

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
DISPARADOS POR LLUVIAS EN EL BARRIO 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**

FELIPE BRYAN GONZÁLEZ SILVA
felipe.gonzalez@epn.edu.ec

DIRECTOR: MSc. MARCO CAMILO ZAPATA TAPIA
czapata@igeppn.edu.ec

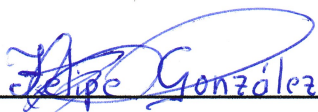
CO-DIRECTORA: MSc. PATRICIA ANN MOTHES
pmothes@igeppn.edu.ec

Quito, Mayo 2023

DECLARACIÓN

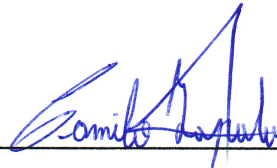
Yo, Felipe Bryan González Silva, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual, correspondiente 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.


Felipe Bryan González Silva

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Felipe Bryan González Silva, bajo mi supervisión.



MSc. Marco Camilo Zapata Tapia
Director del proyecto



MSc. Patricia Ann Mothes
Codirectora del proyecto

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por siempre guiarme y nunca haberme dejado solo en este camino llamado vida, con tristezas, alegrías y dificultades que conlleva, siempre fue, es, y será mi fortaleza.

Agradezco a mis padres, Susana y Javier, por darme su amor, bondad y sobre todo enseñarse a no rendirme nunca a pesar de las dificultades y ser siempre una mejor persona cada día.

A mis hermanos Saúl, Esteban e Israel, quienes siempre se han preocupado por mí y me han apoyado, y sobre todo a mi hermano Israel que, con su carácter y forma de ser, siempre ha sido un ejemplo para mí. Gracias hermanos.

A mi tía Dioselina Silva, quien de forma desinteresada siempre me brindo su ayuda no solo a mi sino a todos mis hermanos.

Quiero agradecer al Proyecto Tomorrow's Cities, al Dr. Daniel Andrade, la MSc. María Isabel Cupuerán y sobre todo a mi director el MSc. Camilo Zapata, por darme la oportunidad y confianza de realizar este trabajo de titulación, por todo su tiempo, ayuda, correcciones, enseñanzas y por la guía en este trabajo.

A la MSc. Eliana Jiménez, por toda la ayuda brindada a este proyecto de titulación, por las salidas al campo, las reuniones, los consejos, las revisiones, las correcciones y sobre todo por compartir su tiempo para el desarrollo de este trabajo de titulación con sus conocimientos.

Agradezco a mi codirectora la Dra. Patricia A. Mothes, quien confió en mis capacidades y fue la partícipe principal para poder llevar a cabo este proyecto de titulación desde el inicio.

Agradezco a todas las personas que me brindaron su amistad a lo largo de la carrera y de mi vida.

DEDICATORIA

A mis padres quienes siempre confiaron en mí y me brindaron su apoyo incondicional

Susana y Javier

A mis hermanos Saúl, Esteban e Israel

A mi tía Dioselina.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE MAPAS	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	5
1.3.1. Justificación Teórica	5
1.3.2. Justificación Metodológica.....	7
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	9

CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y MARCO

CONCEPTUAL	10
2.1. Marco Geológico	10
2.1.1. Marco Regional	10
2.1.2. El Valle o Depresión Interandina	11
2.1.3. Geología de la Cuenca Quito-Guayllabamba.....	13
2.1.3.1. Sistema de Fallas de Quito.....	13
2.1.3.2. Estratigrafía de la Cuenca Quito- Guayllabamba	14
2.1.4. Geología Local de la Subcuenca del Sur de Quito.....	16
2.1.4.1. Estratigrafía Local de la Subcuenca del Sur de Quito	16
2.1.5. Geomorfología.....	19
2.2. Caracterización de la Zona de Estudio	20
2.2.1. Localización.....	20
2.2.2. Población.....	21
2.2.3. Clima	21
2.2.4. Hidrología	21
2.3. Marco Conceptual	21
2.3.1. Amenaza	21
2.3.2. Amenazas Naturales	22
2.3.3. Amenazas Geológicas.....	22
2.3.4. Amenazas Antrópicas.....	22
2.3.5. Movimientos en Masa.....	22
2.3.6. Factores Precondicionantes	25
2.3.7. Factores Desencadenantes.....	25
2.3.8. Análisis de Estabilidad de Taludes	25
2.3.9. Metodología de Límite de Equilibrio.....	25
2.3.10. Método Simplificado de Bishop.....	27
2.3.11. Método Simplificado de Janbú.....	28
2.3.12. Factor de Seguridad	28
2.3.13. Activación de Deslizamientos por Lluvias	29
2.3.14. Modelos Utilizados para la Predicción de Deslizamientos Activados por Lluvias	29
2.3.15. Lluvia Antecedente y Lluvia Acumulada	30

CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS	32
3.1. Investigación Preliminar	33
3.2. Campañas de Trabajo de Campo.....	33
3.3. Inventario de Movimientos en Masa	34
3.4. Levantamiento Litoestratigráfico.....	35
3.5. Características Geotécnicas.....	35
3.6. Perfiles Topográficos.....	38
3.6.1. Geometría del Talud.....	39
3.7. Comportamiento del Agua.....	39
3.7.1. Análisis de Fuentes de Agua	40
3.7.2. Medición Detallada	41
3.7.2.1. Medición de la tasa de Infiltración.....	41
3.7.2.2. Medición de la Humedad	43
3.8. Modelo Numérico de Infiltración	44
3.8.1. Modelación de Presiones de Poros	44
3.8.2. Análisis de Estabilidad.....	45
3.9. Zonificación de la Amenaza	47
3.10. Calibración del Mapa de Zonificación de la Amenaza	47
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1. Inventario de Movimientos en Masa	48
4.2. Levantamiento Litoestratigráfico.....	51
4.2.1. Unidad Volcánicos Basales	51
4.2.2. Formación Cangahua	52
4.2.3. Depósitos Coluviales	54
4.2.4. Suelo	54
4.2.5. Relleno	54
4.3. Características Geotécnicas.....	56
4.4. Perfiles Topográficos.....	56
4.4.1. Geometría del Talud.....	59

4.5.	Comportamiento del Agua en la Ladera	59
4.5.1.	Análisis de la Red de Drenaje.....	59
4.5.2.	Medición de la Tasa de Infiltración.....	61
	Medición de Humedad	61
4.6.	Modelo Numérico de Infiltración	62
4.7.	Zonificación de la Amenaza	66
4.8.	Calibración del Mapa de Zonificación de la Amenaza	68
4.9.	Discusión de los Resultados	70
	CAPÍTULO V: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	75
5.1.	Conclusiones.....	75
5.2.	Recomendaciones.....	77
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
	ANEXOS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Fotografía aérea tomada por un vehículo aéreo no tripulado (VANT), en la cual se aprecia parte del barrio San Luis de Miravalle. Fotografía tomada por: MSc. Marco Camilo Zapata.	3
Figura 1.2. Movimiento en masa del 25 de febrero del 2019 originado en el barrio San Luis de Miravalle que afectó a varias familias del barrio Santa Teresita de Conocoto. Tomado de la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos (2019).	5
Figura 2.1. Esquema del contexto geodinámico del margen Pacífico Este, en donde existe convergencia de placas entre la Nazca y la Sudamericana, además de la deformación del bloque Norandino por la subducción de Carnegie debajo del Ecuador. Tomado de Gutscher et al. (1999).	11
Figura 2.2. Esquema con las principales fallas transcurrentes dextrales que forman la curva restrictiva (restraining bend) y limitan el Valle Interandino (VIA): Falla de Peltetéc (PeF) al este, Falla de Pallatanga- Pujilí- Calacalí (PaF) al oeste, además de las fallas de la zona Sub- Andina (SAF) y la Falla de Jubones (JF). Tomado de Winkler et al. (2005).	12
Figura 2.3. Nuevo mapa neotectónico de la región de Quito. M: Río Machángara; DLM: Río Monjas por sus siglas en inglés De Las Monjas River; QFS: Sistema de Fallas de Quito por sus siglas en inglés Quito Fault System; GFS: Sistema de fallas de Guayllabamba por sus siglas en inglés Guayllabamba Fault System; SFRS: Sistema de Fallas del río San Pedro por sus siglas en inglés San Pedro River Fault System. Fuente: (Alvarado et al., 2014).	14
Figura 2.4. Columna estratigráfica general de la Cuenca Quito-Guayllabamba (parte norte). Fuente Alvarado, 2012. Modificado de Noroña (2021).	16
Figura 2.5. Esquema estratigráfico de la subcuenca del sur de Quito. Fuente: (Peñañiel, 2009).	18
Figura 2.6. Imagen 3D de la cuenca de Quito en la depresión interandina en donde se encuentran varias estructuras geomorfológicas. Fuente: (Alvarado et al., 2014).	19

Figura 2.7. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Esri, Maxar, Geoeye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DC, USDA, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community.	20
Figura 2.8. Esquema de fuerzas con el método de Bishop simplificado. Fuente: (Suárez, 2009).	27
Figura 2.9. Diagrama para calcular el factor de corrección del método de Janbú. Fuente: (Suárez, 2009).	28
Figura 2. 10. Esquema del proceso de saturación del deslizamiento de la Conchita en 2005. Tomado de Jibson (2006).	29
Figura 2. 11. Lluvias anteriores a la catástrofe de Vargas, en Venezuela, diciembre de 1999. Tomado de Suárez (2009).	31
Figura 3.1. Diagrama de flujo de la metodología aplicada en este trabajo de investigación.	32
Figura 3.2: a) Modelo digital del terreno (MDT), de la zona de estudio con tamaño de píxel de 0.5 x 0.5 metros obtenido dentro del proyecto Tomorrow's Cities, 2020. b) Curvas de nivel realizadas a partir del MDT de tamaño de píxel de 0.5 x 0.5 realizado dentro del proyecto Tomorrow's Cities, de la zona de estudio.	38
Figura 3.3. Ejemplo de perfil topográfico, la línea roja corresponde al perfil del cual se realiza el esquema de la geometría del talud y la tabla de valores, que se aprecian en la parte media y baja de la figura, los cuales han sido generados en el software Quantum GIS.	39
Figura 3.4. MDT de la zona de estudio cargado en el software SAGA GIS para realizar la modelación de escorrentía superficial con las herramientas de red de canales y cuencas de drenaje.	40
Figura 3.5. Preparación del terreno antes de colocar el infiltrómetro.	42
Figura 3.6. Infiltrómetro de doble anillo colocado a nivel.	42

Figura 3.7. Infiltrómetros de doble anillo instalados con agua en su interior y un techo sobre ellos para evitar la alteración de condiciones iniciales.....	43
Figura 3.8. Medición de la humedad en campo.....	43
Figura 3.9. Ejemplo de modelado de presión de poros de un talud que se encuentra afectado con una lluvia.	45
Figura 3.10. Ejemplo de análisis de estabilidad de talud calculado en base a la modelación de presión de poros del talud, por el software Slide versión 6.0.....	46
Figura 4.1: a) Afloramiento de 5.7 m de altura, que corresponde a la avalancha de escombros a unos 3017 msnm, cuyas coordenadas UTM son 777734 / 9969250. b) Avalancha de escombros, clasto soportado, con clastos de andesita. Fotografías a) y b) tomadas por: Marco Yanguicela.	51
Figura 4.2: Afloramiento de 3.8 m de altura, correspondiente a la formación Cangahua a unos 3076 msnm, cuyas coordenadas UTM son 777566/ 9969642. Fotografía tomada por: Marco Yanguicela.	53
Figura 4.3: Afloramiento de 4.8 m de altura, correspondiente a la formación Cangahua a unos 3123 msnm, cuyas coordenadas UTM son 777295/ 9969281. Fotografía tomada por: Marco Yanguicela.	53
Figura 4.4. Columna litoestratigráfica general de la zona de estudio. Elaborada por el autor.	55
Figura 4.5. Ejemplo de la geometría del talud del perfil “M” ingresado en el programa Slide 6.0.....	59
Figura 4.6. Modelación de presiones de poros para el Perfil “U” en condiciones sin saturación elaborado en el Slide 6.0.	62
Figura 4.7. Modelación de presiones de poros para el Perfil “U” en condiciones con saturación elaborado en el Slide 6.0.	63

Figura 4.8. Cálculo del factor de seguridad a partir de la modelación de presiones de poros mediante el método simplificado de Bishop, para el Perfil “U” en condiciones sin saturación, con FS= 2.145 elaborado en el Slide 6.0.65

Figura 4.9. Cálculo del factor de seguridad a partir de la modelación de presiones de poros mediante el método simplificado de Bishop, para el Perfil “U” en condiciones con saturación, con FS= 1.400 elaborado en el Slide 6.0.65

Figura 4.10. Parte de un movimiento en masa tipo caída, ubicado en las coordenadas UTM 777573/ 9969753. Fotografía tomada por: Marco Yanguicela.70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Resumen de la clasificación de los movimientos en masa.	23
Tabla 2.2. Métodos de límite al equilibrio para el análisis de estabilidad de taludes. Tomado de Suárez (2009).	26
Tabla 3.1. Resultados de ensayos triaxiales CU de cangahua primaria y retrabajada (Chango y Montatixe, 2018), de los cuales se calcularon los valores aproximados de cohesión efectiva, ángulo de fricción efectivo, y peso unitario, para los estratos de cangahua primaria y secundaria de nuestra zona de estudio.....	37
Tabla 3.2. Resultados de ensayos CU, suelos volcánicos, capa de la base de la secuencia. Cuenca de Rumiurcu (Jiménez, 1999), de los cuales se utilizaron, para calcular los valores aproximados de cohesión efectiva, ángulo de fricción efectivo, y peso unitario, para el estrato de suelo.	37
Tabla 3.3. Valores de precipitación diaria de la estación meteorológica Puengasí de los días 23, 24 y 25 de febrero del 2019. Tomado de EPMAPS.	45
Tabla 3.4. Clasificación de la amenaza de un talud ante un deslizamiento. Fuente:(Ávila et al., 2016).....	47
Tabla 4.1. Resumen del Inventario de Movimientos en Masa.	50
Tabla 4.2. Ángulo de fricción, cohesión efectiva y peso específico de los estratos de la zona de estudio.	56
Tabla 4.3. Resumen de los perfiles topográficos.....	58
Tabla 4.4. Conductividad hidráulica saturada de cada uno de los estratos de la zona de estudio utilizados en la modelación en Slide, los cuales son el resultado de los ensayos realizados con el infiltrómetro de doble anillo dentro del proyecto Tomorrow's Cities en el año 2022, en la zona de estudio.	61

Tabla 4.5. Resumen de los FS en los diferentes perfiles en condiciones con saturación y sin saturación64

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 4.1. Mapa de Ubicación de Movimientos en Masa San Luis de Miravalle.....	49
Mapa 4.2. Mapa de Ubicación de Perfiles San Luis de Miravalle.	57
Mapa 4.3. Mapa de Red de Drenaje San Luis de Miravalle.....	60
Mapa 4.4. Amenaza a Movimientos en Masa (Sin Saturación) San Luis de Miravalle.....	66
Mapa 4.5. Amenaza a Movimientos en Masa (Con Saturación) San Luis de Miravalle.	67
Mapa 4.6. Calibración del Mapa de Amenaza A Movimientos en Masa (Sin Saturación) San Luis de Miravalle.....	68
Mapa 4.7. Calibración del Mapa de Amenaza A Movimientos en Masa (Con Saturación) San Luis de Miravalle.....	69

RESUMEN

El presente trabajo de titulación corresponde a un estudio de investigación desarrollado en el barrio San Luis de Miravalle, ubicado al sur oriente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en el cual se realizó un análisis de estabilidad de taludes, considerando a la lluvia como factor de disparo. El factor de seguridad obtenido en condiciones sin saturación (con ausencia de lluvias) y con saturación (presencia de lluvias), permitió la elaboración de dos mapas de zonificación de la amenaza a movimientos en masa disparados por lluvias, los cuales fueron calibrados con el mapa del inventario de movimientos en masa de los eventos pasados que fue levantado en la zona de estudio. Estos mapas se presentan a escala 1:6500 y fueron elaborados mediante la aplicación del método de Modelos Numéricos de Infiltración y con el uso de un software de Sistema de Información Geográfico (SIG)

El método de Modelos Numéricos de Infiltración, se fundamenta en un análisis de estabilidad de taludes a partir de un modelo previo que simula la presión de poros en el estrato, debido a la infiltración causada por un evento de lluvia. Este método se lo empleó en la modelación de cincuenta taludes tanto en condiciones sin saturación, como con saturación, en el software Slide 6.0, con un total de cien modelaciones, mediante la herramienta Steady State FDA, la cual realiza un análisis de infiltración de agua subterránea y uno de estabilidad de taludes a partir del modelo de presión de poros generado en el análisis de infiltración. Antes de iniciar las modelaciones se realizó un trabajo de investigación preliminar en donde se recolectó y revisó la información como las características geotécnicas. Además, se realizó trabajo de campo para levantar datos estratigráficos, observar el comportamiento del agua en la ladera, y la caracterización de los movimientos en masa de la zona de estudio. En función de estos parámetros se realizaron las modelaciones, para el análisis de infiltración, donde se integraron adicionalmente los valores de conductividad hidráulica en cada estrato y los valores de la lluvia acumulada para la obtención del modelo de presión de poros. El resultado final del análisis de estabilidad de taludes es un factor de seguridad dinámico que permitió hacer una zonificación de la amenaza por movimientos en masa, en el barrio San Luis de Miravalle, con el factor desencadenante lluvia.

Estos mapas son una herramienta que contribuirán a la toma de decisiones para un mejor control territorial y la gestión del riesgo en el barrio.

ABSTRACT

The present project corresponds to a research study developed in the San Luis de Miravalle neighborhood, located southeast of the Metropolitan District of Quito (DMQ), in which an analysis of slope stability was carried out, considering rain as a triggering factor. The safety factor obtained in conditions without saturation (with absence of rain) and with saturation (presence of rain), allowed the elaboration of two zoning maps on the threat to mass movements triggered by rains, which were calibrated with the map of the inventory of mass movements of past events that was produced for the study area. These maps are presented at a scale of 1:6500 and were prepared by applying the method of Numerical Models of Infiltration and using Geographic Information System (GIS) software.

The Infiltration Numerical Models method is based on a slope stability analysis from a previous model that simulates the pore pressure in the stratum due to the infiltration caused by a rain event. This method was used in the modeling of fifty slopes both in conditions without saturation and with saturation, in the Slide 6.0 software, with a total of one hundred modeled runs, using the Steady State FDA tool, which performs an analysis of groundwater infiltration and slope stability from the pore pressure model generated in the infiltration analysis. Before starting the modeling, a preliminary research was carried out where information such as geotechnical characteristics was collected and reviewed. In addition, field work was carried out to collect stratigraphic data, observe the behavior of water on the slope and characterize the mass movements of the study area. Based on these parameters, the modeling was carried out for the infiltration analysis, where the hydraulic conductivity values in each stratum and the accumulated rain values were integrated to obtain the pore pressure model. The final result of the slope stability analysis is a dynamic safety factor that allowed a zoning of the threat due to mass movements, in the San Luis de Miravalle neighborhood, with rain fall as the triggering factor.

These maps are a tool that will contribute to decision-making for better territorial control and risk management in the neighborhood.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se encuentra en la provincia de Pichincha, en la parte norte del Ecuador, con 2 grandes cadenas montañosas como: la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental o Real que lo atraviesan, y son los límites del Valle Interandino. El DMQ tiene una superficie de 423 000 Ha, que corresponde a una zona rural de 380 311, 82 Ha (89,91%) y una mancha urbana de 42 689,39 Ha (10,09%), la cual alberga la zona más densamente poblada del DMQ, la ciudad de Quito (Secretaría de Seguridad DMQ, 2015). La zona urbana más poblada del DMQ, se encuentra a una altitud de 2800 msnm, posee una forma alargada e irregular, dentro del Valle Interandino y está próximo a varios complejos volcánicos como el Guagua Pichincha (Alvarado et al., 2014). En el DMQ a lo largo de su historia los desastres han sido habituales debido a su ubicación en el valle interandino (Secretaría de Seguridad DMQ, 2015), especialmente en la zona urbana con accidentes de origen tanto climático como geomorfológico, que han sido mencionados en los archivos españoles que documentaron estos problemas desde la fundación de la ciudad en 1534 (Peltre, 1989). Sin embargo, la acción antrópica ha modificado constantemente la morfología del DMQ, convirtiéndolo en un sitio expuesto tanto a amenazas naturales, como antrópicas (Secretaría de Seguridad DMQ, 2015).

Al igual que las grandes ciudades de América Latina, la capital de Ecuador ha tenido un gran proceso de urbanización en los últimos años, lo cual ha significado la transformación permanente de su territorio, de esta manera se ha acentuado y acelerado los impactos por la ocurrencia de amenazas como inundaciones, deslizamientos, sequías, además se ha profundizado los efectos de amenazas sísmicas y volcánicas (Córdova y Vallejo, 2012). Sin embargo, el crecimiento urbanístico no provocaría dificultades en muchos de los casos, sino estuviera vinculado el crecimiento con las condiciones socio-económicas de sus pobladores, al acceso y uso de suelo, lo que favorece a la construcción de viviendas en zonas inseguras o inadecuadas, con déficit de infraestructura y equipamiento urbano en ciertos lugares de la ciudad (Córdova & Vallejo, 2012).

El desarrollo urbano drástico de la ciudad ha provocado que muchas redes de drenaje fueran llenadas, o reemplazadas por alcantarillas que con el paso de los años quedaron obsoletas en su capacidad, siendo esto la principal causa de movimientos en masa en la zona de Quito en el pasado y presente (Peltre, 1989), como se evidencia en el estudio

realizado de Taipe (2022), en donde el 77% de los movimientos en masa como eventos climáticos (MMEM) que se registraron en la parte sur del DMQ, microcuenca hidrográfica del río Machangara (MHRMa) se relacionan a esta causa, o como en el estudio de Espinosa (2022), en donde resalta que el 53% de los MMEM en la parte norte del DMQ, microcuenca hidrográfica del río Monjas (MHRMo) han ocurrido en drenajes rellenos. No obstante, existen más factores que inciden para provocar los movimientos en masa en el DMQ, algunos de estos factores desencadenantes son: los sismos, las lluvias, explotación minera, erosión fluvial al pie de la ladera, actividad antrópica (Pazos y Vinuesa, 1990), además de otros factores como la litología, tipo de suelo, la pendiente de las laderas, deforestación, rellenos antitécnicos, entre otros. (Plaza, 1998).

Los movimientos en masa en el DMQ han afectado principalmente en 39 sectores los cuales son: San Francisco de Pinsha, Quebrada El Corte, Coop. Santa Teresita del Valle y Santa Teresita 2, San José de Monjas, Puengasi, Cooperativa Puertas del Sol, Guápulo, vía e intersección con quebradas de Nayón Rumicucho Alto, por mencionar algunos y en todas las administraciones zonales del DMQ ha existido por lo menos un movimiento en masa, los cuales pueden afectar las infraestructuras y servicios públicos que contribuyen al desarrollo de los habitantes del DMQ, adicionalmente en el periodo del 2005-2014 se registraron 817 movimientos en masa en el DMQ, siendo los más frecuentes deslizamientos y desprendimientos que son creados en los márgenes de las quebradas, taludes de vías y en las laderas con pendientes mayores 30° (Secretaría de Seguridad DMQ, 2015).

Por esta razón en base a la constante y acelerada expansión urbana en muchos sectores del DMQ, es necesario realizar varios estudios en toda la ciudad, tanto en el centro como en la periferia, para conocer la situación actual del nivel de amenaza a movimientos en masa. Por ello es necesario generar información del nivel de amenaza a los movimientos en masa como en el barrio de San Luis de Miravalle, que contribuirá a entender y explicar cuáles son los lugares y las causas para que exista mayor cantidad de movimientos en masa en este barrio, en especial cuando existen abundantes precipitaciones en la época invernal.

1.2. Planteamiento del problema

El barrio San Luis de Miravalle se encuentra ubicado en la parroquia la Ferroviaria, al suroriente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) (Figura 1.1), en el flanco oriental de la loma de Puengasí (Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos, 2019), la cual es parte

de una secuencia de pliegues anticlinales asociados al fallamiento inverso que se encuentran a lo largo del Sistema de Fallas de Quito. Esta falla se ha dividido en cinco segmentos: Puengasí, Ilumbisi-La Bota, Carcelén-El Inca, Bellavista-Catequilla y Tangahuilla (Alvarado et al., 2014). Además, la zona de estudio posee un rasgo importante, el cual es un gran escarpe de aproximadamente 2km de longitud que posiblemente este asociado a un importante y antiguo macro movimiento en masa Conocoto- La Armenia (Noroña, 2021).



Figura 1.1. Fotografía aérea tomada por un vehículo aéreo no tripulado (VANT), en la cual se aprecia parte del barrio San Luis de Miravalle. Fotografía tomada por: MSc. Marco Camilo Zapata.

San Luis de Miravalle es un barrio que creció como uno de los tantos asentamientos humanos irregulares de la ciudad, debido a la migración de la población del campo a la ciudad y de las provincias a la capital, sin alcantarillado y servicios básicos en sus inicios, esto al menos hace 40 años atrás (Cruz, 2021). Los asentamientos irregulares generalmente se han localizado en zonas declaradas de alta susceptibilidad, en las laderas, así como cerca de cauces de quebradas, por lo que están expuestos a amenazas como movimientos en masa que han ocasionado colapsos de la red de alcantarillado. De

tal manera estos asentamientos pueden tener un riesgo y vulnerabilidad alta (Morales, 2015).

La falta de ordenamiento territorial o un control de estos asentamientos en sus inicios, ocasionó el crecimiento constante del barrio en una zona con muy alta susceptibilidad a movimientos en masa, determinada para la administración zonal Eloy Alfaro de la cual hace parte, basándose en sus litologías (cangahua, tobas volcánicas, arcillas, arenas y conglomerados en lahares y coluviales), alturas (2947-3304 msnm), ángulos de pendientes (30-42°), y orientación de las laderas (Oeste) (Pallas y Robalino, 2018). A pesar que el barrio ya se encuentra regularizado, todavía no cuenta en su totalidad con la infraestructura de servicios básicos como alcantarillado tanto pluvial como sanitario, y además la red vial no cuenta con un sistema eficiente de recolección de agua de escorrentía superficial, con lo cual el mal manejo de esta agua podría aumentar la inestabilidad de la ladera (Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos, 2019).

Los movimientos en masa no solo han afectado a este barrio, también a los que se encuentran en la parte inferior de la ladera como el barrio Santa Teresita de Conocoto, ocasionando pérdidas económicas y sociales (Camino, 2019).

La zona ha sido afectada por varios movimientos en masa como derrumbes y flujos principalmente disparados en épocas de fuertes lluvias, como el ocurrido el 25 de febrero del 2019 que fue uno de los más recientes y con mayores daños. En este evento hubo nueve heridos, cinco adultos y cuatro niños, quienes fueron trasladados a centros asistenciales por golpes y politraumatismos; no hubo ningún fallecido, informaron desde la Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del Municipio del DMQ (Bravo, 2019) (Fig 1.2). También es importante añadir que a un extremo de la zona de estudio se encuentra el tramo Oriente Quiteño – La Forestal de la avenida Simón Bolívar la cual es una de las vías estratégicas de la capital en ella se han reportado varios deslizamientos en la época invernal con fuertes lluvias, allí se han detectado filtraciones de agua en los taludes. (El Comercio, 2012).

Con este antecedente, este trabajo realizará una zonificación de la amenaza por movimientos en masa con la lluvia como factor disparador en el barrio San Luis de Miravalle, como un aporte al ordenamiento territorial y evaluar el riesgo a movimientos en masa en especial en la época invernal y desde allí trazar acciones tanto con los pobladores como el gobierno municipal.



Figura 1.2. Movimiento en masa del 25 de febrero del 2019 originado en el barrio San Luis de Miravalle que afectó a varias familias del barrio Santa Teresita de Conocoto. Tomado de la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos (2019).

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Teórica

Un talud o ladera es una superficie inclinada respecto a la horizontal del relieve de una montaña que representa cambios significativos de altura; se define ladera cuando su formación actual resultó de un proceso natural y talud cuando su origen fue artificial (Suárez, 2009). Ambos talud y ladera, pueden permanecer estables durante años, pero debido a cambios topográficos, sismos, flujos de agua subterránea o actividad antrópica pueden modificar su condición. La estabilidad de laderas y taludes depende de la relación de dos fuerzas: i) la resistencia al corte que es la resistencia que tiene el material al corte y II) el esfuerzo de corte que actúa para cortar al material y moverlo. La relación está dada

por la formulación del Factor de Seguridad (FS) determinado por Fellenius (1922) (Ecuación 2.1), definido como la relación entre la resistencia al corte obtenida del tipo de material del talud y los esfuerzos de corte críticos que intentan producir la falla a lo largo de la superficie de falla (Suárez, 2009).

Cuando el esfuerzo de corte es mayor que la resistencia al corte se tiene una inestabilidad del talud o ladera. Existen causas internas como la meteorización o presión de poros que pueden disminuir la resistencia al corte y causas externas como lluvias, sobrecargas en la ladera, sismos, erupciones volcánicas, que incrementan el esfuerzo al corte (Suárez, 2009). Un factor que juega un papel importante en aumentar el esfuerzo al corte es el agua de un evento de lluvia intensa y prolongada o proveniente de descargas no controladas por la actividad antrópica. Este factor incrementa el peso de la ladera, cambiando el ángulo de reposo de los materiales, disolviendo minerales, saturando suelos o incrementando el nivel freático (Selby, 1993). Así una ladera o talud inestable puede cambiar muy fácilmente a movimiento en masa al incrementar el esfuerzo al corte (Gutiérrez, 2008). El análisis de estabilidad permite determinar el cambio del FS al límite en el cual una ladera o talud deja de ser estable y existe la probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa.

El análisis de estabilidad se realiza a través de una modelación matemática de los taludes o laderas, los cuales toman en cuenta los factores primarios que afectan la estabilidad como, la topografía, geometría, propiedades geomecánicas de los materiales, aspectos geológicos y el factor detonante (lluvia en este caso). Sin embargo, existen otros parámetros como, cargas externas, niveles freáticos, presencia de grietas de tensión, por nombrar algunos, en donde su uso depende del tipo de talud o ladera y de los resultados que se quieren obtener, como determinar la deformación del talud, procesos de falla, predecir el comportamiento y distancia recorrida. De esta forma, existe una gran variedad de métodos, que buscan la relación de fuerzas en el factor de seguridad, y de esta manera determinar su estabilidad, además de un posible cambio a movimiento en masa (Suárez, 2009).

Los movimientos de masa son procesos geológicos exógenos que modelan la topografía con movimientos ladera abajo de rocas, suelos, detritos; cuando los esfuerzos de corte sobrepasan los esfuerzos de resistencia (Suárez, 2009). Estos tienen como mayores factores detonantes los sismos y la influencia del agua (Gutiérrez, 2008). Este último es el factor que más comúnmente se asocia con las fallas de los taludes, porque la mayor parte de los deslizamientos ocurren después o durante períodos lluviosos, de igual manera

el control del agua subterránea es uno de los sistemas con mayor utilidad para la estabilización de los deslizamientos (Suárez, 2009). Los movimientos en masa son considerados una amenaza geológica cuando estos procesos naturales terrestres pueden causar la pérdida de vida o daños materiales, si son de una gran magnitud, además de la interrupción de la actividad social y económica o degradación del medio ambiente (Estrategia Internacional Para La Reducción de Desastres, EIRD, 2004).

Por lo tanto, es importante determinar las zonas en donde el mal manejo de las aguas lluvias y aguas servidas producen una mayor infiltración del agua, escorrentía superficial, las cuales saturan el terreno y provocan un incremento del esfuerzo al cortante y por lo tanto una posible falla de la ladera o talud. La zonificación como producto final de este estudio, entregará herramientas para el adecuado manejo del agua y así reducir a futuro los impactos por movimientos en masa, especialmente en la época de invierno.

1.3.2. Justificación Metodológica

En este proyecto de investigación se utilizará el método basado en Modelos Numéricos de Infiltración, para determinar la inestabilidad de los taludes o laderas por la acción de aguas provenientes de lluvias o aguas servidas y de esta manera zonificar la amenaza a movimientos en masa en la zona de estudio, categorizándolos según su nivel de amenaza en alta, media y baja.

El método de análisis de movimientos en masa basado en lluvias tiene como una de sus grandes ventajas la cantidad de paquetes de software disponibles como SEEP/W 7.17 (Geoslope, 2007a) y SLOPE/W 7.17 (Geoslope, 2007b), productos del paquete de software Geoestudio, o Slide 6.0 (Rocscience, 2016) y Slide 8.0 (Rocscience, 2018). Este método incluye dos etapas: la primera consiste en la modelación de presiones de poros ocasionadas por lluvias, mediante el uso de programas que simulan la infiltración del agua, para ello es necesario conocer cómo actúa el agua en el talud, con la tasa de infiltración. La segunda etapa corresponde al análisis de estabilidad por métodos de equilibrio límite o de elementos finitos (Suárez, 2009).

1.3.3. Justificación Práctica

Al zonificar la amenaza a movimientos en masa por las lluvias en el barrio San Luis de Miravalle en el Distrito Metropolitano de Quito se busca evaluar las zonas con mayor probabilidad de ruptura y la posible ocurrencia de movimientos en masa, teniendo al factor

agua como principal actor. La información obtenida se plasmará en un mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa debido a las lluvias, el cual ayudará a la toma de decisiones para un mejor control territorial y la gestión del riesgo en el barrio.

1.4. Hipótesis

Un adecuado manejo del agua proveniente de lluvias intensas o descargas antrópicas en la ladera o talud posibilitará un incremento del Factor de Seguridad (FS) de las laderas y taludes de la zona de estudio y disminuirá el nivel de amenaza por movimientos en masa.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Realizar un análisis de estabilidad de taludes, integrando a la lluvia como factor detonante, para zonificar la amenaza por movimientos en masa en el barrio San Luis de Miravalle.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar un inventario de los tipos de movimientos en masa ocurridos en el barrio San Luis de Miravalle y los posibles mecanismos generadores.
- Efectuar un levantamiento litoestratigráfico con las diferentes unidades litológicas de la zona de estudio.
- Generar perfiles topográficos de la zona de estudio a partir del modelo digital del terreno (MDT), levantado con uso de un VANT e imágenes satelitales.
- Caracterizar el movimiento del agua y su comportamiento en la ladera de la zona de estudio a través de mediciones de infiltración, humedad y simulación de flujo con el uso de SIG.
- Determinar las características geomecánicas de las unidades litológicas con información de estudios técnicos anteriores.
- Realizar el análisis de estabilidad de los perfiles de taludes y laderas previamente escogidos para el cálculo del Factor de Seguridad (FS), en condiciones sin saturación (con ausencia de lluvias) y con saturación (presencia de lluvias), teniendo a la lluvia como factor detonante.
- Elaborar el mapa de zonificación de la amenaza de movimientos en masa, tomando en cuenta el análisis de estabilidad obtenido previamente.
- Calibrar los resultados del mapa de zonificación de movimientos en masa con el inventario de movimientos en masa.

1.6. Alcance

El análisis de estabilidad de los taludes en el barrio San Luis de Miravalle tiene el siguiente alcance:

- Elaboración del inventario de movimientos en masa.
- Caracterización estratigráfica de las unidades litológicas de la zona de estudio y elaboración de columnas generales.
- Caracterización geomecánica de las unidades litológicas.
- Elaboración de perfiles topográficos.
- Caracterización del comportamiento del agua en la zona de estudio.
- Determinación del factor de seguridad de cada uno de los perfiles realizados en condiciones sin saturación para el verano y con saturación para el invierno
- Elaboración de dos mapas a escala 1:6500, uno en condiciones sin saturación para el verano y otro en condiciones con saturación para invierno, donde se examinará la estabilidad de los taludes al interactuar con el agua en forma de lluvias intensas y sin ella, con lo cual se establecerán las zonas con mayor y menor amenaza a movimientos en masa, especialmente en la época invernal. De esta manera se contribuirá a la toma de decisiones por parte del municipio del DMQ para salvaguardar el bienestar de la población en las zonas con mayor amenaza y además servirá como una herramienta para tener una idea general de los movimientos en masa de la zona de estudio y ayudar a generar una mejor planificación territorial.

CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y MARCO CONCEPTUAL

2.1. Marco Geológico

2.1.1. Marco Regional

El Ecuador continental se encuentra ubicado al noroccidente de Sudamérica, zona en la cual existe una geodinámica muy compleja debido a la subducción de la placa oceánica Nazca bajo la placa continental Sudamericana, a una velocidad de 5-7 cm/año (Trenkamp et al., 2002), este proceso ha influenciado la evolución, el desarrollo, deformación, levantamiento y sobre todo volcanismo en el margen continental del Ecuador y se estima que inició a partir del Oligoceno Tardío (Gutscher et al., 1999) (Figura 2.1). En la actualidad la placa oceánica Nazca involucra la corteza Nazca más joven al norte y la corteza de Farallón más vieja al sur, relacionados a un contraste de densidad (Yepes et al., 2016), entre ambos este contraste se relaciona con una diferencia de 9 Ma en la edad de la última ruptura de la placa de Farallón [Hey, 1977; Lonsdale y Klitgord, 1978; Lonsdale, 2005], teniendo al Rift de Grijalva como evidencia de esta ruptura (Yepes et al., 2016). La evolución geodinámica del margen continental del Ecuador se cree ha sido influenciado también por la subducción de la Cordillera de Carnegie (Michaud et al., 2009), con su llegada a la fosa, y edad de subducción que varía de 2-8 Ma (Gutscher et al., 1999), a 9-15 Ma (Spikings et al., 2001), afectando la actividad sísmica y volcánica de los Andes, e incluso en el desplazamiento y deformación del bloque Norandino (Alvarado et al., 2016). El bloque Norandino es un bloque o microplaca separada de la placa continental Sudamericana, con un desplazamiento NNE (Yepes et al., 2016), se extiende unos 2200 km desde el Golfo de Guayaquil hasta Venezuela y tiene un ancho menor a los 450 km, y produce movimientos dextrales con tasas de deslizamiento de 8 a 10 mm por año a lo largo de su límite tectónico en el Ecuador, definido por el sistema de fallas -Puná-Pallatanga – Cosanga – Chingual (PPCC), las cuales la mayoría están activas y se extiende 800 km desde el Golfo de Guayaquil hasta el lado oriental de la Cordillera Real entre Ecuador y Colombia.(Alvarado et al., 2016).

La convergencia de placas ha generado un sistema orogénico compuesto por dos cadenas montañosas: al este la Cordillera Oriental o Real y al oeste la Cordillera Occidental. Entre estas dos cadenas montañosas se encuentra el Valle Interandino (Villagómez, 2003), en donde se encuentra la zona de estudio.

