

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y PETRÓLEOS

ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA ZONA DE ATUCUCHO, NOROCCIDENTE DE QUITO.

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

BYRON ANDRÉS BENÍTEZ FLORES

andres.benitezf@outlook.com

DIRECTORA: ING. ELIANA FERNANDA JIMÉNEZ ÁLVARO MSc.

eliana.jimenez@epn.edu.ec

QUITO, MAYO 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado por Byron Andrés Benítez Flores bajo mi supervisión.

Ing. Eliana Jiménez MSc.

DIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, Byron Andrés Benítez Flores, 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 correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Byron Andrés Benítez Flores

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme culminar una etapa más en mi vida, y darme la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres Roberto y Mónica, por siempre apoyarme, ser mi fortaleza en los momentos más difíciles y saber aconsejarme para ser mejor siempre. Esta etapa la culmino gracias a su constante apoyo y cariño, nunca tendré como agradecerles todo lo que han hecho por mí, en verdad muchas gracias.

A mis hermanas Gabby y Winy, por su cariño incondicional durante toda nuestra vida, saben que siempre podrán contar conmigo.

A mis abuelit@s, ti@s y primos, gracias por siempre estar pendiente de mi.

A la Ing. Eliana Jiménez, por su gran apoyo desde el primer día de clases hasta la culminación del trabajo de titulación.

A la Ing. Carolina Bernal e Ing. Diego Cárdenas, por su ayuda durante todo el proceso del trabajo de titulación.

A mis amigos de la U Memo, Cuca, Beto, Andrea, Bulma, Vale, Diego SZ, Darío, Lojanito, Cristian y demás viejos sucios, gracias por su amistad y por convertir la universidad en una de las mejores etapas de mi vida, se les extraña.

A mis amigos de toda la vida, Pako, Mauro, Davicho, Fer, gracias por su amistad incondicional, su apoyo y por todos los momentos que hemos pasado, son como mi familia.

Por último, pero no menos importante a Ale, gracias por devolverme al camino, por tu amor sincero e incondicional, gracias porque tú también soportaste todo mi camino y lo que conllevaba, te amo.

DEDICATORIA

A mis padres Mónica y Roberto

A mis hermanas Gabby y Winy

A mi novia Ale

A mi gran amigo Manchas(+)

Andrés.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	I
DECLARACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XV
ÍNDICE DE ECUACIONES	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVII
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT	XIX
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.2.1. Justificación Teórica	3
1.2.2. Justificación Metodológica.....	3
1.2.3. Justificación Practica	5
1.3. Hipótesis.....	5
1.4. Objetivo General.....	5
1.5. Objetivos Específicos	5

1.6.	Alcance.....	6
2.	CAPITULO II: REFERENCIAL TEORICO.....	7
2.1.	Conceptos Generales.....	7
2.1.1.	Amenaza.....	7
	• Amenaza Natural.....	7
	• Amenaza Geológica.....	7
	• Amenaza en el área de Estudio.....	7
2.1.2.	Fenómenos de Remoción en Masa.....	8
	• Deslizamiento.....	9
	• Caída.....	9
	• Volcamiento.....	10
	• Reptación.....	10
	• Flujos.....	11
	• Propagación Lateral.....	11
2.1.3.	Zonificación de la amenaza.....	11
	• Zonificación de la amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa.....	12
2.1.4.	Factor de Seguridad.....	13
	• Angulo de Fricción Interna.....	14
	• Cohesión.....	14
	• Peso específico.....	14
	• Peso específico seco.....	14
	• Peso específico saturado.....	14

2.1.5.	Desplazamiento de Newmark	14
2.1.5.1.	Parámetros Sísmicos	15
•	Sismo	15
•	Fuentes Sísmicas	15
•	Escenario Sísmico	15
•	Intensidad Sísmica	15
•	Aceleración Crítica.....	15
•	Intensidad de Arias	16
•	Aceleración pico del suelo (PGA)	17
2.2.	Localización.....	17
2.2.1.	Acceso.....	17
2.2.2.	Estudios Previos	18
2.3.	Aspecto Socioeconómico.....	21
2.3.1.	Tamaño de la población	21
2.3.2.	Densidad de población	22
2.3.3.	Educación.....	22
2.3.4.	Población Económicamente Activa (PEA)	22
2.4.	Aspecto Físico	23
2.4.1.	Climatología	23
2.4.2.	Temperatura.....	23
2.4.3.	Precipitación.....	24
2.4.4.	Topografía	24

2.4.5.	Suelo	25
2.4.6.	Geología Regional.....	25
2.4.6.1.	Dinámica de Subducción y Regiones Morfotectónicas	25
2.4.6.2.	Valle Interandino	26
2.4.6.3.	Cuenca Quito-Guayllabamba	26
	Estratigrafía de la Cuenca Quito – Guayllabamba	27
2.4.6.4.	Complejo Volcánico Pichicha	28
2.4.7.	Geología Local	29
	Suelo	29
	Zonas de Relleno.....	29
	Depósitos Coluviales	30
	Unidad Cangahua.....	31
3.	CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS	33
3.1.	Mapa Geológico	33
3.2.	Unidades Geotécnicas.....	34
3.3.	Mapas de Cohesión, Peso Específico y Angulo de Fricción.....	35
3.4.	Mapa de Pendientes.....	36
3.5.	Mapa de Factor de Seguridad	36
3.6.	Mapa de Aceleración Crítica.....	38
3.7.	Intensidad de Arias.....	39
3.8.	Desplazamientos de Newmark	42
3.9.	Mapa de Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa.	43
3.9.1.	Calibración	45

4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS	45
4.1.	Geología.....	45
4.1.1.	Mapeo Geológico	45
4.1.2.	Columnas estratigráficas	46
4.1.3.	Cambios de pendiente.....	50
4.1.4.	Mapa Geológico	51
4.2.	Mapas de características geotécnicas	53
4.3.	Mapa de Pendientes.....	55
4.4.	Mapa de Factor de Seguridad	57
4.5.	Mapa de Aceleración Crítica.....	59
4.6.	Intensidad de Arias.....	60
4.7.	Mapa de Desplazamientos de Newmark.....	61
4.7.1.	Sismo Simulado Coalinga.....	61
4.7.2.	Sismo simulado Loma Prieta	63
4.8.	Mapa Inventario de Deslizamientos	65
5.	CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	67
5.1.	Metodología de Newmark.....	67
5.2.	Aceleración Crítica.....	70
5.3.	Intensidad de Arias.....	72
5.4.	Desplazamientos de Newmark	75
5.5.	Calibración	77
6.	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
6.1.	Conclusiones.....	80

