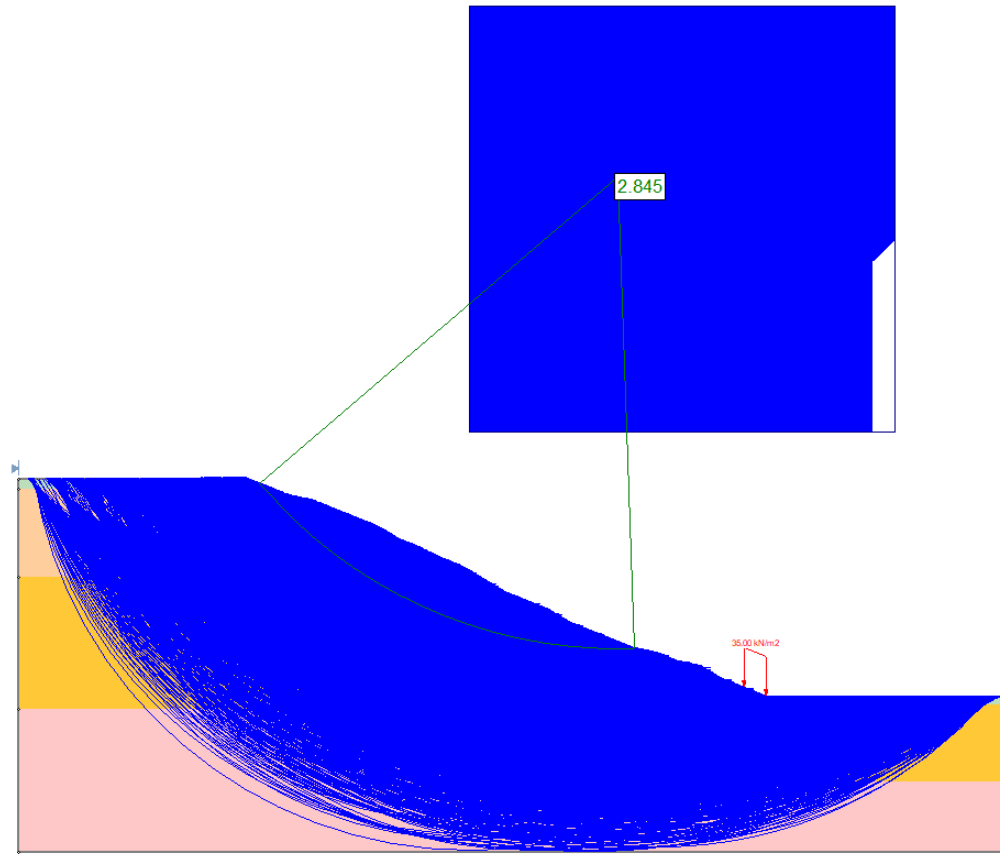
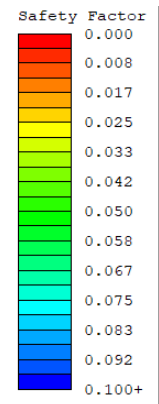
ANEXO III: TABLA RESUMEN DEL INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

Código	x	y	Altura (m)	Tipo de Movimiento en masa	Descripción	Altura (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Volumen (m3)	Cobertura	Nivel de H	Fecha del levantamiento	Fecha de ocurrencia	Factor que incide en los MM
IMM1	777612	9969467	3055	Caída	El material removido es un coluvial	4	8	0.5	16	Sin cobertura vegetal	baja	16/11/2021	Entre marzo y noviembre	grietas de erosión
IMM2	777583	9969494	3069	Deslizamiento rotacional	Suelo orgánico	6	17	2	204	Sin cobertura vegetal	alto	16/11/2021	Entre marzo y noviembre	sin grietas en el talud
IMM3	777564	9969542	3074	Deslizamiento rotacional	El material es menos orgánico	8	18	5	720	arbustos	baja	16/11/2021	Varios años antes del 2021	sin grietas en el talud
IMM4	777569	9969578	3072	Caída	Suelo orgánico	4	2.5	0.5	5	Sin cobertura vegetal	medio	16/11/2021	Entre marzo y noviembre	grietas de erosión
IMM5	777566	9969642	3076	Caída	El material es menos orgánico	4	8	1	32	Sin cobertura vegetal	baja	16/11/2021	Entre marzo y noviembre	grietas de erosión
IMM6	777573	9969753	3085	Caída	El material es menos orgánico	5.5	6	1.5	49.5	Sin cobertura vegetal	baja	16/11/2021	Entre marzo y noviembre	grietas de erosión
IMM7	777544	9969814	3094	Caída	Suelo orgánico	5.5	5.5	2	60.5	Sin cobertura vegetal	alta	16/11/2021	Entre marzo y noviembre	grietas de erosión
IMM8	777546	9969877	3095	Deslizamiento rotacional	El material es menos orgánico	4	9	0.5	18	arbustos	baja	16/11/2021	Vario años antes del 2021	grietas de erosión
IMM9	777312	9969327	2865	Caída	coluvial más arenoso	2.5	10	0.5	12.5	arbustos	baja	23/11/2021	Entre marzo y noviembre	grietas de erosión
IMM10	777295	9969281	3123	Caída	Suelo orgánico	4	20	0.5	40	Sin cobertura vegetal	alta	23/11/2021	Entre marzo y noviembre	grietas de erosión
IMM11	777297	9969250	3122	Caída	Suelo orgánico	4	18	0.5	36	arbustos	alta	23/11/2021	Entre marzo y noviembre	grietas de erosión
IMM12	777305	9969219	3117	Caída	Suelo orgánico	4	2	0.5	4	Sin cobertura vegetal	alta	23/11/2021	Entre marzo y noviembre	sin grietas en el talud
SM4	777437	9969850	3148	flujo	-	-	-	-	-	-	-	21/11/2019	-	-
SM5	777363	9969916	3160	flujo	-	-	-	-	-	-	-	21/11/2019	-	-
SM6	777561	9969954	3065	flujo	-	-	-	-	-	-	-	21/11/2019	-	-
SM-MM-1	777503	9969424	2968	Caída	-	-	-	-	-	-	-	29/11/2019	-	-
SM-MM-2	777477	9969366	3007	Caída	-	-	-	-	-	-	-	29/11/2019	-	-
SM-MM-5	777686	9969139	3015	Caída	-	-	-	-	-	-	-	29/11/2019	-	-
CP-MM-1	778183	9971401	2970	Deslizamiento rotacional	-	-	-	-	-	-	-	13/12/2019	-	-
CP-MM-2	777787	9970583	2947	Deslizamiento rotacional	-	-	-	-	-	-	-	13/12/2019	-	-
CP-MM4	777919	9970368	2905	Caída	-	-	-	-	-	-	-	13/12/2019	-	-
SM-MM-7	777643	9968771	2920	Caída	-	-	-	-	-	-	-	2/12/2019	-	-
SM-MM-8	777628	9968721	2916	Caída	-	-	-	-	-	-	-	2/12/2019	-	-