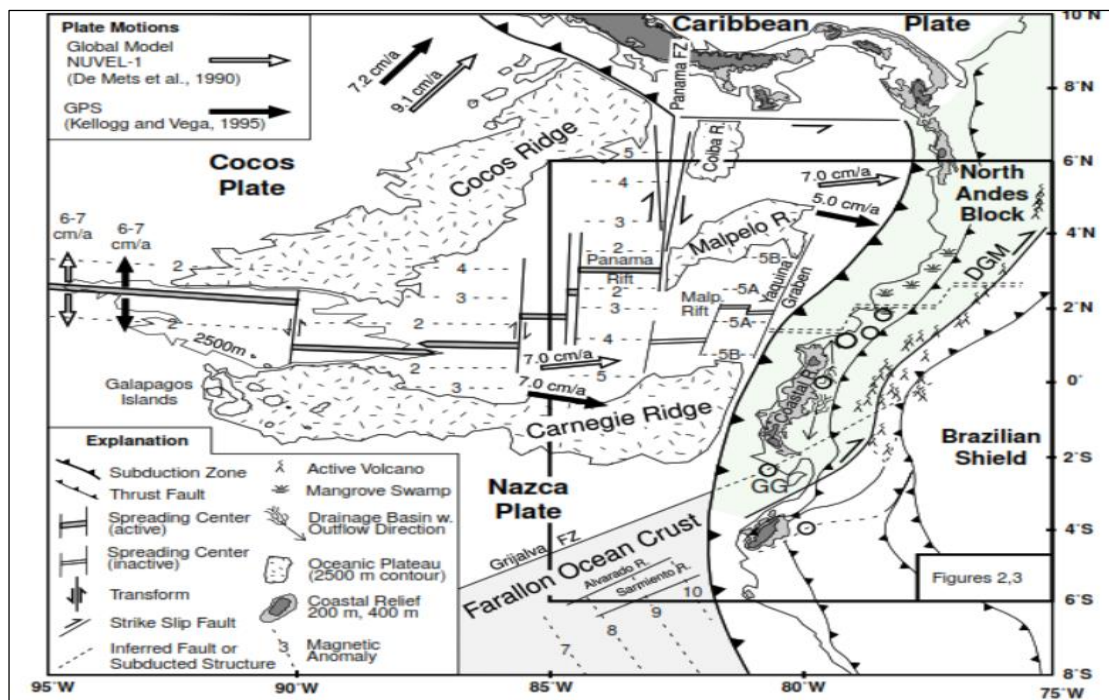


Figura 2.1. Esquema del contexto geodinámico del margen Pacífico Este, en donde existe convergencia de placas entre la Nazca y la Sudamericana, además de la deformación del bloque Norandino por la subducción de Carnegie debajo del Ecuador. Tomado de Gutscher et al. (1999).

2.1.2. El Valle o Depresión Interandina

El Valle Interandino (VIA), es una depresión topográfica limitada por la Cordillera Oriental o Real al este y por la Cordillera Occidental al oeste, empezó a formarse desde el Mioceno Tardío – Plioceno (Winkler et al., 2005), en estudios previos se considera el VIA como una estructura de graben simple con orientación E-W formado durante una extensión (Baldock, 1982), sin embargo uno de los modelos más aceptados considera que el VIA se formó a lo largo de un restraining bend, en un sistema transpresivo dextral, con un sistema de fallas transcurrentes que se encuentran alrededor de la parte oriental del Bloque Norandino y como resultado una cuenca tipo rampa, albergando una serie de cuencas sedimentarias producto del reordenamiento tectónico a gran escala (Winkler et al., 2005), y posteriormente en el VIA se dio un régimen compresivo en el plioceno tardío (Lavenu et al., 1995).

Los principales límites estructurales son fallas reactivadas de escala cortical, formados por acreciones sucesivas a lo largo del margen continental del Ecuador durante el Cretácico y

Terciario inferior (Litherland et al., 1994; Spikings et al., 2001; Hughes y Pilatasig, 2002), estas fallas son: la Falla de Peltetec (PeF), la cual es el límite oriental del VIA y la Falla Pallatanga- Pujilí- Calacalí (PaF), siendo esta última el límite occidental del VIA.(Winkler et al., 2005) (Figura 2.2). El VIA alberga una serie de cuencas sedimentarias de norte a sur, que se han dividido en una serie de subcuencas las cuales son: la cuenca Chota, en el norte entre las ciudades de Ibarra y Tulcán, la cuenca de Quito-San Antonio-Guayllabamba y la cuenca Latacunga-Ambato en el centro y la cuenca de Riobamba-Alausí en el extremo sur. (Winkler et al., 2005).

Además, según Villagómez (2003), el VIA se encuentra dividido en tres segmentos por dos importantes nudos que son: segmento norte Otavalo -Chota, segmento central Quito – Guayllabamba segmento sur Latacunga – Riobamba, dentro de los cuales se encuentran en su interior las subcuencas sedimentarias descritas anteriormente.

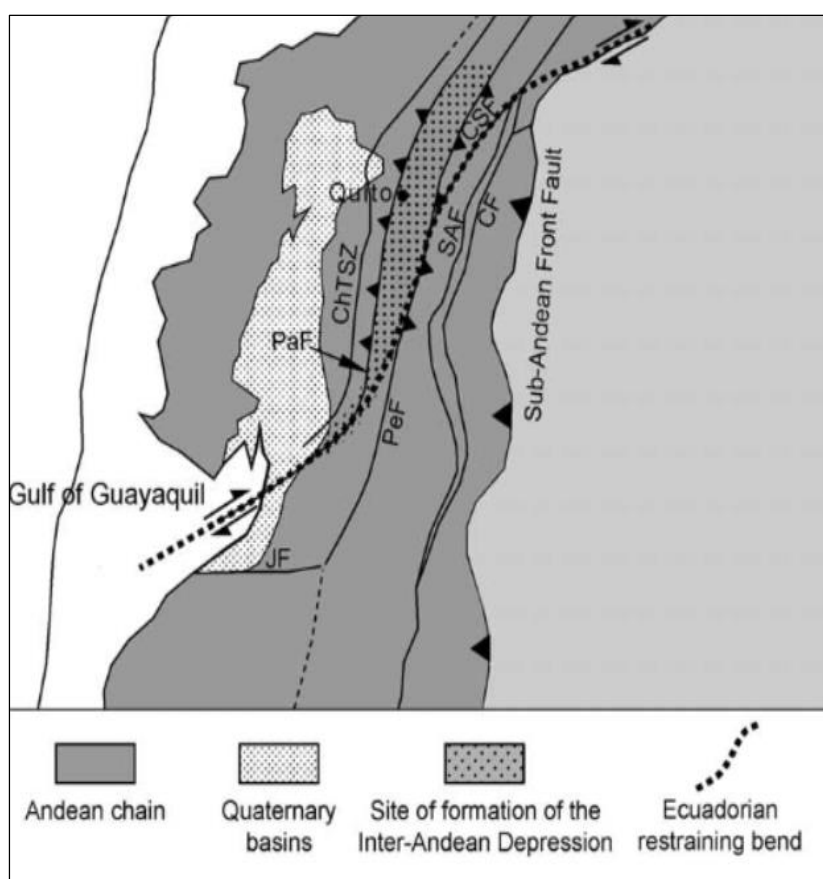


Figura 2.2. Esquema con las principales fallas transcurrentes dextrales que forman la curva restrictiva (restraining bend) y limitan el Valle Interandino (VIA): Falla de Peltetec (PeF) al este, Falla de Pallatanga- Pujilí- Calacalí (PaF) al oeste, además de las fallas de la zona Sub- Andina (SAF) y la Falla de Jubones (JF). Tomado de Winkler et al. (2005).

2.1.3. Geología de la Cuenca Quito-Guayllabamba

La cuenca Quito-Guayllabamba está comprendida de depósitos volcánicos y volcanoclásticos, y su relleno sedimentario se divide en dos secuencias separadas por una gran discordancia (Villagómez, 2003). La secuencia inferior se depositó en un régimen extensivo con dirección E-O, desde el Pleistoceno Tardío al Pleistoceno Temprano, y corresponden las Formaciones Pisque y San Miguel (Villagómez, 2003). La secuencia Superior se depositó en un régimen compresivo con dirección E-O, desde el Pleistoceno Medio hasta el Holoceno y corresponden a las Formaciones Guayllabamba, Chiche, Machángara, Mojanda, Cangahua (Villagómez, 2003). En esta última secuencia de actividad neotectónica en régimen compresivo durante el Pleistoceno Medio hasta el Holoceno, la cuenca tiene una tectónica sinsedimentaria, en donde a parte de las formaciones que se depositaron, hubo un levantamiento de una serie de lomas anticlinales generados por este régimen compresivo en el Sistema de Fallas de Quito, siendo esta serie de lomas uno de los principales rasgos geomorfológicos del Sistema de Fallas de Quito, (Alvarado et al., 2014),y en cuyo flanco oriental se han observado deslizamientos (Villagómez, 2003).

2.1.3.1. Sistema de Fallas de Quito

El Sistema de fallas de Quito (SFQ) son un conjunto de fallas inversas ciegas, lo que significa que no afloran en la superficie, las cuales están inclinadas hacia el oeste, alrededor de 40 ° y se conectan al norte con el Sistema de Fallas transcurrentes de Guayllabamba (SFG) (Alvarado et al., 2014) (Figura 2.3). Se originaron a partir de la deformación compresional con dirección E- O desde el Pleistoceno Medio al Holoceno en el Valle Interandino, y con ello su serie de lomas segmentadas plegadas (Alvarado et al., 2016; Villagómez, 2003), las cuales muestran el levantamiento de Quito de 400 metros aproximadamente en relación a la superficie de los valles siendo un marcador de ello (Soulas et al., 1991).

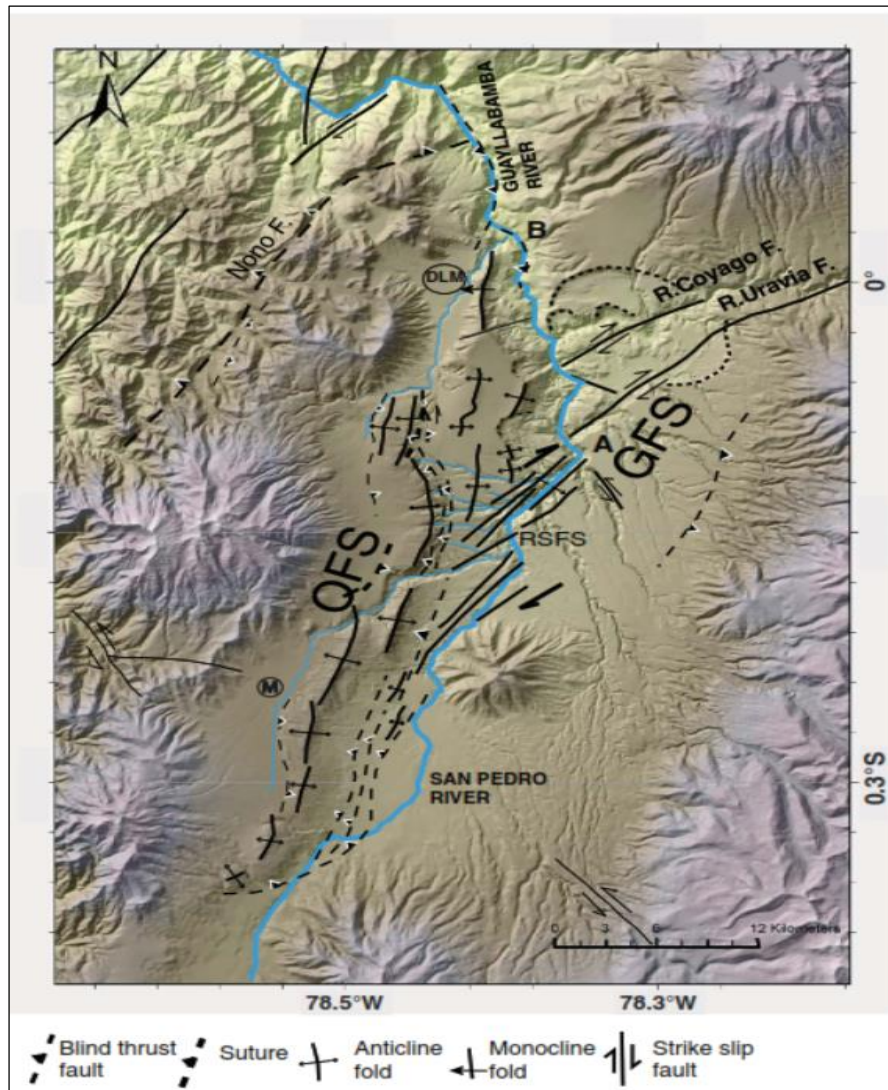


Figura 2.3. Nuevo mapa neotectónico de la región de Quito. M: Río Machángara; DLM: Río Monjas por sus siglas en inglés De Las Monjas River; QFS: Sistema de Fallas de Quito por sus siglas en inglés Quito Fault System; GFS: Sistema de fallas de Guayllabamba por sus siglas en inglés Guayllabamba Fault System; SFRS: Sistema de Fallas del río San Pedro por sus siglas en inglés San Pedro River Fault System. Fuente: (Alvarado et al., 2014).

2.1.3.2. Estratigrafía de la Cuenca Quito- Guayllabamba

La cuenca Quito-Guayllabamba se encuentra sobre rocas cuyo basamento es Cretácico y corresponde a una parte del bloque Pallatanga como los sugieren algunos autores (Villagómez, 2003; Winkler et al., 2005) quienes indican la presencia de andesitas, gabros y microgabros ubicados a nivel del río Guayllabamba corresponden a la unidad Pallatanga. Sin embargo, Alvarado (2012), muestra que estas rocas no pertenecen al basamento

Cretácico y corresponden a un evento volcánico muy joven posiblemente del Cuaternario asociado a la formación el Pisque.

La formación el Pisque consiste en una serie de depósitos que se encuentra formada por depósitos fluviales y lacustres, además de unidades volcánicas corresponden a flujos de lava, cenizas, flujos piroclásticos y tobas (Villagómez, 2003). La edad de la formación en base a las dataciones K/Ar de los flujos de lava de los centros volcánicos del Culbiche, Chilcaloma y Casitagua con edades de $2,6\pm 0,06$, $2,6\pm 0,06$ Ma y $2,25\pm 0,25$ Ma, colocan la edad de la formación entre el Pleistoceno Inferior y el Pleistoceno Superior (Barberi et al., 1988; Villagómez, 2003). Posterior a la formación el Pisque por encima en discordancia reposa la formación San Miguel (Alvarado, 2012), que consiste principalmente en una secuencia volcánica, rica en tobas, y areniscas, además hacia el este las facies cambian gradualmente de depósitos deltaicos y lacustres (Winkler et al., 2005). La edad de esta formación se estima en el Pleistoceno Inferior (Villagómez, 2003). Sobre la formación San Miguel descansa en discordancia sobre la formación Guayllabamba (Villagómez, 2003), en donde existió un periodo de volcanismo y actividad tectónica, hacia el oeste y sur de la cuenca predominaron depósitos volcánicos primarios como flujos piroclásticos, lavas, avalanchas y al este flujos de lahares que llenaron un antiguo lago que existió en la edad de la formación San Miguel (Winkler et al., 2005). Los domos volcánicos de Pacpo y Catequilla han sido asociados a esta formación (Villagómez, 2003), y se propone una edad para la formación entre 0.8 y 1.3 Ma (Villagómez, 2003; Winkler et al., 2005). A continuación de las formaciones San Miguel y Guayllabamba sobreyace en discordancia angular y erosiva la formación Chiche, conformado por depósitos lacustres y fluviales intercalados de tobas, y con una edad para la formación propuesta del Pleistoceno Medio al Superior (Villagómez, 2003). Sobre la formación Chiche se encuentran las formaciones Mojanda, Machángara y Cangahua, en la parte centro y norte de la cuenca aflora la formación Mojanda, la cual está conformado por depósitos volcánicos y volcanosedimentarios del Complejo Volcánico Mojanda (Villagómez, 2003), además predominan lahares y debris flow intercalados con cenizas (Robin et al, 1997), y con una edad para la formación considera del Pleistoceno Superior (Barberi et al., 1988; Villagómez, 2003). En la parte sur de la cuenca se restringe la formación Machángara, la misma está compuesta por depósitos de lavas, flujos de escombros, avalanchas, lahares y está conformada por los miembros Volcánicos Basales formada de flujos piroclásticos, avalanchas y el Miembro Quito formado por flujos de escombros y lahares (Alvarado, 1996; Villagómez 2003). La formación Cangahua cubre todas las superficies de la depresión interandina, por eso la encontramos en toda la cuenca (Alvarado, 2012), está conformada por tobas de color amarillo intercaladas de ceniza y pómez, además la edad de la formación se considera del

Pleistoceno Superior a Holoceno (Villagómez, 2003), con puede volcánico y se distinguen 2 tipos de cangahua: la primaria que es in situ y la secundaria la cual es retrabajada (Vera y López, 1986). En la figura 2.4 se muestra un resumen general de la estratigrafía de la Cuenca Quito- Guayllabamba (parte norte).

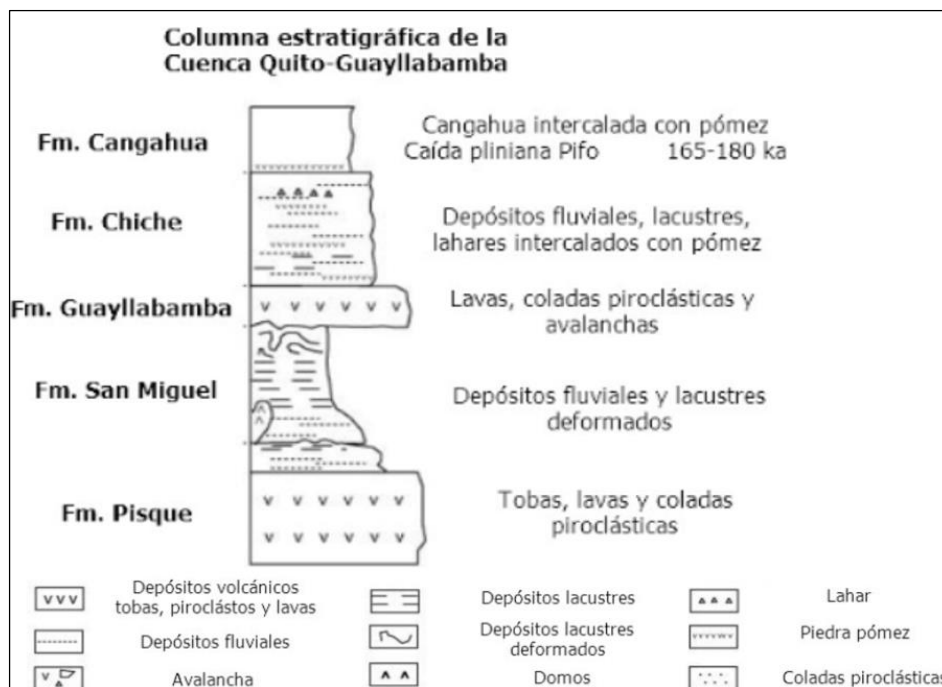


Figura 2.4. Columna estratigráfica general de la Cuenca Quito-Guayllabamba (parte norte). Fuente Alvarado, 2012. Modificado de Noroña (2021).

2.1.4. Geología Local de la Subcuenca del Sur de Quito

La cuenca de Quito se ha formado por acción del sistema de Falla de Quito en un régimen compresivo, y con ello un levantamiento de un conjunto de lomas anticlinales alineadas NNE (Villagómez, 2003). En el segmento sur del Sistema de Fallas de Quito destaca la Loma de Puengasí, en donde se ha observado un rasgo de un gran movimiento en masa que corresponde al de Conocoto- La Armenia y encima del cual se asienta el barrio San Luis de Miravalle, el mismo que está en una zona de alta pendiente con un valor del ángulo de buzamiento del plano axial del anticlinal del pliegue de 42°(Noroña, 2021).

2.1.4.1. Estratigrafía Local de la Subcuenca del Sur de Quito

La estratigrafía de la zona sur de la subcuenca de Quito inicia en su base con la formación Machángara, la cual contiene a los miembros Volcánicos Basales y Quito, la formación

Cangahua y depósitos Holocénicos al tope (Alvarado, 2012; Noroña, 2021; Peñafiel, 2009; Villagómez, 2003) (Figura 2.5), a la base de la Cangahua, se tienen intercaladas cenizas del Rucu terminal (Robin et al 2009) y hacia el tope la ceniza Pifo que es la que se encuentra intercalada en depósitos de colapso (Noroña, 2021).

La Formación Machángara

La formación Machángara se encuentra restringido a esta parte sur de la cuenca, compuesto por flujos piroclásticos. de escombros, avalanchas, lahares, lavas y depósitos fluviales, además la formación está conformada por los miembros Volcánicos Basales en la base y al tope el miembro Quito. (Alvarado, 1996; Villagómez 2003).

Miembro Volcánicos Basales

Conformado por flujos de lava y lodo, brechas, avalanchas de escombros, provenientes de los complejos volcánicos cercanos como el Complejo Volcánico Pichincha o el Complejo Volcánico Atacazo – Ninahuilca, y se lo puede encontrar en los flancos del río Machángara, en especial la avalancha de escombros, en cuyo interior posee bloques de andesita (Peñafiel, 2009). Adicionalmente a la unidad se lo considera con una edad del Plesitoceno Superior (Villagómez, 2003) y constituye el basamento volcánico del Pleistoceno del sur de Quito como lo menciona Peñafiel, 2009, quien lo agrupa por su génesis, ambiente de depositación y aportes como Unidad Basamento.

Miembro Quito

Se encuentra conformado por la Unidad Volcanosedimentaria Guamaní y Unidad Fluvio Lacustre El Pintado

- Unidad Fluvio Lacustre El Pintado: Está formada en la base por brechas volcánicas intercaladas con areniscas finas y arcillas, además contiene varias series de turbas hacia el techo de la unidad, indicando un depósito de ambiente lacustre (Peñafiel, 2009)
- Unidad Volcanosedimentaria Guamaní: Se encuentra conformada por depósitos volcánicos primarios como flujos piroclásticos, caídas de pómez y ceniza, que subyacen a un flujo piroclástico poco compactado, y en la base contiene tobas blancas, mientras que hacia el tope contiene una serie de cenizas y oleadas piroclásticas (Peñafiel, 2009).

Formación Cangahua

La formación Cangahua es una toba de color café con estrato de pómez de hasta 30 cm de espesor y en su parte superior presenta paleosuelos (Peñañiel, 2009). El material de esta formación proviene de la erosión del Complejo Pichincha y la actividad volcánica del Volcán Atacazo y la de formación se lo considera del Plesitoceno Superior (Villagómez, 2003)

Depósitos Holocénicos

Formado por intercalaciones, de depósitos coluviales, lentes de tefra, con una composición dacítica y flujos de escombros con clastos de pómez, obsidianas perlíticas, bloques de cangahua, cuarcitas y pizarras, todos ellos subredondeados a subangulosos, matriz soportado y con tamaños de milímetros a metros, por lo cual el flujo de escombros se lo considero parte del Lahar del Valle de los Chillos (LVC), pero su tope cuando se flujo fue al nivel del actual parque de Conocoto, y su origen es el volcán Cotopaxi (Mothés et al., 1998).

			LITOLOGÍA
FORMACIÓN CANGAHUA Holoceno (0.01 Ma)			Cangahua (Acuñardo) 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 2.5. Esquema estratigráfico de la subcuenca del sur de Quito. Fuente: (Peñañiel, 2009).

2.1.5. Geomorfología

La geomorfología de la subcuenca Sur de Quito está controlada por la actividad del sistema de fallas inversas de Quito, cuya expresión morfológica es una serie de lomas alargadas en dirección N-NE (Villagómez, 2003) (Figura 2.6), las cuales se les ha dividido en cinco segmentos: Puengasí, Ilumbisi-La Bota, Carcelén-EI Inca, Bellavista-Catequilla, y adicionalmente a esta serie de lomas, la subcuenca se encuentra marcada por los rellenos volcánicos o la interacción de depósitos del Cuaternario al Holoceno y glaciares (Alvarado, 2012; Alvarado et al., 2014).

Las estructuras geomorfológicas más sobresaliente del sur de Quito son la Loma de Ilumbisi y Puengasí, en especial en la zona de estudio la Loma de Puengasí, misma que posee una morfología suave y menos erosionada (Villagómez, 2003), y constituye la divisoria de aguas superficiales entre la subcuenca del sur de Quito y el valle de Conocoto (Peñañiel, 2009), además en el área de estudio se encuentra un escarpe en esta loma producto de antiguo movimiento en masa (Noroña, 2021).

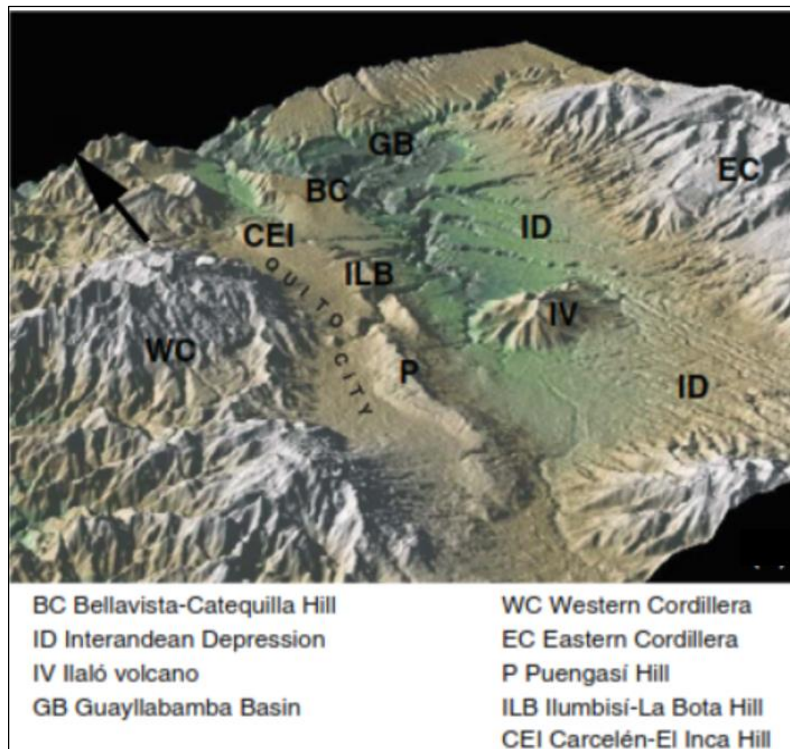


Figura 2.6. Imagen 3D de la cuenca de Quito en la depresión interandina en donde se encuentran varias estructuras geomorfológicas. Fuente: (Alvarado et al., 2014).

2.2. Caracterización de la Zona de Estudio

2.2.1. Localización

La zona de estudio corresponde al barrio San Luis de Miravalle, ubicado en la parroquia la Ferroviaria, al suroriente del Distrito Metropolitano de Quito, con un ancho de 0.5 km aproximadamente, entre las coordenadas norte 9969000 y 9970400 y con un largo aproximado de 1.36 km entre las coordenadas este 777200 y 777700, abarcando un área aproximada de 0.612 km² (Figura 2.7). De acuerdo a el área de la zona de estudio este se encuentra en la ladera que forma parte del flanco oriental del levantamiento tectónico Puengasí, la cual presenta un rasgo morfológico importante que corresponde a el macro deslizamiento de Conocoto – La Armenia que ocurrió en el pasado (Noroña, 2021). Todas las coordenadas antes descritas están de acuerdo a la proyección Universal Transversal de Mercator en la zona 17M, elipsoide WGS 84.

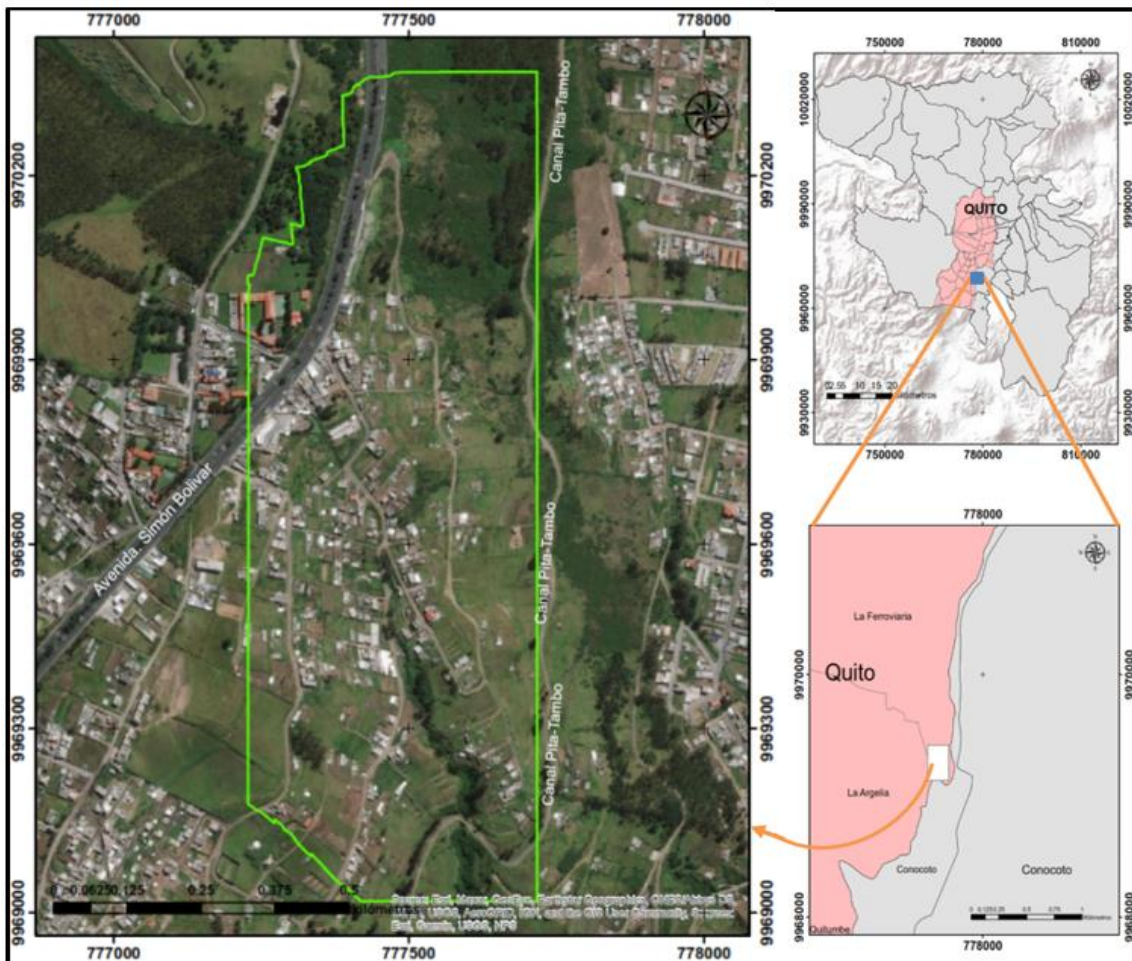


Figura 2.7. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Esri, Maxar, Geoeye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DC, USDA, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community.

2.2.2. Población

De acuerdo al censo de población y vivienda del INEC (2010), el DMQ aumentó su población en casi 400 000 habitantes del 2001 al 2010 (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), 2015), y se estima que para el 2022 la población será de casi 2.8 millones de habitantes en el DMQ (Distrito Metropolitano de Quito, 2012). Para la parroquia la Ferroviaria perteneciente a la Administración Zonal Eloy Alfaro en el censo de población y vivienda del INEC (2010), la parroquia tuvo una densidad poblacional entre 10 000 y 15 000 habitantes por kilómetro cuadrado (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), 2015)

2.2.3. Clima

El DMQ cuenta con un clima muy variado, con una temperatura media de 14.5 °C, con fluctuaciones diarias de una media mínima de 9.6 °C y una media máxima de 21°C, debido a su orografía y topografía, por ello existen muchos microclimas en el DMQ dependiendo de la ubicación, siendo los predominantes el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo y el clima ecuatorial de alta montaña (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), 2015). En la zona urbana generalmente el clima es templado por sus periodos grandes de precipitaciones de marzo y abril con 123 mm de lluvia en promedio y periodos secos en julio y agosto en donde las precipitaciones son de máximo 20 mm (Santillán y Zamora, 2021).

2.2.4. Hidrología

La zona de estudio forma parte de la subcuenca del Río San Pedro, la cual se encuentra delimitada, al norte por las microcuencas de los Ríos Machángara y Chiche, al sur por la cuenca del Río Pastaza y presenta patrones de drenaje paralelos, subparalelos, rectangulares, radiales, los cuales corren en dirección de sur a norte (Valenzuela, 2005). Además, al oeste del Río San Pedro existe un control significativo de ríos menores y quebradas que fluyen por el flanco oriental de los cerros Puengasí e Ilumbisí-El Batán-La Bota (Alvarado, 2012)

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Amenaza

Es un fenómeno, actividad humana o evento potencialmente perjudicial, que puede causar muerte, lesiones graves, daños materiales, interrupciones de actividades económicas y

sociales, pérdidas de medios de sustento y servicios, alteraciones sociales, económicas e incluso degradación ambiental (UNISDR, 2009).

2.3.2. Amenazas Naturales

Son procesos o fenómenos naturales que pueden causar daños a la salud o muerte, perjuicios a la propiedad, alteraciones sociales, económicas y ambientales, además pueden ser caracterizados por su velocidad, magnitud, intensidad, ocurrencia, duración y área que abarcan (UNISDR, 2009).

2.3.3. Amenazas Geológicas

Son procesos o fenómenos geológicos, los cuales pueden causar muerte, daños en la salud, pérdidas económicas, alteraciones sociales, y ambientales. Las amenazas geológicas incluyen procesos internos (endógenos) como terremotos, tsunamis, fallas geológicas y procesos externos (exógenos) como movimientos en masa, avalanchas, y licuefacción (UNISDR, 2009).

2.3.4. Amenazas Antrópicas

Son las principales responsables de inducir las amenazas naturales y pueden ser ocasionadas por incidentes tecnológicos o industriales, procedimientos peligrosos, fallas en infraestructuras o de algunas actividades humanas (GEA, 2008).


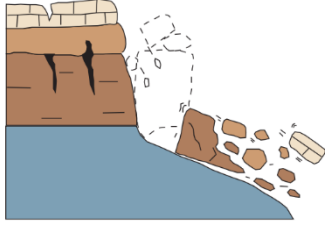
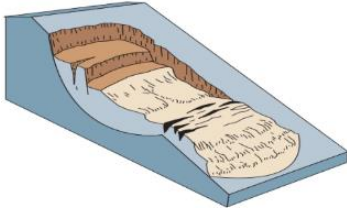
2.3.5. Movimientos en Masa

Los movimientos en masa, son todos los procesos en los cuales se moviliza uno o varios materiales por acción de la gravedad, los cuales se desplazan a través de una ladera inclinada o talud (Cruden, 1991), y pueden ser peligrosos o incluso desastrosos al causar daños en propiedades e incluso en la vida del hombre (Gutiérrez, 2008).

Clasificación de los Movimientos en Masa

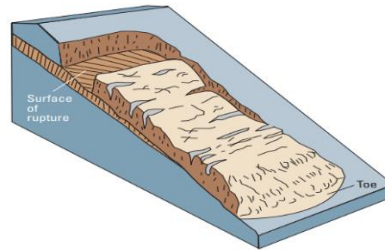
La clasificación de los movimientos en masa según Varnes (1978) y luego modificada por Cruden y Varnes (1996), es una de las usadas y aceptadas por tener criterios como el tipo de material, mecanismos y tipo de ruptura, el contenido de agua, la velocidad y magnitud del movimientos en masa (Hung et al., 2014). Los distintos tipos de movimientos en masa se describen a continuación (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Resumen de la clasificación de los movimientos en masa.

<p>Clasificación de los Movimientos en Masa</p>	<p>Representación Gráfica</p>
<p style="text-align: center;">Caídas</p> <p>Es el desprendimiento y caída de materiales de cualquier tamaño desde un talud de muy alta pendiente a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da, en los caídos puede existir suelo hasta bloques de varios metros cúbicos (Suárez, 2009).</p>	 <p>Esquema de caída de bloques o rocas. Fuente: (Cruden y Varnes, 1996). Modificado de Highland y Bobrowsky, 2008.</p>
<p style="text-align: center;">Inclinación o Volcamiento</p> <p>Es una rotación hacia adelante de una o varias unidades de material térreo con el centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad, puede producirse en formaciones rocosas, en suelos cohesivos secos y en suelos residuales (Suárez, 2009)</p>	 <p>Esquema de una inclinación o volcamiento. Fuente: (Cruden y Varnes, 1996). Modificado de Highland y Bobrowsky, 2008.</p>
<p style="text-align: center;">Deslizamiento Rotacional</p> <p>Es un desplazamiento con un plano de falla en forma curva (Suárez, 2009), en la parte superior de la masa deslizada se forma un escarpe en media luna y se puede determinar la forma del golpe de cuchara, este deslizamiento rotacional se da generalmente en suelos homogéneos (Gutiérrez, 2008)</p>	 <p>Esquema de un deslizamiento rotacional típico. Fuente: (Cruden y Varnes, 1996). Modificado de Highland y Bobrowsky, 2008.</p>

Deslizamiento Traslacional

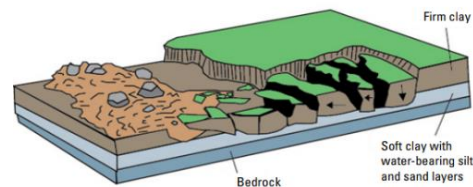
Es un movimiento en el cual se moviliza el material a lo largo de una superficie plana o ligeramente inclinada y es típico de materiales estratificados, en suelos residuales generalmente son movimientos rápidos y pueden cambiar o dar paso a flujos (Suárez, 2009)



Esquema de un deslizamiento traslacional. Fuente: (Cruden y Varnes, 1996). Modificado de Highland y Bobrowsky, 2008.

Extensión Lateral

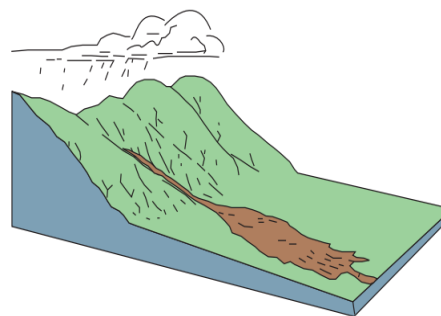
Son los movimientos con componentes laterales y ocurren generalmente en taludes de baja pendiente (Suárez, 2009), o como señala Dikau et al, (1996) es el desplazamiento lateral de una roca o suelo sobre un material más blando



Esquema de una extensión lateral. Fuente: (Cruden y Varnes, 1996). Modificado de Highland y Bobrowsky, 2008.

Flujos

Los flujos se producen cuando el material se transporta pendiente abajo sobre una superficie como un fluido viscoso en forma de lengua o lóbulo saturado de agua, puede ser laminar a turbulento con el aumento de la densidad y la viscosidad (Suárez, 2009), los flujos pueden subdividirse en diferentes tipos por el material afectado como: flujos de detritos, flujos de tierra y flujos de roca (Dikau et al, 1996; Dikau 2004).



Esquema de flujo de detritos. Fuente: (Cruden y Varnes, 1996). Modificado de Highland y Bobrowsky, 2008.

2.3.6. Factores Precondicionantes

Son factores estáticos, inherentes, los cuales están presentes antes de que se produzca el movimiento en masa, y pueden actuar como catalizadores a los movimientos en masa por causas externas, así es mencionado por Gutiérrez (2008) y algunos factores son descritos por él como: la geología, geomorfología, agentes erosivos y vegetación por mencionar algunos.

2.3.7. Factores Desencadenantes

Es el factor que produce movimiento en masa, el último de una serie de eventos que debilitan la resistencia del material en una pendiente, las precipitaciones intensas, sacudidas sísmicas y socavación son las más importantes (Gutiérrez, 2008).

2.3.8. Análisis de Estabilidad de Taludes

El análisis de estabilidad de taludes tiene como propósito examinar las condiciones de estabilidad de taludes naturales, seguridad y funcionalidad del diseño de taludes artificiales, a través de modelaciones matemáticas de taludes (Suárez, 2009). Para realizar el análisis de estabilidad existen una gran cantidad de metodologías para la modelación numérica, pero el escoger o usar el método más adecuado dependerá del objetivo y los resultados que se deseen obtener, dentro de los métodos uno de más utilizados es el límite de equilibrio, debido a su fácil uso y que existe una gran cantidad de software que han desarrollado para utilizar este método (Suárez, 2009).