6.2. Recomendaciones.....	82
Bibliografía.....	83
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema de Deslizamiento	9
Figura 2.2 Esquema de Caída	10
Figura 2.3 Esquema de Volcamiento	10
Figura 2.4 Esquema de Reptación.....	11
Figura 2.5 Esquema de Flujos	11
Figura 2.6 Métodos para la Zonificación de la Amenaza.....	13
Figura 2.7 Ubicación de la zona de estudio	17
Figura 2.8 Acceso a la zona de estudio	18
Figura 2.9 Mapa de Susceptibilidad a deslizamientos Laderas del Cisne	21
Figura 2.10 Mapa de zonas de precipitación media anual del DMQ.....	24
Figura 2.11 Marco Geodinámico del Ecuador	26
Figura 2.12 Correlación estratigráfica tentativa en las cuencas del Valle Interandino Fuente: (Villagomez, 2003).....	28
Figura 2.13 Ubicación del depósito coluvial en la zona de estudio.....	31
Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología propuesta para este estudio	33
Figura 3.2 Modo de ejecución de la ventana MDT	36
Figura 3.3 Proceso para el cálculo de FS	38
Figura 3.4 Proceso para el cálculo de ac	39
Figura 3.5 Espectro de aceleración(g) e Intensidad de Arias(%)del Sismo Coalinga 1983	42
Figura 3.6 Espectro de aceleración(g) e Intensidad de Arias(%)del Sismo Loma Prieta 1989	42
Figura 3.7 Proceso para el cálculo del Desplazamiento de Newmark.....	43

Figura 3.8 Ficha Técnica utilizada para el levantamiento de datos Geológicas y Geotécnicos.....	44
Figura 4.1 Ubicación de las columnas estratigráficas.....	46
Figura 4.2 Columna estratigráfica 1 y afloramiento	47
Figura 4.3 Columna estratigráfica 2 y afloramiento	48
Figura 4.4 Columna estratigráfica 3 y afloramiento	49
Figura 4.5 Mapa de la ubicación de los cambios de pendiente en la zona de estudio.	51
Figura 4.6 Mapa Geológico del Área de Estudio	52
Figura 4.7 Mapa de Cohesión.....	53
Figura 4.8 Mapa de Peso Específico en condición seca	54
Figura 4.9 Mapa de Peso Específico en condición saturada.....	54
Figura 4.10 Mapa de Ángulos de Fricción.....	55
Figura 4.11 Mapa de Pendientes de la zona de estudio.....	56
Figura 4.12 Mapa de Factor de Seguridad condición seca.....	57
Figura 4.13 Mapa de Factor de Seguridad en condición saturada	58
Figura 4.14 Mapa de Aceleración Crítica en condición seca	59
Figura 4.15 Mapa de Aceleración Crítica en condición saturada.....	60
Figura 4.16 Parámetros de Sismo Coalinga.....	60
Figura 4.17 Parámetros Sismo Loma Prieta	61
Figura 4.18 Mapa de amenaza por FRM para el Sismo Coalinga, condición seca.....	62
Figura 4.19 Mapa de amenaza por FRM para el Sismo Coalinga, condición saturada	63
Figura 4.20 Mapa de amenaza por FRM para el Sismo Loma Prieta, condición seca.	63

Figura 4.21 Mapa de amenaza por FRM para Sismo Loma Prieta, condición saturada.	64
Figura 4.22 Mapa de Inventario de Deslizamientos	65
Figura 5.1 Elementos de la Metodología de Newmark.....	67
Figura 5.2 Comparación de FS para diferentes condiciones en las diferentes unidades geológicas	68
Figura 5.3 Comparación de resultados de FS para Atucucho, FS en condición seca a la izquierda, FS en condición saturada a la derecha	69
Figura 5.4 Comparación de Ac en Atucucho para diferentes condiciones.....	71
Figura 5.5 Sismo de Calderón 12 de agosto 2014, registros en estaciones	74
Figura 5.6 Mapas de Desplazamientos de Newmark para condiciones simuladas.....	76
Figura 5.7 Calibración de resultados con mapa de Inventario de deslizamientos.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Amenazas en el área de estudio	8
Tabla 2.2 Parámetros geotécnicos del suelo de Atucucho	19
Tabla 2.3 Parámetros geotécnicos saturados del suelo de Atucucho	19
Tabla 2.4 Parámetros geotécnicos de la quebrada Rumihurco	20
Tabla 2.5 Composición de la Población	22
Tabla 2.6 Precipitación Media Mensual (mm) de Estaciones Meteorológicas	23
Tabla 2.7 Temperatura Media Mensual y Anual (°C).....	23
Tabla 3.1 Parámetros geotécnicos referenciales	34
Tabla 3.2 Rangos de Estabilidad	35
Tabla 3.3 Grados cualitativos según el Factor de Seguridad	37
Tabla 3.4 Registros sísmicos seleccionados DMQ.	40
Tabla 3.5 Registro sísmico internacional.....	40
Tabla 4.1 Coordenadas de columnas estratigráficas	45
Tabla 4.2 Coordenadas de cambios de pendientes observados	50
Tabla 4.3 Propiedades geotécnicas de las unidades geológicas	53
Tabla 4.4 Clasificación de las Pendientes.....	56
Tabla 4.5 Grados de peligro por lluvia según el factor de seguridad en condición saturada.....	58
Tabla 4.6 Grados cualitativos de peligro sísmico en función de Dn.....	61
Tabla 5.1 Comparación de valores de FS para el perfil 1 y perfil 2	70

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1 Construcciones sin planificación en la zona de estudio.....	1
Fotografía 1.2 Casas ubicadas frente a taludes con pendientes fuertes	2
Fotografía 2.1 Relleno en la zona de estudio.....	30
Fotografía 2.2 Unidad Cangahua aflorante en la zona de estudio.....	32

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1.....	4
Ecuación 1-2.....	4
Ecuación 1-3.....	4
Ecuación 2-1.....	16
Ecuación 2-2.....	16
Ecuación 3-1.....	37
Ecuación 3-2.....	38
Ecuación 3-3.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Mapa Geológico del cuaternario de Atucucho.....	89
Anexo II. Mapa Geotécnico de Cohesión de Atucucho.	90
Anexo III Mapa Geotécnico de Peso Específico Seco de Atucucho.	91
Anexo IV Mapa Geotécnico de Peso Específico Saturado de Atucucho.	92
Anexo V Mapa Geotécnico de Angulo de Fricción de Atucucho.....	93
Anexo VI. Mapa de Pendientes de Atucucho.	94
Anexo VII. Mapa de Factor de Seguridad en condición seca de Atucucho.....	95
Anexo VIII Mapa de Factor de Seguridad en condición saturada de Atucucho.	96
Anexo IX. Mapa de Aceleración Crítica en condición seca de Atucucho.	97
Anexo X Mapa de Aceleración Crítica en condición saturada de Atucucho.....	98
Anexo XI. Mapa de Desplazamientos de Newmark condición seca, sismo Coalinga. .	99
Anexo XII Mapa de Desplazamientos de Newmark condición saturada, sismo Coalinga.	100
Anexo XIII Mapa de Desplazamientos de Newmark condición seca, sismo Loma Prieta.	101
Anexo XIV Mapa de Desplazamientos de Newmark condición saturada, sismo Loma Prieta.	102
Anexo XV. Mapa Inventario de Movimientos en Masa de Atucucho.....	103
Anexo XVI. Factor de Seguridad calculado por FUNEPSA CIA. LTDA.	104