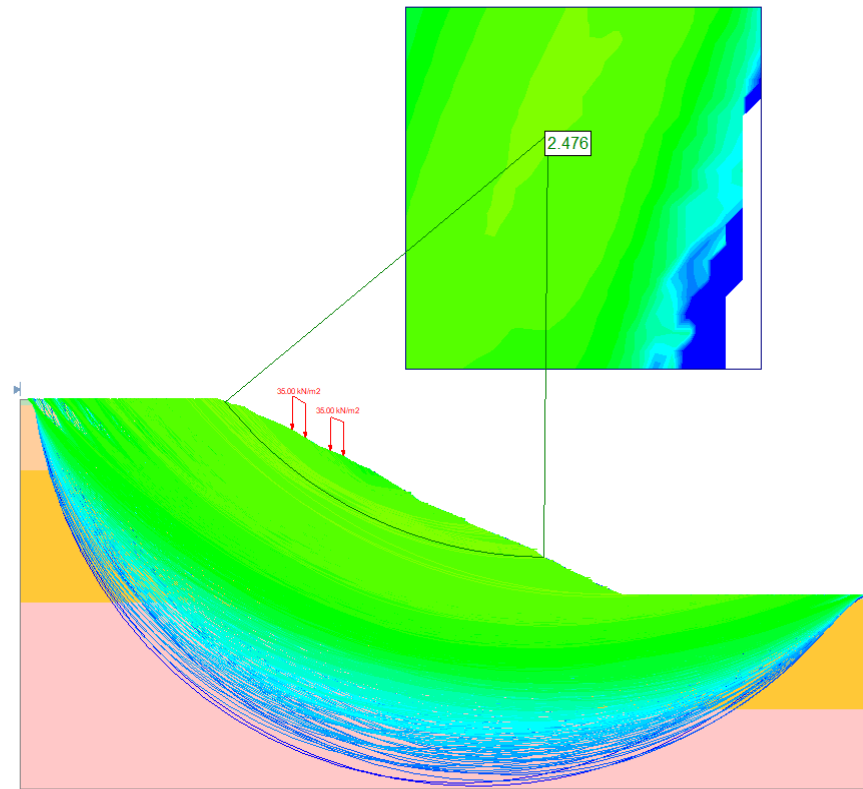
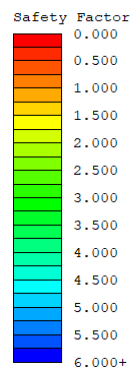
ANEXO IV: MAPA DE PERFILES TOPOGRÁFICOS A LO LARGO DEL BARRIO SAN
LUIS DE MIRAVALLE



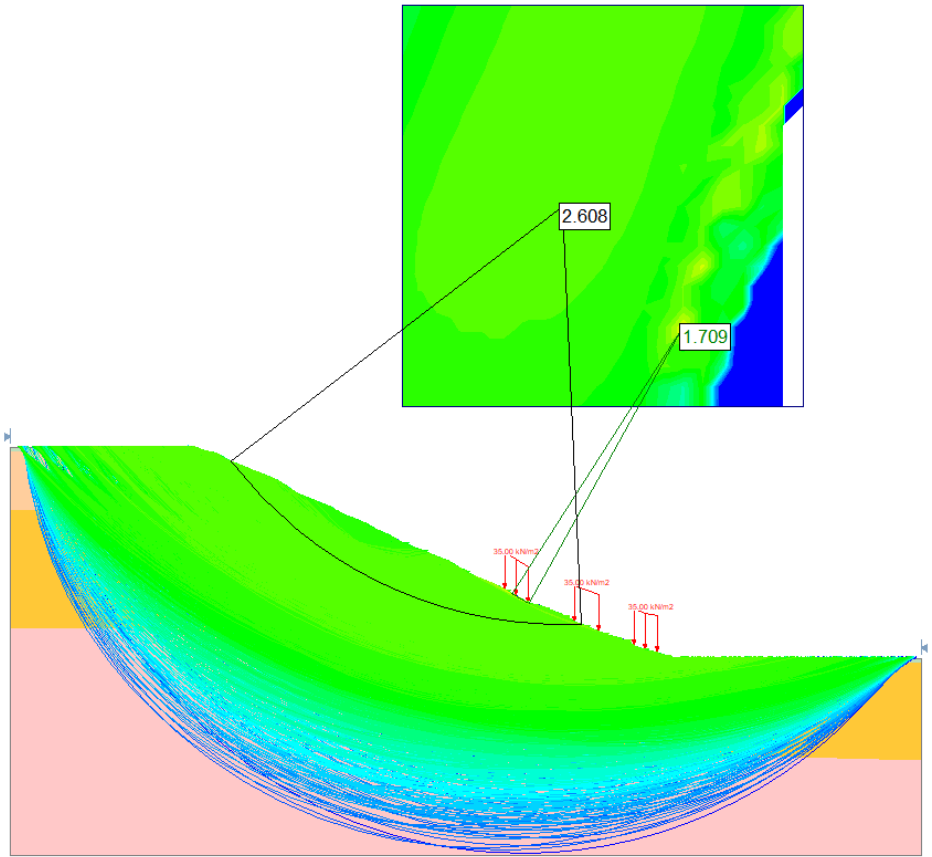
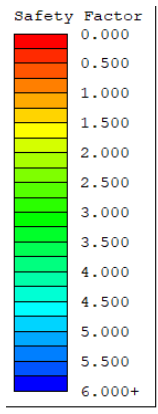
ANEXO V: RESULTADOS DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD ESTÁTICOS OBTENIDOS
MEDIANTE EL SOFTWARE SLIDE 6.0