2.3.9. Metodología de Límite de Equilibrio

La metodología de límite de equilibrio se basa en calcular el factor de seguridad del talud, al determinar los valores de resistencia al cortante en el momento de la falla y se lo ha utilizado durante muchos años para realizar el análisis de estabilidad de taludes (Suárez, 2009).

Existen diferentes métodos de equilibrio al límite (Tabla 2.2), en donde varían la forma de la superficie de la falla o cómo actúan las fuerzas sobre ella, pero en gran parte de los métodos tienen en común la comparación de las fuerzas o momentos resistentes y actuantes sobre una falla, los métodos de Bishop Simplificado (Bishop, 1955) y Janbú Simplificado (Janbú, 1968) son los más usados (Suárez, 2009).

Tabla 2.2. Métodos de límite al equilibrio para el análisis de estabilidad de taludes.
Tomado de Suárez (2009).

Método	Superficie de Falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloque o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación.
Arco circular, (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ($\Phi=0$)
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, es cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Momentos	Asume que no hay fuerzas de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.

Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, se asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el cálculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

2.3.10. Método Simplificado de Bishop

Este método simplificado de Bishop (Bishop, 1955), asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no toma en cuenta las fuerzas de corte (Figura 2.8) con lo que reduce el número de incógnitas, la solución rigurosa de Bishop es muy compleja por esa razón se utiliza una versión simplificada, además este método es uno de los más usados para el cálculo de factor de seguridad, a pesar que existen métodos más precisos, los factores de seguridad que se obtienen con este método no tienen mayor diferencia con otros, y se encuentra restringido al solo considerar superficies circulares (Suárez, 2009).

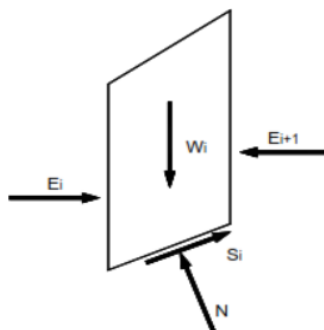


Figura 2.8. Esquema de fuerzas con el método de Bishop simplificado. Fuente: (Suárez, 2009).

2.3.11. Método Simplificado de Janbú

Esté método simplificado de Janbú (Janbú, 1968), considera de igual manera como el método de Bishop simplificado que no existe fuerza de corte entre las dovelas, además las superficies de falla no son obligatoriamente circulares y establece un factor de corrección que depende de la curvatura (Figura 2.9) (Suárez, 2009).

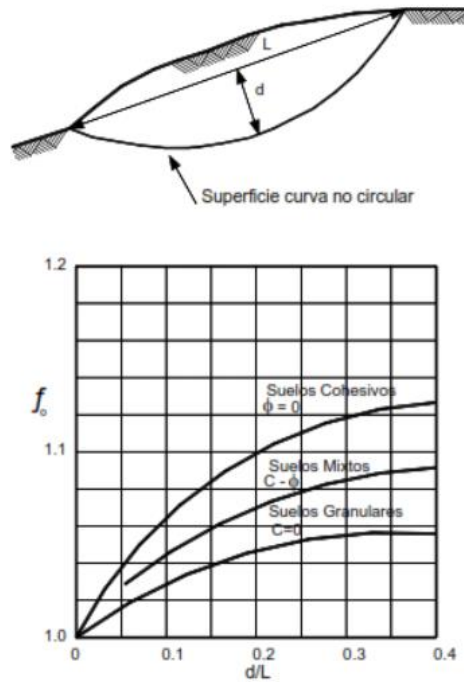


Figura 2.9. Diagrama para calcular el factor de corrección del método de Janbú. Fuente: (Suárez, 2009).

2.3.12. Factor de Seguridad

El Factor de Seguridad (FS) determinado por Fellenius (1922), es definido como la relación entre la resistencia al corte obtenida del tipo de material del talud y los esfuerzos de corte críticos que intentan producir la falla a lo largo de la superficie de falla (Suárez, 2009). Se calcula mediante la siguiente expresión.

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

Ecuación 2.1. Cálculo del factor de seguridad. Fuente: (Suárez, 2009).

2.3.13. Activación de Deslizamientos por Lluvias

Los mecanismos de falla principales que actúan en el talud ocasionado por la lluvia es el aumento del nivel freático y un proceso de saturación del talud (Figura 2.10), el agua al infiltrarse actúa de dos maneras para inestabilizar el talud: con la eliminación de tensiones negativas y con el ascenso del nivel freático, pero para la activación de un deslizamiento no depende solo de la cantidad de lluvia que se deposita, también de la intensidad y el tiempo en el cual la lluvia interviene (Suárez, 2009).

Eliminación de Tensiones Negativas

Se produce cuando el frente húmedo avanza producto de la infiltración y elimina las tensiones negativas y la cohesión aparente (Suárez, 2009)

Ascenso del Nivel Freático

Esto ocurre cuando existe suficiente aporte de agua para ocasionar el aumento del nivel de agua y de la presión de poros, de tal manera disminuye la resistencia del suelo (Suárez, 2009).

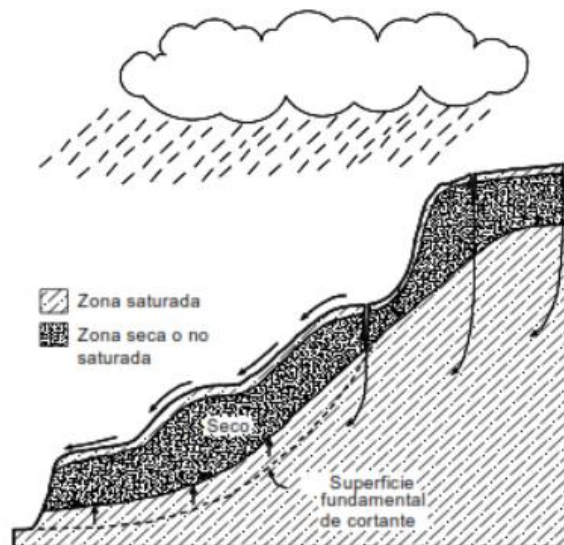


Figura 2. 10. Esquema del proceso de saturación del deslizamiento de la Conchita en 2005. Tomado de Jibson (2006).

2.3.14. Modelos Utilizados para la Predicción de Deslizamientos Activados por Lluvias

Se los puede definir de varias maneras en especial en:

Modelos Físicos - Conceptuales

Son modelos establecidos en procesos de lluvias e infiltración y la generación de presiones de poros, mediante el uso de modelos matemáticos, con la ayuda de programas de software especializados en ubicar deslizamientos, predecir la intensidad de lluvia y el tiempo, para su uso se necesita información previa de hidrología, litología, características del suelo, siendo esto difícil y costoso de obtener, por lo cual se recomienda usar en zonas de menor extensión, además estos modelos son eficaces en predecir deslizamientos subsuperficiales (Suárez, 2009).

Modelos Empíricos

Son modelos basados en gran cantidad de información estadística de datos históricos de lluvias y deslizamientos, se encuentra limitada a la información que se puede recolectar y no utiliza un criterio matemático estricto para ello (Suárez, 2009).

2.3.15. Lluvia Antecedente y Lluvia Acumulada

La lluvia antecedente y la lluvia acumulada se consideran como la cantidad de agua que se registra en un evento de lluvia, y son factores muy importantes para determinar la estabilidad de taludes, por lo cual es necesario diferenciarlos (Suárez, 2009).

Lluvia Antecedente

Es la lluvia ocurrida en las últimas 24 horas (Suárez, 2009).

Lluvia Acumulada

Es la lluvia ocurrida en los últimos 15 días (Suárez, 2009)

Periodo a Considerar para Lluvia Antecedente y Lluvia Acumulada

La ocurrencia de lluvias y movimientos en masa están estrechamente relacionados. La lluvia antecedente y acumulada, pueden condicionar la activación de los movimientos en masa, en algunos casos por lluvias de 24 horas o lluvias acumuladas de 3, 5, 7, 30, 90, 120 días e incluso de toda una temporada de lluvias. Por ello para utilizar la lluvia antecedente y acumulada es importante determinar el periodo del efecto (Suárez, 2009). No existe un consenso para determinar el periodo del efecto de la lluvia. Moreiras (2005), en Argentina, encontró que el mayor efecto se correlaciona con la lluvia acumulada de 5

días, Crozier (1999) y Glade et al (2000) consideraron 10 días, en cambio De Vita (2000) recurrió a periodos entre 1 y 59 días.

Los días a considerar dependerá del conocimiento de las condiciones hidrogeológicas del sitio, para la lluvia antecedente y acumulada de factores como: la litología, la morfología y la vegetación, el régimen climático, la calidad de la información de precipitaciones y deslizamientos (Suárez, 2009). En la figura 2.11, se muestra un ejemplo de lluvias anteriores de un evento catastrófico.

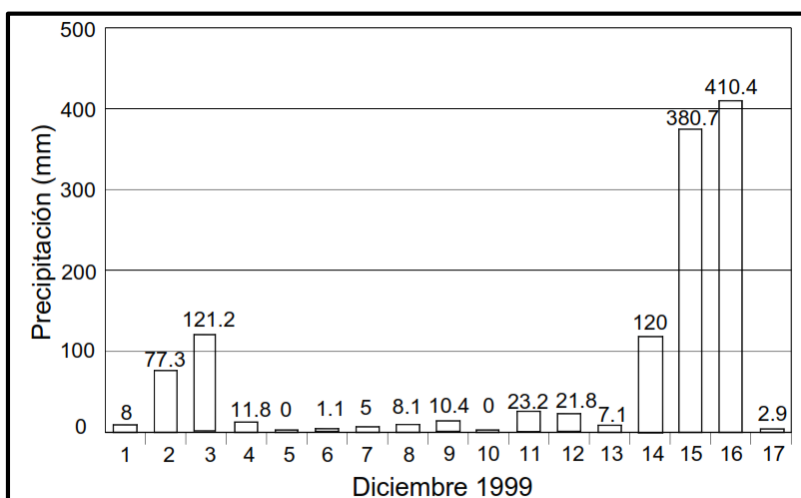


Figura 2. 11. Lluvias anteriores a la catástrofe de Vargas, en Venezuela, diciembre de 1999. Tomado de Suárez (2009).

CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS

La zonificación de la amenaza por movimientos en masa disparados por lluvias en el barrio San Luis de Miravalle tendrá el enfoque metodológico que se presenta en el diagrama de la figura 3.1. La evaluación de la amenaza se realizará a través del método basado en Modelos Numéricos de Infiltración, para determinar la inestabilidad de los taludes o laderas por la acción de aguas provenientes de lluvias o aguas servidas. A través de la interpolación de datos del Factor de Seguridad dinámico (FSd), zonificar la amenaza a movimientos en masa en la zona de estudio, categorizándolos según su nivel de amenaza en alta, media y baja.

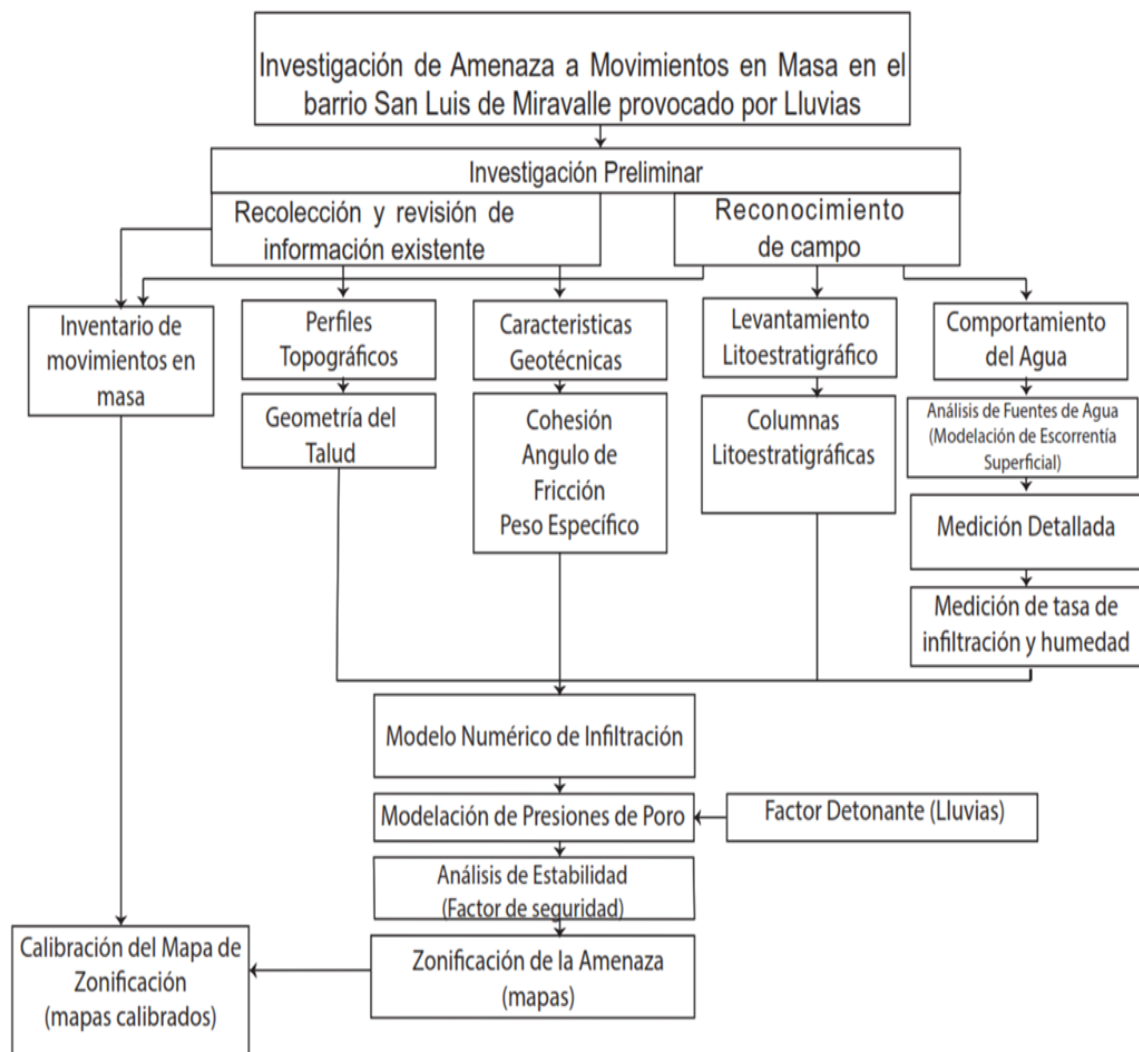


Figura 3.1. Diagrama de flujo de la metodología aplicada en este trabajo de investigación.

3.1. Investigación Preliminar

Este trabajo de titulación es parte del proyecto Tomorrow's Cities (Ciudades del Mañana), que se realiza a través de un convenio de cooperación entre la EPN, USFQ, FLACSO con universidades del Reino Unido. La información proporcionada por el proyecto consistió en el registro de movimientos en masa ocurridos en la zona de estudio en el año 2019, que fue el punto de partida del inventario de movimientos en masa de este trabajo de titulación, además de los modelos digitales de elevación (MDT), de tamaño de píxel 2x2 m obtenido de imágenes satelitales dentro del proyecto en el 2020, así como MDT de vuelo de un VANT con tamaño de píxel 0.5x 0.5 m, y registros fotográficos de la ladera y cortes de talud.

Además, se dispuso de información de: litoestratigrafía en base a estudios anteriores como tesis elaboradas por, Villagómez (2003), Camino (2019), Peñafiel (2009), y Noroña (2021), valores de precipitaciones diarias, mensuales, anuales, entre los años 2000 y 2019 de estaciones pluviométricas y meteorológicas de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS). Un MDT de tamaño de píxel 1x1 m de la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgo elaborada en el 2016, y datos geomecánicos obtenidos de ensayos triaxiales CU, en estratos de cangahua primaria y retrabajada, realizados en la tesis de pregrado de Chango y Montatixe (2019), como también los resultados en suelos volcánicos y relleno de Jiménez (1999) y los valores de relleno de Cañari y Alva (2011).

3.2. Campañas de Trabajo de Campo

El trabajo de campo en la zona de estudio se efectuó en los meses de noviembre-diciembre del 2021 y enero del 2022, en donde se priorizó el reconocimiento del terreno y sobre todo la toma de medidas. A continuación, se detalla las actividades que se realizaron en campo:

- Reconocimiento de terreno y levantamiento del inventario de movimientos en masa.
- Levantamiento de los datos litoestratigráficos para realizar las columnas litoestratigráficas.
- Instalación de los infiltrómetros, con su debido registro de datos, para posteriormente realizar los cálculos.

3.3. Inventario de Movimientos en Masa

Un inventario de movimientos en masa es un registro ordenado en donde se encuentra la ubicación y las características importantes de cada movimiento en masa como: el volumen, su actividad, fecha de ocurrencia, entre otras características del movimiento en una superficie de estudio determinada, y el mismo juega un papel importante como herramienta para verificar y sobre todo validar zonificaciones de amenazas que han sido realizadas por otros métodos (GEMMA, 2007).

Un inventario de movimientos en masa nos permite tener una base de datos actualizada y confiable de los movimientos en masa, sin embargo, cabe destacar que el inventario no es un estudio detallado, es un instrumento de recopilación de datos de información básica de un movimiento en masa y por ello no siempre se va a obtener toda la información del mismo. Además en muchos casos la información requerida dependerá del tipo de problema a tratar, aunque lo ideal es siempre tener la mayor cantidad de información posible para así obtener un mejor detalle del evento (GEMMA, 2007).

Para registrar los datos en el inventario no existe un esquema unificado del mismo, pero se ha propuesto varios esquemas como el formulario propuesto por el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, Este se lo ha dividido en 14 temas de información, en el anexo II se muestra este formato. (GEMMA, 2007).

Para realizar el inventario de movimientos en masa se levantó información en campo del área de estudio en las partes donde ya se identificaron diferentes movimientos en masa en visitas de campo anteriores, dividiendo al área en 3 partes, superior, medio e inferior para así tener la información con un mayor orden.

La información de las características de cada movimiento que se registró en campo se los simplificó de manera ordenada y clara en un solo documento compartido entre los involucrados en esta investigación con la finalidad de agilizar y facilitar la recopilación de la información. Con toda la recopilación de cada uno los movimientos en masa que se levantaron en campo se procedieron a digitalizar los mismos en un software de sistema de información geográfico (SIG), en este caso Quantum GIS, recordando que primero se elaboró los respectivos mapas con base a escala 1:6500, antes de sintetizar allí los movimientos en masa encontrados.

El inventario de movimientos en masa es muy importante porque ayudó a contrastar la información con el mapa de zonificación de la amenaza a movimientos en masa ocasionado por lluvias que se obtuvo como resultado final de este proyecto de investigación, por lo tanto, el inventario se lo considera como un factor independiente.

3.4. Levantamiento Litoestratigráfico

Previamente al levantamiento litoestratigráfico se revisó la litoestratigrafía de la zona de estudio en base a trabajos anteriores de tesis mencionados en la investigación preliminar, con la finalidad de confirmar esta información mediante el trabajo en campo que se realizaron los meses de noviembre, diciembre del 2021 y enero del 2022, con visitas técnicas a cargo de los profesores guías de este proyecto de investigación. Posteriormente para el levantamiento litoestratigráfico se consideró el siguiente procedimiento:

- En primer lugar, se realizó una distribución espacial de los estratos en la ladera o talud, desde la parte baja, media y parte alta, para la elaboración de columnas estratigráficas.
- En trabajo de campo para cada columna se identificó el afloramiento y se realizó la columna estratigráfica tomando en cuenta principalmente los cortes de los taludes de las casas, de las vías y en las quebradas, registrando la ubicación del mismo mediante GPS de mano en coordenadas UTM WGS84.
- Posteriormente se realizó la descripción litológica considerando los siguientes parámetros, tipo de litología, espesor aproximado, color, tamaño de grano, petrografía, tipo de matriz, composición de los líticos, contactos geológicos, y estructuras geológicas.
- Se capturó una imagen del afloramiento con una escala y se elaboró un esquema inicial a escala de la columna estratigráfica en la libreta de campo.
- Finalmente, con el trabajo de campo terminado y los datos recopilados, en base a todas las series de columnas estratigráficas que se obtuvo de la parte alta, media y baja del talud o ladera, se elaboró una columna litoestratigráfica general de la zona de estudio, en donde se encuentran los aspectos principales de toda la información recolectada, mediante el uso de un software, en este caso Adobe Illustrator.

3.5. Características Geotécnicas

Las características geotécnicas que se obtuvieron son la cohesión efectiva, ángulo de fricción efectivo y peso unitario, en base a datos geomecánicos de ensayos triaxiales CU de trabajos anteriores que se mencionaron en la investigación preliminar. De los cuales se

ejecutó un promedio de las muestras que se consideró más apropiadas a la zona de estudio o que tienen un parentesco similar para cada estrato de nuestra zona.

Para la cangahua primaria se utilizaron las muestras SB_C9_2, SB_C11_2, y MV-C1-2, de los resultados obtenidos de ensayos triaxiales de CU de Chango y Montatixe (2019), debido a que esta cangahua tendría mayor fuerza entre sus partículas al no sufrir mayores movimientos de su posición original, con una cohesión aproximada entre 40 y 80 kN/m², como valores óptimos para este caso.

Para la cangahua secundaria en cambio se consideró las muestras SB_C6_2, SB_C15_1, y MV-C4-1, de igual manera de los valores obtenidos de Chango y Montatixe (2019) (Tabla 3.1), debido a que está cangahua se habría movido de su posición original, siendo más retrabajado que la cangahua primaria, con una cohesión menor a 40 kN/m², como valores óptimos.

En el estrato de suelo se utilizaron las muestras de suelo RU-1-1, RU-4-3, RU-3-1, RP-3-3, y RP-5-1, de los resultados obtenidos de ensayos triaxiales CU de Jiménez (1999) (Tabla 3.2). Porque en la zona de estudio se consideró que los suelos de igual manera son suelos volcánicos, y para el relleno, no se efectuaron promedios y se tomaron los valores bibliográficos: para la cohesión efectiva el valor de 4.9 kN/m² de Cañari y Alva (2011), para el ángulo de fricción efectivo el valor 3.28° de Jiménez (1999) y para el peso específico el valor de 17, 64 kN/m³ igualmente de Jiménez (1999).

Tabla 3.1. Resultados de ensayos triaxiales CU de cangahua primaria y retrabajada (Chango y Montatixe, 2018), de los cuales se calcularon los valores aproximados de cohesión efectiva, ángulo de fricción efectivo, y peso unitario, para los estratos de cangahua primaria y secundaria de nuestra zona de estudio.

Código	Humedad %	Parámetro B %	Densidad (g/cm ³)	Peso Unitario (kN/m ³)	Cohesión		Cohesión Efectiva		Ángulo Fricción (°)	Ángulo Fricción Efectivo (°)	Velocidad de Carga (mm/min)
					(kg/cm ²)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)			
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	14.71	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	11.71	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. Resultados de ensayos CU, suelos volcánicos, capa de la base de la secuencia. Cuenca de Rumiurcu (Jiménez, 1999), de los cuales se utilizaron, para calcular los valores aproximados de cohesión efectiva, ángulo de fricción efectivo, y peso unitario, para el estrato de suelo.

Muestra	γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	w%	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c' (kg/cm ²)	ϕ' (°)
RU-1-1	1.65	1.24	33.80	0.42	13.86	0.22	27.25
RU-4-3	1.44	1.03	40.10	0.52	11.30	0.29	32.82
RU-3-1	1.38	0.74	86.60	0.14	14.30	0.18	27.92
RP-3-3	1.57	1.03	52.90	0.25	9.93	0.16	25.17
RP-5-1	1.35	0.75	79.40	0.20	15.45	0.15	29.25

3.6. Perfiles Topográficos

Se realizaron los perfiles topográficos con una extensión de 0 a 50 metros, debido al trabajo de campo hecho, en donde se observó muchos movimientos en masa de menor volumen, los cuales en su mayoría inducimos que fueron causados por lluvias.

Los perfiles topográficos fueron elaborados mediante el uso de un software de sistema de información geográfico (SIG), Quantum GIS, estos a partir del modelo digital del terreno (MDT), con tamaño de píxel de 0.5 x 0.5 metros obtenido de imágenes de un vuelo de un VANT realizado dentro del proyecto Tomorrow's Cities, 2020 (Figura 3.2a). Para la elaboración de los perfiles primero se determinó las curvas de nivel a partir del modelo digital del terreno (MDT) con la ayuda del software GIS en este caso Quantum GIS como se puede ver en el gráfico 3.2b. Luego se procedió a ubicar los perfiles, preferentemente en zonas de laderas con un comportamiento geotécnico similar, por ello se tomó en cuenta los sitios en donde las curvas de nivel se encuentran alineadas paralelamente y equidistantes entre sí, en la figura 3.4, se puede observar un ejemplo de localización de un perfil a lo largo de la zona de estudio.

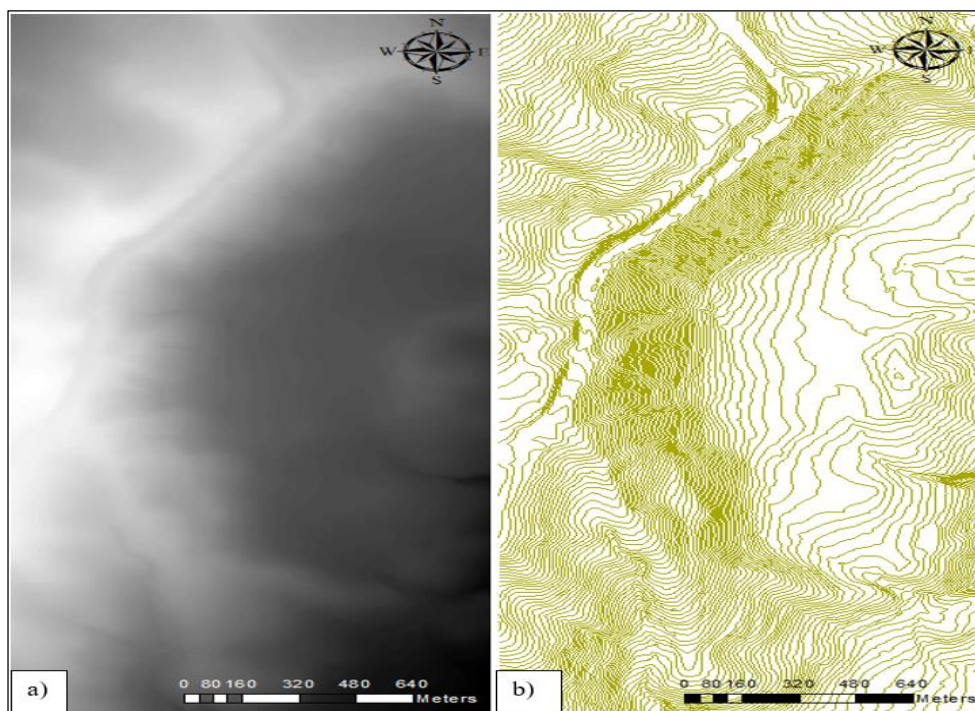


Figura 3.2: a) Modelo digital del terreno (MDT), de la zona de estudio con tamaño de píxel de 0.5 x 0.5 metros obtenido dentro del proyecto Tomorrow's Cities, 2020. b) Curvas de nivel realizadas a partir del MDT de tamaño de píxel de 0.5 x 0.5 realizado dentro del proyecto Tomorrow's Cities, de la zona de estudio.

3.6.1. Geometría del Talud

La geometría del talud se la realizó a partir de los perfiles topográficos mediante la herramienta Terrain Profile de Quantum GIS, misma que proporciona un esquema de la geometría del talud y una tabla de valores de un perfil topográfico (Figura 3.3), para luego utilizar esta tabla de valores en el modelo numérico de infiltración en la parte de modelaciones de presiones de poros y en la estabilidad del talud en el software Slide 6.0.

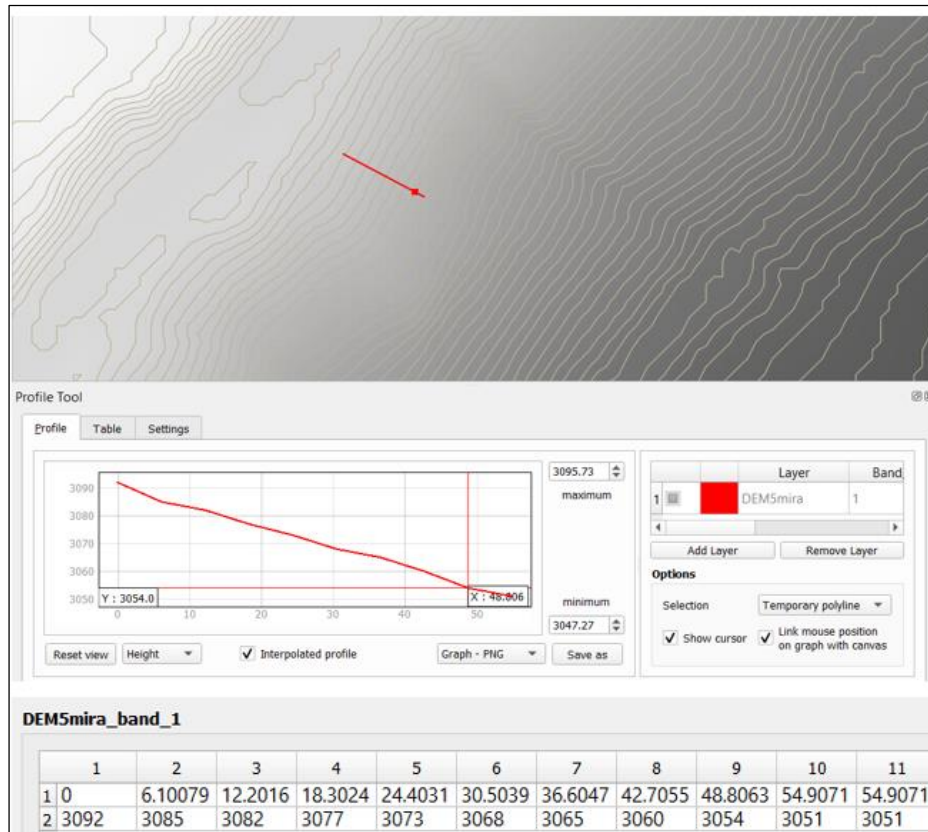


Figura 3.3. Ejemplo de perfil topográfico, la línea roja corresponde al perfil del cual se realiza el esquema de la geometría del talud y la tabla de valores, que se aprecian en la parte media y baja de la figura, los cuales han sido generados en el software Quantum GIS.

3.7. Comportamiento del Agua

Para conocer el comportamiento del agua en los taludes de manera general en la zona de estudio se lo dividió en dos partes estas son: análisis de las fuentes de agua y medición detallada.

3.7.1. Análisis de Fuentes de Agua

El análisis de fuentes de agua consistió en investigar el camino y en qué forma se generarán las corrientes de agua superficiales que podrían afectar a los taludes, mediante la modelación del análisis de escorrentía superficial en toda la zona de estudio.

Para la modelación de escorrentía superficial se utilizó el software el SAGA GIS versión 2.3.2 y el Quantum GIS a partir del modelo digital del terreno (MDT), de tamaño de píxel 1x1 m de la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgo elaborada en el 2016. Para la modelación primero se realizó un corte específico de la zona de estudio en el software Quantum GIS, para luego cargar este corte del MDT en el software de SAGA GIS (Figura 3.4), y mediante el uso de la herramienta red de canales y cuencas de drenaje, se obtuvo los correspondientes archivos shape tanto de la red de canales y las cuencas de drenaje de la zona de estudio.

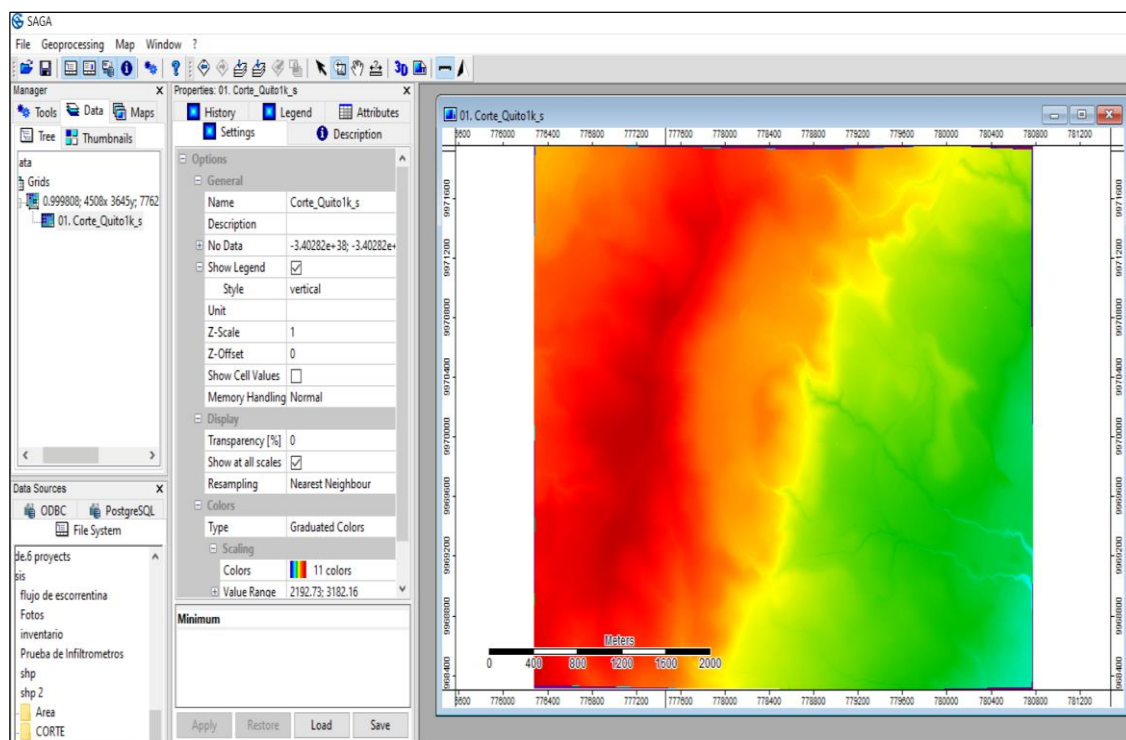


Figura 3.4. MDT de la zona de estudio cargado en el software SAGA GIS para realizar la modelación de escorrentía superficial con las herramientas de red de canales y cuencas de drenaje.

3.7.2. Medición Detallada

La medición detallada consistió en realizar la toma de varias medidas en campo de la tasa de infiltración y humedad, para conocer de manera general las propiedades de los materiales específicamente la conductividad hidráulica en respuesta a su interacción con el agua y su posterior uso, en el modelo numérico de infiltración.

3.7.2.1. Medición de la tasa de Infiltración

La medición de la tasa de infiltración se la realizó mediante el método de medición del infiltrómetro de doble anillo, el cual consiste en saturar una parte de suelo limitada por los dos anillos concéntricos para medir la variación del agua en el cilindro interior en un intervalo de tiempo y así poder calcular la velocidad de infiltración (Delgadillo y Pérez, 2016). Para ello se ejecutó y registró las mediciones en campo con el infiltrómetro de doble anillo a través del siguiente procedimiento.

- Paso 1. Limpiar y cavar de 0.5 a 1 metro de profundidad en el área en donde se va colocar el infiltrómetro de doble anillo como se puede ver en la figura 3.5, las dimensiones del infiltrómetro de doble anillo son: un diámetro interior de 30 centímetros, un diámetro exterior de 60 centímetros y una altura de 50 centímetros, siempre se deberá tomar en cuenta antes de colocar el infiltrómetro que se encuentre el terreno a nivel.
- Paso 2. Una vez con el área preparada, colocar el infiltrómetro de doble anillo a una profundidad de por lo menos 10 centímetros y nivelar el infiltrómetro con mucho cuidado. El infiltrómetro debe estar a nivel de tal manera que el agua cuando baje lo realice de manera uniforme (figura 3.6)
- Paso 3. Llenar los anillos con agua de manera directa sin alterar el terreno, para ello se puede colocar un plástico o vaciar el agua con mucho cuidado, además a continuación al llenado de agua en los anillos, es preferible cubrir el infiltrómetro con una protección o un objeto, para evitar que más agua entre a los anillos y se alteren las condiciones iniciales de agua dentro de ellos, esto se aprecia en la figura 3.7.
- Paso 4. Finalmente registrar los datos de las alturas de agua que se infiltran en el suelo en un intervalo de tiempo en nuestro caso cada 15 minutos en la hoja de registro (Anexo III), para posteriormente realizar los cálculos.



Figura 3.5. Preparación del terreno antes de colocar el infiltrómetro.



Figura 3.6. Infiltrómetro de doble anillo colocado a nivel.



Figura 3.7. Infiltrómetros de doble anillo instalados con agua en su interior y un techo sobre ellos para evitar la alteración de condiciones iniciales

3.7.2.2. Medición de la Humedad

La medición de la humedad se lo realizó en los taludes de la zona de estudio, mediante el uso de un medidor de pH, humedad e iluminación para plantas, el cual es accesible y sencillo de usar. Primero se procede a limpiar la superficie del suelo de impurezas y luego se inserta la punta de la sonda en el suelo de la prueba, posteriormente se procede a la lectura y registro de resultados del porcentaje de humedad del suelo que se determinará con este medidor (Figura 3.8).



Figura 3.8. Medición de la humedad en campo.

3.8. Modelo Numérico de Infiltración

El modelo numérico de infiltración es una técnica que ayuda a la predicción de movimientos en masa ocasionados por lluvias, teniendo como una de sus grandes ventajas la utilización de programas de software para realizar estos modelos, este método incluye dos etapas: la primera consiste en modelación de presiones de poros y la segunda etapa corresponde al análisis de estabilidad (Suárez, 2009).

3.8.1. Modelación de Presiones de Poros

La modelación de presiones de poros en el talud consiste utilizar el software Slide 6.0, el cual posee una función para modelar las presiones de poros al usar una rejilla de presión de poros que es añadida después de delimitar el talud, en este caso los límites para la rejilla de presión se obtuvieron de la tabla de valores, con su respectivo esquema de los perfiles topográficos obtenidos previamente. De cada perfil se realizó la correspondiente modelación.

Para el desarrollo de esta modelación de poros primero se obtuvo todos los parámetros y datos previos a utilizar como: el perfil topográfico, la estratigrafía, las características geotécnicas de cada estrato, la conductividad hidráulica que es igual a la tasa de infiltración y sobre todo el valor de la lluvia acumulada que se utilizó para todas las modelaciones este trabajo de titulación.

El valor de lluvia acumulada se obtuvo previamente, para realizar las modelaciones, y lo ideal o preferible para obtener este valor es mediante un registro previo de una estación pluviométrica de la zona de estudio. En este caso no se pudo obtener, por lo tanto, se calculó un valor aproximado mediante un promedio de las precipitaciones de los días 23, 24 y 25 de febrero del 2019, de la estación meteorológica más cercana, la cual es la estación Puengasí, perteneciente a la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS). Se obtuvieron los datos de precipitación mencionados en la investigación preliminar, recordando que el día 25 de febrero ocurrieron movimientos en masa como flujos y derrumbes en la zona de estudio. La lluvia acumulada se puede representar como un volumen o una lámina de agua generalmente en milímetros en un periodo de tiempo. Sin embargo, en este caso de estudio se lo consideró con un valor de la cantidad de lluvia en metros en un periodo de tiempo de un día, por facilidad en el uso del software Slide 6.0. en las modelaciones. El valor obtenido fue de 0.01667 m/d, para las modelaciones en condiciones con saturación, en cambio para las modelaciones en

condiciones sin saturación se utilizó el valor de 0 m/d. En la Tabla 3.3 se presentan los datos de la estación meteorológica de los cuales se calculó la lluvia acumulada para condiciones con saturación.