RESUMEN

La Zona de Atucucho está localizada al noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito, en las faldas del Complejo Volcánico Pichincha entre las quebradas Rumihurco y Atucucho. Esta zona se ha visto afectada por la acción de movimientos en masa ocurridos en las últimas épocas invernales, por lo cual es una zona de interés para el estudio de la inestabilidad de taludes producida por agentes disparadores como son los sismos y las lluvias intensas.

En este trabajo se utiliza la metodología del Desplazamiento de Newmark que parte de la caracterización litológica, geotécnica y observaciones geológicas generales para integrarla al Sistema de Información Geográfica (GIS), que es una herramienta adecuada para realizar un análisis más preciso. En esta metodología se estima los potenciales desplazamientos horizontales del terreno ante cierta aceleración sísmica mediante el cálculo sucesivo del Factor de Seguridad Estático, la Aceleración Crítica, e incorporando la Intensidad de Arias del sismo.

El Factor de Seguridad es una medida de la estabilidad de la ladera y la aceleración crítica es una medida de susceptibilidad, los dos se calcularon en condiciones secas y condiciones saturadas.

El factor sísmico se determinó mediante la utilización de la aplicación Seismosignal, calculando espectros de aceleración e Intensidad de Arias de acuerdo a la base de datos de dos sismos internacionales que cumplen las condiciones sísmicas consideradas para esta zona en función de las propiedades geológicas y los mecanismos del Sistema de Fallas de Quito (QSF), V_{s30} entre 360 - 600 m/s, M_w entre 5.7 - 6.9, distancia epicentral entre 10 y 30 km y un mecanismo de fallamiento inverso.

Con los resultados que se obtienen de la ecuación de desplazamiento propuesta es posible definir mapas que nos permiten determinar las zonas de alta, media y baja peligrosidad a nivel local inducidos por sismos y/o lluvias intensas a través de cálculos en condiciones saturadas. Las zonas de alta y media peligrosidad están ubicadas en los alrededores de pendientes fuertes y rellenos antrópicos. Existe una buena coincidencia entre estas zonas marcadas como peligrosidad alta y los movimientos en masa inventariados a través del tiempo.

ABSTRACT

The Atucucho Zone is located northwest of the Distrito Metropolitano de Quito, on the slopes of the Pichincha Volcanic Complex between the Rumihurco and Atucucho streams. This area has been affected by the action of landslides occurred in recent winter, this is an area of interest for the study of slope instability caused by triggering agents such as earthquakes and heavy rains.

In this work the Newmark Displacement methodology is used, which starts from the geological observations, geotechnical characterization and digital elevation model (DEM) to integrate them into the Geographic Information Systems (GIS), which is an adequate tool to perform a more accurate analysis. The potential displacements of the ground are estimated before some seismic acceleration through the successive calculation of the Static Safety Factor, the Critical Acceleration, and incorporating the Arias intensity of the earthquake.

The Safety Factor is a measure of the stability of the slope and the critical acceleration is a measure of susceptibility, both were calculated in dry conditions and saturated conditions.

The Seismic Factor was determined by using the Seismosignal application, calculating acceleration spectra and Arias Intensity according to the database of two international earthquakes that meet the seismic conditions considered for this zone based on the geological properties and the mechanisms of the Quito Fault System (QFS), V_s30 between 360 - 600 m / s, M_w between 5.7 - 6.9, epicentral distance between 10 and 30 km and a reverse fault mechanism.

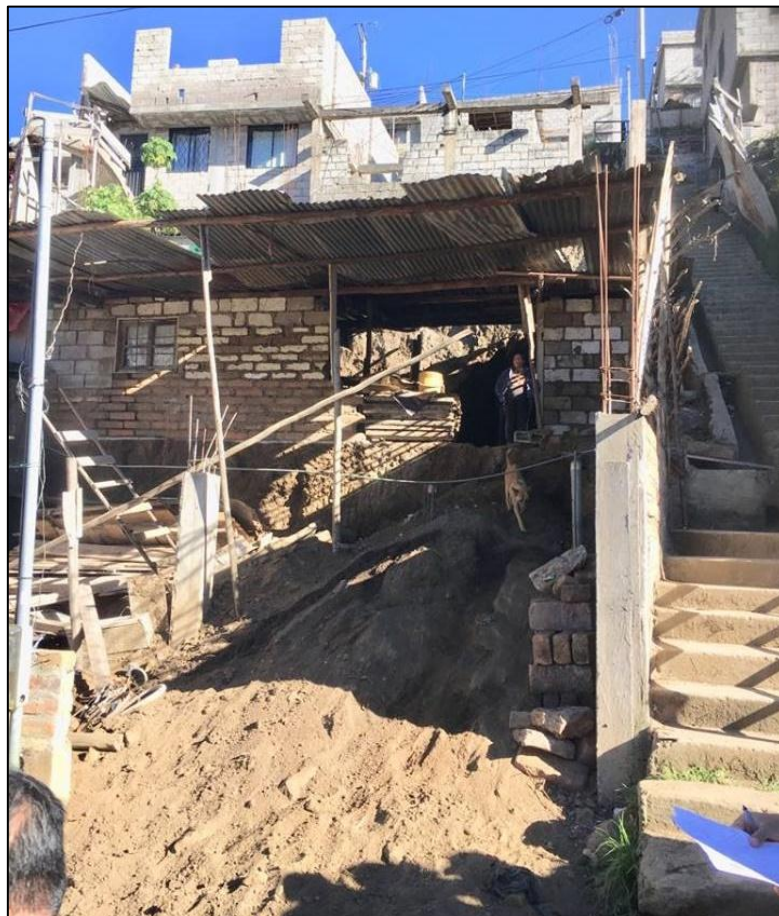
With the results obtained from the proposed displacement equation it is possible to define maps that allow us to determine the areas of high, medium and low hazards locally induced by earthquakes and / or heavy rains through calculations in saturated conditions. The areas of high and medium danger are located around strong slopes and anthropic landfills. There is a good coincidence between these areas marked as high hazard and landslides inventoried over time until now.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La Zona Atucucho se localiza al noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), está ubicada en las laderas de las faldas del Complejo Volcánico Pichincha, se comunica a través de la calle Flavio Alfaro; se encuentra entre la quebrada del mismo nombre hacia el sur y la Quebrada de Rumihurco hacia el norte.