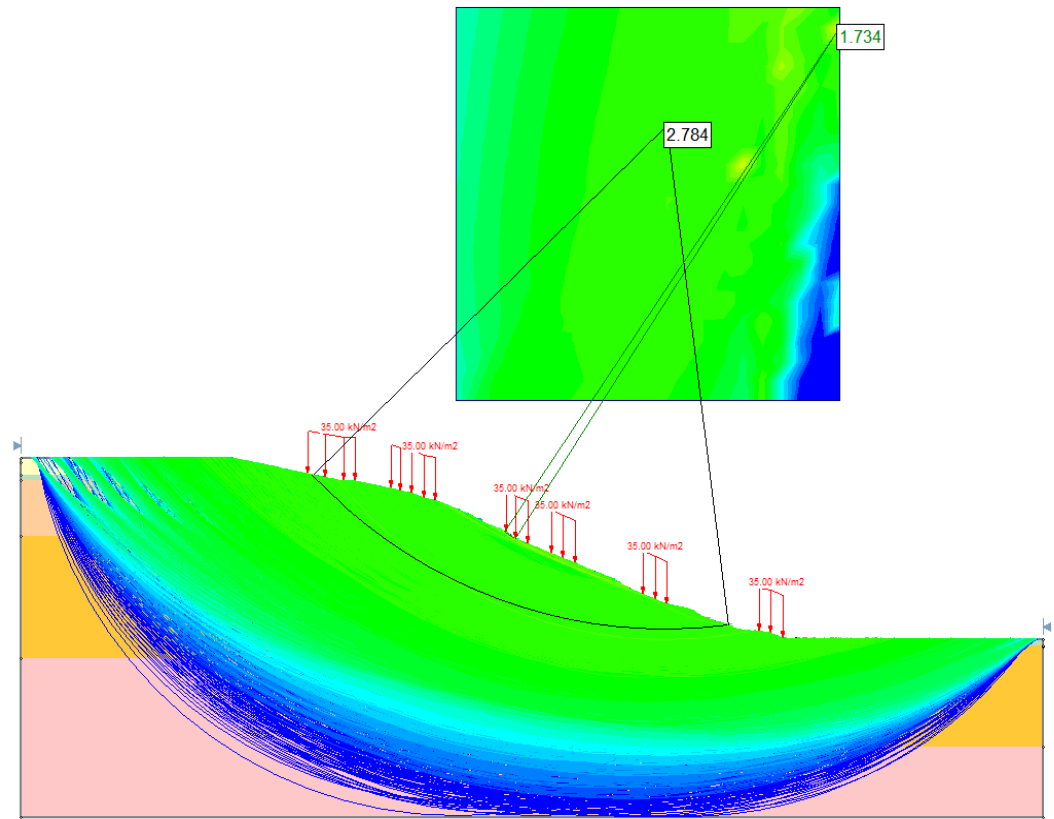
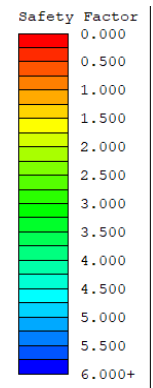
Resultado del factor de seguridad estático a lo largo del perfil BB' simulado en el software Slide 6.0



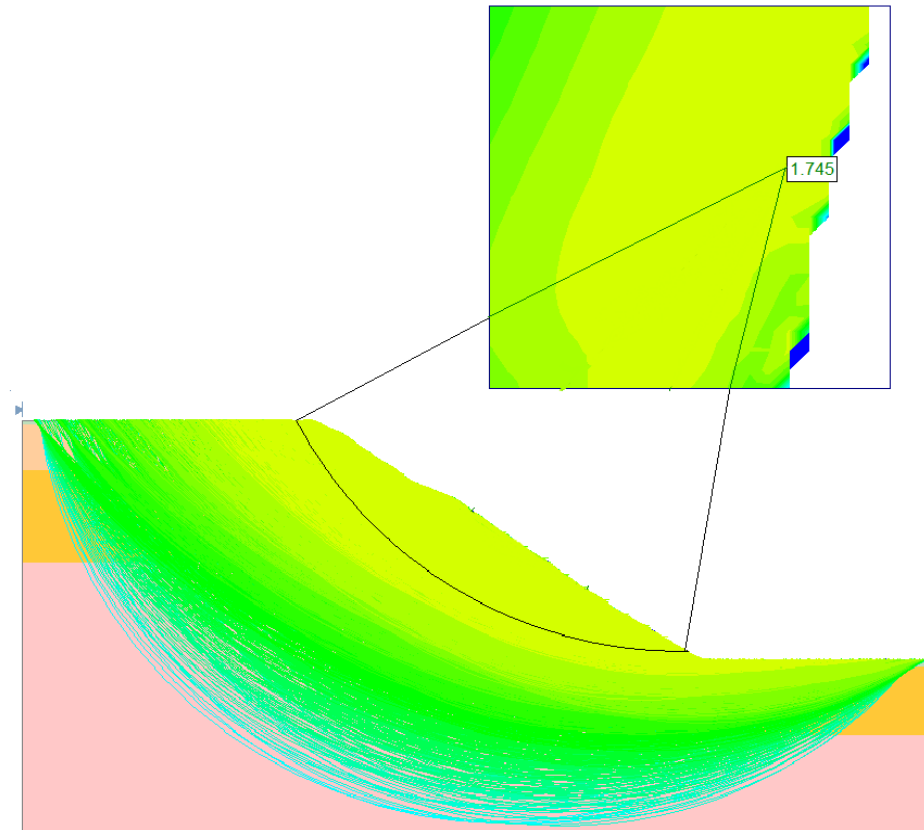
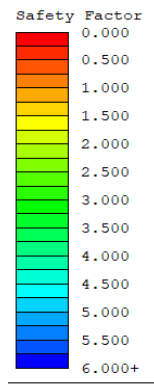
Resultado del factor de seguridad estático a lo largo del perfil EE´ simulado en el software Slide 6.0



Resultado del factor de seguridad estático a lo largo del perfil FF' simulado en el software Slide 6.0