Tabla 3.3. Valores de precipitación diaria de la estación meteorológica Puengasí de los días 23, 24 y 25 de febrero del 2019. Tomado de EPMAPS.

Estación Meteorológica	Latitud	Longitud	Administrada
Puengasí	9973793.6	779043.6	EPMAPS
Valores de Precipitación diaria			
Fecha		Precipitación (mm)	
23/02/2019		22.90	
24/02/2019		31.60	
25/02/2019		10.30	

Posteriormente con todos los datos previos, se utilizó el software Slide 6.0, primero para dibujar el talud y con la ayuda de la herramienta Steady State FDA, realizar un análisis de infiltración de agua subterránea de un flujo estable o transitorio. También se llevó a cabo el análisis de estabilidad de taludes a partir del mismo modelo se procedió a modelar la presión de poros en el talud (Figura 3.9).

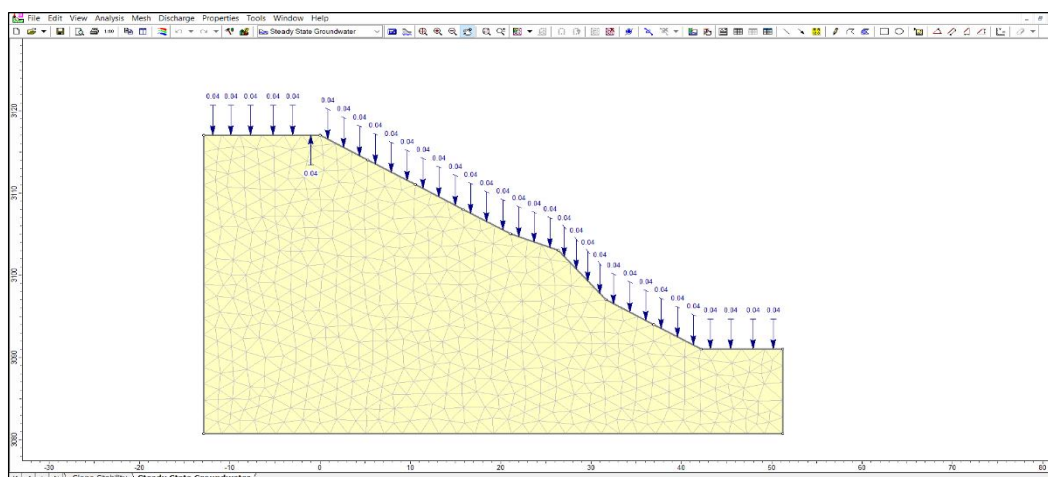


Figura 3.9. Ejemplo de modelado de presión de poros de un talud que se encuentra afectado con una lluvia.

3.8.2. Análisis de Estabilidad

El análisis de estabilidad de taludes se ejecutó con la metodología del límite de equilibrio que consiste en determinar, si los suelos del talud o ladera tienen la suficiente resistencia

para soportar los esfuerzos de corte, mediante el cálculo del Factor de Seguridad (FS) (Suárez, 2009).

Para determinar el FS, que en este trabajo de investigación el FS corresponderá al FSd, se utilizó de igual manera la opción Steady State FDA del software Slide 6.0, el cual nos otorga dos opciones una el modelado de presión de poros y otra calcular la estabilidad del talud en base a la presión de poros que se modelo anteriormente. Por lo tanto, no hay necesidad de ingresar de nuevo los parámetros geotécnicos, el valor de la lluvia acumulada en un periodo de tiempo, la tasa de infiltración, y demás datos que se ingresaron. Una vez obtenido el modelado de presión de poros del talud ingresamos a la opción Slope Stability y procedemos a calcular el FSd (Figura 3.10). Los métodos que se usaron para la modelación del análisis de estabilidad de taludes son: el método simplificado de Bishop (Bishop, 1955) y el método simplificado de Janbú (Janbú, 1968). Finalmente, con el FSd se procedió a clasificar la estabilidad y el nivel de amenaza en el talud o ladera, esto de acuerdo con el manual de estudio de Deslizamientos del Servicio Geológico Colombiano (Ávila et al., 2016). Este indica para un FS mayor a 1.5 se considera un talud o ladera estable y con un nivel de amenaza bajo, para un FS entre 1.1 y 1.5 se considera un talud o ladera en equilibrio y con un nivel de amenaza medio, y por último con un FS menor a 1.1 se considera un talud o ladera inestable y con un nivel de amenaza alto.

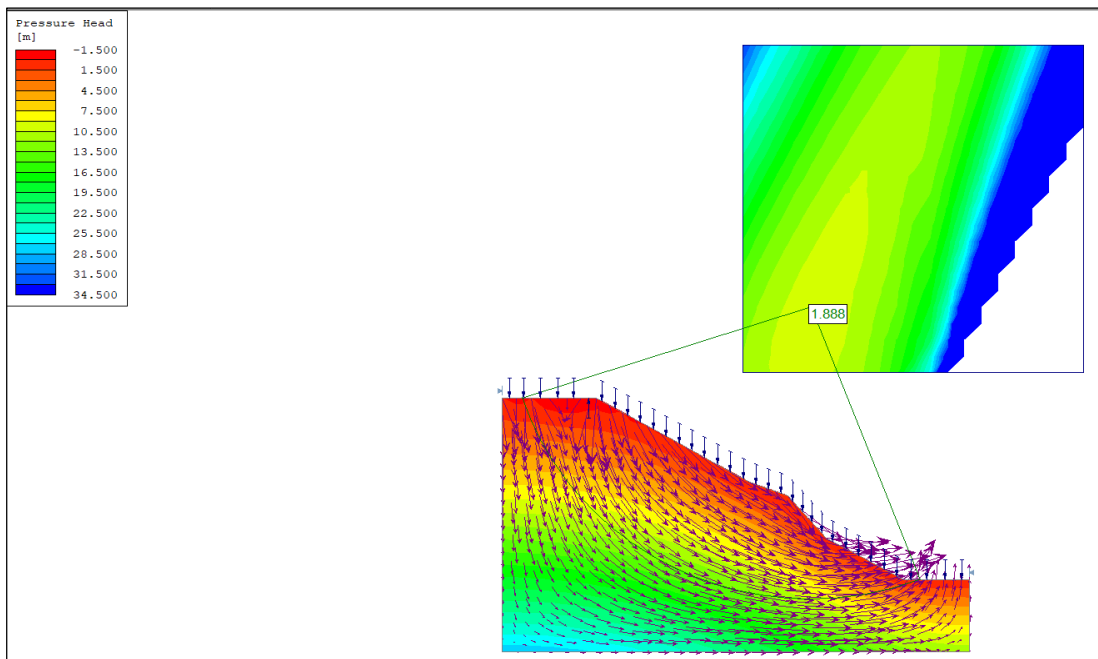


Figura 3.10. Ejemplo de análisis de estabilidad de talud calculado en base a la modelación de presión de poros del talud, por el software Slide versión 6.0.

3.9. Zonificación de la Amenaza

La zonificación de la amenaza a movimientos en masa con el factor detonante la lluvia se realizó con la ayuda de un programa de sistema de información geográfico (SIG), en este caso ARCMAP o Quantum GIS. Se efectuó en base a el análisis del modelo numérico de infiltración obtenido anteriormente, en donde se cuantificó la estabilidad y el nivel de amenaza de los perfiles topográficos elegidos.

Una vez que se cuantificó la estabilidad y el nivel de amenaza de los perfiles topográficos de los taludes, se interpoló los niveles de amenaza de los perfiles topográficos. La zonificación en el mapa de la amenaza se lo realizó de acuerdo al manual de estudio de Deslizamientos del Servicio Geológico Colombiano (Ávila et al., 2016), en donde se indica el color a utilizar en el mapa, el color rojo para amenaza alta, el color amarillo para un nivel de amenaza media y el color verde para un nivel de amenaza baja (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Clasificación de la amenaza de un talud ante un deslizamiento. Fuente:(Ávila et al., 2016).

Nivel de Amenaza	Factor de Seguridad	Valor de SMR	Color en el Mapa
Alta	<1.1	<40	Rojo
Media	1.1 - 1.5	41 - 20	Amarillo
Baja	>1.5	> 60	Verde

3.10. Calibración del Mapa de Zonificación de la Amenaza

La calibración del mapa de zonificación de la amenaza disparado por lluvias, se realizó a través del inventario de movimientos en masa, en donde se determinó si existe una correlación entre ellos, esto para verificar si los movimientos en masa del inventario se encuentran dentro de las potenciales zonas a movimientos en masa ocurridos por lluvias que se obtendrá del mapa de zonificación. Para ello se revisó el inventario de movimientos en masa y se ubicó los movimientos registrados mediante puntos en el mapa de zonificación de la amenaza disparados por lluvias, con la ayuda de un software de sistema de información geográfico (SIG), para este caso ARCMAP.

Finalmente, con la calibración se obtuvo información importante de los movimientos en masa del barrio, su comportamiento, posibles causas y lugares donde pueden ser más frecuentes.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta una descripción de todos los resultados obtenidos desde el trabajo de campo hasta la obtención de los mapas finales de zonificación de la amenaza a movimientos en masa disparados por lluvias en el barrio San Luis de Miravalle.

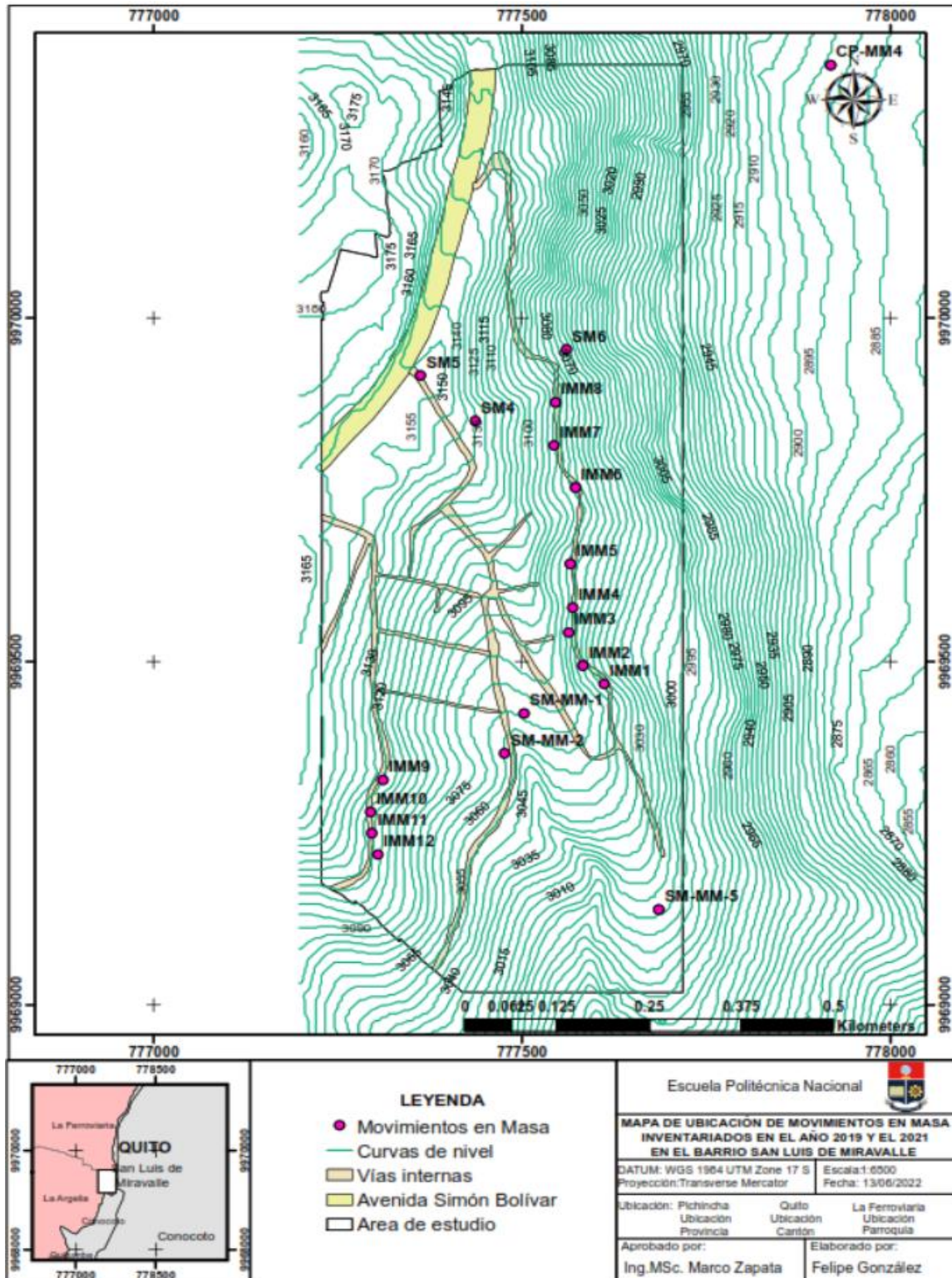
El trabajo de campo se realizó en los meses de noviembre-diciembre del 2021 y enero del 2022, en donde se efectuó la caracterización de los movimientos en masa de la zona de estudio, ensayos con el infiltrómetro de doble anillo, y descripción de la litoestratigrafía, acompañada con la elaboración de columnas estratigráficas. Todo esto otorgó datos importantes que junto con los de la investigación preliminar como los MDT de la zona de estudio, fueron utilizados para obtener la información previa y necesaria que se requiere para el modelo numérico de infiltración como: litoestratigrafía, perfiles topográficos, especialmente en los taludes de las vías del barrio, morfología, comportamiento del agua en la ladera y caracterización de los movimientos en la zona de estudio mediante el inventario de movimientos en masa. Adicionalmente, se obtuvo las características geotécnicas y la lluvia acumulada, específicamente de trabajos anteriores y de registros de lluvias que se mencionan en la investigación preliminar del capítulo III.

Finalmente, con toda la información previa recopilada se realizaron las modelaciones mediante el método numérico de infiltración, a través del cual se obtuvo un Factor de Seguridad dinámico (FSd) de cada perfil, esto muy importante para la posterior zonificación y la elaboración del mapa de amenazas a movimientos en masa disparados por lluvias. Todos los resultados de información previa y final se muestran a detalle a continuación.

4.1. Inventario de Movimientos en Masa

En el inventario de movimientos en masa levantado en el barrio San Luis de Miravalle, contiene la ubicación de un total de 18 eventos. Se contó la descripción de las unidades litológicas afectadas por las condiciones de inestabilidad, parámetros morfométricos de los movimientos en masa, datos de vegetación, humedad, factores condicionantes o que predispone el talud para la ruptura y la fecha de ocurrencia. Del total de los 18 movimientos en masa, 12 fueron caracterizados en campo dentro de este proyecto de investigación y los datos de 6 movimientos en masa fueron proporcionados el proyecto Tomorrow's Cities. A continuación, en la tabla 4.1. se resume las características importantes de los movimientos en masa inventariados. Además, se realizó el Mapa 4.1. de escala 1:6500, en

donde se observa la ubicación de los movimientos en masa que ocurrieron la zona de estudio en los años 2019 y 2021 los cuales fueron registrados en el inventario realizado. Cada movimiento en masa se lo representa con un símbolo de punto rosa.



Mapa 4.1. Mapa de Ubicación de Movimientos en Masa San Luis de Miravalle

Tabla 4.1. Resumen del Inventario de Movimientos en Masa.

N°	Código	Coordenadas		Cota de altura (msnm)	Tipo de Movimiento en Masa	Descripción del material	Parámetros Morfométricos				Cobertura	Nivel de Humedad	Fecha de muestreo	Fecha de posible ocurrencia	Factor que predispone
		x	y				Altura (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Volumen (m3)					
1	IMM1	777612	9969467	3055	caída	El material removido de suelo orgánico sobre estratos de Cangahua	4	8	0.5	16	Sin cobertura vegetal	baja	16/11/2021	Entre marzo y noviembre del 2021	grietas de erosión
2	IMM2	777583	9969494	3069	traslacional	Suelo orgánico sobre estratos de Cangahua	6	17	2	204	Sin cobertura vegetal	alto	16/11/2021	Entre marzo y noviembre del 2021	sin grietas en el talud
3	IMM3	777564	9969542	3074	traslacional	El material es menos orgánico sobre estratos de Cangahua	8	18	5	720	arbustos	baja	16/11/2021	Varios años antes del 2021	sin grietas en el talud
4	IMM4	777569	9969578	3072	caída	Suelo orgánico sobre estratos de Cangahua	4	2.5	0.5	5	Sin cobertura vegetal	medio	16/11/2021	Entre marzo y noviembre del 2021	grietas de erosión
5	IMM5	777566	9969642	3076	caída	El material es menos orgánico sobre estratos de Cangahua	4	8	1	32	Sin cobertura vegetal	baja	16/11/2021	Entre marzo y noviembre 2021	grietas de erosión
6	IMM6	777573	9969753	3085	caída	El material es menos orgánico sobre estratos de Cangahua	5.5	6	1.5	49.5	Sin cobertura vegetal	baja	16/11/2021	Entre marzo y noviembre 2021	grietas de erosión
7	IMM7	777544	9969814	3094	caída	Suelo orgánico sobre estratos de Cangahua	5.5	5.5	2	60.5	Sin cobertura vegetal	alta	16/11/2021	Entre marzo y noviembre 2021	grietas de erosión
8	IMM8	777546	9969877	3095	traslacional	El material es menos orgánico sobre estratos de Cangahua	4	9	0.5	18	arbustos	baja	16/11/2021	Vario años antes del 2021	grietas de erosión
9	IMM9	777312	9969327	2865	caída	Suelo orgánico sobre estratos de Cangahua re TRABAJADA más arenosa	2.5	10	0.5	12.5	arbustos	baja	23/11/2021	Entre marzo y noviembre 2021	grietas de erosión
10	IMM10	777295	9969281	3123	caída	Suelo orgánico sobre estratos de Cangahua re TRABAJADA	4	20	0.5	40	Sin cobertura vegetal	alta	23/11/2021	Entre marzo y noviembre 2021	grietas de erosión
11	IMM11	777297	9969250	3122	caída	Suelo orgánico sobre estratos de Cangahua re TRABAJADA	4	18	0.5	36	arbustos	alta	23/11/2021	Entre marzo y noviembre 2021	grietas de erosión
12	IMM12	777305	9969219	3117	caída	Suelo orgánico sobre estratos de Cangahua re TRABAJADA	4	2	0.5	4	Sin cobertura vegetal	alta	23/11/2021	Entre marzo y noviembre 2021	sin grietas en el talud
13	SM4	777437	9969850	3148	flujo	-	-	-	-	-	-	-	21/11/2019	marzo de 2019	-
14	SM5	777363	9969916	3160	flujo	-	-	-	-	-	-	-	21/11/2019	marzo de 2019	-
15	SM6	777561	9969954	3065	flujo	-	-	-	-	-	-	-	21/11/2019	Entre 1990 a 1995	-
16	SM-MM-1	777503	9969424	2968	caída	-	-	-	-	-	-	-	29/11/2019	-	-
17	SM-MM-2	777477	9969366	3007	caída	-	-	-	-	-	-	-	29/11/2019	-	-
18	SM-MM-5	777686	9969139	3015	caída	-	-	-	-	-	-	-	29/11/2019	-	-

4.2. Levantamiento Litoestratigráfico

Para entender la estratigrafía en la zona de estudio y poder realizar los modelos numéricos de infiltración se elaboró una columna estratigráfica general de la zona de estudio, tomando en cuenta desde la base en el límite del Canal Pita-Tambo y su techo en el límite con la Av. Simón Bolívar. Los datos se obtuvieron tanto del trabajo de campo como de estudios anteriores mencionados en la información preliminar (Capítulo III Metodología). A continuación, se describe la columna generalizada de la zona de estudio desde la base hasta el tope (Figura 4.4).

4.2.1. Unidad Volcánicos Basales

La unidad de Volcánicos Basales se encuentra sobre la formación Chiche en discordancia angular y se le atribuye una edad perteneciente al Pleistoceno Superior (Villagómez, 2003), conformada por avalanchas de escombros, con un mal sorteo, clasto soportado, textura porfirítica y sus clastos subangulares de composición andesítica (Figura 4.1a, Figura 4.1b), el cual fue hallado en los límites inferiores de la zona de estudio en las coordenadas UTM (777734; 9969250), tiene un espesor de 70 a 100 metros dependiendo de su lugar dentro de la cuenca Quito (Alvarado, 1996) y corresponde a parte de la formación Machángara (Alvarado, 1996 ; Villagómez, 2003).



Figura 4.1: a) Afloramiento de 5.7 m de altura, que corresponde a la avalancha de escombros a unos 3017 msnm, cuyas coordenadas UTM son 777734 / 9969250. b) Avalancha de escombros, clasto soportado, con clastos de andesita. Fotografías a) y b) tomadas por: Marco Yanguicela.

4.2.2. Formación Cangahua

La formación Cangahua aparece sobre la Unidad de Volcánicos Basales correspondientes a la formación Machángara, con una edad perteneciente del Pleistoceno Medio al Superior (Hall y Mothes, 1997) o se le atribuye también Pleistoceno Superior a Holoceno (Villagómez, 2003). La formación tiene un espesor que se encuentra entre 14 a 40 metros (Alvarado, 1996), conformado por tobas de color café, amarillo o marrón, además en su parte superior en muchos sitios posee suelo regolito, y la formación está intercalada con varios estratos de pómez o tefras, las cuales son indicadores muy importantes de movimientos en masa como lo menciona Noroña (2021).

En el sector del barrio San Luis de Miravalle la Cangahua subyace sobre la Unidad de Volcánicos Basales (Figura 4.1a, Figura 4.1b) y se encuentra en forma periclinal sobre el levantamiento del pliegue de Puengasí, el cual es la expresión morfológica del empuje del segmento sur del sistema de fallas inversas de Quito (Villagómez, 2003). La formación Cangahua está presente en más del 80% de la zona de estudio, como en el sector UTM (777566; 9969642) a una altura de 3076 msnm (Figura 4.2) o en el sector UTM (777295;9969281) a una altura de 3123 msnm (Figura 4.3). Para las modelaciones a la formación Cangahua se la denominó Cangahua Primaria.

Adicionalmente, a pesar de la importancia y el papel que influyen las varias capas de cenizas volcánicas dentro de la Cangahua en los taludes de la zona de estudio y que son utilizados para una mejor comprensión y elaboración de modelos geológicos como el de Noroña (2021), para el macro movimiento en masa de Conocoto- Armenia. Se consideró no utilizarlos para el presente proyecto de titulación. En su lugar se tomó un solo estrato del material predominante la Cangahua Primaria, el cual no ha sufrido movilización o retrabajamiento. Esto debido a la dificultad en modelar varias capas de cenizas volcánicas de distintos materiales, y propiedades geotécnicas, pero sobre todo porque es mejor para modelar tener una capa definida de un solo material que predomina en la formación en lugar de tener varias capas de material con diferentes propiedades geotécnicas para un mismo estrato.

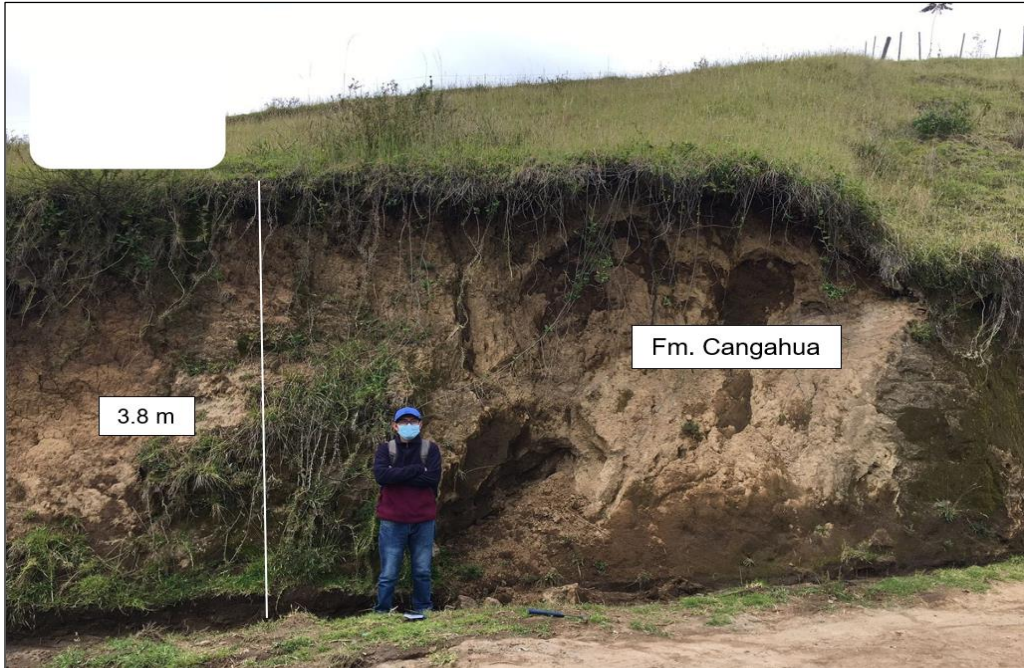


Figura 4.2: Afloramiento de 3.8 m de altura, correspondiente a la formación Cangahua a unos 3076 msnm, cuyas coordenadas UTM son 777566/ 9969642. Fotografía tomada por: Marco Yanguicela.



Figura 4.3: Afloramiento de 4.8 m de altura, correspondiente a la formación Cangahua a unos 3123 msnm, cuyas coordenadas UTM son 777295/ 9969281. Fotografía tomada por: Marco Yanguicela.

4.2.3. Depósitos Coluviales

Los depósitos coluviales están compuestos por bloques de andesita, dacita, pómez y una avalancha de detritos de material proveniente de la formación Cangahua, así como lentes de tefras volcánicas. Esta avalancha de escombros es el resultado del colapso del flanco oriental del pliegue de Puengasí, asociados al gran movimiento en masa de Conocoto-La Armenia. Esto generó un incremento de relieve en la conformación del anticlinal asociado al segmento sur del Sistema de Fallas de Quito, reportado por Noroña (2021). Debido a que en estos depósitos contenían una gran cantidad de la formación Cangahua retrabajada se lo denominó Cangahua Secundaria para un rápido y fácil manejo en las modelaciones.

4.2.4. Suelo

El suelo está conformado por material orgánico y encontrado en muchas partes sobre la formación Cangahua o sobre los depósitos coluviales, en ambos casos su espesor varía entre 0.30 a 0.40 metros.

4.2.5. Relleno

El relleno en la zona de estudio está conformado por material antrópico como: botellas plásticas, fundas, y escombros de material de construcción, de un espesor entre 1 a 2 metros, el cual proviene de la apertura de la Av. Simón Bolívar, conformando una especie de plataforma en la parte alta del barrio, donde se han construido viviendas, además este material de relleno ha sido utilizado en la nivelación en áreas irregulares en otras partes del barrio, para la construcción de viviendas.

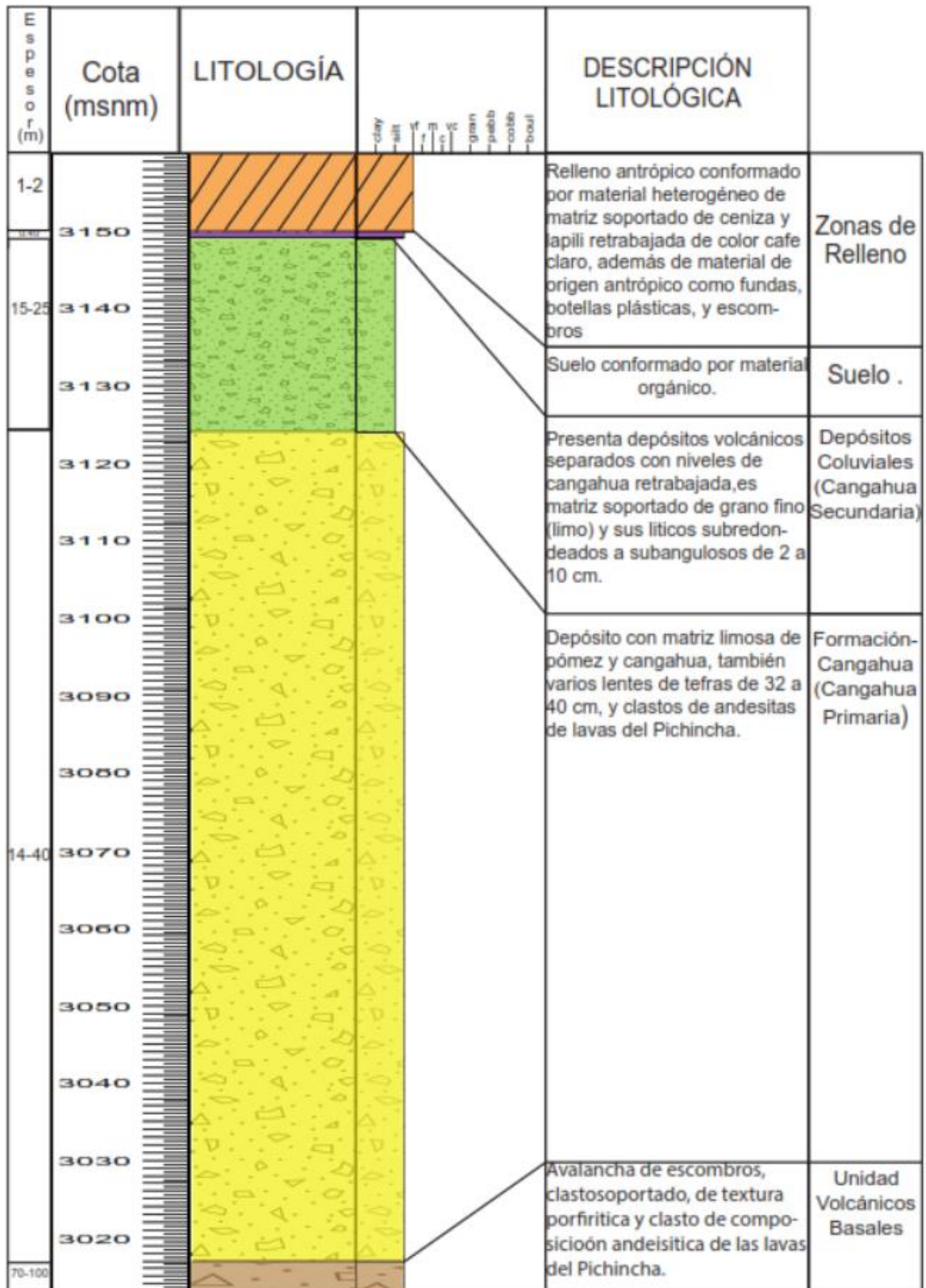


Figura 4.4. Columna litoestratigráfica general de la zona de estudio. Elaborada por el autor.

4.3. Características Geotécnicas

Las características geotécnicas se obtuvieron en base a resultados de ensayos triaxiales de trabajos anteriores mencionados en la Tabla 4.2 y en la información preliminar (Capítulo III Metodología), a partir del promedio realizado de muestras específicas de estos resultados. A continuación, en la Tabla 4.2 se muestran los resultados obtenidos de ángulo de fricción, cohesión efectiva y peso específico de los estratos de: cangahua primaria, secundaria, suelo y relleno, usados en el software Slide 6.0 para modelar.

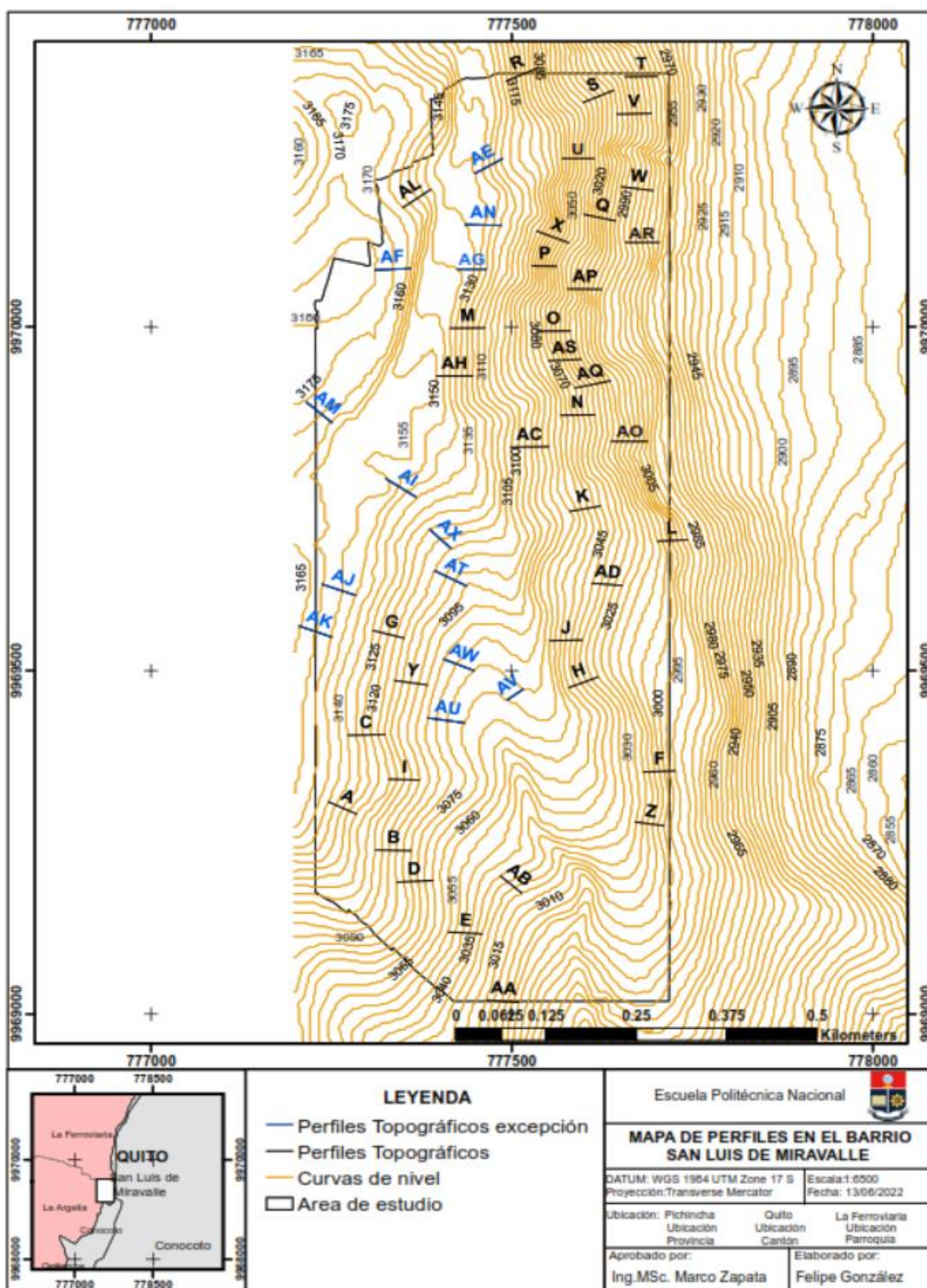
Tabla 4.2. Ángulo de fricción, cohesión efectiva y peso específico de los estratos de la zona de estudio.

Estrato	Peso Unitario kN/m ³	Cohesión Efectiva kN/m ²	Ángulo de Fricción Efectiva (°)	Fuente
Zona de Relleno	17.64	4.9	3.28	Cohesión efectiva de Cañari y Alva (2011), el ángulo de fricción efectivo y peso específico de Jiménez (1999)
Suelo	14.49	14.71	28.49	Jiménez (1999)
Cangahua Secundaria	14.34	25.17	43.45	Montatixe y Chango (2018)
Cangahua Primaria	15.42	62.76	38.58	Montatixe y Chango (2018)

4.4. Perfiles Topográficos

En la zona de estudio se trazaron 50 perfiles topográficos en las laderas estables caracterizadas por curvas de nivel paralelas y equidistantes entre sí, los perfiles se muestran en el mapa 4.2. Del total de los perfiles, 13 no cumplían completamente el criterio mencionado en cuanto a la geometría de las curvas de nivel, debido a la irregularidad del terreno en la quebrada y al tipo de material en este caso un depósito de relleno. Sin embargo, estos perfiles fueron trazados para cubrir la mayor área de estudio, donde

además corresponden zonas muy habitadas del barrio. En la Tabla 4.3 se muestra un resumen con las características de los perfiles topográficos elaborados.



Mapa 4.2. Mapa de Ubicación de Perfiles San Luis de Miravalle.

Tabla 4.3. Resumen de los perfiles topográficos.

N°	Perfil	Ubicación						Longitud (m)	Altura (m)
		Coordenada Inicial		Cota Inicial (msnm)	Coordenada Final		Cota Final (msnm)		
		X	Y		x	y			
1	"A"	777285.05	9969291	3125	777246.02	9969308.9	3145	42.41	20
2	"B"	777360.41	9969237.6	3085	777310.46	9969239	3110	49.94	25
3	"C"	777324.53	9969406.8	3114	777273.2	9969405.7	3139	51.63	25
4	"D"	777390.64	9969194.3	3070	777340.14	9969192.1	3095	49.97	25
5	"E"	777458.93	9969116.5	3034	777411.74	9969119.6	3060	47.06	26
6	"F"	777726.63	9969353.7	2996	777682.47	9969352.6	3026	43.6	30
7	"G"	777350.47	9969547.3	3115	777308.09	9969558.3	3133	44.13	18
8	"H"	777619.58	9969490	3034	777579.43	9969474.8	3059	42.98	25
9	"I"	777372.16	9969340.3	3101	777330.63	9969341.3	3120	42.32	19
10	"J"	777597.72	9969544.3	3046	777552.53	9969543.6	3076	44.86	30
11	"K"	777622.87	9969739.1	3049	777580.94	9969731.4	3075	42.99	26
12	"L"	777743.69	9969690.3	2984	777701.83	9969687.7	3016	41.54	32
13	"M"	777462.56	9969997.9	3116	777414.85	9969997.6	3144	47.81	28
14	"N"	777615.88	9969871.9	3040	777568.17	9969871.1	3068	47	28
15	"O"	777580.61	9969994.1	3035	777534.68	9969993.7	3069	46.12	34
16	"P"	777561.99	9970088	3056	777528.21	9970088.9	3088	33.86	32
17	"Q"	777643.48	9970154.6	3003	777600.66	9970163.6	3045	44.56	42
18	"R"	777536.8	9970376.6	3076	777493.09	9970358	3108	47.39	32
19	"S"	777640.44	9970344	3021	777598.81	9970326.4	3049	44.95	28
20	"T"	777701.57	9970364.3	2976	777657.27	9970363.9	3006	44	30
21	"U"	777614.52	9970245	3039	777569.92	9970245	3079	44.85	40
22	"V"	777693.13	9970310.3	2983	777645.86	9970309.8	3020	47.39	37
23	"W"	777695.76	9970197.7	2975	777651.91	9970203.3	3006	44.76	31
24	"X"	777578.69	9970122.1	3054	777534.69	9970139	3094	47.14	40
25	"Y"	777382.87	9969478.6	3096	777342.84	9969484.8	3114	45.77	18
26	"Z"	777710.75	9969274.2	3005	777671.19	9969279.2	3031	39.67	26
27	"AA"	777509.59	9969017.3	2995	777465.58	9969020.4	3020	44.98	25
28	"AB"	777513.67	9969176.3	3025	777484.63	9969200.8	3040	38.14	15
29	"AC"	777550.58	9969825.2	3080	777498.87	9969824.9	3109	52.04	29
30	"AD"	777653.31	9969623.8	3029	777611.51	9969626.6	3051	41.57	22
31	"AE"	777487.05	9970244.4	3115	777448.82	9970223.2	3135	43.56	20
32	"AF"	777360.17	9970084.7	3164	777310.69	9970082.5	3180	49.98	16
33	"AG"	777464.35	9970083.4	3129	777424.79	9970083.7	3145	40.09	16
34	"AH"	777445.62	9969928.1	3125	777395.54	9969928.5	3155	49.93	30
35	"AI"	777367.23	9969752.2	3141	777326.33	9969778.4	3156	49	15
36	"AJ"	777283.89	9969609.3	3149	777238.25	9969625.3	3159	48.17	10
37	"AK"	777249.76	9969548.9	3155	777205.6	9969564.9	3166	47.17	11
38	"AL"	777387.33	9970199.7	3146	777349.4	9970173.6	3165	46.36	19
39	"AM"	777250.43	9969860.9	3165	777215.47	9969890.5	3175	46.44	10
40	"AN"	777485.23	9970147.5	3125	777435.45	9970148.5	3140	49.93	15
41	"AO"	777688.12	9969833	2987	777643.04	9969833	3023	50.24	36
42	"AP"	777624.73	9970054.3	3004	777577.76	9970055.2	3046	46.84	42
43	"AQ"	777636.11	9969921	3020	777587.37	9969910.7	3056	50.09	36
44	"AR"	777703.9	9970122.8	2963	777657.23	9970122.8	2996	46.83	33
45	"AS"	777596.12	9969952.5	3030	777551.6	9969950.5	3065	44.9	35
46	"AT"	777436.95	9969623.2	3100	777393.05	9969644.9	3116	49.07	16
47	"AU"	777433.86	9969423.4	3075	777384.08	9969431.1	3089	50.67	14
48	"AV"	777493.65	9969457.1	3075	777515.58	9969472.7	3080	27	5
49	"AW"	777447.77	9969499.7	3080	777406.43	9969515.7	3090	44.47	10
50	"AX"	777416.13	9969677.3	3115	777386.64	9969704.9	3124	39.82	9

4.4.1. Geometría del Talud

La geometría del talud se consigue de la presentación en dos dimensiones de cada uno de los perfiles topográficos obtenidos anteriormente, en la figura 4.5. Se muestra un ejemplo de perfil generado en el software Slide 6.0.