La Zona de Atucucho es resultado de asentamientos en terrenos marginales que frecuentemente son zonas con topografía accidentada en donde se encuentra la presencia de quebradas, pendientes fuertes, etc., que se ven agravadas por la acción antrópica como: construcciones sin planificación y/o en mal estado (Fotografía 1.1), ubicadas frente a taludes con pendientes fuertes (Fotografía 1.2), viviendas al borde de quebradas, deforestación, actividades agrícolas y/o de pastoreo sin control hídrico, y por la carencia generalizada de servicios básicos que erosionan y saturan los taludes.



Fotografía 1.1 Construcciones sin planificación en la zona de estudio



Fotografía 1.2 Casas ubicadas frente a taludes con pendientes fuertes

A las condiciones locales de la zona de estudio se le suma el impacto de las lluvias intensas del DMQ especialmente en la temporada de invierno. Según cifras obtenidas del INAMHI, el invierno de 2017 es el más fuerte que se ha producido en los últimos 19 años en el país (El Universo, 2017). En años anteriores, el promedio del acumulado de precipitaciones en el DMQ era de 336.3 milímetros durante los meses de enero, febrero y marzo, sin embargo, en estos mismos meses de 2017 se registraron 565.3 milímetros, lo que representa un incremento del 68% según el Boletín Agrometeorológico del (INAMHI, 2017). Este fenómeno atmosférico es una de las principales causas de los movimientos en masa en la Zona de Atucucho, ya que las fuertes lluvias saturan el suelo y esto deriva en un colapso estructural conocido como deslizamientos. En la zona Atucucho, el 14 de marzo un colapso estructural dejó 1 vivienda afectada, mientras que las personas que habitaban el inmueble se trasladaron a familias acogientes según el informe de situación lluviosa de marzo de 2017 de la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos del DMQ.

El presente proyecto de Titulación tiene por objetivo realizar una zonificación de la amenaza, utilizando el método de Desplazamientos de Newmark dentro de la zona para proponer medidas de mitigación que contribuirá a mejorar las condiciones y calidad de vida de los habitantes.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación Teórica

Es ampliamente reconocido que los deslizamientos de tierra son uno de los efectos colaterales más dañinos que pueden dejar la temporada de invierno. Las condiciones climáticas intensas no solo se han visibilizado con las lluvias, en los primeros tres meses de 2017 en el Distrito Metropolitano se han notificado 135 inundaciones, 191 movimientos en masa, 79 colapsos estructurales y 44 caídas de árboles, dando un total de 449 emergencias atendidas desde que inició la época invernal como lo indicado en el artículo del 27 de marzo de 2017 del diario El Universo. En el DMQ existen un total de 90 barrios que tienen una alta susceptibilidad a Movimientos en Masa según el Informe de Situación de la época lluviosa en abril de 2017, dentro de estos barrios se encuentra la Zona de Atucucho la cual está ubicada en una zona de alta susceptibilidad a movimientos en masa.

El término amenaza se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente dañino, en un área dada y en un período de tiempo específico (United Nations Disaster Relief Organization, 1979). Cuando hablamos de la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, podemos asegurar que estos están en función de los mecanismos disparadores detonantes y del tiempo de ocurrencia, en esta zona los mecanismos disparadores son las precipitaciones y los sismos, con lo cual idealmente llegaremos a realizar una zonificación del nivel de amenaza con cada uno de estos factores detonantes.

El propósito de esta zonificación de la amenaza es proveer información geocientífica confiable y georreferenciada de amenazas geológicas, particularmente procesos de movimientos en masa (deslizamientos), para su utilización en la planificación territorial y gestión de riesgos a nivel local.

1.2.2. Justificación Metodológica

Este trabajo propone evaluar la amenaza mediante la zonificación de los niveles de amenaza, aplicando un método analítico basado en el criterio de Newmark, el cual estima el desplazamiento cosísmico permanente a lo largo de una superficie de

deslizamiento, calculando el movimiento del talud esperado por un sismo y comparando tal movimiento con los umbrales críticos que generen un deslizamiento disparado por un sismo (Chousiantis, y otros, 2016).

Para caracterizar el escenario sísmico, se utilizará la intensidad de Arias (I_a). La intensidad de Arias cuantifica la energía de movimiento de la tierra a partir de la integral de la aceleración al cuadrado en el tiempo, y proporciona una mejor correlación con el efecto permanente de deformación del suelo generada por sismos (Chousiantis, y otros, 2016).

Para caracterizar el escenario de deslizamientos por lluvias se utilizará la fórmula del factor de seguridad (FS) de la Ecuación 1-1.

Una vez obtenidos los datos geológicos (α), propiedades geotécnicas representativas (c', ϕ, γ, α), Factor de Seguridad (FS), Aceleración Crítica (a_c) e Intensidad de Arias (I_a) se procede a realizar la formulación de los Desplazamientos de Newmark (D_n).

$$FS = \frac{c'}{\gamma t \operatorname{sen} \alpha} + \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} + \frac{m\gamma_w \tan \phi'}{\gamma \tan \alpha}$$

Ecuación 1-1

$$a_c = g(FS - 1)\operatorname{sen} \alpha$$

Ecuación 1-2

$$\log D_N = 0,847 \log I_A - 10,62 \log a_c + 6,587 a_c \log I_A + 1,84 \pm 0,295$$

Ecuación 1-3

Esta Metodología de Newmark nos permitirá a través de datos geológicos, geotécnicos y geofísicos de la Zona de Atucucho zonificar el nivel de amenaza de los desplazamientos que existirían para diferentes factores detonantes.

1.2.3. Justificación Practica

La zonificación de la amenaza es una herramienta práctica que permite al gobierno local tomar decisiones y acciones para mitigar impactos en función de observar las zonas con mayor peligrosidad.

Con el presente trabajo se pretende contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes mediante la zonificación de la amenaza por ocurrencia de los Fenómenos de Remoción en Masa y las respectivas medidas de mitigación que serán recomendadas a los pobladores al finalizar el estudio.

1.3. Hipótesis

La zonificación de la amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en el Barrio Atucucho permitirá determinar las zonas de alta, media y baja peligrosidad para proponer medidas de mitigación y así contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.