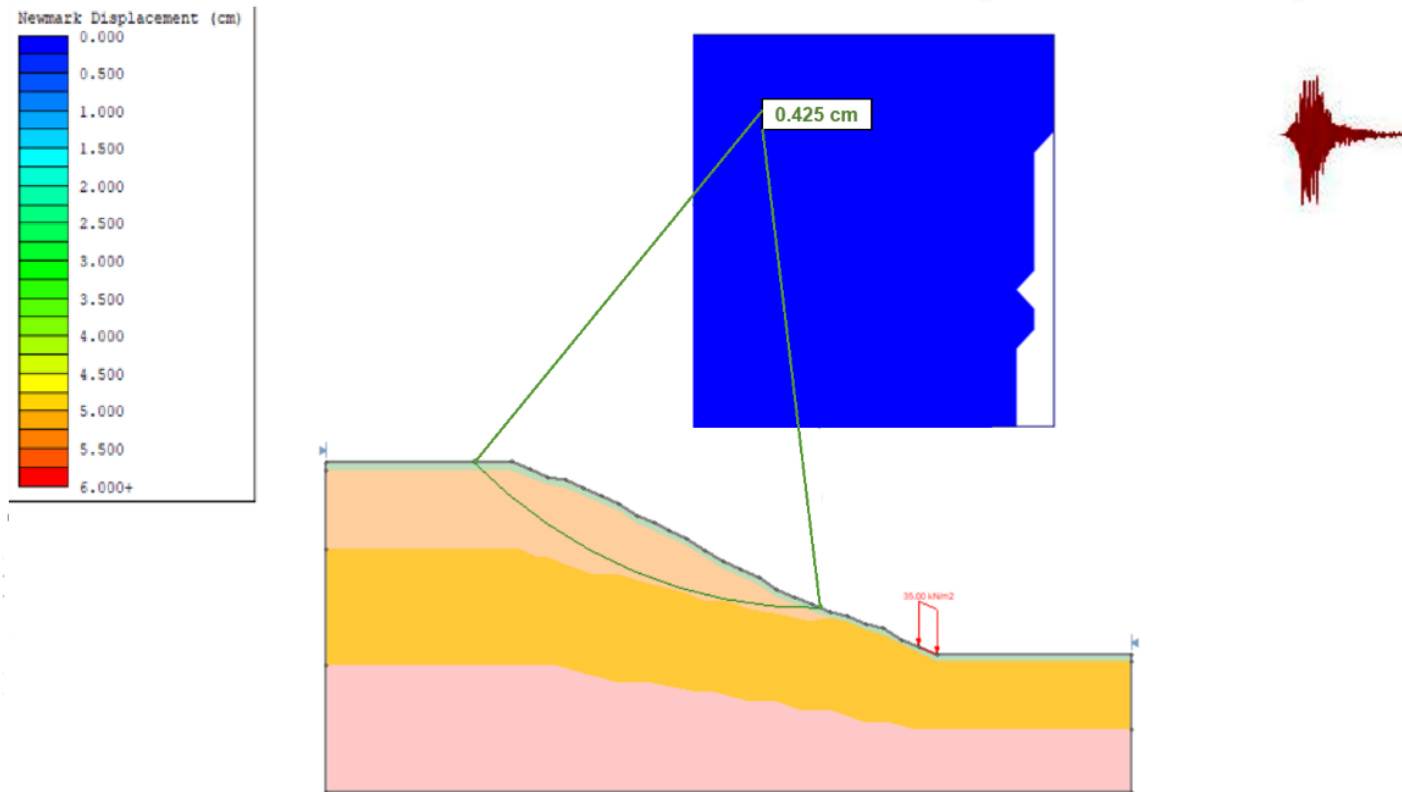


Resultado del factor de seguridad estático a lo largo del perfil II' simulado en el software Slide 6.0

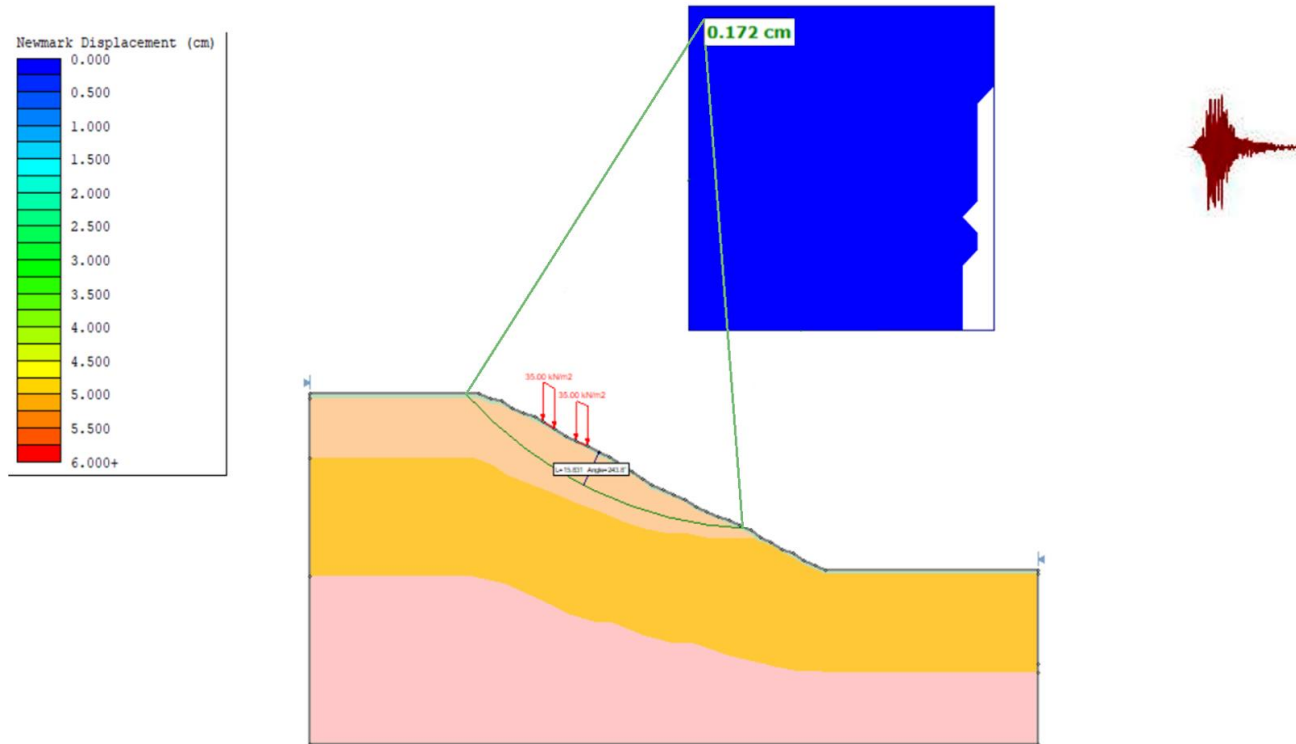


Resultado del factor de seguridad estático a lo largo del perfil KK' simulado en el software Slide 6.0