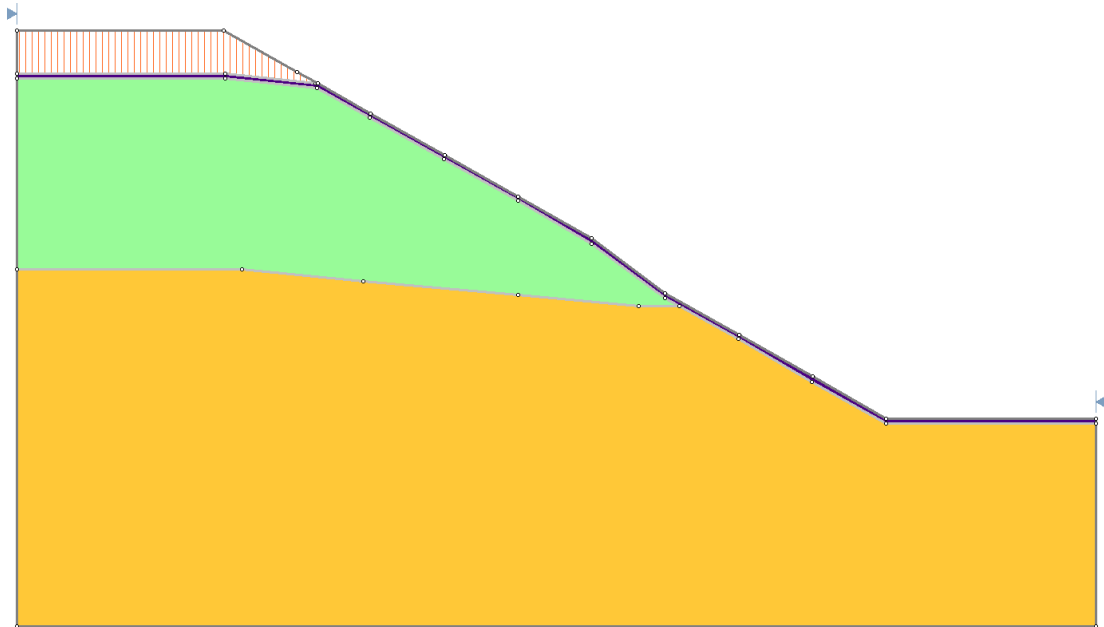
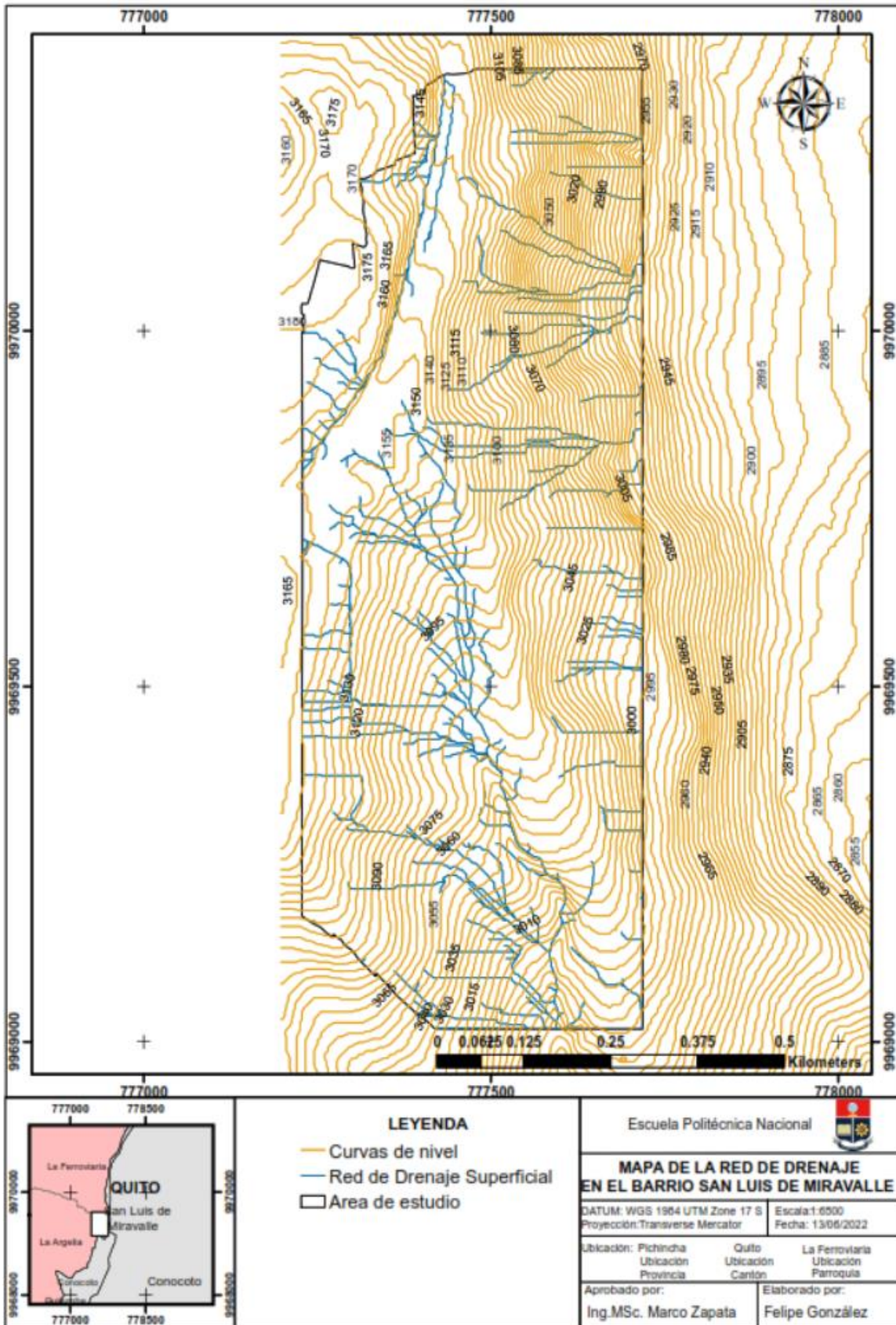


Figura 4.5. Ejemplo de la geometría del talud del perfil “M” ingresado en el programa Slide 6.0.

4.5. Comportamiento del Agua en la Ladera

4.5.1. Análisis de la Red de Drenaje

La red de drenaje se obtuvo con la modelación de escorrentía superficial a través de herramientas SIG, obteniendo un sistema de quebradas, del cual se pudo notar 2 tipos de drenajes en la zona de estudio. El primero es un drenaje tipo dendrítico que inicia en la parte alta del talud, para luego dirigirse por su cauce natural hacia las quebradas, para finalmente confluir en el río San Pedro. El segundo es un drenaje tipo paralelo, que inicia de igual manera en la parte alta de la zona de estudio con dirección al canal Pitatambo en la parte inferior. Sin embargo, este drenaje es producto de la actividad antrópica en el barrio, principalmente por: la construcción de estructuras, caminos y vías de forma antitécnica, y la falta de un sistema de drenaje pluvial. La red de drenaje de la zona de estudio se muestra en el mapa 4.3.



Mapa 4.3. Mapa de Red de Drenaje San Luis de Miravalle.

4.5.2. Medición de la Tasa de Infiltración

Los resultados de los experimentos realizados con el infiltrómetro de doble anillo en campo dentro del proyecto Tomorrow's Cities, dieron un valor de tasa o velocidad de infiltración para cada estrato de las unidades litológicas definidas en la zona de estudio. Su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado, este parámetro es importante para el modelado en el Slide 6.0, porque nos indica la facilidad con que el agua puede penetrar en los estratos y escurrir durante la precipitación. Se recuerda que la conductividad hidráulica depende del tamaño de los espacios vacíos o poros, es alta en las gravas y baja en las arcillas. En la Tabla 4.4. se muestra un resumen de la conductividad hidráulica del suelo saturado obtenida de los ensayos realizados en la zona de estudio, en donde la zona de relleno y el suelo son los que tienen los valores más altos, en cambio la Cangahua Primaria y Secundaria tiene valores más bajos.

Tabla 4.4. Conductividad hidráulica saturada de cada uno de los estratos de la zona de estudio utilizados en la modelación en Slide, los cuales son el resultado de los ensayos realizados con el infiltrómetro de doble anillo dentro del proyecto Tomorrow's Cities en el año 2022, en la zona de estudio.

Estrato	Conductividad Hidraulica Saturada (Ksat) m/s
Zona de Relleno	1,09E-04
Suelo	1,09E-05
Cangahua Secundaria	1,09E-06
Cangahua Primaria	1,09E-07

Medición de Humedad

Los resultados del nivel de humedad se lo obtuvieron de manera cuantitativa con el equipo y las observaciones de campo en la parte superficial, mostrando siempre la presencia de

humedad en toda la zona de estudio, sobre todo en las partes altas del barrio con un nivel alto, sin embargo, estos niveles de humedad se los realizó en meses relativamente secos, por lo tanto, el nivel de humedad debe ser mayor en época de invierno. Estos niveles de humedad se los puede apreciar en la tabla 4.1 de resumen del inventario de movimientos en masa.

4.6. Modelo Numérico de Infiltración

El modelo numérico de infiltración se desarrolló con el uso del software Slide 6.0 en el cual se integraron los datos de los perfiles topográficos, las características geotécnicas, el levantamiento litoestratigráfico y el comportamiento del agua en la zona de estudio. En el modelo, el análisis de estabilidad realizado considera como factor detonante el factor lluvia, el cual ha sido integrado a partir de procesos de modelamiento de presiones de poros, mediante el valor de lluvia acumulada, que actúa dentro de la malla de presión de poros con la conductividad hidráulica para cada estrato de las unidades litológicas definidas en la zona de estudio.

El modelamiento se realizó a partir de 100 modelaciones de presiones de poros, que corresponden a 50 modelaciones en condiciones sin saturación y 50 en condiciones con saturación, en la figura 4.6 y figura 4.7 se muestran ejemplos de la integración de parámetros en el programa Slide 6.0. A partir de estas modelaciones se desarrolló el análisis de estabilidad de taludes.

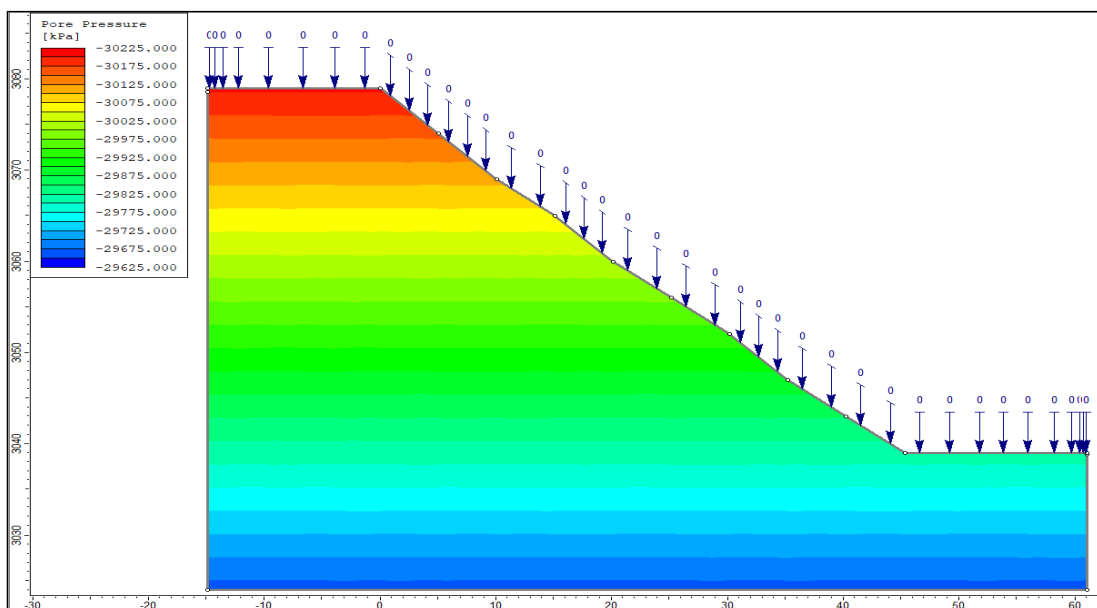


Figura 4.6. Modelación de presiones de poros para el Perfil "U" en condiciones sin saturación elaborado en el Slide 6.0.

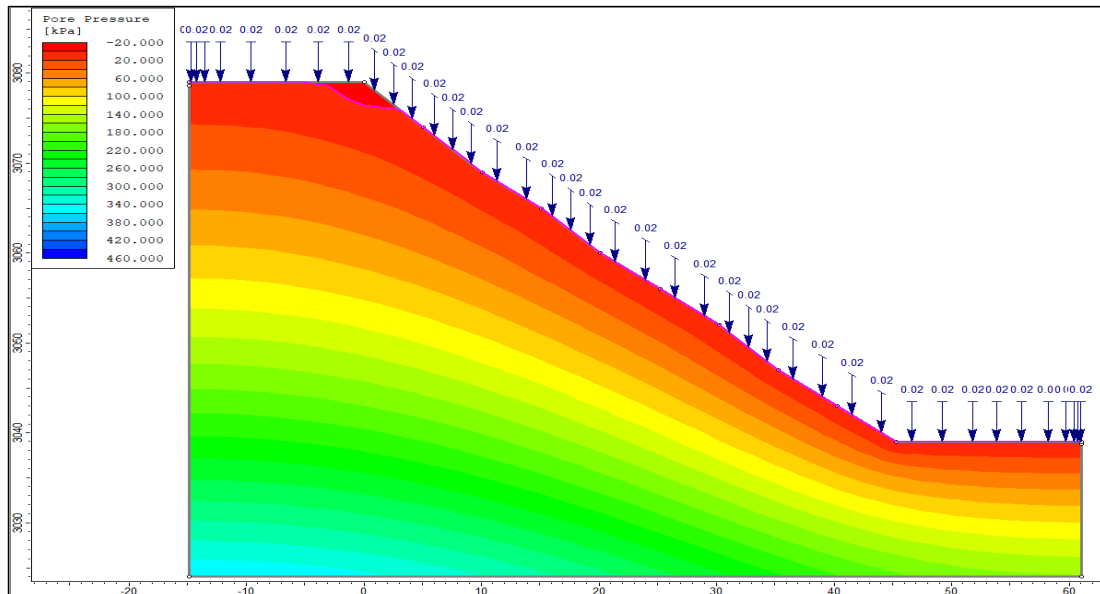


Figura 4.7. Modelación de presiones de poros para el Perfil “U” en condiciones con saturación elaborado en el Slide 6.0.

En la Tabla 4.5 se presentan los valores del Factor de Seguridad (FS) obtenidos, que en este trabajo de investigación se los consideraron como FSd, los cuales son calculados a partir de las modelaciones de presión de poros realizadas previamente en condiciones sin saturación y en condiciones con saturación, y han sido calculados mediante el método de análisis de estabilidad Simplificado de Janbù (Janbù, 1968) y Simplificado de Bishop (Bishop, 1955), que vienen incorporados en la opción Steady State FDA del software Slide 6.0, porque son sencillos y fáciles de manejar cuando se tiene poca información del mecanismo de falla. En este trabajo de titulación se consideró usar el factor de seguridad obtenido del método Simplificado de Bishop (Bishop, 1955), por ser más preciso que el método de Simplificado de Janbù (Janbù, 1968), como mencionan Fredlund y Krahn (1977), quienes compararon resultados de factor de seguridad para varios métodos, y determinaron que por el método Simplificado de Bishop (Bishop, 1955), difieren alrededor de un 5% con respecto a soluciones más precisas y en cambio para el método Simplificado de Janbù (Janbù, 1968), subestima el factor de seguridad hasta valores del 30% y en otros los sobreestima hasta el 5%. En la figura 4.8 y figura 4.9 se muestran ejemplos de FS del perfil “U” en condiciones sin saturación y en condiciones con saturación, obtenidos en el software Slide 6.0 a partir de las modelaciones de presiones de poros previas. Se considera que los valores más altos de FS signifiquen mayor estabilidad y tener menor propensión a deslizamientos. Mientras valores más bajos cercanos a cero signifiquen mayor inestabilidad y una alta probabilidad de deslizamientos.

Tabla 4.5. Resumen de los FS en los diferentes perfiles en condiciones con saturación y sin saturación.

Nº	Perfil	Factor de Seguridad en condiciones con saturación (Método Simplificado de Bishop)	Factor de Seguridad en condiciones con saturación(Método Simplificado de Janbú)	Factor de Seguridad en condiciones sin saturación(Método Simplificado de Bishop)	Factor de Seguridad en condiciones sin saturación (Método Simplificado de Janbú)
1	"A"	1.590	1.406	3.046	2.840
2	"B"	2.166	1.919	3.495	3.205
3	"C"	2.101	1.819	3.327	2.899
4	"D"	2.110	1.870	3.359	3.100
5	"E"	2.123	1.873	3.301	3.096
6	"F"	1.815	1.612	2.832	2.520
7	"G"	2.692	2.323	4.440	4.002
8	"H"	2.060	1.838	3.204	2.955
9	"I"	2.541	2.223	4.003	3.620
10	"J"	1.784	1.603	2.765	2.571
11	"K"	1.964	1.761	3.011	2.787
12	"L"	1.608	1.485	2.361	2.221
13	"M"	1.218	1.210	1.218	1.210
14	"N"	1.898	1.695	2.967	2.744
15	"O"	1.579	1.437	2.428	2.260
16	"P"	1.520	1.415	2.168	2.051
17	"Q"	1.270	1.180	1.854	1.759
18	"R"	1.667	1.499	2.608	2.419
19	"S"	1.887	1.687	2.919	2.718
20	"T"	1.751	1.563	2.673	2.468
21	"U"	1.400	1.274	2.145	2.012
22	"V"	1.414	1.307	2.126	2.014
23	"W"	1.730	1.553	2.645	2.446
24	"X"	1.374	1.265	2.040	1.933
25	"Y"	2.818	2.469	4.556	4.127
26	"Z"	1.869	1.685	2.805	2.608
27	"AA"	2.131	1.888	3.365	3.094
28	"AB"	3.133	2.764	4.869	4.444
29	"AC"	1.875	1.658	2.969	2.764
30	"AD"	2.277	2.024	3.500	3.252
31	"AE"	1.812	1.173	1.183	1.174
32	"AF"	3.316	2.933	5.266	4.885
33	"AG"	1.278	1.254	1.278	1.254
34	"AH"	1.172	1.041	1.399	1.396
35	"AI"	2.458	2.182	3.642	3.556
36	"AJ"	0.899	0.886	0.974	0.959
37	"AK"	0.806	0.780	0.806	0.780
38	"AL"	2.721	2.398	4.363	3.975
39	"AM"	4.990	4.400	8.206	7.408
40	"AN"	1.243	1.223	1.250	1.225
41	"AO"	1.587	1.467	2.453	2.337
42	"AP"	1.302	1.195	1.902	1.769
43	"AQ"	1.517	1.377	2.329	2.168
44	"AR"	1.651	1.496	2.517	2.373
45	"AS"	1.500	1.367	2.257	2.110
46	"AT"	1.156	1.140	1.212	1.194
47	"AU"	1.229	1.220	1.258	1.248
48	"AV"	1.649	1.600	1.742	1.688
49	"AW"	1.419	1.406	1.480	1.464
50	"AX"	1.334	1.320	1.432	1.414

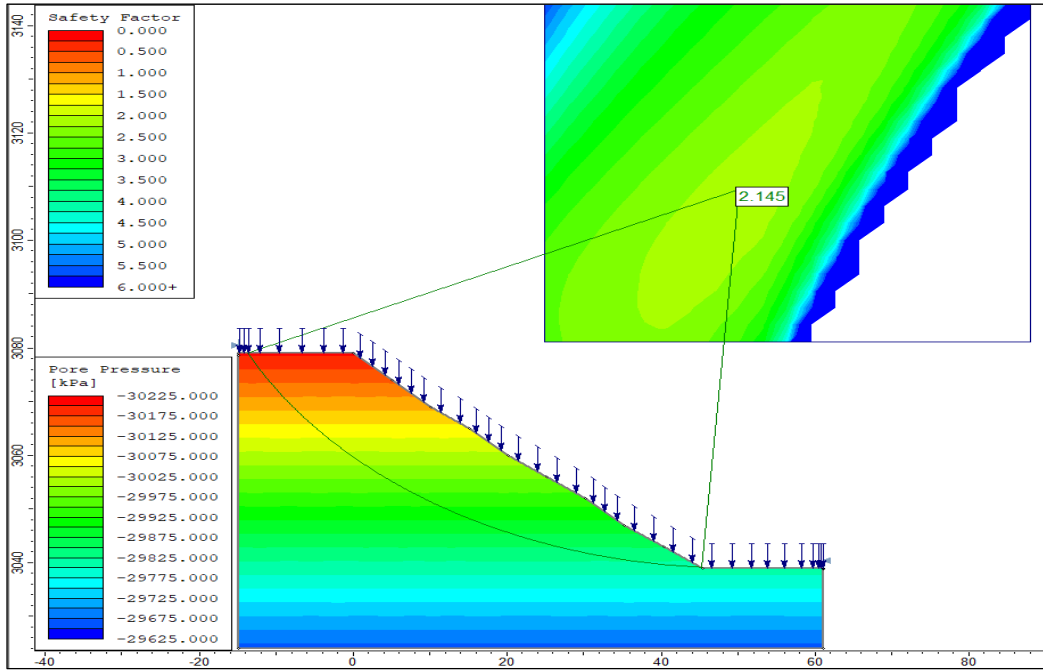


Figura 4.8. Cálculo del factor de seguridad a partir de la modelación de presiones de poros mediante el método simplificado de Bishop, para el Perfil “U” en condiciones sin saturación, con FS= 2.145 elaborado en el Slide 6.0.

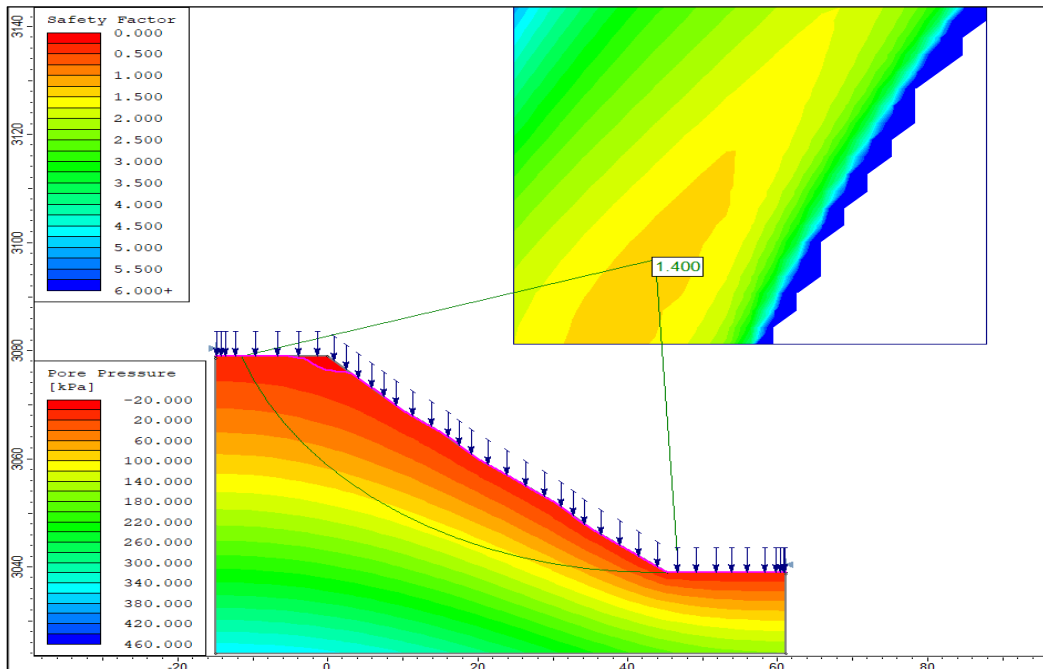
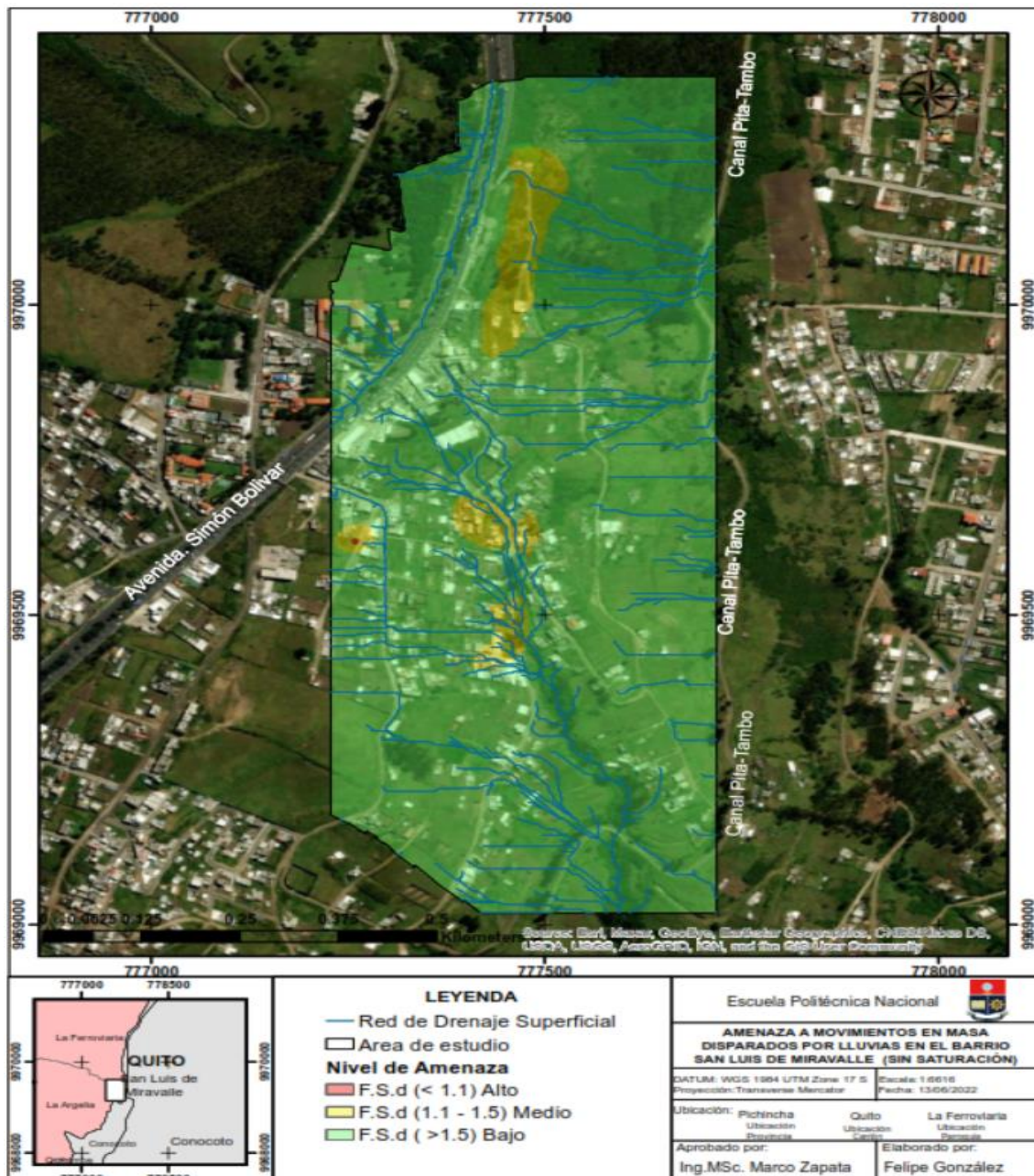


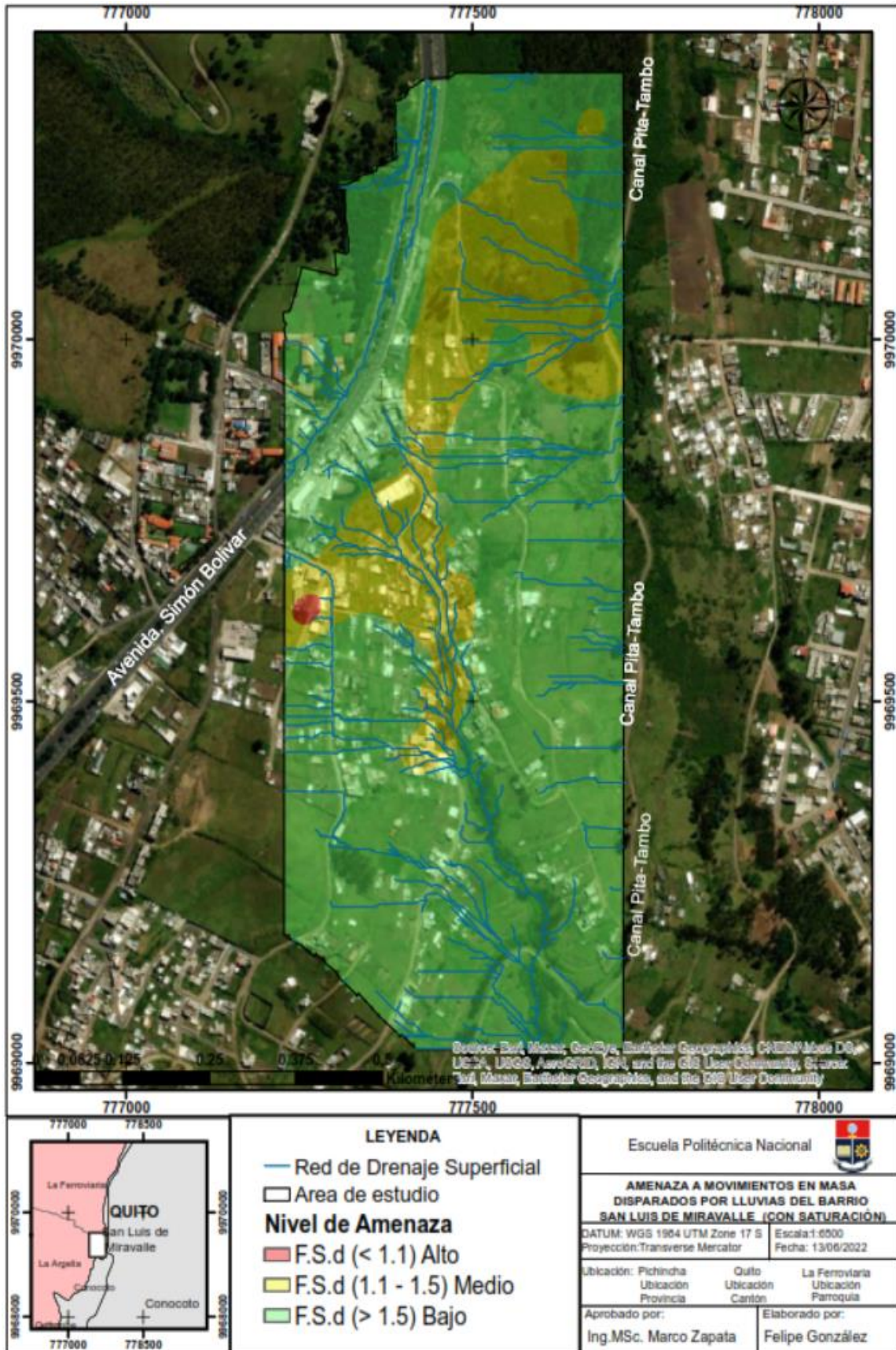
Figura 4.9. Cálculo del factor de seguridad a partir de la modelación de presiones de poros mediante el método simplificado de Bishop, para el Perfil “U” en condiciones con saturación, con FS= 1.400 elaborado en el Slide 6.0.

4.7. Zonificación de la Amenaza

La zonificación de la amenaza a movimientos en masa con el factor detonante lluvia se realizó en función de rangos del FSD obtenidos del método Simplificado de Bishop, por lo expuesto en los resultados del modelo numérico de infiltración. La zonificación se llevó a cabo en condiciones sin saturación y con saturación, de acuerdo con el manual de estudio de Deslizamientos del Servicio Geológico Colombiano (Ávila et al., 2016), que se mostró en la metodología. Los resultados se presentan en dos mapas finales de la zonificación, el Mapa 4.4. sin saturación y el Mapa 4.5. con saturación.



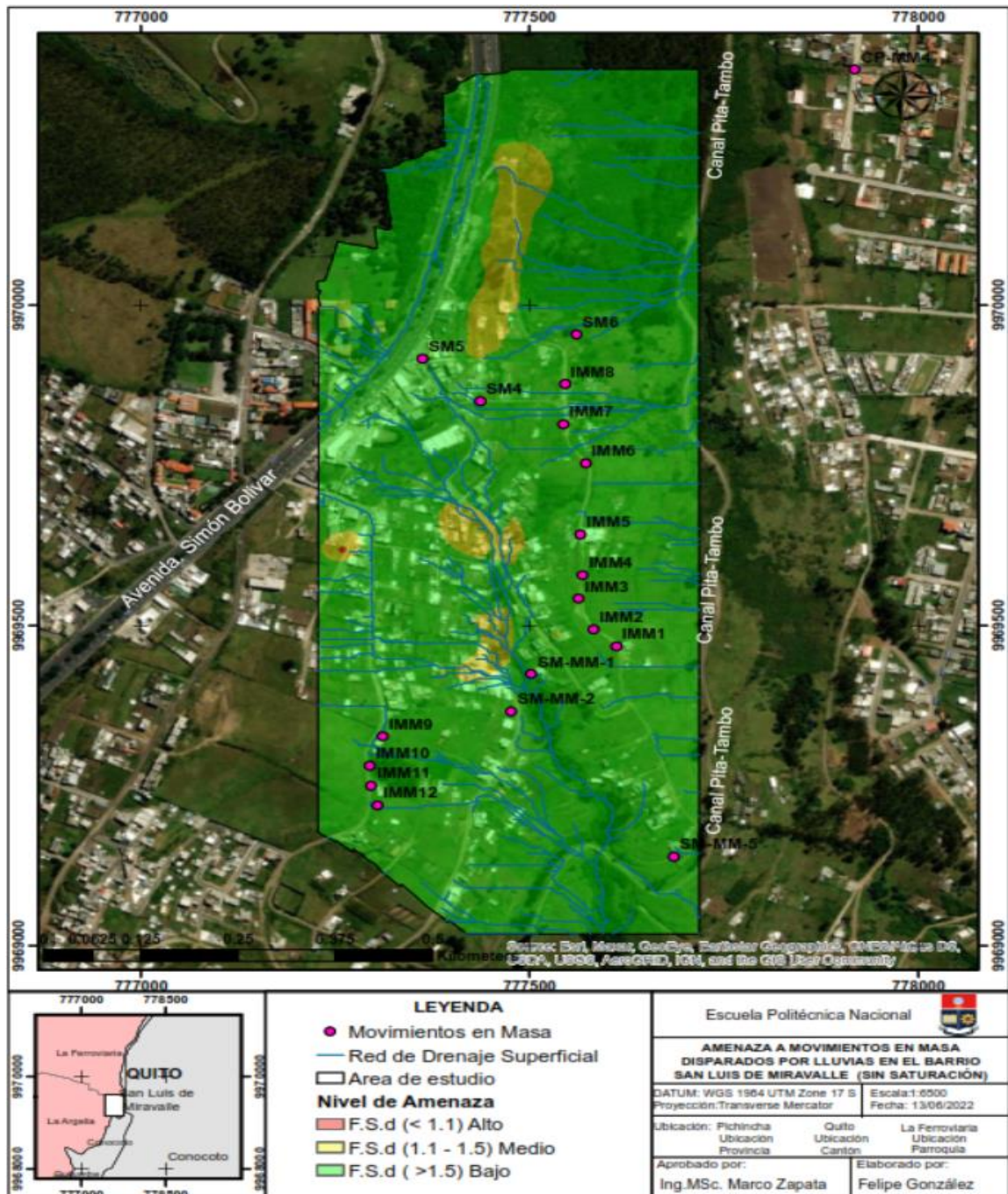
Mapa 4.4. Amenaza a Movimientos en Masa (Sin Saturación) San Luis de Miravalle.