1.4. Objetivo General

El presente estudio tiene como objetivo principal zonificar la amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa de la Zona de Atucucho, enfocándose en la caracterización litológica, geotécnica y observaciones geológicas generales.

1.5. Objetivos Específicos

- Realizar mapeo Geológico y levantamiento Litoestratigráfico del Cuaternario determinando las unidades susceptibles a los FRM en la Zona de Atucucho.
- Determinar las características geomecánicas de las unidades geológicas utilizando datos existentes como perforaciones o datos geotécnicos representativos.
- Calcular las aceleraciones críticas mediante la integración de los datos geológicos y geotécnicos existentes.
- Aplicar la Metodología de Newmark e Intensidad de Arias para escenarios sísmicos y de lluvias.
- Calibrar la metodología utilizando el software Slide 2D para el análisis de estabilidad de talud.
- Realizar los mapas de Zonificación de la Amenaza por FRM mediante la herramienta Qgis.

1.6. Alcance

Al culminar el estudio se obtendrá varios mapas de la zonificación de las amenazas por fenómenos de remoción en masa con diferentes disparadores a escala 1:5000 el cual contribuirá a que el Municipio del DMQ pueda tomar acciones acertadas en las medidas de mitigación para reducir el riesgo en la Zona de Atucucho.

CAPITULO II: REFERENCIAL TEORICO

2.1. Conceptos Generales

2.1.1. Amenaza

La amenaza se considera como un evento amenazante o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente perjudicial en un área dada en un periodo específico. (United Nations Disaster Relief Organization, 1979).

- **Amenaza Natural**

“Es el peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno de origen natural como un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o un huracán cuya génesis se encuentra en los procesos naturales de transformación y modificación de la Tierra y el ambiente. Suelen clasificarse de acuerdo con sus orígenes terrestres o atmosféricos, permitiendo identificar entre otras, amenazas geológicas, geomorfológicos, climatológicas, hidrometeorológicas, oceánicas y bióticas”. (FUNEPSA CIA LTDA, 2015).

- **Amenaza Geológica**

“Es un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales”. (FUNEPSA CIA LTDA, 2015).

- **Amenaza en el área de Estudio**

Dentro del DMQ se producen una serie de eventos adversos los cuales han demostrado la vulnerabilidad en ciertas zonas, entre ellos los más importantes son: El sismo de marzo de 1989; la erupción del volcán Guagua Pichincha en 1973, 1975, 1983, 1986, 1987 y 1999 entre otros que se encuentran citados en el Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del DMQ del año 2015.

En la tabla 2.1 se encuentra resumido las amenazas presentes en el área de estudio.

Tabla 2.1 Amenazas en el área de estudio

Amenaza	Descripción	Ocurrencia
Amenaza Volcánica	De acuerdo al mapa de amenazas volcánicas del DMQ el área de estudio está expuesta a caída de ceniza, flujos piroclásticos y avalanchas de escombros principalmente del volcán Pichincha	Media
Amenaza Sísmica	La zona de estudio se caracteriza por tener una aceleración que va desde 350 a 400 cm/s ² , de acuerdo al mapa de microzonificación sísmica del DMQ.	Alta
Amenaza a FRM	La zona de estudio tiene un rango de pendientes muy fuertes, a pesar de que está constituida en gran parte de material volcánico como la cangahua las fuertes pendientes y las zonas de drenaje son fuertes desencadenantes para la existencia de FRM.	Alta
Amenaza a Inundaciones	De acuerdo al mapa de barrios susceptibles a inundaciones del DMQ la zona de estudio no corre peligro alguno de inundaciones ya que se encuentra ubicada en una zona alta de las laderas del CVP.	Baja

Fuente: Atlas de Amenazas Naturales y Exposición de Infraestructura del DMQ 2015

2.1.2. Fenómenos de Remoción en Masa

Los Fenómenos de Remoción en Masa (FMR) o Movimientos en Masa (MM) comprenden una gran variedad y complejidad de movimientos de material geológico derivados de la fuerza de la gravedad. Se entenderá como FMR o movimiento en masa, todo movimiento de ladera abajo de material geológico debido a la fuerza de la

gravedad, incluyendo entre ellos a flujos a lo largo de los cauces cuando el material que cae se mezcla con la corriente de agua.

Varios autores han propuesto algunas clasificaciones de los MM en base a diferentes características como el tipo de material, la forma de la masa desplazada, la velocidad la dinámica del movimiento entre otras. (INGEOMINAS, 2001)

Cruden y Varnes (1996) hacen un mayor énfasis en el tipo de movimiento y el material involucrado. A continuación, se describen los tipos de FMR.

- **Deslizamiento**

Es un movimiento ladera abajo de una masa de roca o suelo cuyo desplazamiento ocurre preferentemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona donde ocurre una gran deformación cortante. Los desplazamientos se pueden clasificar en rotacionales y traslacionales según la forma en la cual se desplaza el material; los desplazamientos rotacionales tienen una superficie de falla curva o cóncava mientras que los traslacionales tienen una superficie de falla plana u ondulada. (GEMMA, 2007).

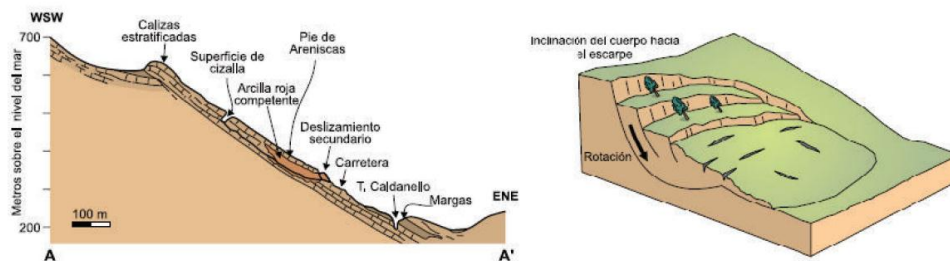


Figura 2.1 Esquema de Deslizamiento

- **Caída**

Es un tipo de movimiento en masa en el cual bloques de roca o suelo se desprenden, sin que exista desplazamiento apreciable a lo largo de la superficie. Tiene velocidades entre rápidas a extremadamente rápidas además no existe una interacción entre los fragmentos movidos (GEMMA, 2007). Una vez desprendido el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento. (Varnes, 1978).