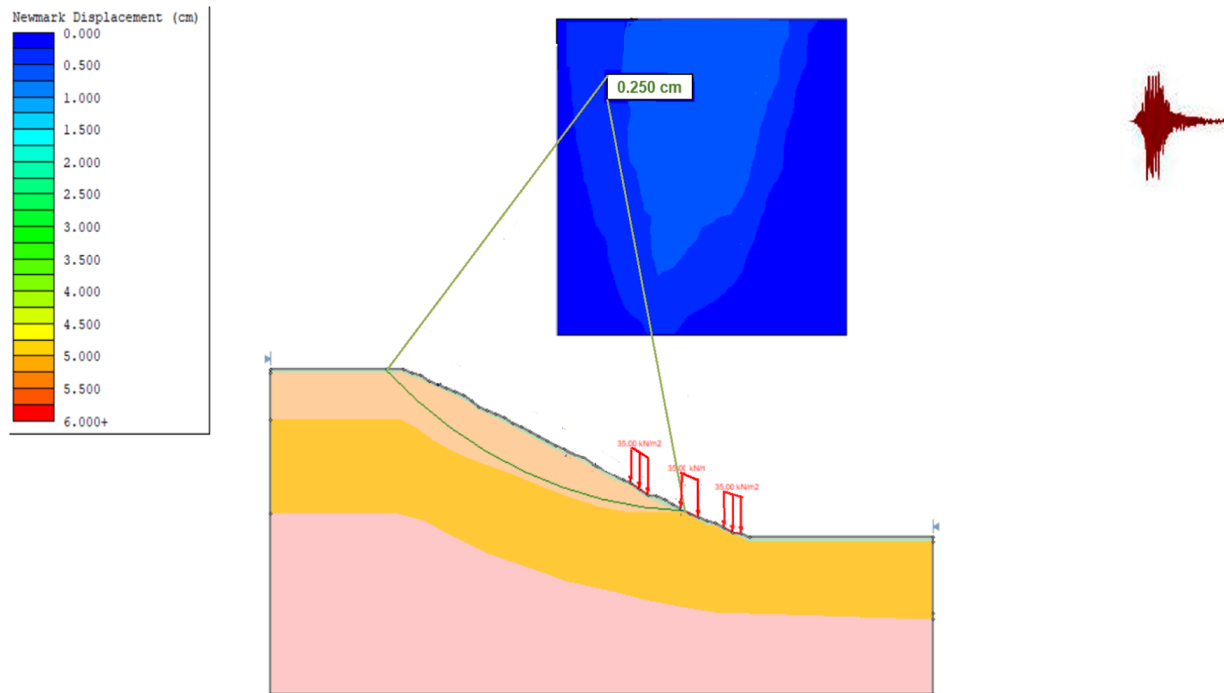
ANEXO VI: RESULTADO DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK OBTENIDOS EN EL
SOFTWARE SLIDE 8.0 CON SIMULACIÓN DEL SISMO DE LOMA PRIETA (1989)



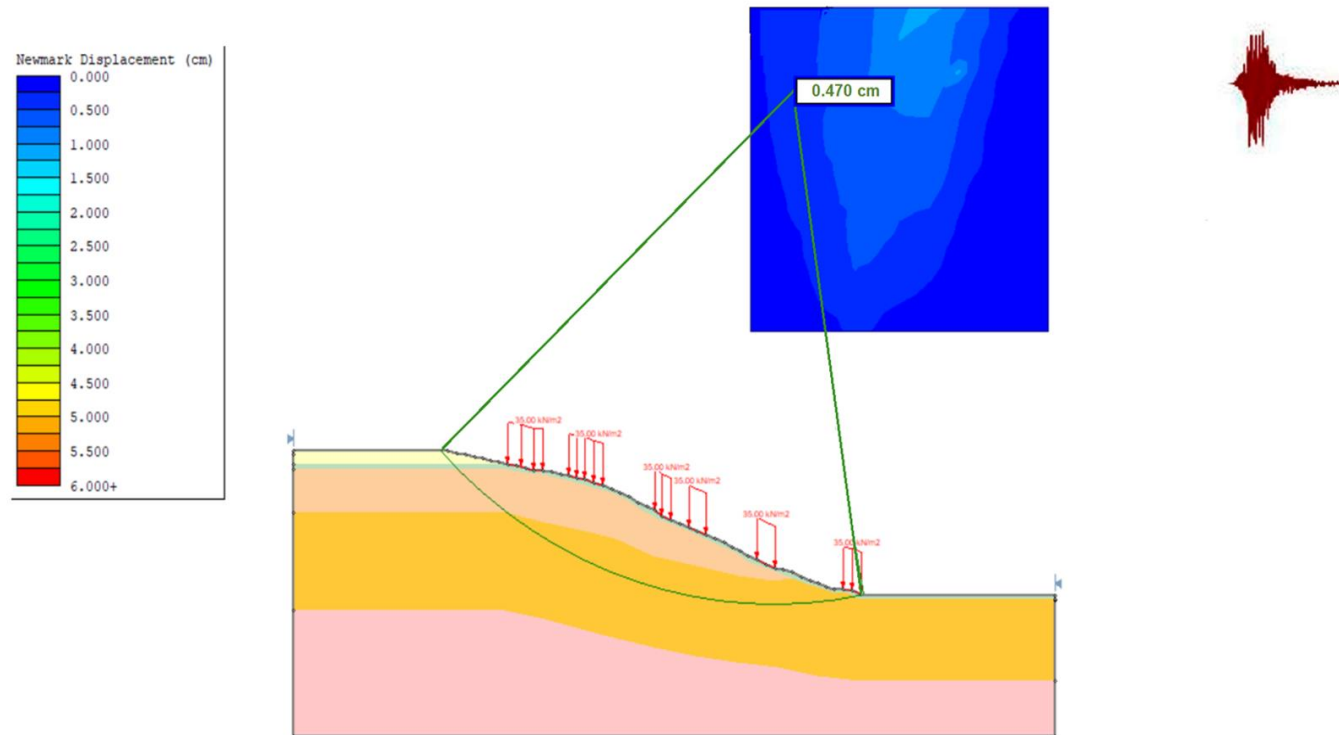
Resultado del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil BB' simulado con el sismo de Loma Prieta (1989) en el software Slide 8.0