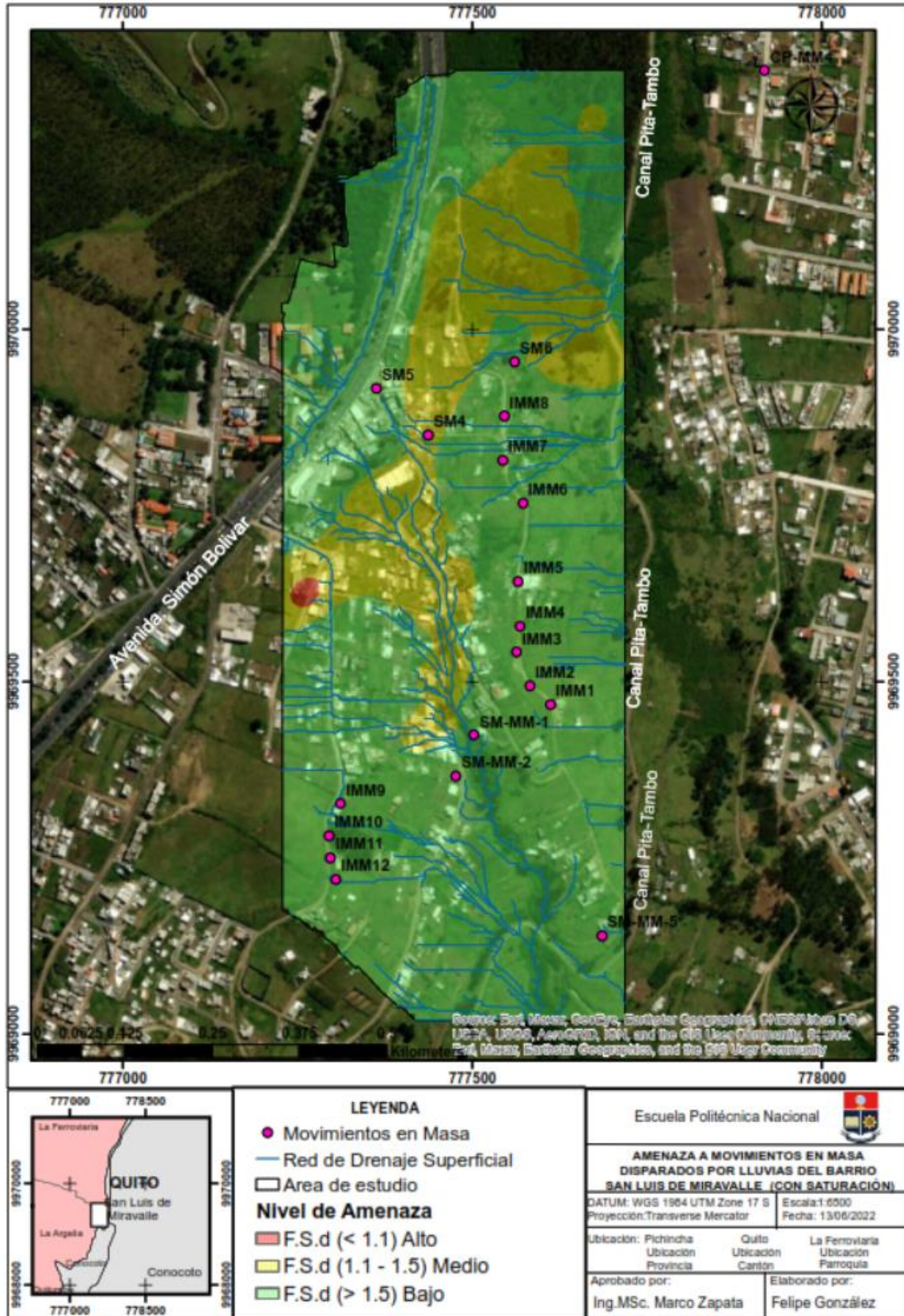
Mapa 4.5. Amenaza a Movimientos en Masa (Con Saturación) San Luis de Miravalle.

4.8. Calibración del Mapa de Zonificación de la Amenaza

La calibración del mapa de amenaza de movimientos en masa disparados por lluvias se realizó con el uso del inventario de movimientos en masa levantados en el sector como se indicó en el Capítulo III y se obtuvo 2 mapas finales uno en condiciones sin saturación y otro con saturación, los mismos que se presentan en el Mapa 4.6 y Mapa 4.7.



Mapa 4.6. Calibración del Mapa de Amenaza A Movimientos en Masa (Sin Saturación) San Luis de Miravalle.



Mapa 4.7. Calibración del Mapa de Amenaza A Movimientos en Masa (Con Saturación) San Luis de Miravalle.

4.9. Discusión de los Resultados

La zona de estudio se ubica sobre el escarpe de un antiguo y gran movimiento en masa que de acuerdo con el estudio realizado por Noroña (2021), se encuentra asociado al colapso del flanco oriental de la loma de Puengasí. Estas características nos indican que la zona de estudio tiene factores condicionantes como altas pendientes y depósitos coluviales de remoción de masa que la hacen propensa a la ocurrencia de movimientos en masa.

El inventario de movimientos en masa muestra un total de 18 eventos, de los cuales 12 son caídas, 3 deslizamientos traslacionales y 3 correspondientes a flujos de lodo. Los movimientos en masa registrados en su mayoría se encuentran ubicados a lo largo de las vías internas del barrio, y están relacionados con la actividad antrópica debido a la modificación del talud natural mediante el corte realizado en su construcción. La altura del corte en los taludes a lo largo de las vías internas varía entre 2.5 a 8 m sobre el nivel de la vía. Además, existe otro grupo de movimientos en masa relacionados con el sistema de quebradas que han sido rellenadas en el barrio. Los movimientos en masa registrados en su mayoría son: poco profundos, con espesores que varían de 0.5 a 2 m, no tienen cobertura vegetal, y presentan grietas de erosión como se puede apreciar en la figura 4.10.

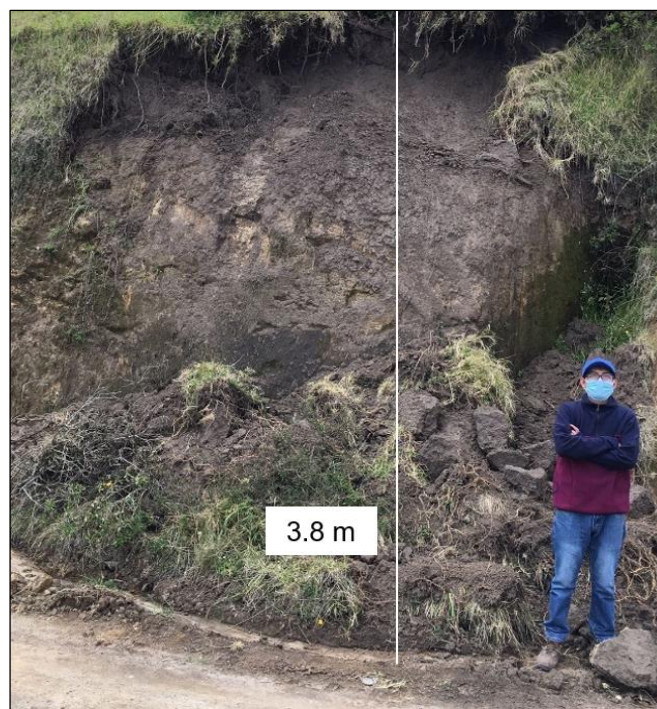


Figura 4.10. Parte de un movimiento en masa tipo caída, ubicado en las coordenadas UTM 777573/ 9969753. Fotografía tomada por: Marco Yanguicela.

La litología levantada en el área de estudio mediante el trabajo de campo permitió identificar la siguiente estratigrafía, en la base la Unidad de Volcánicos Basales perteneciente a la formación Machángara, la cual constituye el núcleo del anticlinal de Puengasí. Sobre yacente se encuentra la formación Cangahua depositada periclinalmente con varias capas de ceniza volcánica intercaladas, encima se encuentran estratos de material de cangahua retrabajada o secundaria, la cual corresponde a depósitos coluviales de remoción de masa asociados al gran movimiento en masa. Finalmente, la secuencia termina con una capa de suelo sobre la cual, hacia el oeste se encuentran niveles de relleno formados por material removido asociado a la apertura de la avenida Simón Bolívar. La litología relacionada con los movimientos en masa en la zona de estudio es: en la parte superior del barrio la cangahua retrabajada o secundaria, suelo y zonas de relleno, mientras que en la parte central e inferior de la zona de estudio predomina la cangahua primaria y suelo.

Los movimientos en masa actuales están relacionados a los niveles de cangahua retrabajada o secundaria que tiene valores de cohesión efectiva de $25,17 \text{ KN/m}^2$, la capa de suelo con $14,71 \text{ KN/m}^2$ y el relleno con un valor de $4,9 \text{ KN/m}^2$. Estos valores son bajos en relación con el valor de cohesión efectiva de estratos de la formación Cangahua primaria o in situ de $62,76 \text{ kN/m}^2$ que se presentan más resistentes. El ángulo de fricción interno tiene valores bajos en aquellos que están relacionados con movimientos en masa como: el suelo con un valor de $28,49^\circ$, el relleno con un valor de $3,28^\circ$. En el caso de la cangahua retrabajada o secundaria presenta un valor $43,45^\circ$, el cual es mayor al de la cangahua primaria que tiene un valor de $38,58^\circ$. Esto puede estar relacionado a que el material de la cangahua retrabajada o secundaria formado por depósitos volcánicos, líticos y cangahua retrabajada está compuesto por disgregación de los lentes de cenizas volcánicas que constituyen estratos arenosos y podrían aumentar la fricción interna. La cangahua primaria muestra valores menores en su ángulo de fricción, el cual podría estar más relacionado con sus características de depósito tipo limo "loess".

El análisis de estabilidad de las laderas en la zona de estudio se realizó con el levantamiento de un total de 50 perfiles topográficos, en estos 13 están ubicados en zonas donde las curvas de nivel no están completamente equidistantes, ya que corresponde a sitios perturbados por la presencia de niveles de relleno. En estos perfiles se realizó el análisis de estabilidad de taludes para obtener el Factor de Seguridad dinámico (FSd) con la lluvia como factor desencadenante o de disparo. En los modelos geotécnicos se integraron los factores condicionantes descritos, además de la litología, las características geotécnicas, y el factor antrópico relacionado con la topografía de los cortes en los taludes

de las vías. En función de los datos obtenidos en el inventario de movimientos en masa y los informes del municipio como el de la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos (2019), se puede observar que existe una relación estrecha entre los movimientos en masa registrados en la zona de estudio y las lluvias, por ello un parámetro importante que se determinó fue el comportamiento del agua en el talud.

El comportamiento del agua fue integrado a partir de los datos obtenidos de los ensayos con el infiltrómetro de doble anillo y la modelación de escorrentía de superficial. En los resultados de la modelación se observa que la escorrentía superficial tiene dos tipos de comportamiento, el primero en donde el agua recorre por el cauce natural de las quebradas que atraviesan la zona de estudio y desfogan hacia el río San Pedro, y el segundo en donde el agua de la escorrentía superficial forma flujos canalizados que toman la configuración de las vías internas construidas en el barrio, lo que nos muestra como el factor antrópico de las estructuras o calles ha alterado los caminos preferenciales del agua provocando erosión superficial. De acuerdo con Suárez (2009), la escorrentía superficial arrastra partículas del suelo, por la acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua en la superficie, lo que puede ocasionar el desprendimiento, transporte y depósito de partículas de suelo o roca.

En cuanto a los resultados obtenidos en el ensayo del infiltrómetro de doble anillo, se obtuvieron valores de conductividad hidráulica saturada alta en la zona de relleno y el suelo con valores de $k_s = 1,09E-04$ m/s y $k_s = 1,09E-05$ m/s respectivamente, indicando estratos más permeables en los cuales el agua puede fluir con mayor facilidad en relación con los estratos de cangahua secundaria y primaria que tienen valores más bajos de conductividad hidráulica saturada de $k_s = 1,09E-06$ m/s y $k_s = 1,09E-07$ m/s respectivamente, sin embargo dependerá más del comportamiento de estos estratos ante la lluvia para producir el movimiento en masa, como menciona Rahardjo et al, (2007). Así, cuando el coeficiente de permeabilidad saturado o conductividad hidráulica es menor de $k_s = 10E-06$ m/s la lluvia intensa muestra poca afectación, en tanto que en los suelos con un valor mayor de $k_s = 10E-06$ o $k_s = 10E-05$ m/s la afectación durante la lluvia es mayor, sin embargo al cesar la lluvia los suelos más permeables se recuperarán rápidamente en comparación a suelos arcillosos que pueden permanecer saturados con una mayor presión de poros y un incremento de su peso, especialmente cuando se tiene eventos de lluvia acumulada de varios días antes de la ruptura de la ladera. Este comportamiento de los estratos en cuanto al contraste de permeabilidad entre ellos observando a partir de los resultados de los ensayos del infiltrómetro de doble anillo, podría explicar eventos como el flujo de lodo

ocurrido el 25 de febrero del 2019, en el cual tanto las condiciones adversas de permeabilidad como litológicas y el agravante antrópico de la presencia de rellenos, generó un evento que afectó a varias familias, el cual fue disparado en una época lluviosa. En el informe técnico de emergencia en el barrio Santa Teresita de Conocoto realizado por la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos (2019) se menciona como el agua proveniente de la parte superior de la ladera en el barrio San Luis de Miravalle, provocó flujos de loco que impactaron aguas abajo al barrio Santa Teresita de Conocoto.

El análisis de estabilidad en los taludes para obtener el Factor de Seguridad dinámico (FSd), con lluvia como factor desencadenante, se realizó a través de la incorporación de la lluvia acumulada con el valor de 0.01667 m/d en las 100 modelaciones de presiones de poros, que corresponden a 50 modelaciones en condiciones sin saturación y 50 en condiciones con saturación. De esta manera, a través de la interpolación de los valores del FSd se obtuvieron los mapas de amenaza por movimientos en masa disparados por lluvias en el barrio San Luis de Miravalle (Mapa 4.4 y Mapa 4.5). Estos mapas fueron calibrados con el inventario de movimientos en masa (Mapa 4.6 y Mapa 4.7), y se pueden resaltar algunos aspectos importantes:

- Las zonas con un nivel de amenaza media a la ocurrencia de movimientos tanto para el mapa sin saturación como para el mapa con saturación, nos muestra que en las partes donde nace el sistema de drenaje, existe una mayor ocurrencia movimientos en masa, esto debido a que en esa zona se tienen estratos importantes de relleno, en los cuales el agua se conjuga con una mayor infiltración del agua y alta pendiente de manera que el factor de seguridad es menor.
- Los movimientos en masa registrados en el inventario no coinciden en su mayoría con los de las zonas de nivel de amenaza alto o medio obtenidos de los mapas en sin saturación y con saturación, esto se debe a que los movimientos en masa están más relacionados a un factor antrópico ubicándose a lo largo de las vías y caminos internos del barrio, los cuales para su construcción han modificado el ángulo de pendiente de los taludes ocasionando una inestabilidad que en condiciones normales no debería existir. Este puede ser el caso del lugar donde el FSd es menor a uno (color rojo), señalado en los mapas de amenaza a movimientos en masa provocados por lluvia resultantes 4.4 y 4.5 y en los mapas calibrados 4.6 y 4.7.
- La zona del escarpe del antiguo gran movimiento en masa ubicado en el flanco oriental del anticlinal de Puengasí, también presenta un nivel de amenaza medio, relacionado con factores condicionantes como litología por la presencia de cangahua secundaria y altas pendientes.

- En el mapa de amenaza por movimientos en masa disparados por lluvias con saturación y sin saturación (Mapa 4.4 y Mapa 4.5), se aprecia una zona de alto nivel de amenaza a movimientos en masa, con FSd menor a uno (color rojo). Esta zona existe posiblemente por ser modificada su pendiente como se indicó anteriormente, o esté relacionado a un potente estrato de relleno de entre 1 a 2 metros el cual pudo cubrir parte de la red de drenaje que inicia desde esta zona e incluso ambas.

Finalmente, a partir de la realización del análisis de estabilidad de taludes, cuyo resultado son los mapas de amenaza a movimientos en masa disparados por lluvias en condiciones sin saturación y con saturación del barrio San Luis de Miravalle y su posterior calibración del mapa de ubicación del inventario de movimientos en masa, muestran que las condiciones geológicas, antrópicas, hidrológicas, entre las discutidas anteriormente, se conjugan para configurar niveles medio y alto de amenaza por movimientos en masa, especialmente en la zona del escarpe, en las zonas de relleno en las quebradas, así como en las partes altas del barrio. Estos resultados guardan relación con lo mencionado por la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos (2019), quienes indican que las condiciones geológicas, topográficas, la pendiente, los asentamientos humanos, entre otros, generan alta amenaza a movimientos en masa. Del mismo modo en los trabajos de Camino (2019) o Noroña (2021), evidenciaron una ladera de fuerte pendiente, correspondiente al escarpe producto de un movimiento en masa antiguo, cuyos antiguos depósitos coluviales de remoción se pueden reactivar y son propensos a generar nuevos movimientos en masa. De igual manera Pullas y Robalino (2018), en su zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa en el Distrito Metropolitano de Quito, ubican a la parroquia La Ferroviaria en zonas de alta a muy alta susceptibilidad a movimientos en masa. De esta manera los resultados de este trabajo han podido modelar estas condiciones desfavorables tanto geológicas como antrópicas con un disparador lluvia, determinando zonas específicas en el barrio con niveles de amenaza a movimientos en masa.

CAPÍTULO V: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La zona de estudio tiene altas pendientes, vestigios de antiguos movimientos en masa, los cuales son factores condicionantes y, además, la zona tiene factores agravantes como el corte de vías en los taludes naturales y el relleno del sistema de quebradas, lo cual determina que el barrio San Luis de Miravalle se ubica en una zona compleja, propensa a la ocurrencia de movimientos en masa.
- En función de lo observado en los mapas de amenaza en condiciones de saturación con los mapas de amenaza en condiciones sin saturación, existe una disminución del nivel de amenaza medio y alto, lo que indica que un adecuado manejo del agua proveniente de lluvias intensas o descargas antrópicas en la ladera o talud posibilitará un incremento del factor de seguridad de las laderas y taludes de la zona de estudio y disminuirá el nivel de amenaza por movimientos en masa.
- Los movimientos en masa que predominan en la zona de estudio son las caídas, en comparación con los flujos y movimientos traslacionales, debido principalmente al corte de los taludes naturales para realizar las vías, además de los factores condicionantes.
- Las unidades litológicas como la cangahua secundaria, el relleno, y el suelo, son más susceptibles a la generación de movimientos en masa, debido a sus características geomecánicas, las cuales presentan valores bajos de cohesión efectiva a diferencia de la cangahua primaria que tiene valores altos. Además, tienen valores bajos de ángulo de fricción interna. Sin embargo, el valor del ángulo de fricción interna de la cangahua secundaria es mayor que el de la cangahua primaria, debido a que la cangahua secundaria tiene integrados en su matriz lentes de ceniza disgregados, los cuales se comportan como arenas al estar formado por material re TRABAJADO.
- La medición de la tasa de infiltración y humedad, evidencia que la zona de estudio tiene un alto porcentaje de humedad, con una alta conductividad hidráulica saturada en la zona de relleno en relación a los estratos de cangahua primaria, secundaria y suelo que presentan valores más bajos, esto hace que la zona de estudio sea más propensa a la ocurrencia de movimientos en masa con eventos de lluvia de corta duración y gran intensidad a diferencia de los otros estratos de cangahua primaria, secundaria y suelo, donde su comportamiento dependerá más de lluvia acumulada de días.

- La modelación de escorrentía superficial, con la obtención del mapa de red de drenaje muestra que el agua en la zona de estudio tiene dos caminos preferentes al momento de fluir por la ladera, el primero por su cauce natural hacia las quebradas y el segundo a través de flujos canalizados dentro de los caminos o vías construidas en el barrio.
- El análisis de estabilidad de taludes con el factor detonante lluvia a través del método de Modelos Numéricos de Infiltración, permite caracterizar las zonas con mayor amenaza a movimientos en masa basándose en patrones geotécnicos y el comportamiento del agua, con buenos resultados gracias al uso de software de análisis de estabilidad de taludes y de sistema de información geográfico (SIG). Sin embargo, una limitación del método es que al usar solo un valor de lluvia acumulada no se puede establecer un umbral de lluvia sobre el cual los movimientos en masa ocurren, y para ello se deben utilizar otros métodos, además la calidad de los datos de las variables de entrada y el factor detonante para las modelaciones determinaran si el modelo es adecuado o no a la realidad.
- Los mapas de zonificación de la amenaza a movimientos en masa disparados por lluvias, determinan que el sitio del escarpe, las zonas de relleno en la parte alta del barrio y la quebrada que ha sido rellena, son zonas con un nivel de amenaza alto a medio más propensas a movimientos en masa, esto debido a factores condicionantes y sobre todo la actividad antrópica, que incrementa la amenaza a movimientos en masa con el factor detonante lluvia.
- De la discusión se destacan dos aspectos, en primer lugar, la gran presencia de movimientos en masa asociados a las vías y caminos internos del barrio, zonas que tienen bajo nivel de amenaza a movimientos en masa, resaltando la intervención antrópica y en segundo lugar que las zonas con un nivel de amenaza alto a medio se ubican en los puntos donde comienza la red de drenaje la cual ha sufrido alteraciones por el cambio en la topográfica, morfología, hidrología, y también por la actividad antrópica.
- En la zona de estudio las áreas caracterizadas que tienen un FSd de alto a medio comprenden alrededor del 21% a 22% del área de la zona, durante condiciones de saturación (con referencia el mapa 4.5)

5.2. Recomendaciones

- Para futuros trabajos se recomienda realizar trabajos de investigación geofísica como el uso de georadar o sísmica de refracción para determinar el espesor de la zona de relleno de manera más precisa.
- Se debe realizar ensayos in situ para determinar de manera precisa las características geotécnicas de la zona de estudio.
- Para futuros trabajos de modelación se sugiere realizar más perfiles topográficos para tener una mejor interpolación del factor de seguridad y de la zonificación de la amenaza a movimientos en masa.
- Se recomienda realizar mediciones pluviométricas de la zona de estudio de manera permanente para tener un registro de la cantidad de lluvia de manera periódica, lo cual ayudará a futuros trabajos, recordando que en la zona de estudio las fuertes lluvias son un factor detonante de movimientos en masa.
- Se recomienda realizar un estudio más detallado, el cual involucre la actividad de la lluvia en periodos de tiempo e intensidad, porque el método utilizado no refleja el comportamiento de la ladera ante grandes o pequeños periodos de lluvia o cómo puede influir la intensidad de la misma en la generación de movimientos en masa.
- Tomando en cuenta que los perfiles topográficos que se escogieron para realizar las simulaciones son laderas donde no han ocurrido movimientos en masa y a pesar de ello se encontró valores con un factor de seguridad dinámico menor a 1.1 y entre 1,1 a 1.5, se sugiere al municipio del DMQ, prestar mucha atención a estos lugares para futuras acciones de prevención o monitoreo de fenómenos de remoción en masa, especialmente cuando ocurre una fuerte lluvia.
- Se recomienda que los taludes de las vías sean estabilizados, y cuenten con cunetas de canalización del agua, que se generen sistemas de canalización y control del agua de las vías y sistemas de quebradas para evitar nuevamente efectos en los barrios que se ubican aguas abajo.
- Se sugiere realizar campañas informativas de riesgos geológicos en el barrio, considerando que tiene zonas con nivel de amenaza alta a media a movimientos en masa disparados por lluvias.
- Se recomienda que los mapas de amenaza obtenidos sean utilizados como herramientas de información para futuros trabajos o por las autoridades, especialmente del municipio del DMQ, para una mejor planificación de las construcciones futuras en el barrio, de tal manera que se pueda controlar la actividad antrópica en la zona de estudio, y prevenir la expansión o generación de

nuevas zonas inestables con un nivel de amenaza alto a medio a movimientos en masa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A. (1996). Evolución geológica cuaternaria y paleosismicidad de la Cuenca de Quito, Ecuador. Tesis de Grado, EPN, Quito, Ecuador, 377 p.
- Alvarado, A. (2012). Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur. Université de Grenoble.
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., Segovia, M., Rolandone, F., & Cisneros, D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador: EASTERN LIMIT OF THE NORTH ANDEAN SLIVER. *Tectonics*, 35(5), 1048–1065.
<https://doi.org/10.1002/2016TC004117>
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., Lamarque, G., Yepes, H., Mothes, P., Rolandone, F., Jarrín, P., & Quidelleur, X. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *Tectonics*, 33(2), 67–83.
<https://doi.org/10.1002/2012TC003224>
- Ávila, G., Cubillos, C., Granados, A., Medina, E., Rodríguez, É., Rodríguez, C., y Ruíz, G. (2016). Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano
- Baldock, J.W. (1982). Geology of Ecuador. Explanatory Bulletin of the National Geological Map of the Republic of Ecuador 1:1,000,000 Scale. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas Quito, Ecuador p. 54.
- Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., Navarro, J. M., y Santacroce, R. (1988). Plio-quaternary volcanism in Ecuador. *Geological Magazine*, 125 (1), 1-14.

- Bishop A.W. (1955). The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. Geotechnique. Vol 5.
- Bravo, D. (2019). Nueve heridos tras deslizamiento de tierra en Santa Teresita de Conocoto. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/deslave-viviendas-conocoto-lluvia-quito.html>
- Camino, D. M. (2019). Análisis del Nivel de Riesgo-exposición a Amenazas por Movimientos en Masa en el barrio Santa Teresita de Conocoto, Zona Valle de los Chillos, Distrito Metropolitano de Quito. [Tesis Ingeniería Geológica, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19982>
- Cañari, M., y Alva, J. (2011). Anàlisis de Estabilidad de Taludes de la Costa Verde. Lima, Perú.
- Chango, D., y Montatixe, E. (2019). Análisis de Estabilidad de Taludes en un Tramo de las Avenidas Simón Bolívar y Gonzalo Pérez Bustamante, Distrito Metropolitano de Quito. [Tesis Ingeniería Geológica, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19971>
- Córdova, M., y Vallejo, A. (2012). Riesgos urbanos en América Latina. Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales, 11, Article 11. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.11.2012.912>
- Crozier, M. (1999). Prediction of rainfall-triggered landslides: a test of the antecedent water status model. Earth Surf Proc Land 24: 825–833
- Cruden, D. (1991). A simple definition of a Landslide. Boletín N°43, International Association of Engineering Geology.
- Cruden, D.M., y Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes: Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247, National Academy Press, Washington D. C., 36-75.

- Cruz, J. (2021). Guía Paso a Paso para el Cierre Técnico de un Pozo Séptico. https://www.tomorrowcities.org/sites/default/files/resources/2021-07/GUIA_TECNICA_CIERRE_POZO_FINAL%5B2%5D.pdf
- De Vita, P. (2000). Fenomeni di instabilità della coperture piroclastiche dei monti Lattari, di Sarno e di Salerno (Campania) ed analisi degli eventi pluviometrici determinanti. *Quaderni di Geologia Applicata*, 7(2): 213–235.
- Delgadillo, O., y Pérez, L. (2016). Medición de la infiltración del agua en el suelo Método de doble anilla. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. http://www.centro-agua.umss.edu.bo/files/shares/serie-tec/2016_Medicion_infiltracion_doble_anilla.pdf?fbclid=IwAR1Wzhr5lIXJgxbpckLu vR9sEie1IJ7wZ9uGLP9cdeLdxNPkKYQPSiDCBWk
- Dikau, R. (2004). *Mass Movement: Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge, London, 644-652.
- Dikau, R., Brunsten, D., Schrott, L., y Ibsen M. L. (1996). *Introduction: Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. Wiley. Chichester, 1-12.
- Distrito Metropolitano de Quito. (2012). *PLAN METROPOLITANO DE DESARROLLO 2012 - 2022*.
- Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos. (2019). Informe técnico de emergencia en barrio Santa Teresita de Conocoto (No. 005-E-AT-DMGR-2019; p. 14). http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Circulares/2019/046-DESLAVE-SECTOR%20SANTA%20TERESITA%20DE%20MIRAVALLE-INFORME/ANEXO.pdf
- El Comercio. (2012). Deslizamientos e inundaciones por lluvias. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/deslizamientos-e-inundaciones-lluvias.html>
- Espinosa, T. (2022). Estudio de los Movimientos en Masa como -Eventos Morfoclimáticos- en el Periodo 1900 a 2020 Sector Norte del Distrito Metropolitano

de Quito. [Tesis Ingeniería Geológica, Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22841>

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD). (2004).
<https://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm>

Fellenius W. (1922). Statens Jarnjvagens Geotekniska Commission, Stockholm, Sweden.

Freddlund D.G., y Krahn, J. (1977). Comparison of slope stability methods of analysis, Canadian geotechnical Journal, Vol. 14, pp. 429-439.

GEA. G. (2008). Gestión para la Educación Ambiental más de 12 años contribuyendo a la Educación Ambiental. Boletín Electrónico, 6(21).

GEMMA. (2007). Movimientos en Masa de la Región Andina: Una guía para la Evaluación de Amenazas.

Geoslope. (2007a). Seep/W (7.17) [Software de computador]. GEO-SLOPE International, Ltd. <https://www.geoslope.com/>

Geoslope. (2007b). Slope/W (7.17) [Software de computador]. GEO-SLOPE International, Ltd. <https://www.geoslope.com/>

Glade, T., Crozier, M.J., Smith, P. (2000). Applying probability determination to refine landslide triggering rainfall thresholds using an empirical Antecedent Daily Rainfall Model. Pure Appl Geophys, 157(6/8): 1059–1079.

Gutiérrez, M. (2008). Geomorfología. Pearson Educación, S.A.

Gutscher, M., Malavieille, J., Lallemand, S., y 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., y Mothes, P. (1997). El origen y la edad de la Cangahua superior, valle de Tumbaco (Ecuador). Suelos volcánicos endurecidos (Quito, diciembre 1996), 19-28.
- Hey, R. (1977), Tectonic evolution of the Cocos-Nazca spreading center. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88(10), 1404–1420.
- Highland, L., y Bobrowsky, P. (2008). *The landslide handbook a- guide to understanding landslides*: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p.
- Hughes, R., y Pilatasig, L. (2002). Cretaceous an Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes Of Ecuador. *Tectonophysics*, 29-48.
- Hungr, O., Leroueil, S., y Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
- INEC. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>.
- Janbú, N. (1968). Slope stability computations. Soil mechanics and foundation engineering report. Technical University of Norway, Trondheim.
- Jibson, R. W. (2006). The 2005 La Conchita, California, Landslide. *Landslides* (2006) 3: 73–78.
- Jiménez, E. (1999). Zonificación de las laderas inestables considerando el efecto sísmico, caso de las cuencas Rumipamba y Rumiurco, Quito. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Lavenu, A., Winter, T., y Dávila, F. (1995). A Pliocene-Quaternary compressional basin in the Interandean Depression, Central Ecuador. *Geophysical Journal International*, 121(1), 279–300. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb03527.x>
- Litherland, M., Aspden, J., y Jemielita, R.A. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. British Geological Survey.

- Lonsdale, P. (2005). Creation of the Cocos and Nazca plates by fission of the Farallon plate, *Tectonophysics*, 404(3-4), 237–264, doi: 10.1016/j.tecto.2005.05.011.
- Lonsdale, P., y Klitgord K. D. (1978), Structure and tectonic history of the eastern Panama Basin. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89(7), 981–999.
- Lowe, J., Karafiath, L. (1960). Effect of anisotropic consolidation on the undrained shear strength of compacted clays. *ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils*, pp 837-858.
- Michaud, F., Witt, C., y Royer J. Y. (2009). Influence of the subduction of the Carnegie volcanic ridge on Ecuadorian geology: Reality and fiction. *Geol. Soc. Jpn. Mem.*, 204, 217–228. doi:10.1130/2009.1204(10).
- Morales, D. (2015). Incorporación de la Reducción del Riesgo de Desastres a Movimientos en Masa en el Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Quito [Tesis – Maestría en Desarrollo Regional y Planificación Territorial, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/8596>
- Moreiras, S. M. (2005). Climatic effect of ENSO associated with landslide occurrence in the Central Andes, Mendoza Province, Argentina. *Landslide 2*: 53–59.
- Noroña, E. (2021). Modelo Geológico del Macro Movimiento en Masa Conocoto-La Arnenia, asociado al Sistema de Fallas de Quito, DMQ. [Tesis Ingeniería Geológica, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21918>.
- Mothes, P., Hall, M., y Janda, R. (1998). The enormous chillos valley lahar: An ashflow-generated debris flow from cotopaxi volcano, ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 59(4), 233-244.
- Pazos, V., y Vinuesa, W. (1990). Contribución al estudio sobre los deslizamientos en el Ecuador. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

- Plaza, G. (1998). Deslizamientos, zonas expuestas en el Litoral, causas y efectos. Memoruas del Seminario Taller: Los desastres naturales y la estrategia de desarrollo a largo plazo. Guayaquil, Ecuador.
- Peltre, P. (1989). Riesgos naturales en Quito: lahares, aluviones y derrumbes del Pichincha y del Cotopaxi. Quito: Corporación Editora Nacional; Colegio de Geógrafos del Ecuador, 91 p. (Estudios de Geografía; 2). ISBN 9978-84-038-9.
- Peñafiel, L. (2009). Geología y Análisis del Recurso Hídrico Subterráneo de la Subcuenca del Sur de Quito. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
- Pullas, M., y Robalino, M. (2018). Zonificación de la Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). [Tesis Ingeniería Geológica, Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19790>
- Rahardjo, H., Ong, T. H., Rezaur, R. B., Leong, E. C. (2007). Factors Controlling Instability of Homogeneous Soil Slopes under Rainfall. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 133, No. 12 pp. 1532-1543.
- Robin, C., Eissen, J.-P., Samaniego, P., Martin, H., Hall, M., y Cotten, J. (2009). Evolution of the late pleistocene mojanda- fuya fuya volcanic complex (ecuador), by progressive adakitic involvement in mantle magma sources. Bulletin of volcanology, 71 (3), 233-258.
- Robin, C., Hall, M., Jimenez, M., Monzier, M., y 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.
- Rocscience. (2016). Slide (6.0) [Software de computador]. Rocscience Inc.
<http://www.rocscience.com>
- Rocscience. (2018). Slide (8.0) [Software de computador]. Rocscience Inc.
<http://www.rocscience.com>

Santillán, K., y Zamora, B. (2021). Análisis Climático y Cambio Climático en el Distrito Metropolitano de Quito. [Tesis de Ingeniería Ambiental, Escuela Politécnica Salesiana].

Secretaría de Seguridad DMQ. (2015). Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito (segunda).

Selby, M. J. (1993). Hillslope Materials and Processes. Oxford University Press.
<http://www5.unitn.it/Biblioteca/it/Web/EngibankFile/Hillslope%20materials%20and%20processes.pdf>

Soulas, J., Egüez, A., Yepes, H., y Perez, V. (1991). Tectónica activa y riesgo sísmico en los Andes Ecuatorianos y el extremo sur de Colombia. Boletín Geológico Ecuatoriano, 2(1), 3-11.

Spikings, R., Winkler, W., Seward, D., y Handler, R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. Earth Planet. Sci. Lett., 186, 57–73.

Suárez, J. (2009). Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Volumen 1, Primera Edición. Publicaciones UIS. Análisis Geotécnico. (pp. 1-36), Análisis de Estabilidad (pp. 127-172). El Agua (pp. 210-260).

Taipe, R. (2022). Estudio de los Movimientos en Masa como Eventos Morfoclimáticos en Periodo 1900 a 2020 Zona Sur del Distrito Metropolitano de Quito. [Tesis Ingeniería Geológica, Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22840>

Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T., y Mora, H. P. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America. Journal South Science, 157-171.