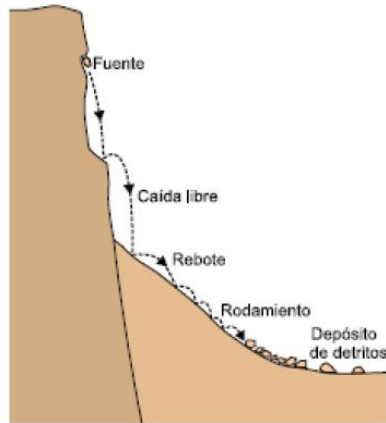


Figura 2.2 Esquema de Caída

- **Volcamiento**

Es la rotación hacia adelante y hacia el exterior de la ladera de uno o varios bloques de suelo o roca alrededor de un eje o punto de pivote situado por debajo de su centro de gravedad. Ocurre por acción de la gravedad, por empujes de unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (GEMMA, 2007).

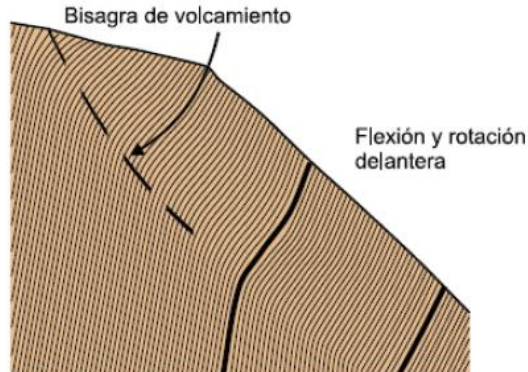


Figura 2.3 Esquema de Volcamiento

- **Reptación**

Son movimientos lentos de terreno en donde no se distingue una superficie de falla. Puede ser estacional, asociada a cambios climáticos o de humedad de terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento continuo en el tiempo (GEMMA, 2007).

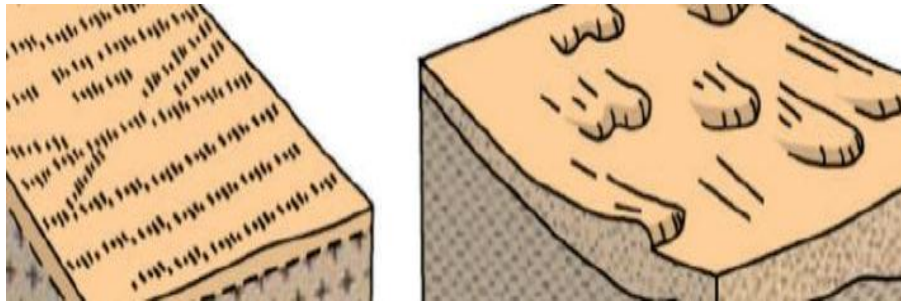


Figura 2.4 Esquema de Reptación

- **Flujos**

Son movimientos en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (GEMMA, 2007).

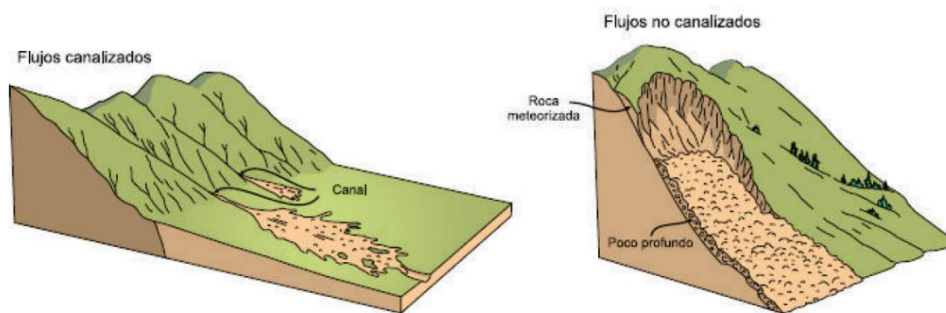


Figura 2.5 Esquema de Flujos

- **Propagación Lateral**

Hace referencia al desplazamiento que ocurre predominantemente por deformación interna del material, en otras palabras, el MM ocurre por expansión del material.

2.1.3. Zonificación de la amenaza

La zonificación de amenazas naturales es parte de un análisis integral de los recursos físicos y bióticos de un área, en donde se busca identificar las zonas que presentan amenaza de ocurrencia de desastres naturales y que esto signifique algún grado de riesgo para la población, la infraestructura y recursos naturales.

- **Zonificación de la amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa**

La zonificación de la amenaza producida por fenómenos de remoción en masa es un análisis integral de parámetros sísmicos, susceptibilidad a los deslizamientos, parámetros hidrológicos y efectos antrópicos que condicionan el comportamiento de estos fenómenos actuando como detonante para la ocurrencia de los mismos.

Una zonificación de amenaza por deslizamientos consta de dos aspectos diferentes: evaluar la susceptibilidad del terreno a una falla de talud y determinar la probabilidad de que ocurra un evento desencadenante específico. La probabilidad de ocurrencia de deslizamiento depende tanto de las variables intrínsecas como extrínsecas (Wang, Liu, Xu, & Wang, 2005).

Para evaluar una amenaza generalmente se parte de cuatro suposiciones; 1) los deslizamientos ocurrirán en las mismas condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y climáticas que en el pasado; 2) las condiciones principales que causan deslizamientos son controladas por factores físicos identificables; 3) El grado de peligro puede ser evaluado; y 4) todos los tipos de fallas de pendiente pueden ser identificadas y clasificadas (Aelotti & Chowdhury, 1999).

Los métodos para la zonificación de la amenaza pueden ser de tipo cualitativos o cuantitativos, pero también pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de análisis, una clasificación detallada puede ser algo subjetiva ya que depende de los aspectos en los cuales se va a hacer un énfasis, como por ejemplo Hartlen & Viberg, 1988 calificaron los métodos de zonificación de la amenaza en base a diferentes categorías de la misma: Amenaza Relativa, diferentes taludes eran comparados sin expresar una cuantificación y, Amenaza Absoluta donde se calculaba el FS en base a un análisis estadístico. En la Figura 2.6 se representa un resumen de métodos para la zonificación de la amenaza añadiendo las ventajas y desventajas que presentan.