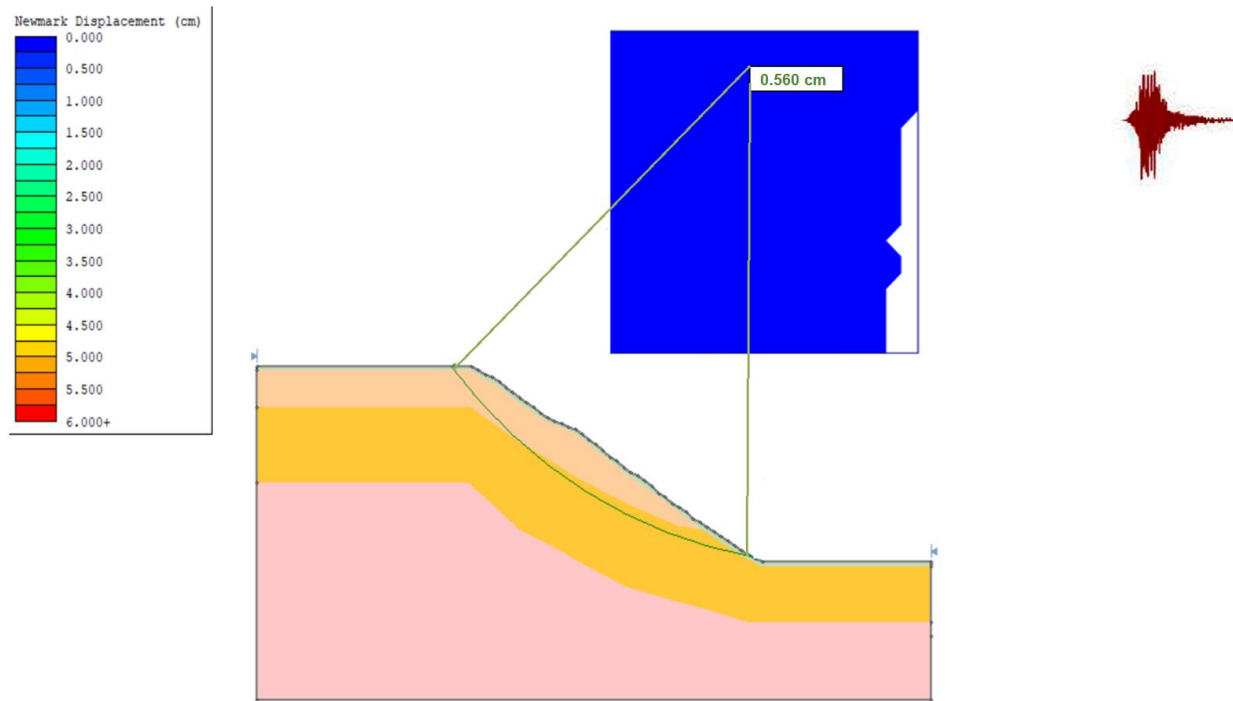
Resultado del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil EE' simulado con el sismo de Loma Prieta (1989) en el software Slide 8.0



Resultado del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil FF' simulado con el sismo de Loma Prieta (1989) en el software Slide 8.0

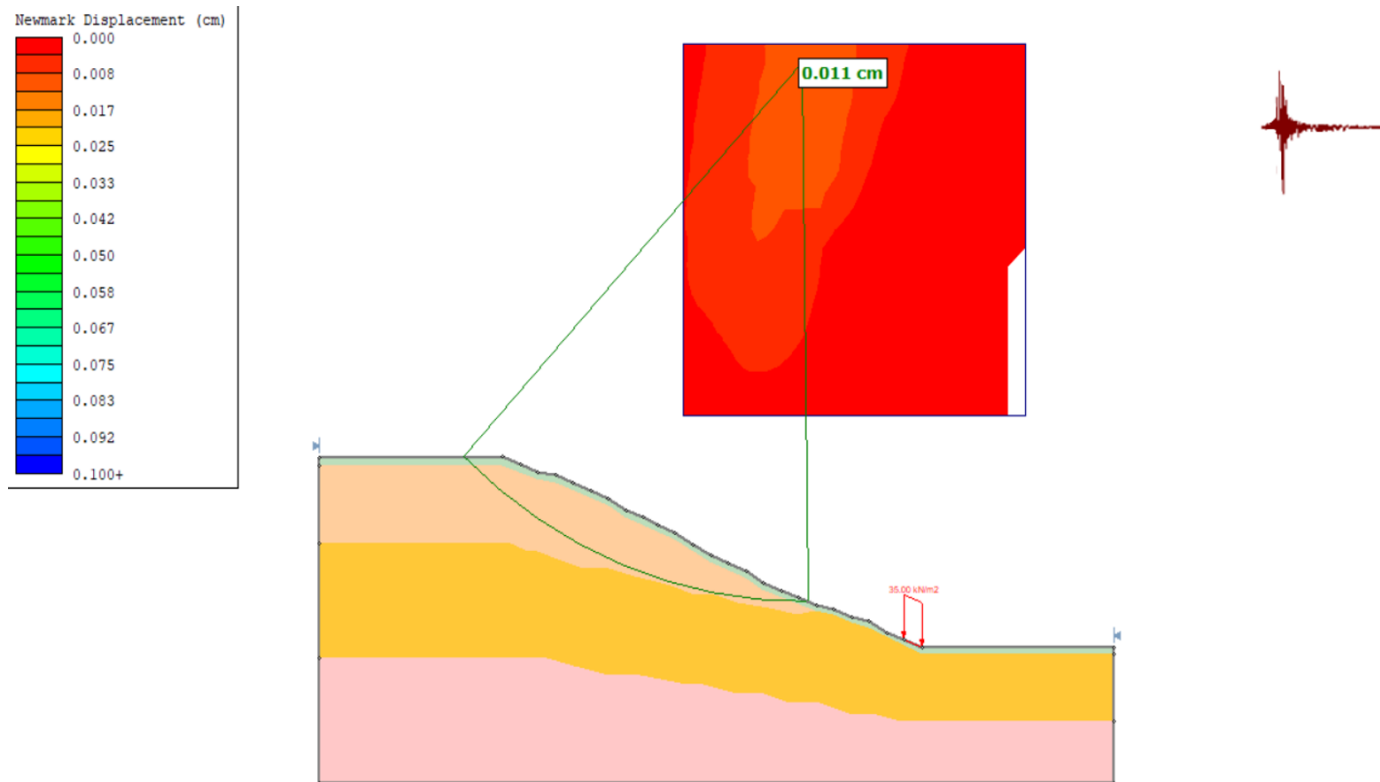


Resultado del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil II' simulado con el sismo de Loma Prieta (1989) en el software Slide 8.0