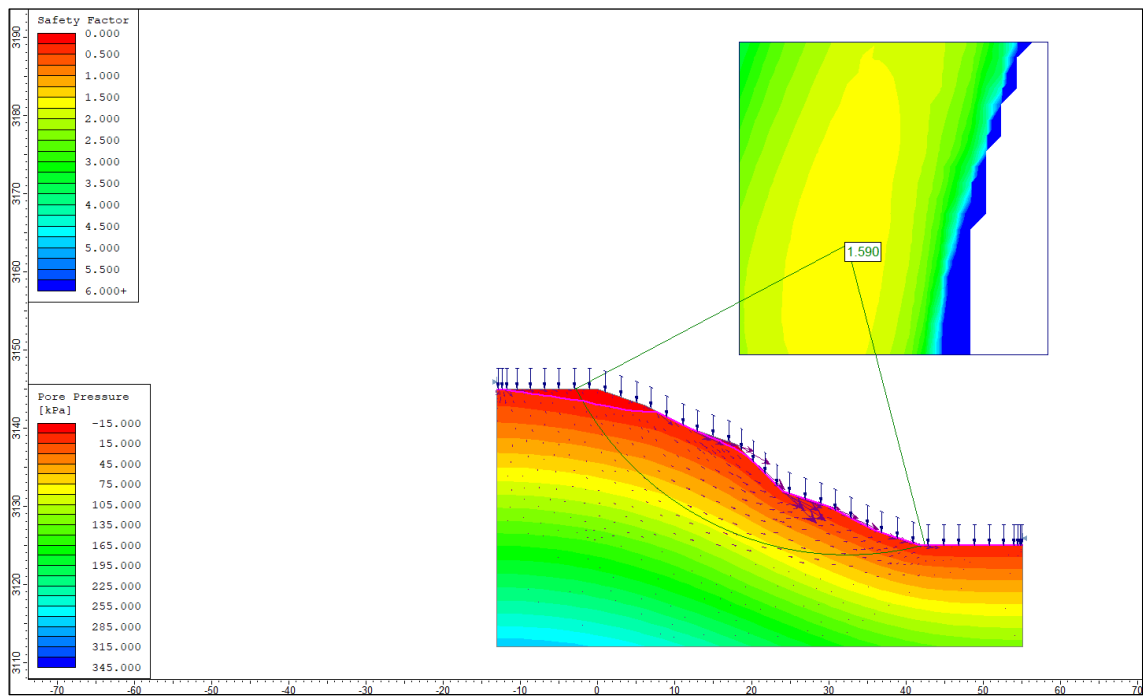
- UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. Geneva: United Nations International Strategy for Disaster Reduction.
- Valenzuela, P. (2005). Aplicación del Modelo Hídrico Swat 9.2 para el análisis del impacto de la deforestación y del avance de la frontera agrícola en la producción y almacenamiento del recurso agua en las partes alta 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.J. (1978). Slope movement types and processes. Special report 176: Landslides: Analysis and control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C. 11-33 pp.
- Vera, R., y López, R. (1986). El origen de la cangahua. Paisajes Geográficos CEPEIGE, (16).
- Villagómez, D. (2003). Evolución Geológica Plio-cuaternaria del dmq Central en Ecuador (zona de Quito-Guayllabamba-San Antonio de Pichincha).
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18366.43843>
- Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen, P., Tobler, St., y Egüez, A. (2005). The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(1), 5–19. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.06.006>
- Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J., Font, Y., & Cotton, F. (2016). A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic source definition and seismic hazard assessment: ECUADOR GEODYNAMICS AND PSHA. *Tectonics*, 35(5), 1249–1279. <https://doi.org/10.1002/2015TC003941>

ANEXOS

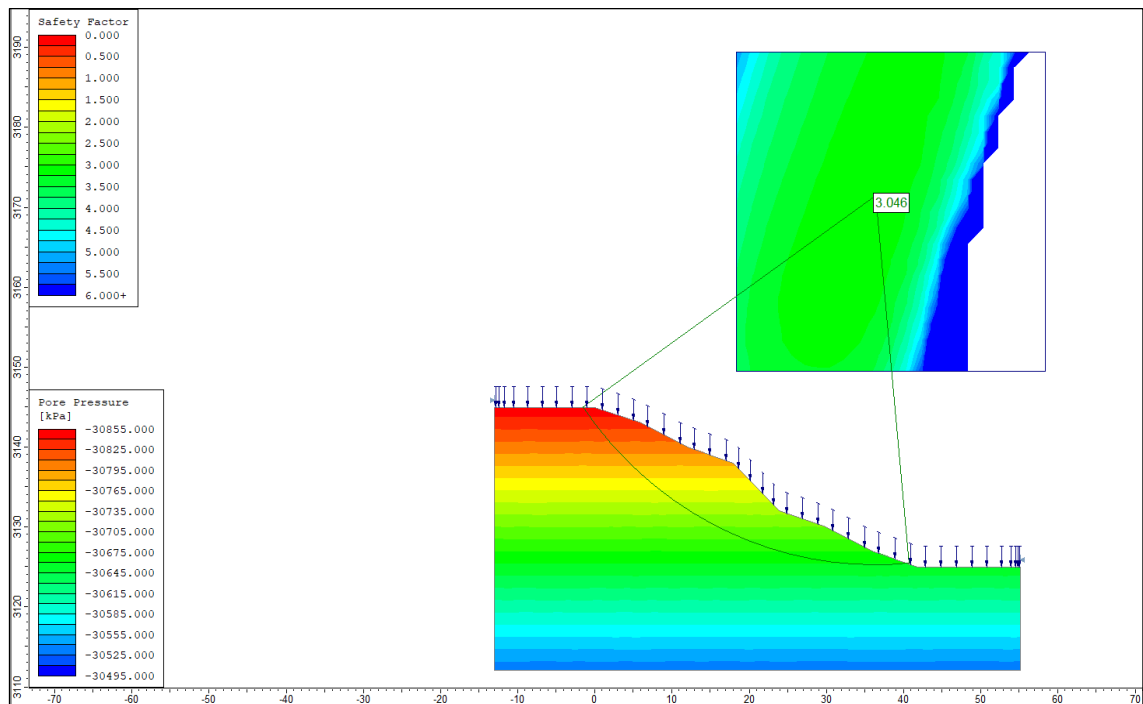
Anexo I – Modelamientos de análisis de estabilidad de taludes, utilizando presiones de poros mediante el uso software Slide 6.0

Perfil “A”