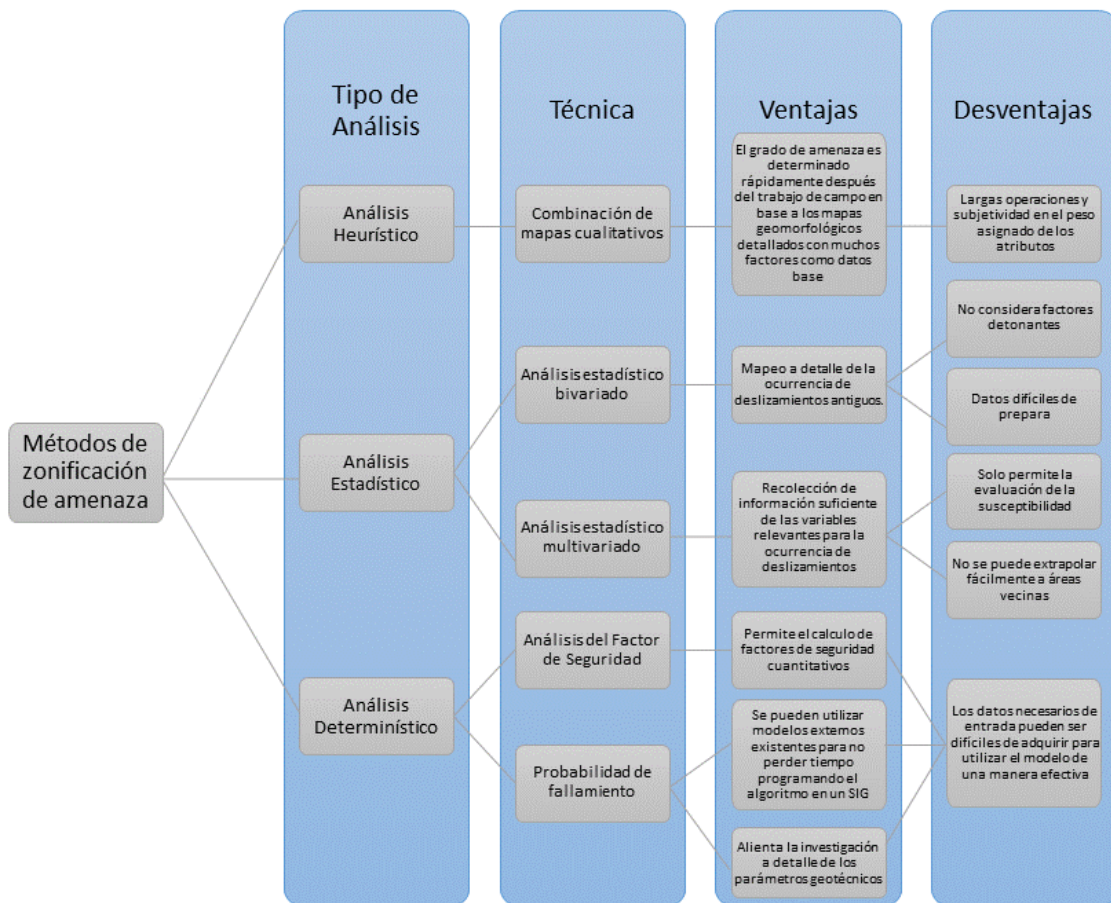


Figura 2.6 Métodos para la Zonificación de la Amenaza

2.1.4. Factor de Seguridad

El Factor de Seguridad (FS) corresponde a un valor que representa el equilibrio entre las fuerzas presentes en el talud. (Suárez J. , 2009) señala que en un talud estable existe un equilibrio de las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes, entre las cuales es determinante la fuerza que tiene la gravedad.

Para analizar dicha estabilidad el FS está definido por la siguiente formula.

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

Cuando el FS es igual a 1 el talud está en un estado de falla incipiente o equilibrio limite. Generalmente un valor de 1,5 para el FS con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable.

- **Angulo de Fricción Interna**

Se trata de una representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual depende de factores como: el tipo de material constitutivo de las partículas, tamaño de los granos o partículas, forma de los granos o partículas, distribución de los tamaños de los granos o partículas, fabrica o microestructura, densidad, permeabilidad, presión normal o de confinamiento y presión de preconsolidacion (Suárez J. , 2009).

- **Cohesión**

Es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas del suelo, es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación entre partículas dentro de la mecánica de suelos (Suárez J. , 2009).

- **Peso específico**

Se define como peso específico de un suelo a la relación existente entre la masa del mismo (tanto la fracción sólida como del agua que contiene) y su volumen.

- **Peso específico seco**

Se le denomina peso específico seco de un suelo a relación que existe entre la masa de las partículas y el volumen total del suelo

- **Peso específico saturado**

El peso específico saturado de un suelo está definido por la masa total de las partículas y del agua que ocupa la totalidad de los poros, dividida por el volumen total.

2.1.5. Desplazamiento de Newmark

En 1965 el Ingeniero Civil Nathan Newmark formuló un método para estimar el desplazamiento permanente producido por un movimiento sísmico en espacios de terreno. Este método con ligeras variaciones fue aplicado posteriormente en el estudio de laderas naturales con éxito (Rodríguez, García, & Azañón, 2008); y actualmente es común aplicar este método en estudios de evaluación de la ocurrencia de inestabilidades de ladera desencadenadas por sismos (Figueras, Macau, Goula, & Gonzales, 2005). Esta metodología estima los potenciales desplazamientos horizontales del terreno ante cierta aceleración sísmica mediante el cálculo sucesivo

del FS Estático, la Aceleración Crítica, e incorporando la Intensidad de Arias del sismo incorporándolos en un Sistema de Información Geográfica.

2.1.5.1. Parámetros Sísmicos

El DMQ se encuentra en el interior de una importante zona sismo – tectónica por lo cual es importante estudiar los conceptos que son representativos para entender la amenaza sísmica.

- **Sismo**

Un sismo se lo conoce como un movimiento rápido y brusco de las fallas y fracturas en el interior de la corteza terrestre, estos movimientos liberan una gran cantidad de energía acumulada por largos periodos de tiempo (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

- **Fuentes Sísmicas**

Una fuente sísmica es una zona geográfica cuya actividad sísmica está ligada a una estructura geológica (Instituto Geofísico EPN, 2013). En el DMQ las fuentes sísmicas son: procesos de subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana, y movimientos tectónicos que ocurren a lo largo de fallas geológicas.

- **Escenario Sísmico**

El escenario sísmico se construye a partir de datos de intensidades máximas o de aceleración de terreno esperado para una zona, a partir de estos datos se definen los daños producidos en personas y edificaciones en la zona.

- **Intensidad Sísmica**

La intensidad sísmica es un parámetro no instrumental que mide los efectos de un sismo sobre un área determinada. La intensidad se mide por el grado de daños a las construcciones realizadas por el hombre, la cantidad de perturbaciones en la superficie del suelo y el alcance de la reacción animal en la sacudida.

- **Aceleración Crítica**

La Aceleración Crítica es la mínima aceleración que requiere el suelo para superar la máxima resistencia del talud deslizante. Se usará la Aceleración Crítica como una

medida numérica de la estabilidad del talud y por tanto de la susceptibilidad a que se produzca un deslizamiento inducido por un sismo (Figueras, Macau, Goula, & Gonzales, 2005).