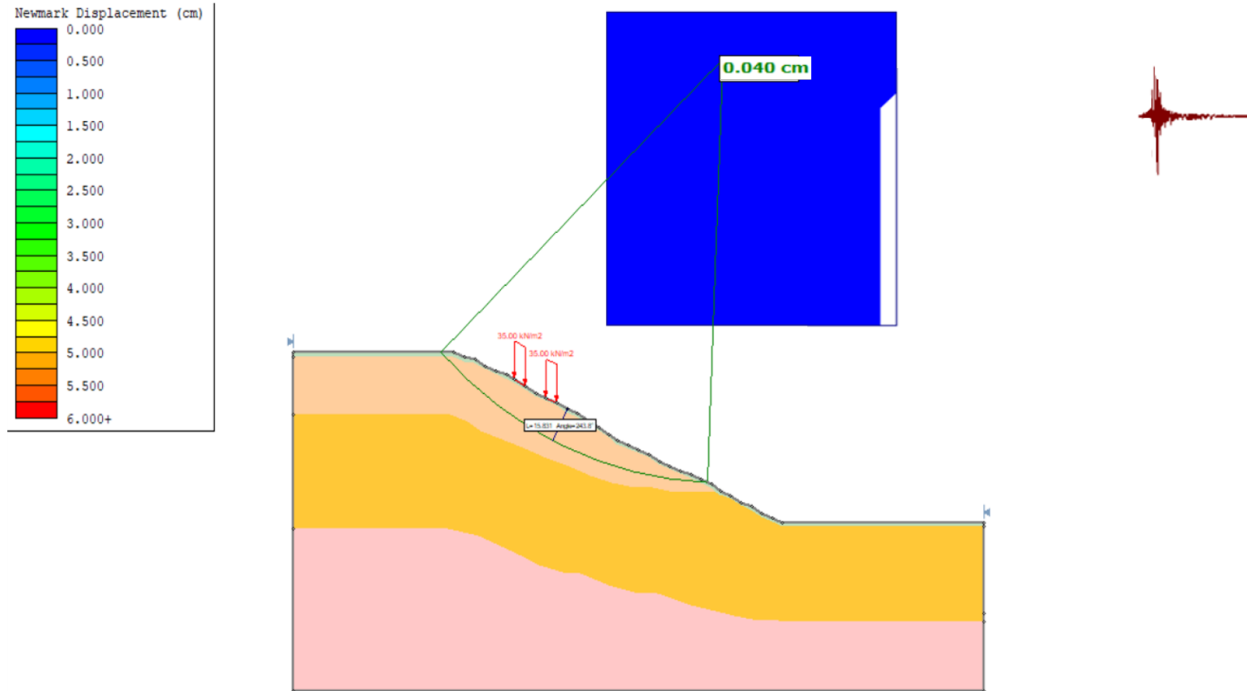


Resultado del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil KK' simulado con el sismo de Loma Prieta (1989) en el software Slide 8.0

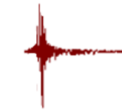
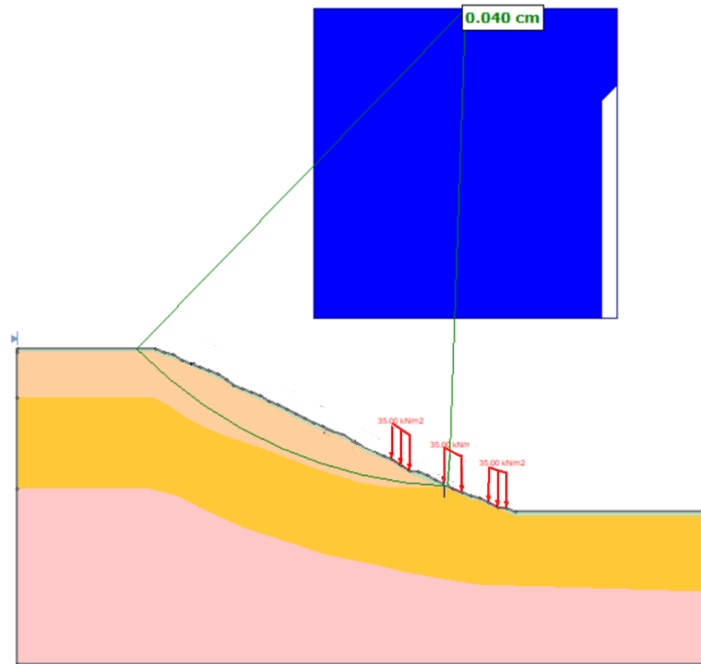
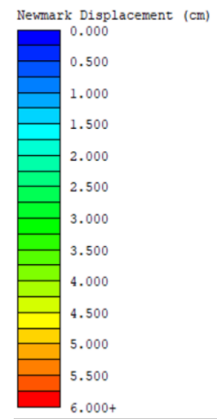
ANEXO VII: RESULTADO DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK
OBTENIDOS EN EL SOFTWARE SLIDE 8.0 CON SIMULACIÓN DEL SISMO DE
COALINGA (1983)