Modelamiento en Condiciones con Saturación

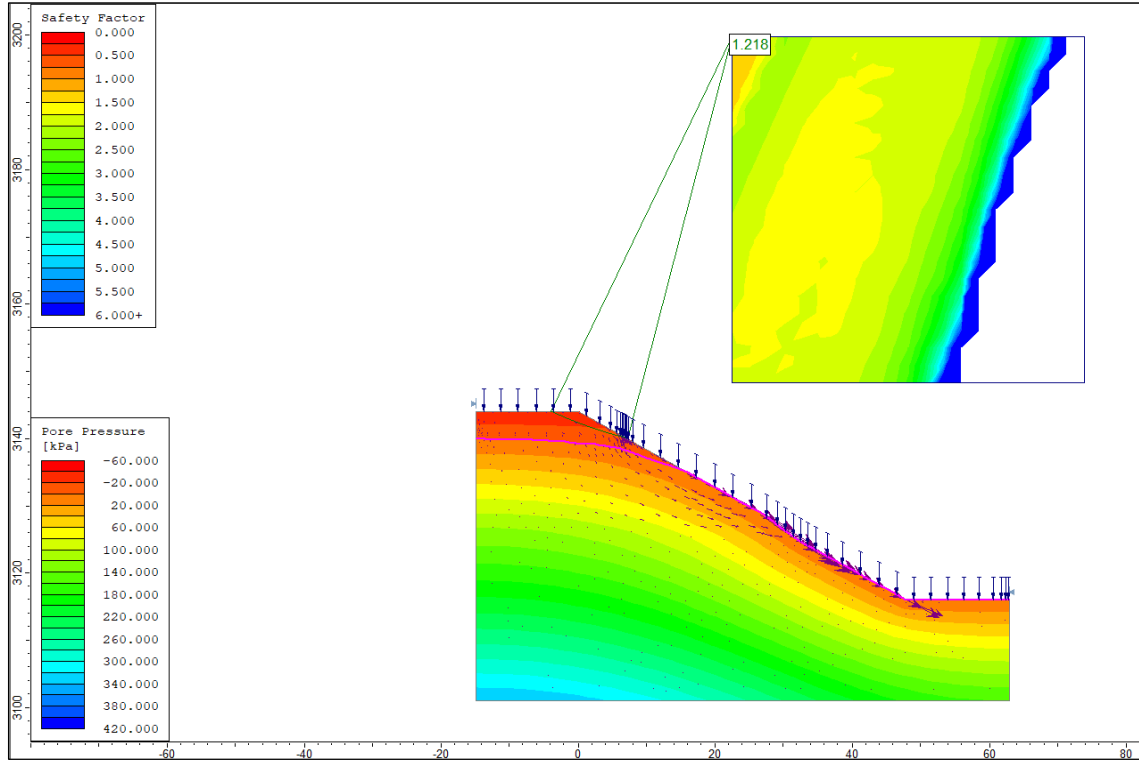


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

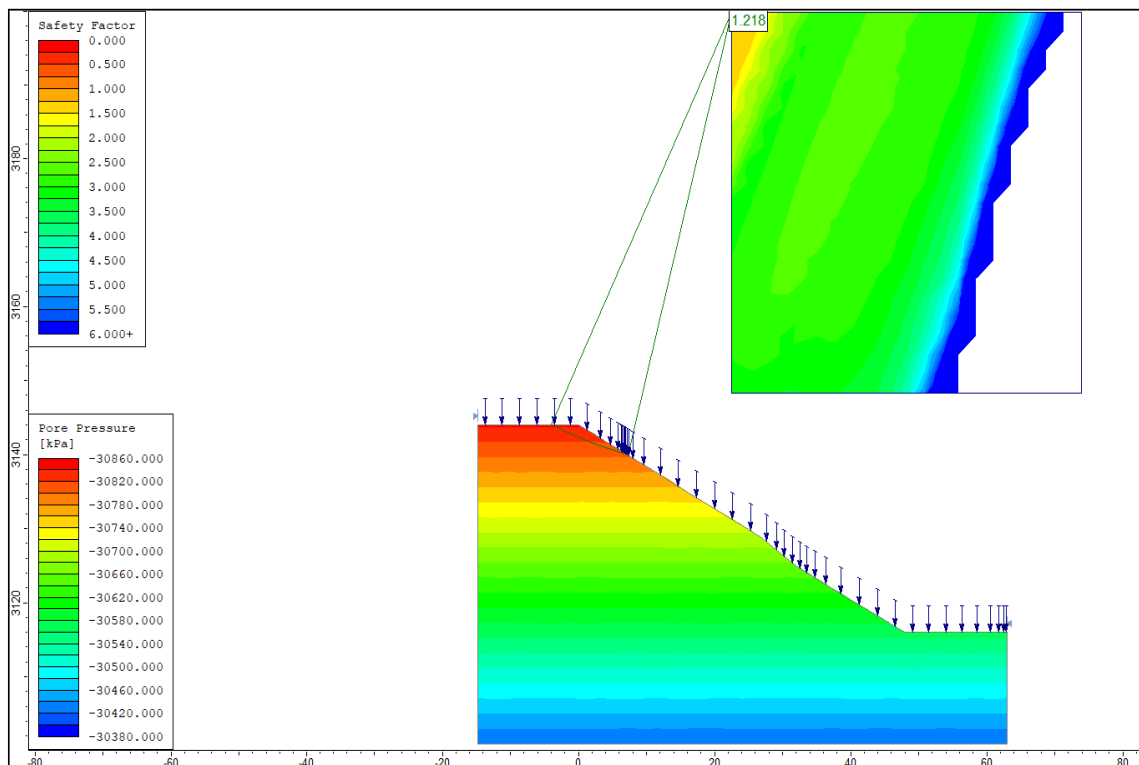


Perfil "M"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

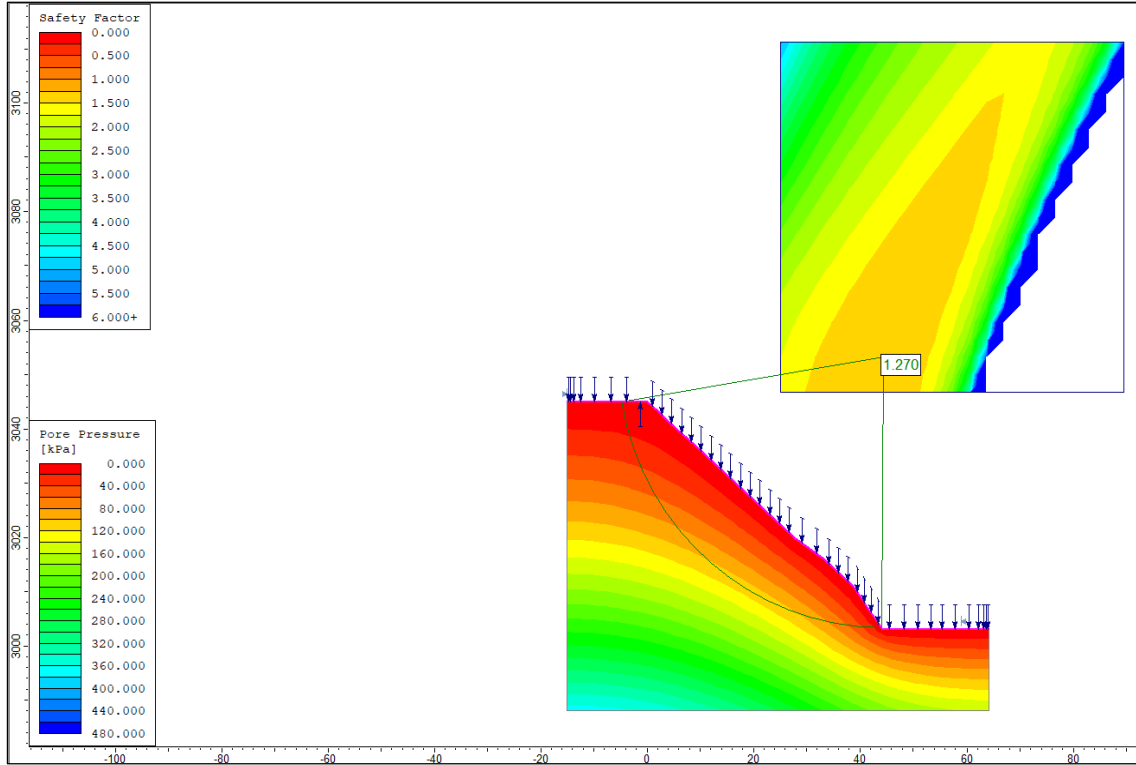


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

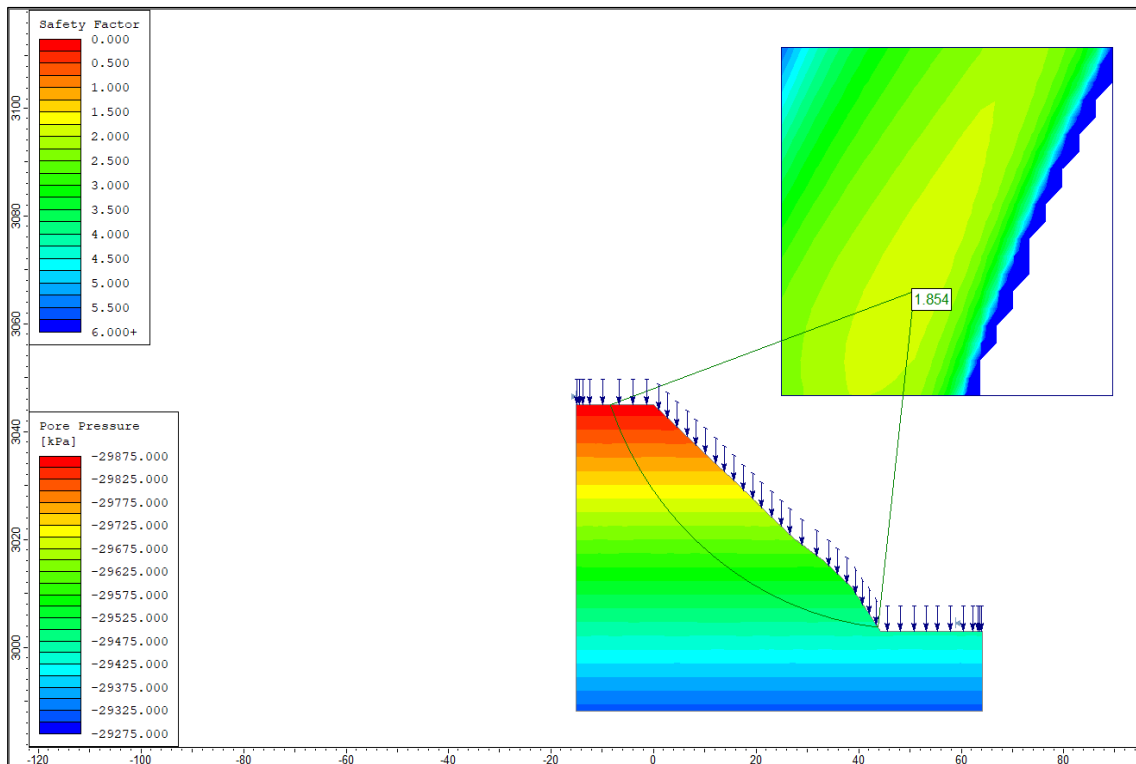


Perfil "Q"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

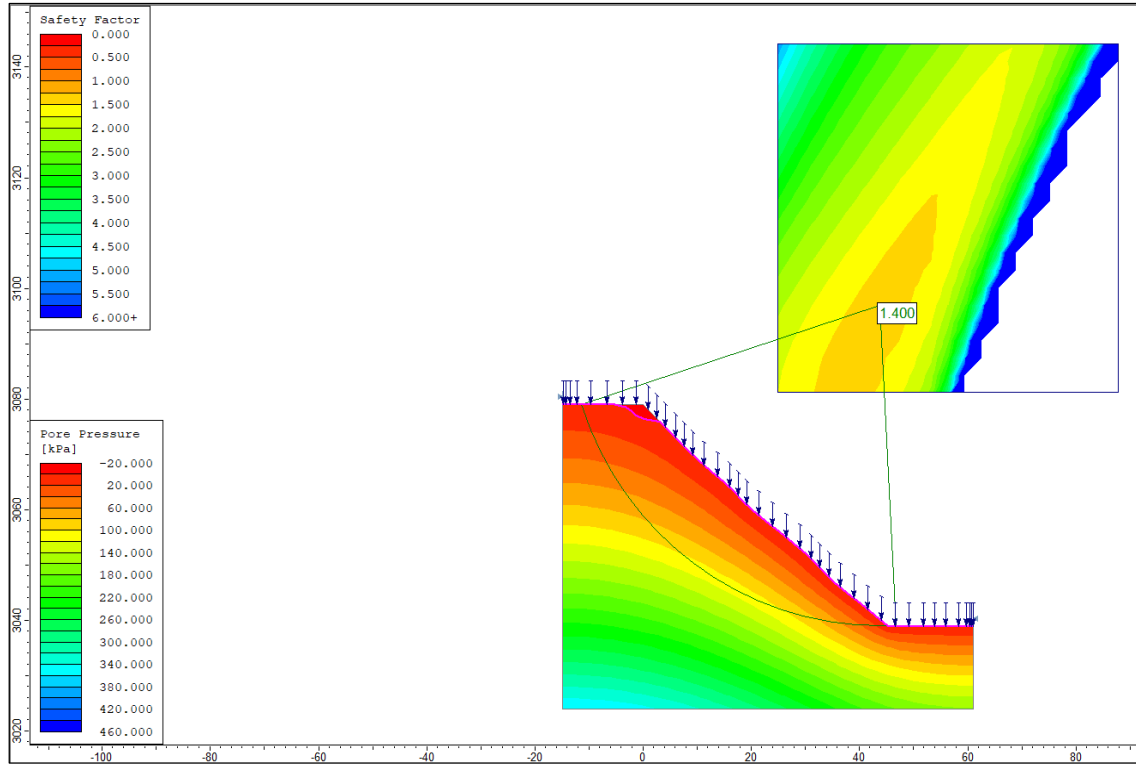


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

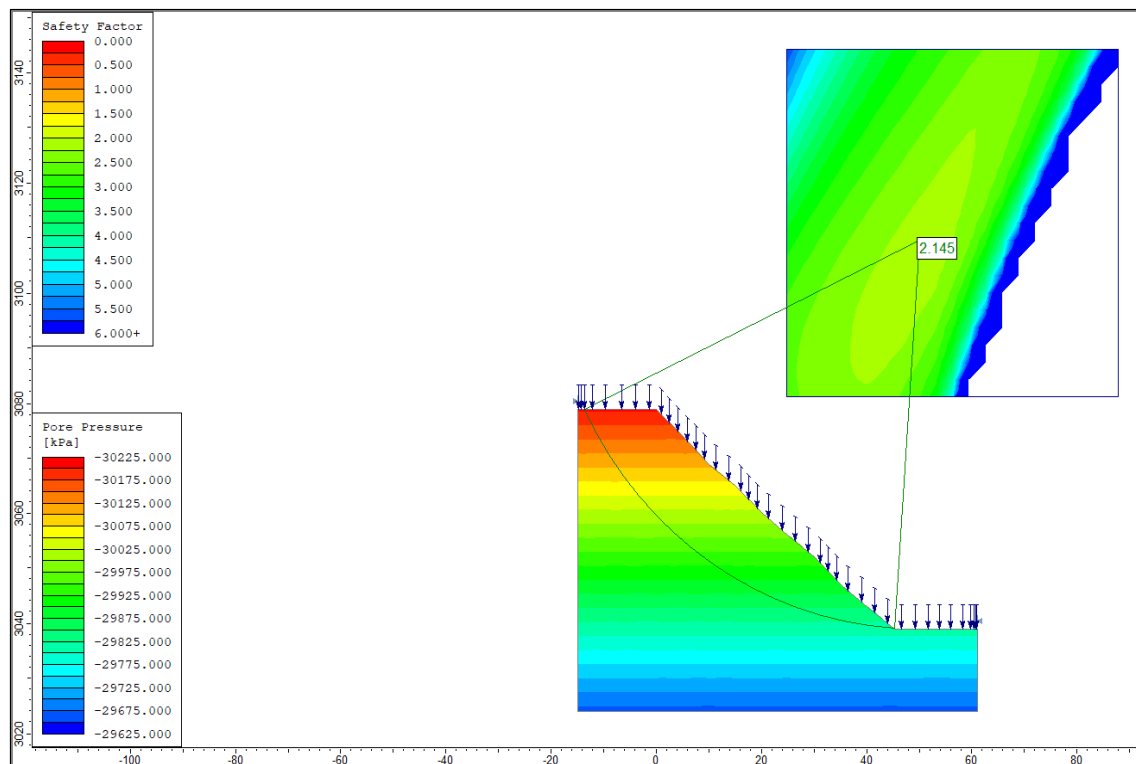


Perfil "U"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

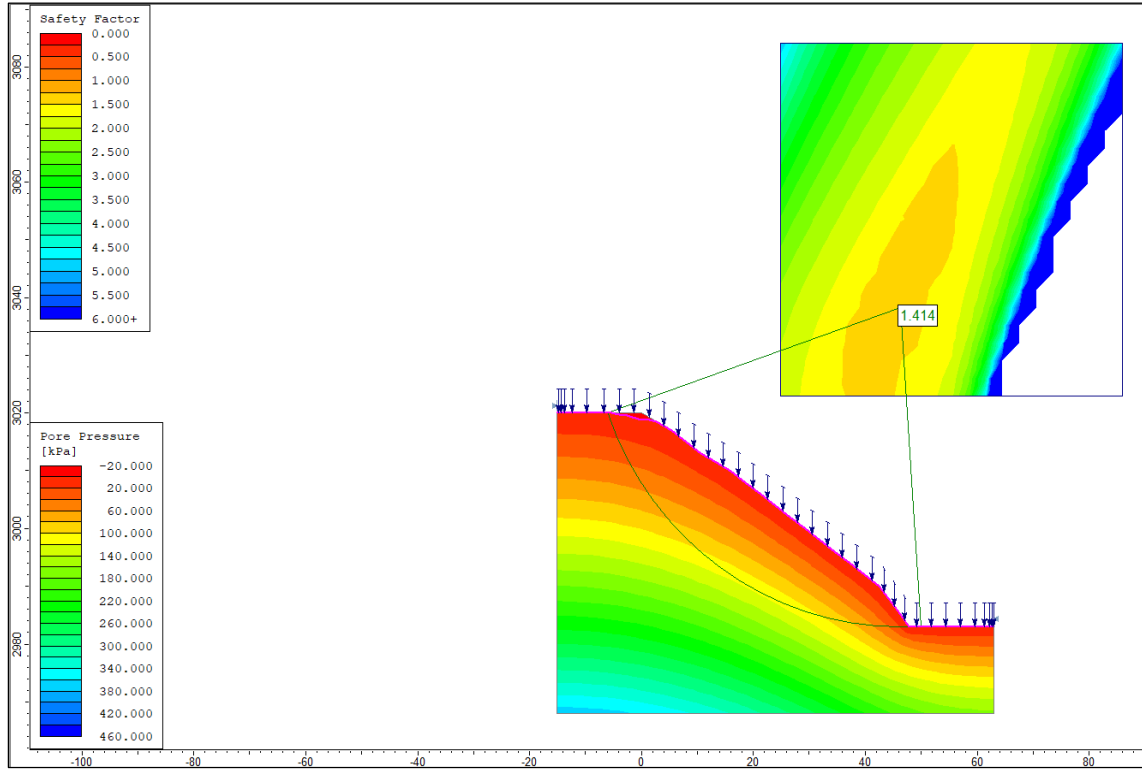


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

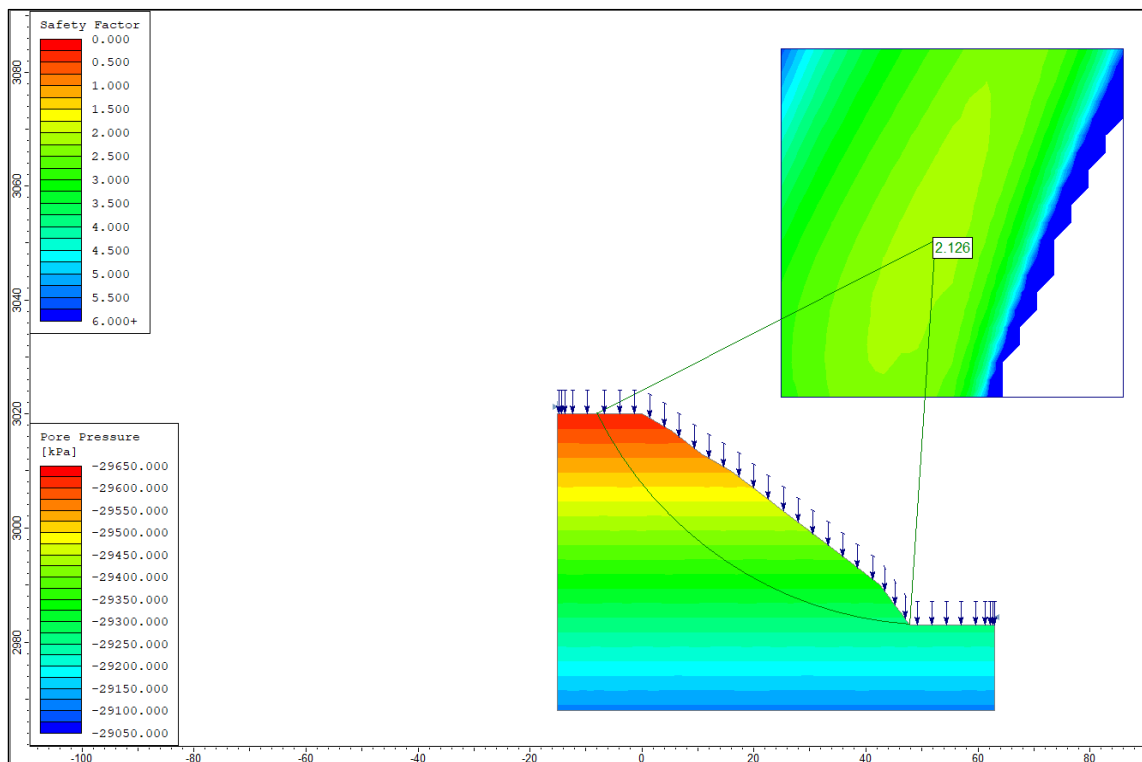


Perfil "V"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

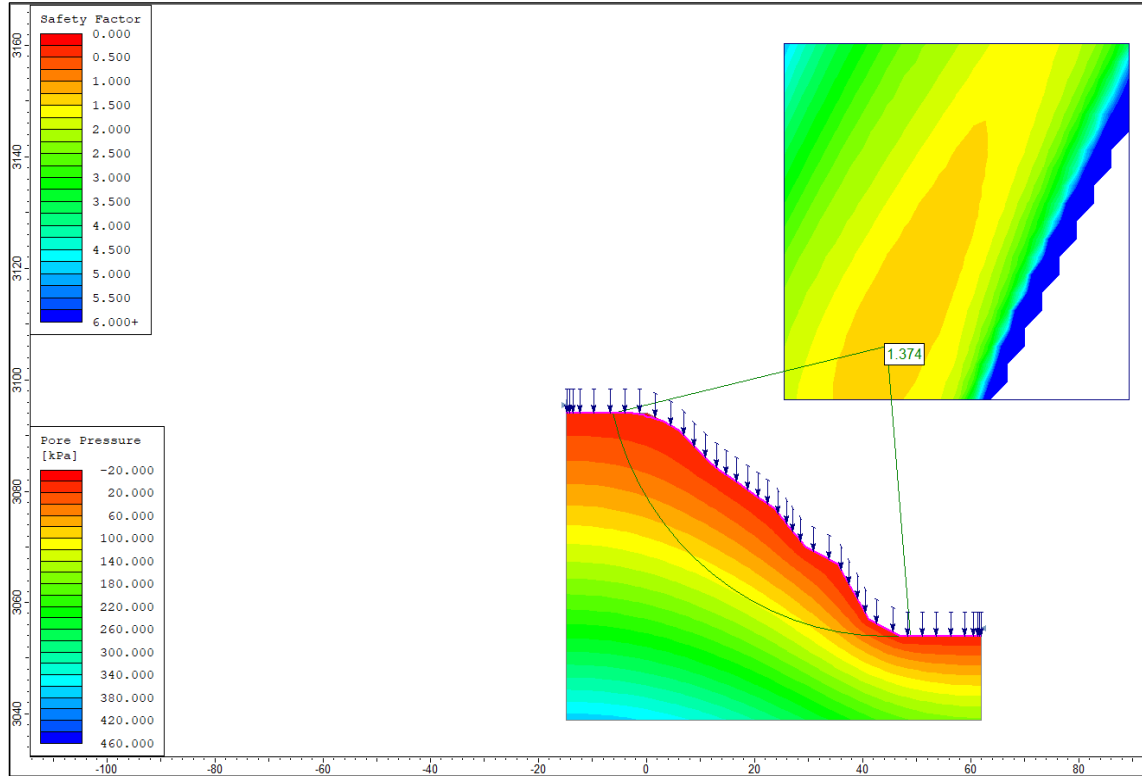


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

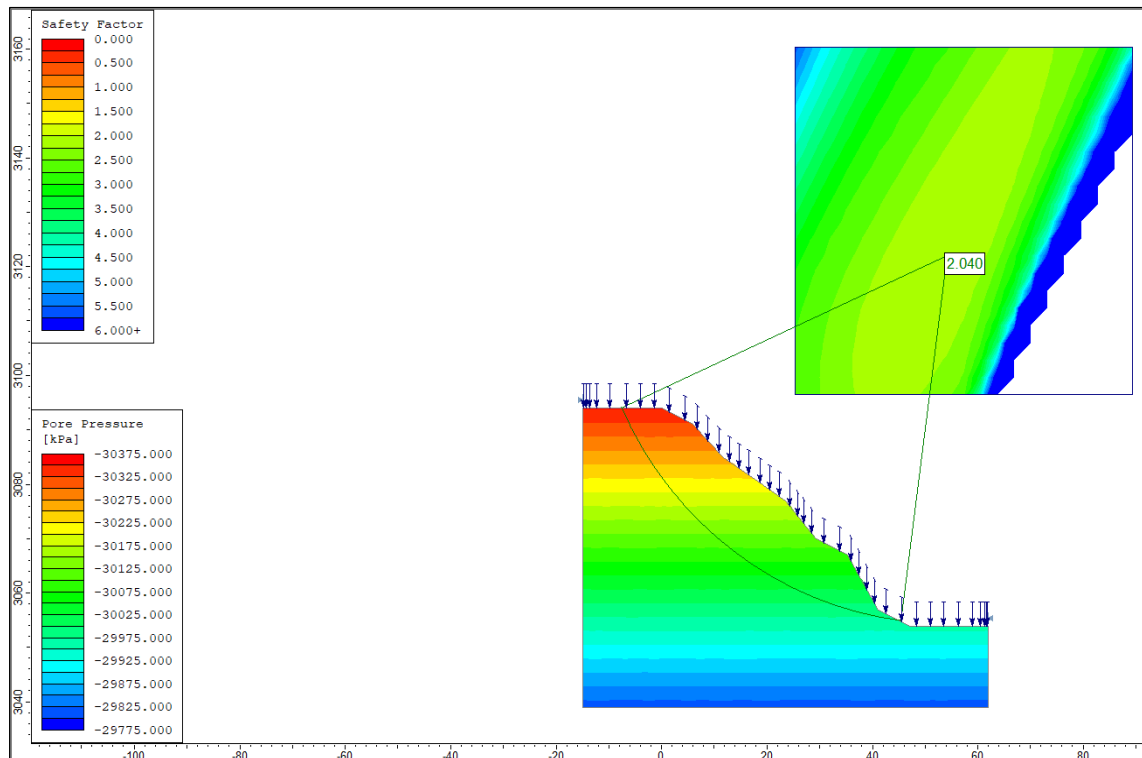


Perfil "X"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

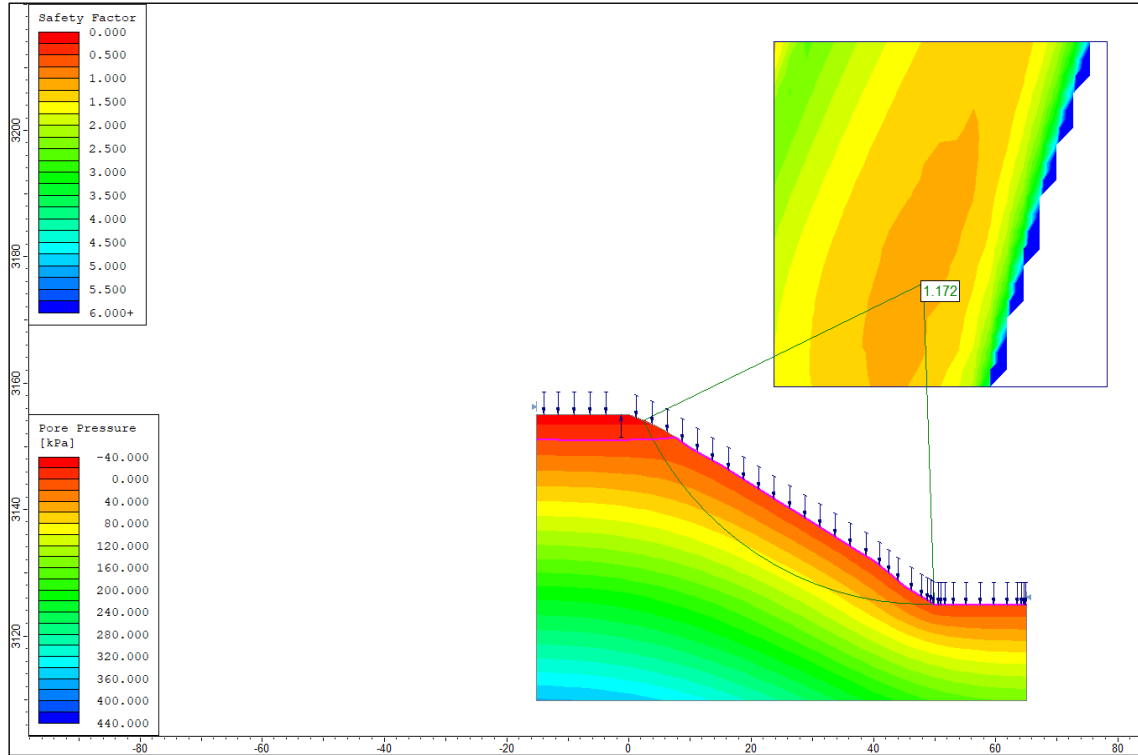


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

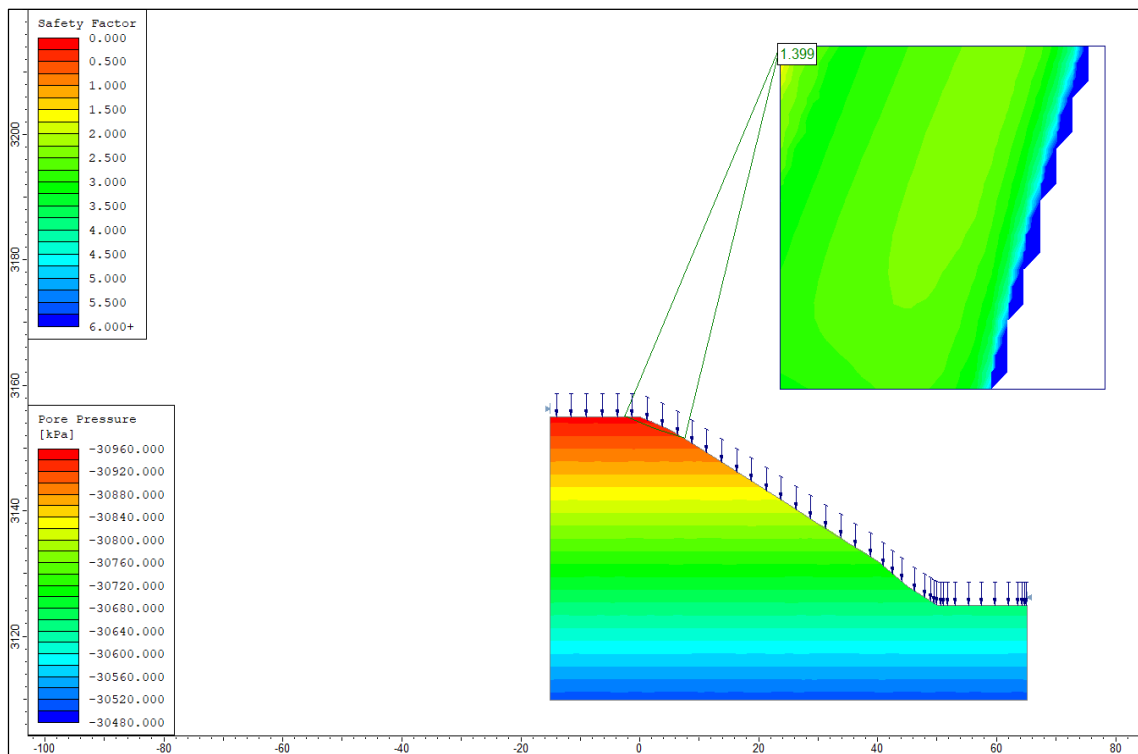


Perfil "AH"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

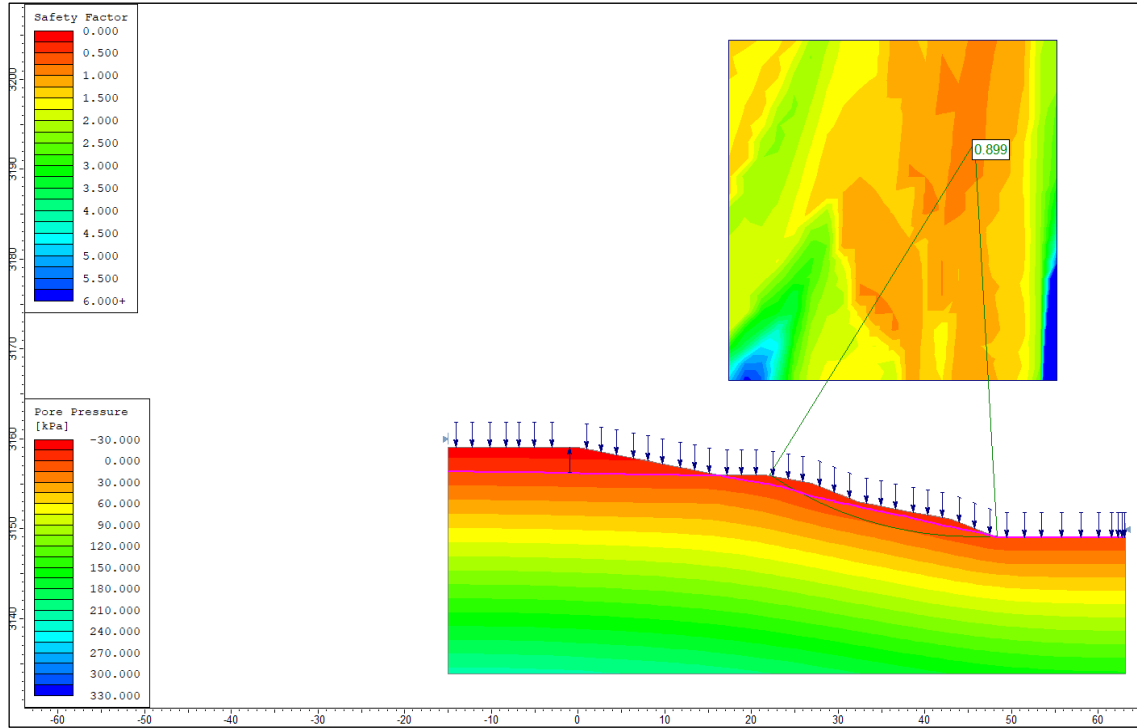


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

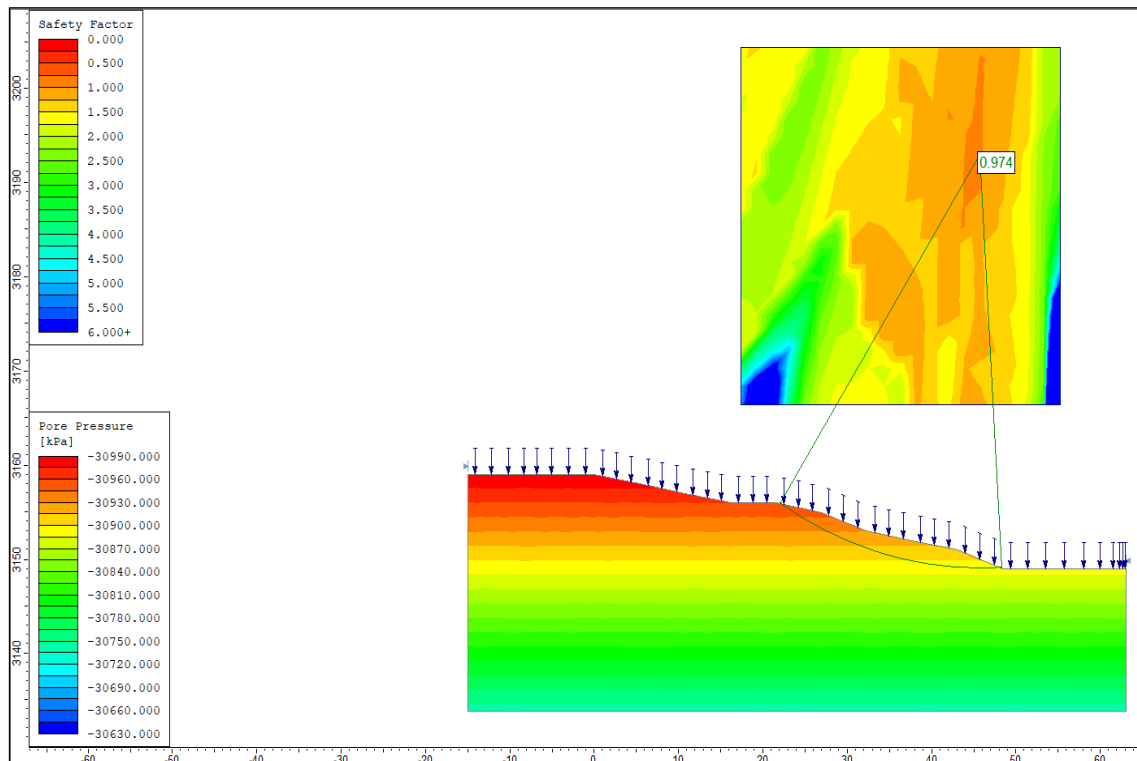


Perfil "AJ"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

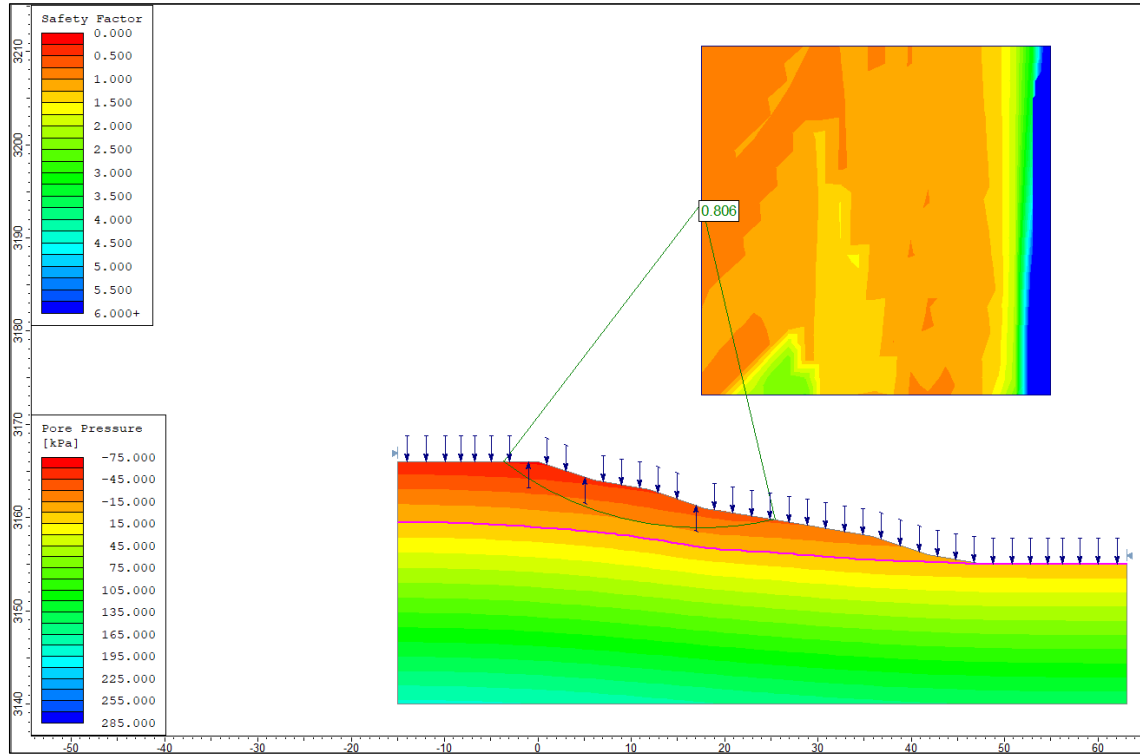


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

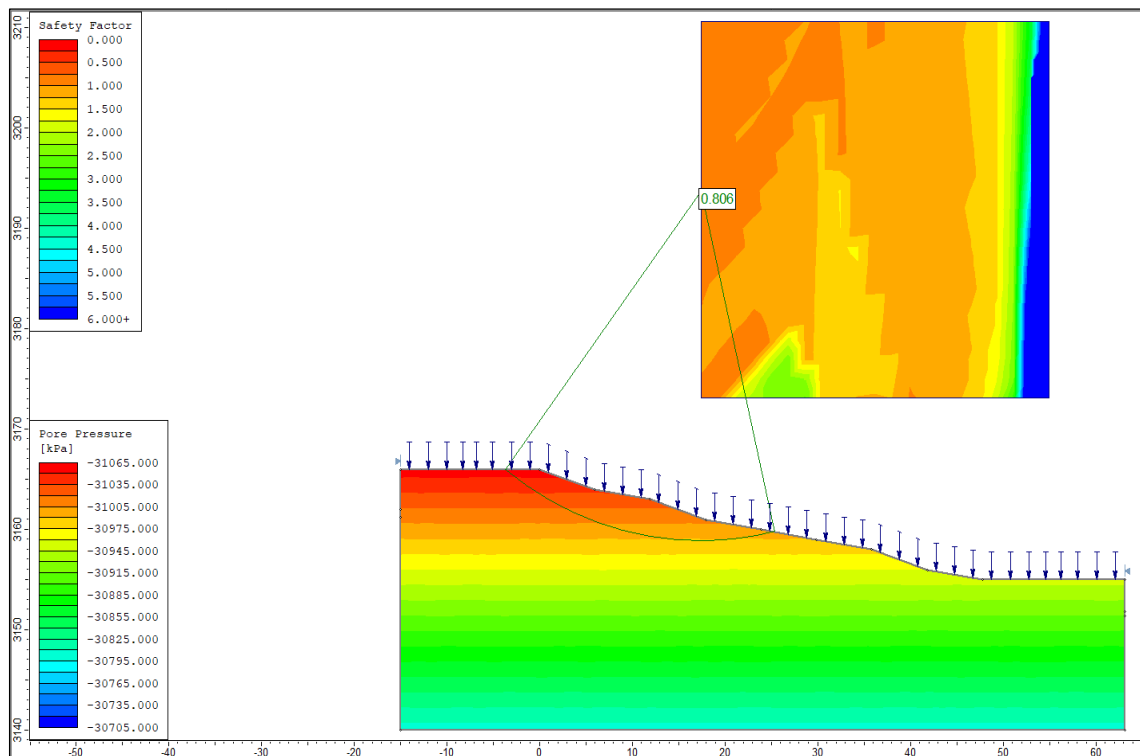


Perfil "AK"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

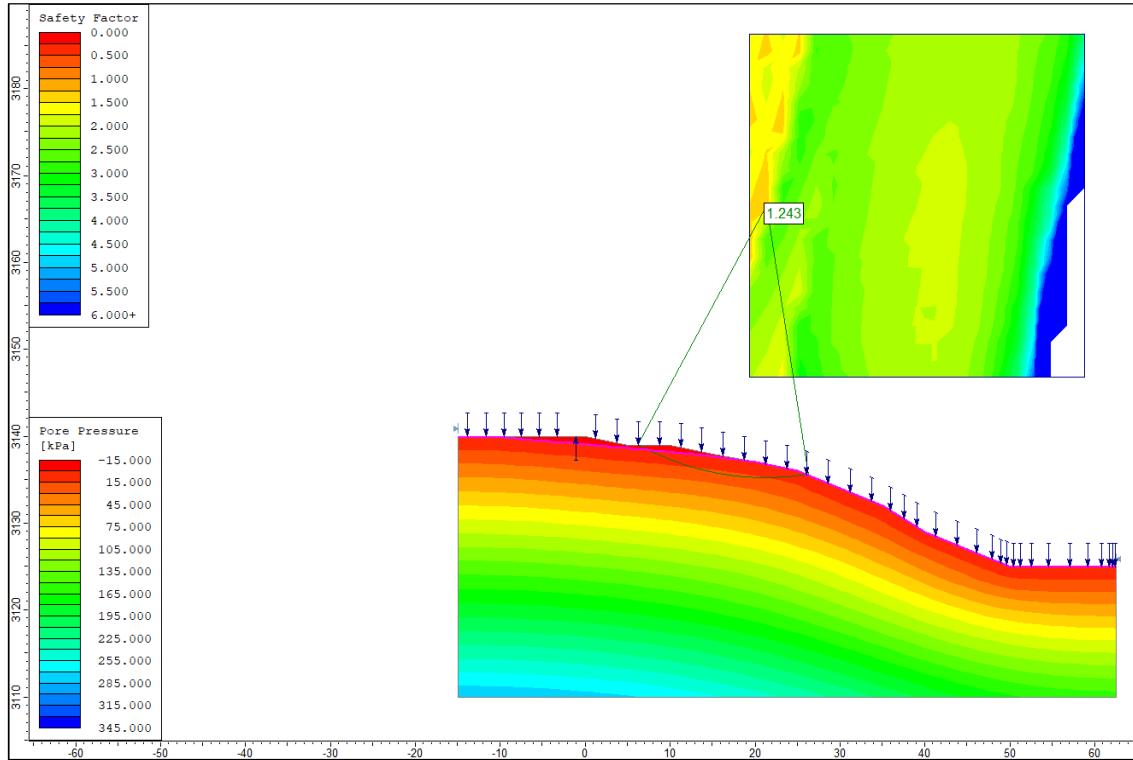


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

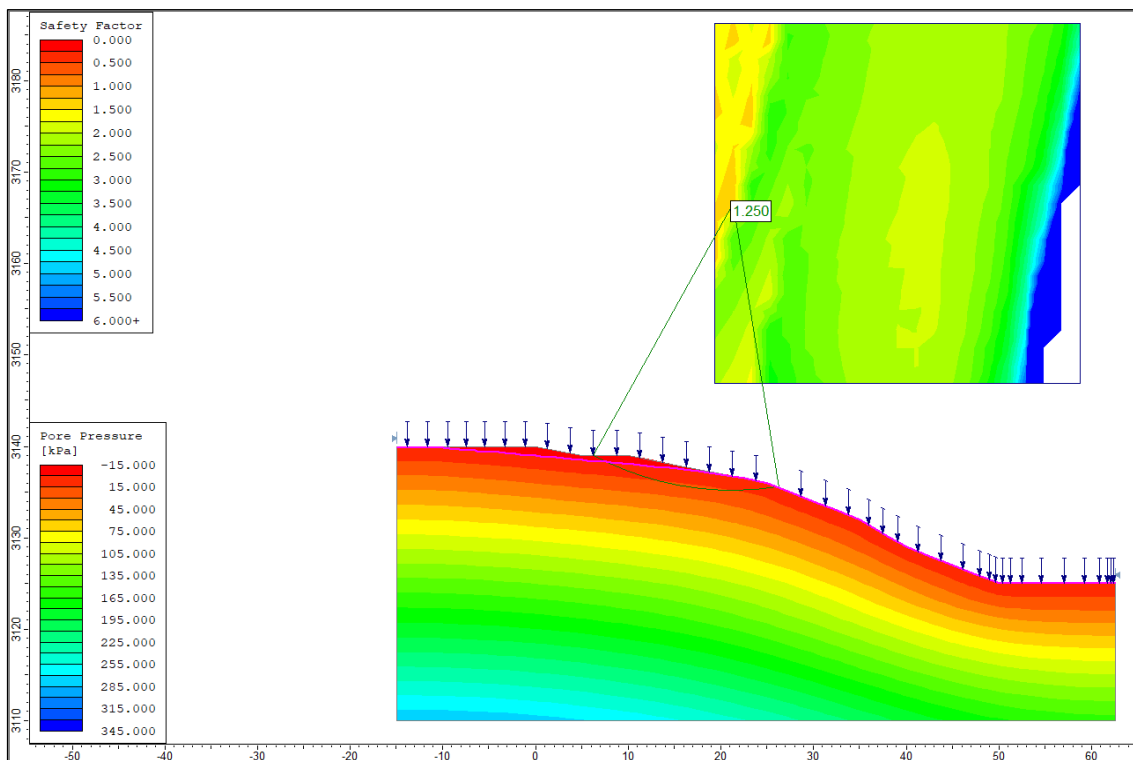


Perfil "AN"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

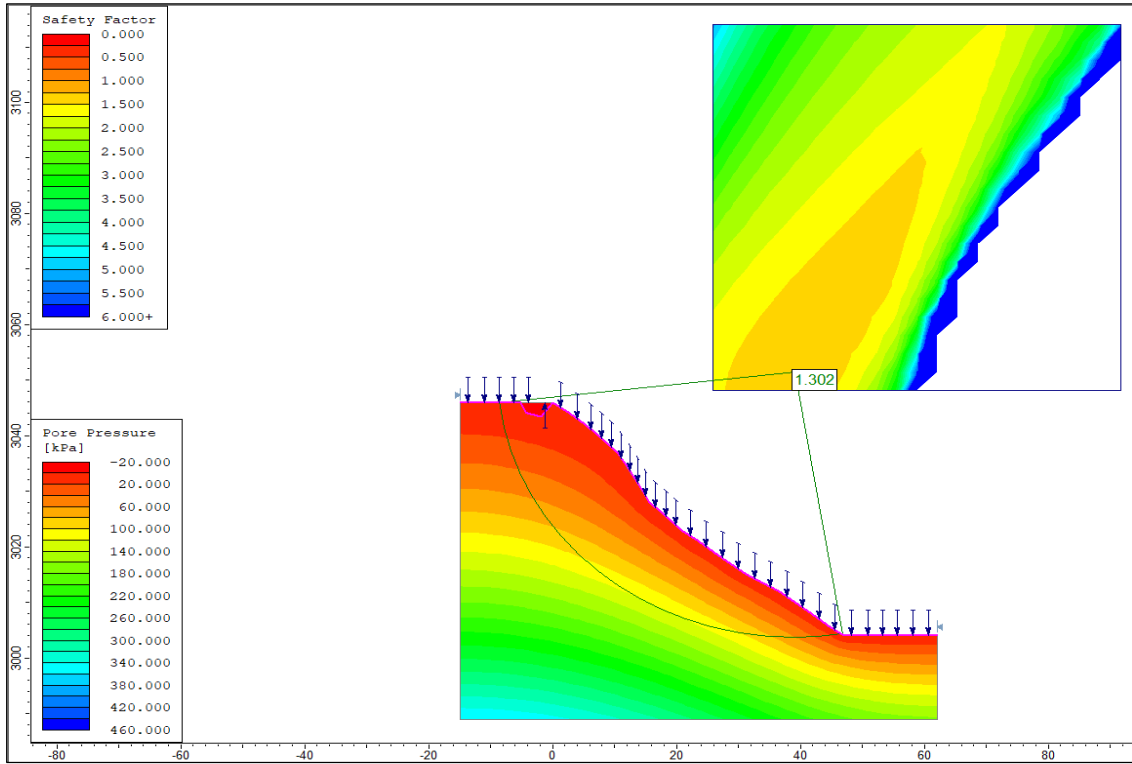


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

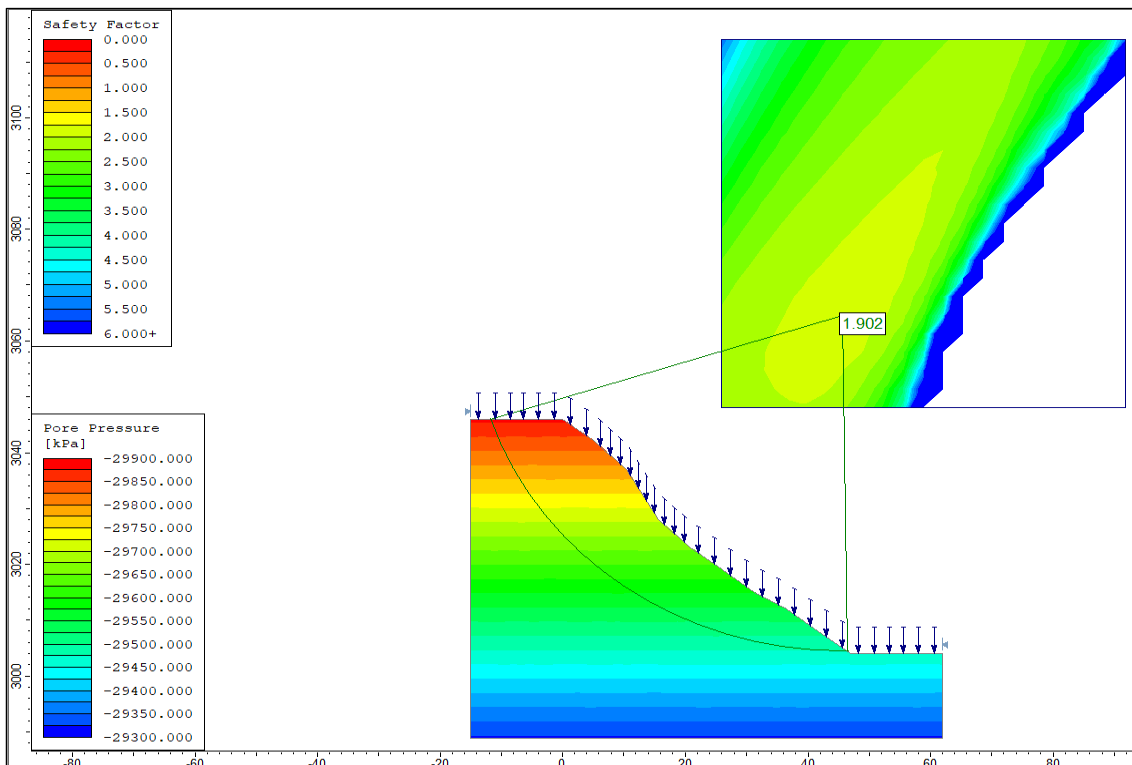


Perfil "AP"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

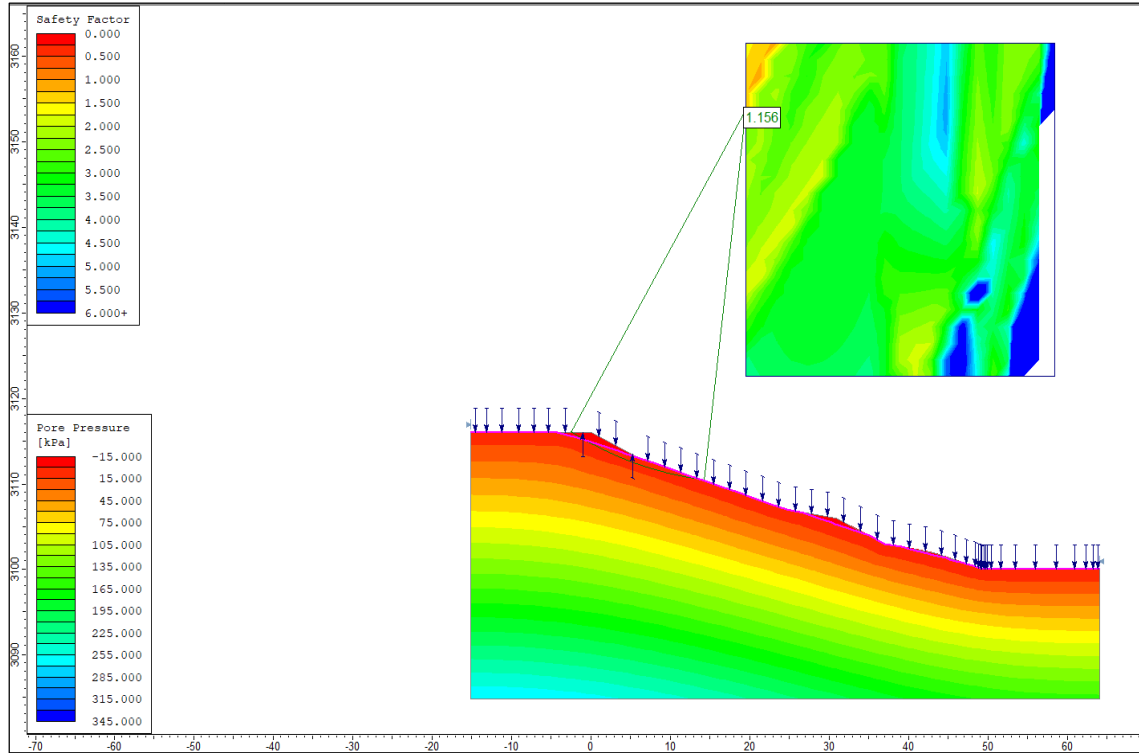


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

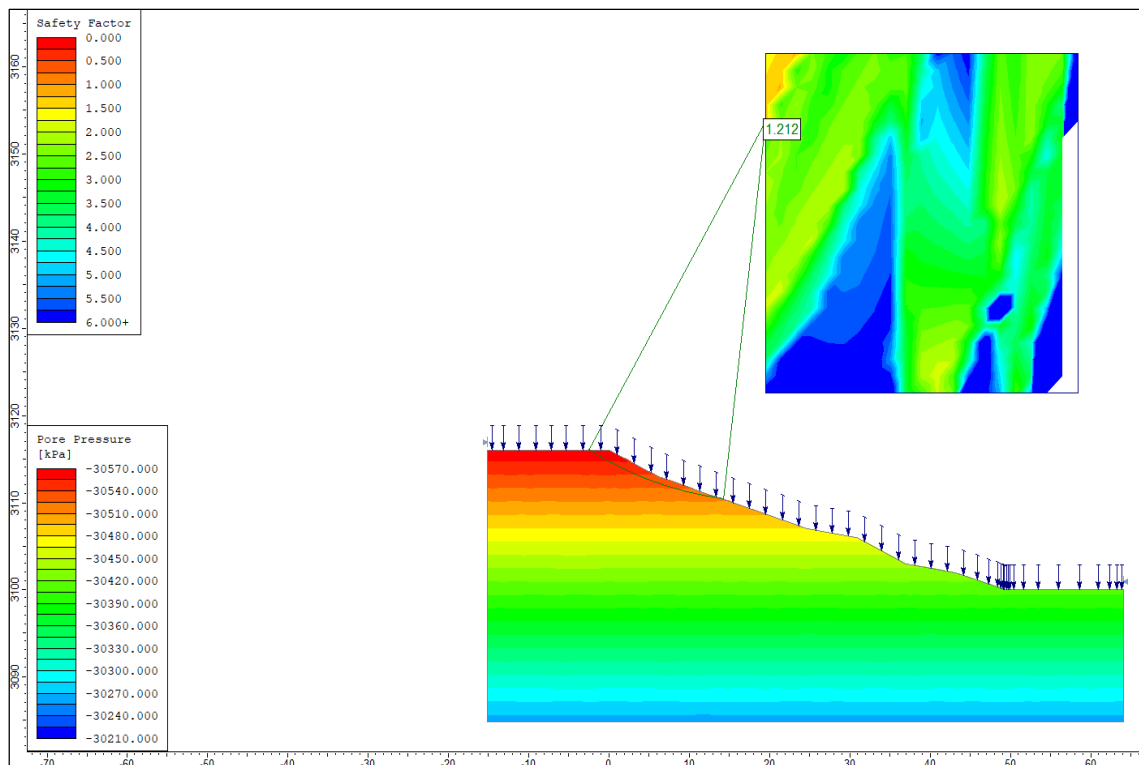


Perfil "AT"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

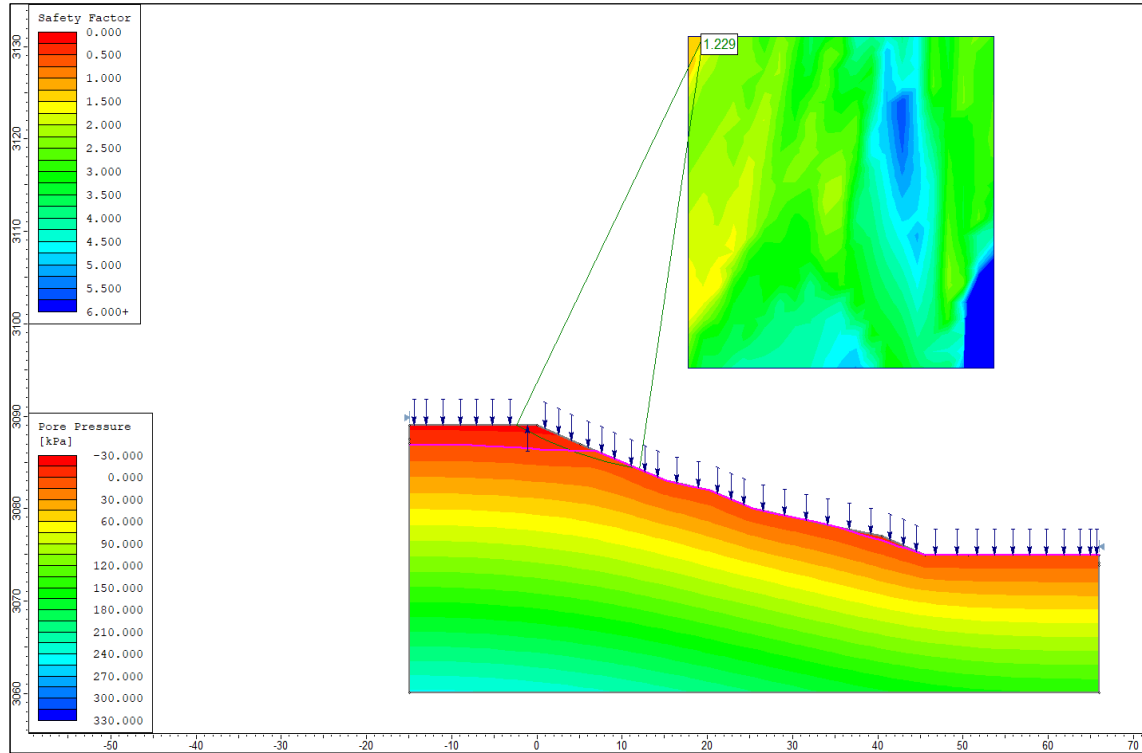


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

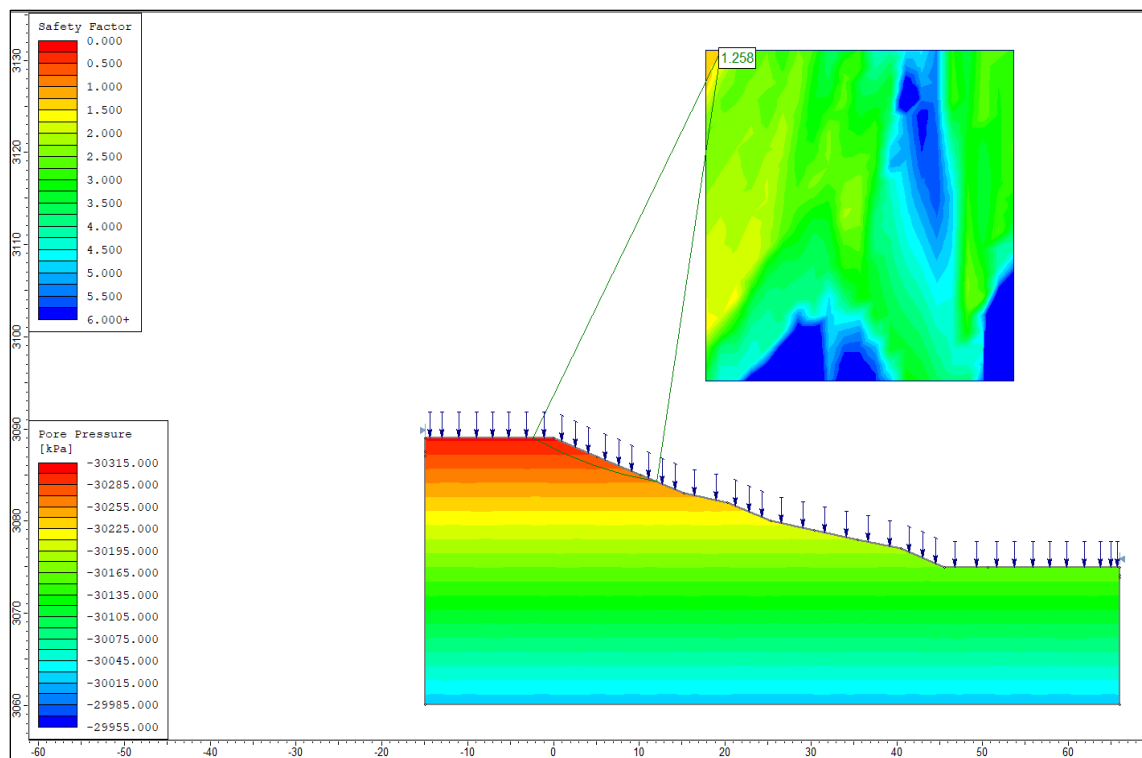


Perfil "AU"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

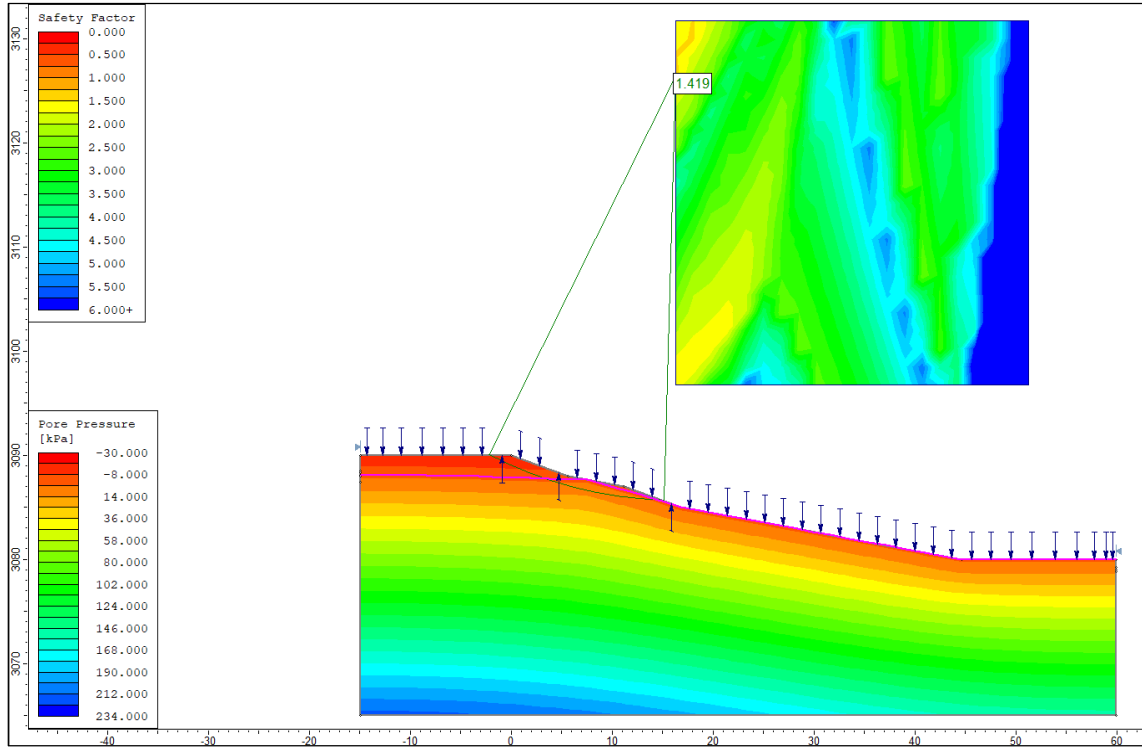


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

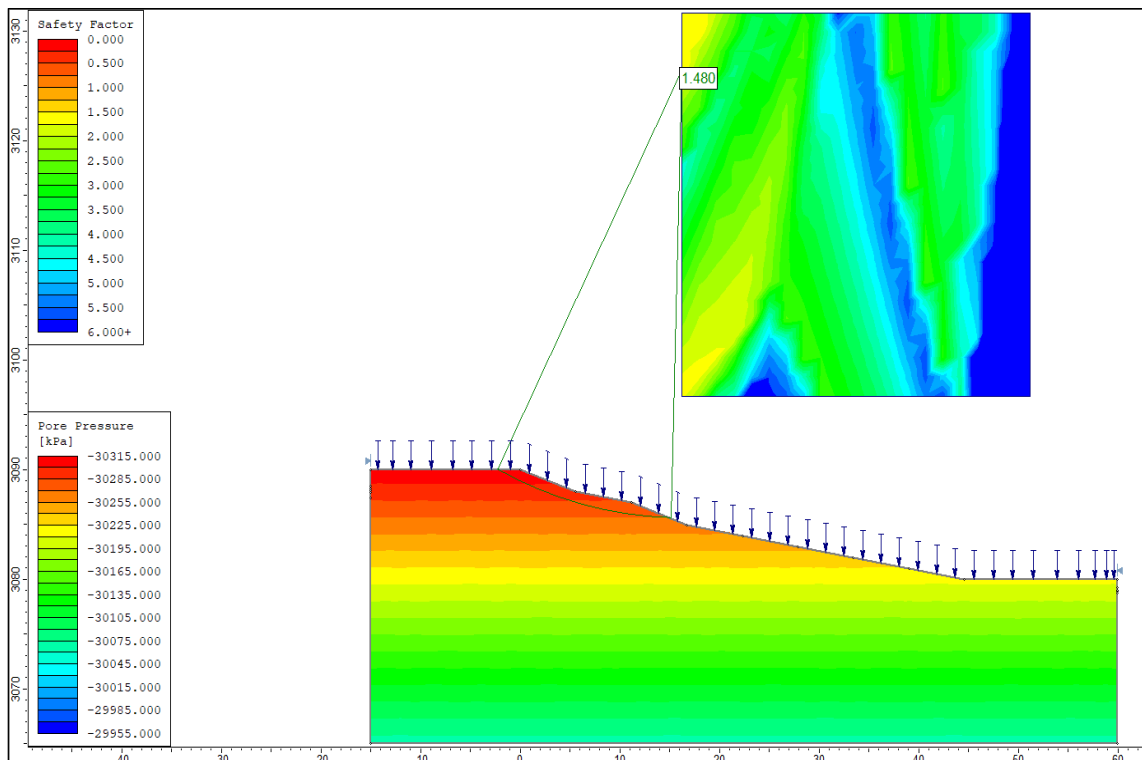


Perfil "AW"

Modelamiento en Condiciones con Saturación

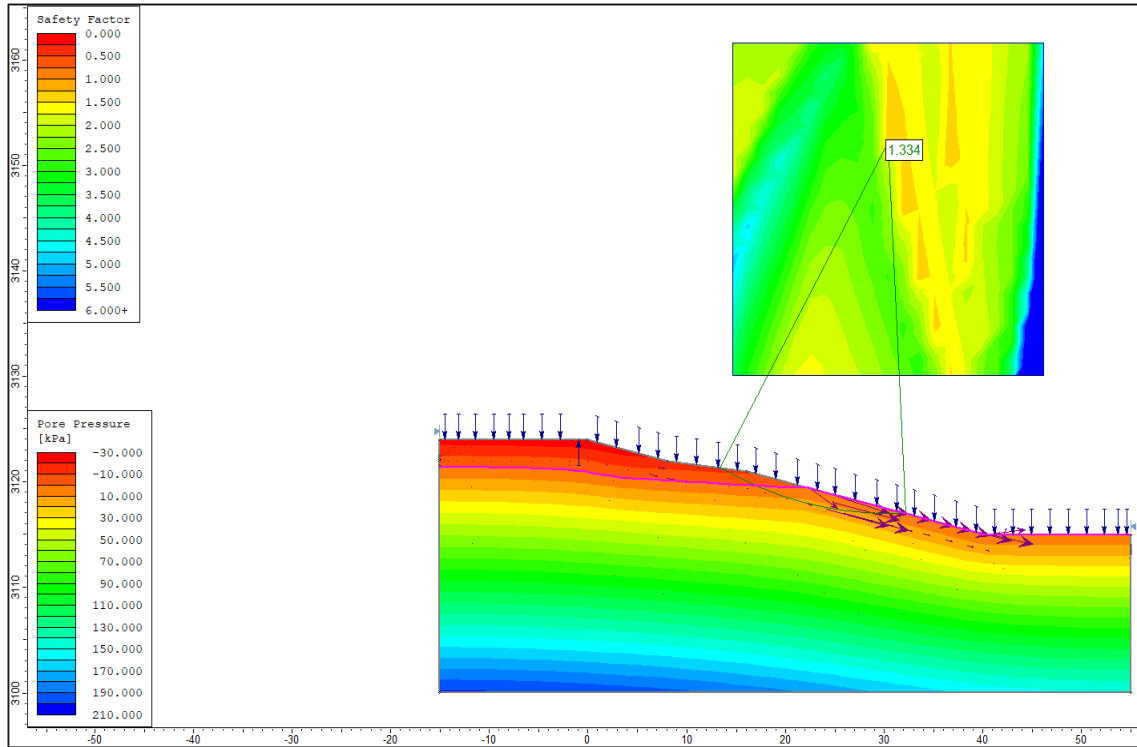


Modelamiento en Condiciones sin Saturación

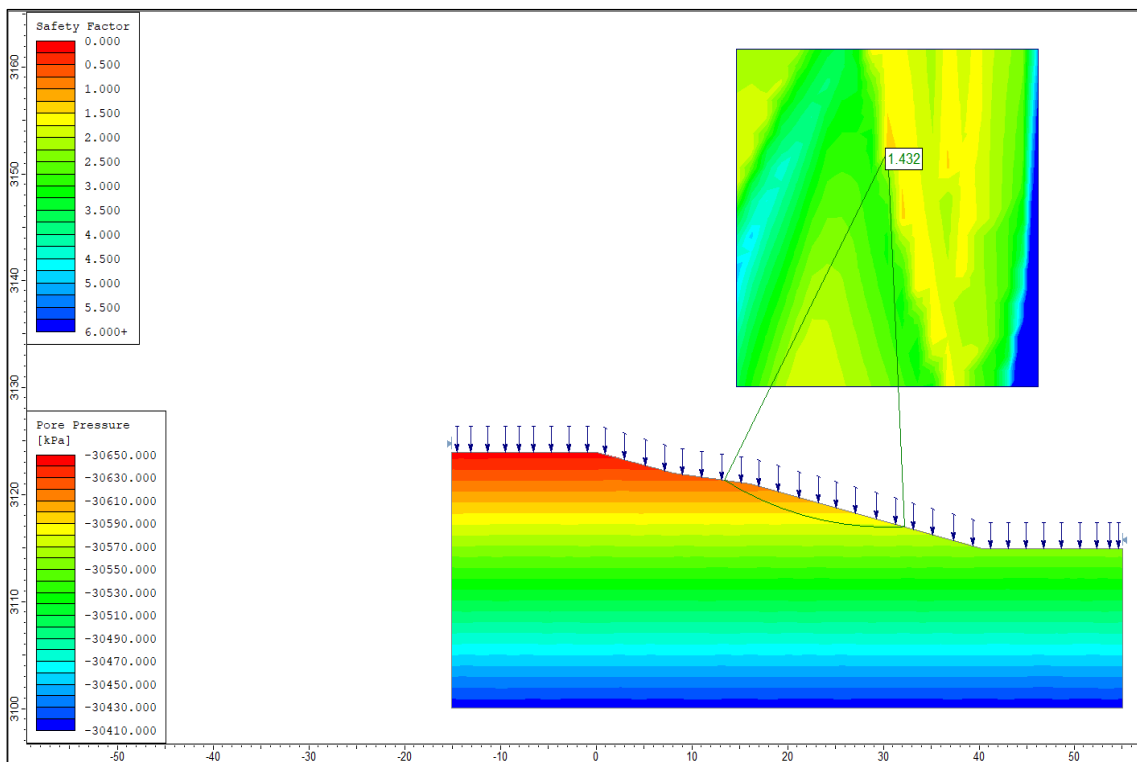


Perfil "AX"

Modelamiento en Condiciones con Saturación



Modelamiento en Condiciones sin Saturación




NOTAS Y APRECIACION DEL RIESGO

Blank area for notes and risk assessment.

ESQUEMA DEL MOVIMIENTO

<p>PLANTA</p>	<p>PERFIL</p>
---------------	---------------

Anexo III – Formato de registro del nivel de agua que se infiltrará en el suelo. Fuente: Turf-tec International

Project Identification:		Test Case 1			Constants	Area cm2	Depth of Liquid (cm)	Liquid Container Number	Marriotte Tube Volume					
Test Location:					Inner Ring	182		1	3000 ml					
Liquid Used:		pH:			Annular Space	547		2	10000 ml					
Tested By:					Liquid level maintained using: () Flow Valve () Float Valve (X) Mariotte Tubes									
Depth to water table:					Penetration Depth of Outer Ring: 9 cm									
Trial #	Start / End	Date MM/DD/YY	Time HR:MIN	Elapsed Time Chg/(Total) Min	Flow Readings				Liquid Temp C	Inner Infiltration Rate		Ground Temperature		Remarks Weather conditions Etc...
					Inner Ring Reading cm	Marotte Tube Flow (ml)	Annular Space Reading cm	Annular Space Marriotte Tube Flow (ml)		Inner Infiltration Rate cm/h	Annular Infiltration Rate cm/h	Ground Temp Depth (cm)	Temp at Depth (c)	
	Start Test			00:00										
1	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
2	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
3	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
4	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
5	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
6	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
7	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
8	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
9	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
10	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										
	End Test			00:00										
	Start Test			00:00										