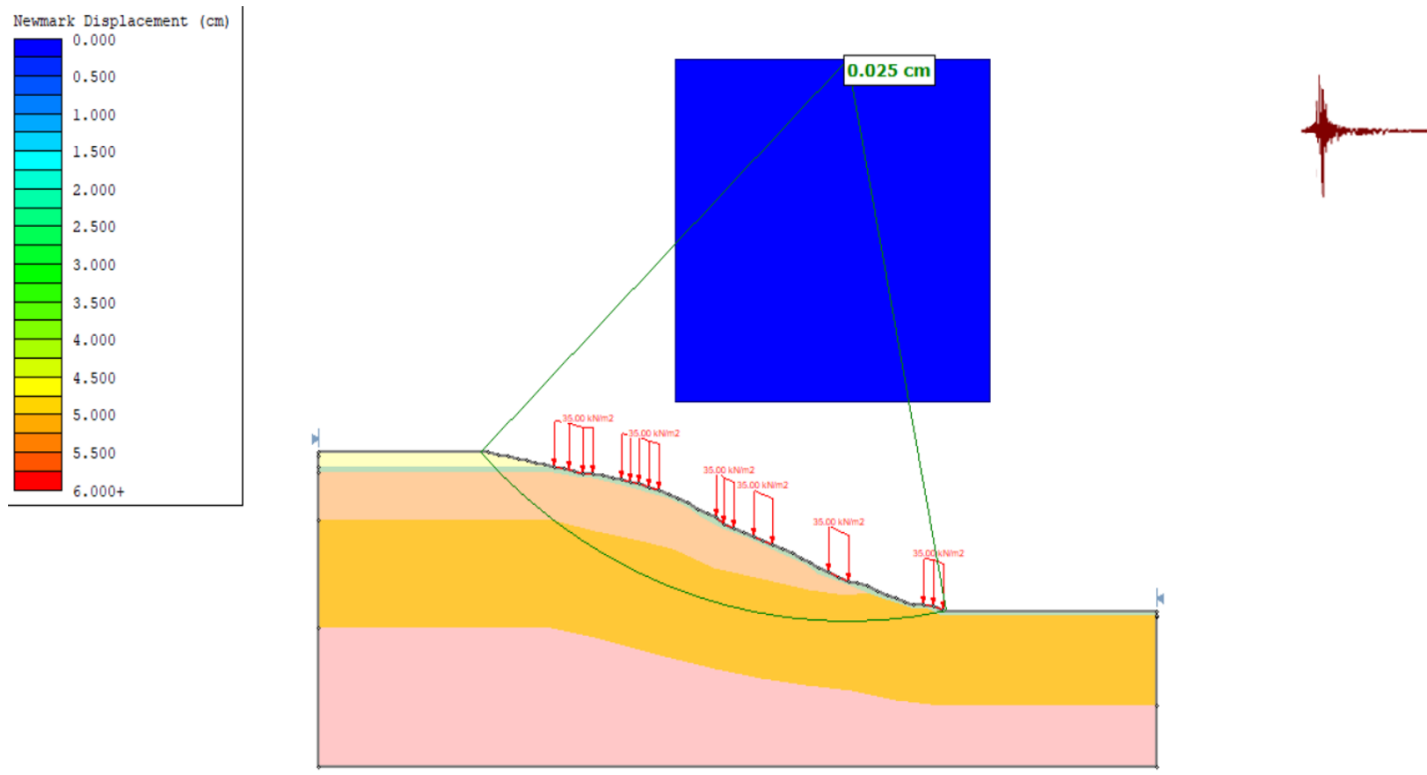
Resultado del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil BB' simulado con el sismo de Coalinga (1983) en el software Slide 8.0



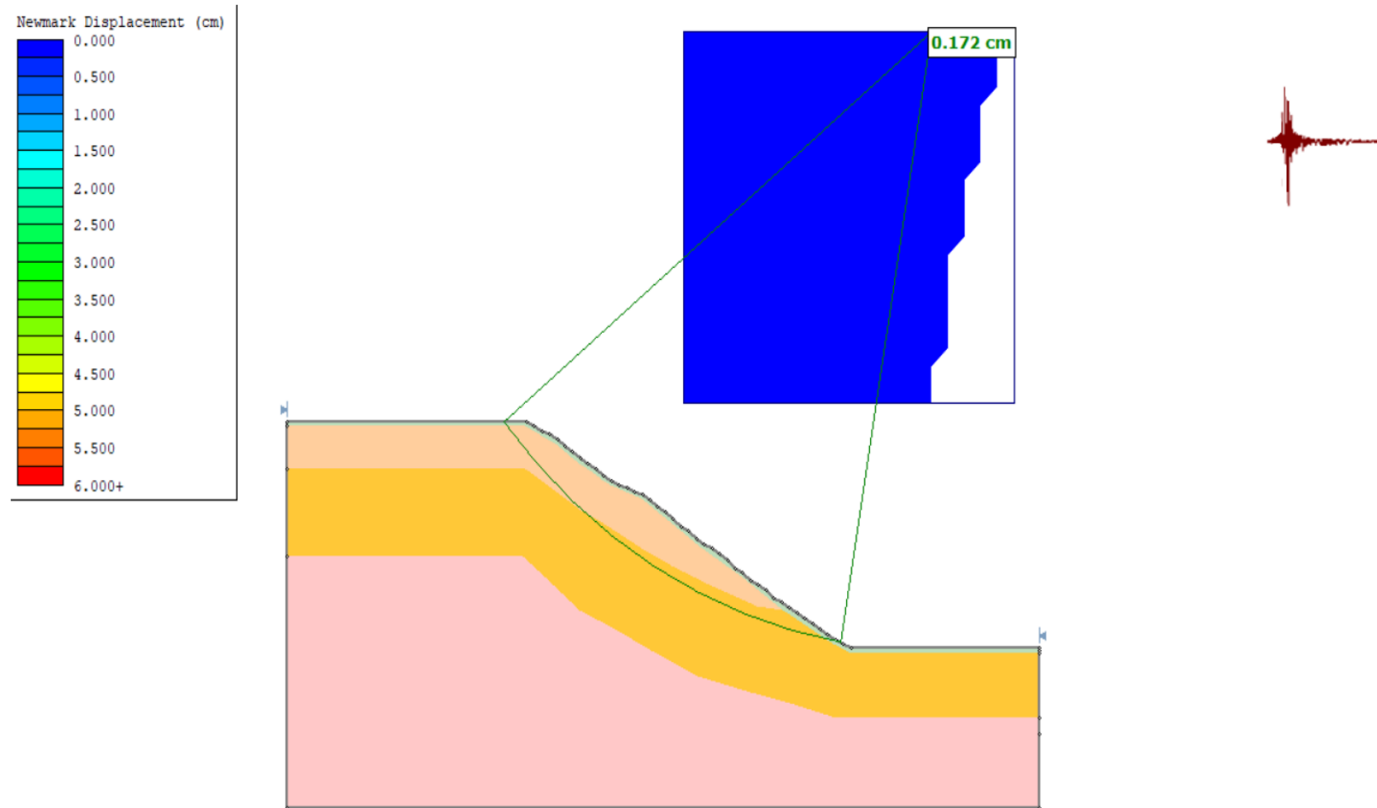
Resultado del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil EE' simulado con el sismo de Coalinga (1983) en el software Slide 8.0



Resultado del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil FF' simulado con el sismo de Coalinga (1983) en el software Slide 8.0



Resultado del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil II' simulado con el sismo de Coalinga (1983) en el software Slide 8.0



Resultado del desplazamiento de Newmark a lo largo del perfil KK' simulado con el sismo de Coalinga (1983) en el software Slide 8.