La Aceleración Crítica está definida por la ecuación:

$$a_c = (FS - 1)g \operatorname{sen}(\alpha)$$

Ecuación 2-1

donde:

FS= Factor de seguridad

α = Ángulo del talud

g= Gravedad

- **Intensidad de Arias**

Está definida como la energía por unidad de peso disipada por una familia de osciladores de un grado de libertad, cuyas frecuencias están comprendidas en el rango de $(0, +\infty)$, para un sismo y amortiguamiento dados (Schmidt, 2008).

Este factor está definido por la ecuación:

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

Ecuación 2-2

Donde:

t= variable temporal;

a=aceleración de suelo durante el movimiento sísmico;

t_0 = duración total del registro

- **Aceleración pico del suelo (PGA)**

Es la máxima aceleración en valor absoluto en toda la historia temporal de un acelerograma, obtenido cuando ocurre un sismo. Los registros acelerográficos cuentan con tres componentes, el longitudinal que suele coincidir con la dirección N-S, el vertical y el transversal que corresponderá a una dirección E-W. (Schmidt, 2008).

2.2. Localización.

La zona de estudio Atucucho se encuentra ubicada sobre las faldas del Complejo Volcánico Pichincha, al sur oeste de la Quebrada Rumihurco, Parroquia Cochapamba, DMQ, Provincia de Pichincha (Figura 2.7). Esta zona de estudio está conformada por los Barrios Atucucho y Laderas del Cisne con un área de 597645.68 m² y 183280.64 m² respectivamente, a 3100 m.s.n.m..



Figura 2.7 Ubicación de la zona de estudio

2.2.1. Acceso

El principal acceso es la Av. Antonio José de Sucre (Av. Occidental), esta avenida se conecta con la calle Flavio Alfaro en dirección O-E con respecto a la Av. Antonio José de Sucre y posteriormente se conecta con la calle Cesar Vaquero la cual facilita el ingreso a la zona de estudio como se indica en la Figura 2.8.

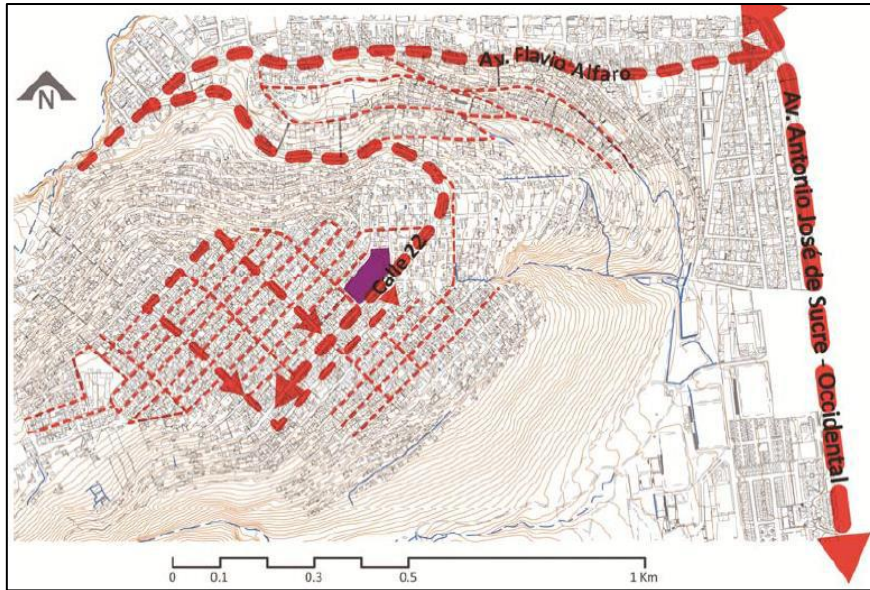


Figura 2.8 Acceso a la zona de estudio

Fuente: (Abata, 2015)

2.2.2. Estudios Previos

Los estudios realizados en la zona de estudio son muy pocos, y son los realizados por instituciones públicas del DMQ. A continuación, se presenta una recopilación breve de los estudios efectuados.

Actualización de la Zonificación por la Amenaza de Deslizamiento en el Distrito Metropolitano de Quito.

La zonificación de la Amenaza se realizó con un convenio entre FUNEPSA CIA. LTDA. y la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos de Quito para la Gestión de Riesgos para el estudio de fenómenos de Inestabilidad de Terrenos dentro del territorio del DMQ. El trabajo lo realizó la consultora FUNEPSA en febrero del 2015, a una escala 1:75000. En el trabajo presentado al Municipio del DMQ se pueden apreciar una Zonificación de la Amenaza (Relativa) por Fenómenos de Inestabilidad de Terrenos con una escala 1:75000 del DMQ con la metodología Mora – Vahrson y la Metodología de Factores Ponderados para elaborar un Mapa de Susceptibilidad. Como resultado de la aplicación de ambos métodos se determinó que la Zona de Atucucho/Ontaneda se encuentra una zona de muy alta y alta amenaza por FRM. Se determinó que el origen de esta amenaza son flujos de lodo y deslaves que se forman por el mal uso de aguas lluvia y aguas servidas al no estar canalizadas para su correcta evacuación. El estudio de FS arroja valores sobre 1.5 lo cual nos indica que es una

zona relativamente estable. Al Barrio Atucucho/Ontaneda se lo tomo como punto de extracción de datos geotécnicos y análisis de suelos en parámetros máximos y parámetros saturados que se encuentran resumidos en las tablas 2.2 y 2.3.

Parámetros Máximos

Tabla 2.2 Parámetros geotécnicos del suelo de Atucucho

Nombre del material	Peso Específico (kN/m³)	Cohesión (kN/m²)	Phi (°)
Limo	17.7	37	21
Arena Limosa	17.5	20	24
Arena Limosa 1	14.2	31	31
Arena Limosa 2	15.8	50	30
Lapilli	13	0	22

Parámetros Saturados

Tabla 2.3 Parámetros geotécnicos saturados del suelo de Atucucho

Nombre del material	Peso Específico (kN/m³)	Cohesión (kN/m²)	Phi (°)
Limo	18.3	10	19
Arena Limosa	18.1	13	21
Arena Limosa 1	19.4	21	19
Arena Limosa 2	19.7	35	19
Lapilli	15	0	20

Diseños definitivos para el Saneamiento de La Quebrada Rumihurco

La Empresa Pública Metropolitana de Agua y saneamiento del DMQ (EPMAPS), dentro de su programa de priorización de obras y descontaminación de los ríos del

DMQ suscribió el contrato de ejecución del proyecto mencionado en junio de 2015 a cargo de la Ing. Diana Abata. En el informe final del proyecto se puede apreciar a características geológicas y geotécnicas de la Quebrada Rumihurco (tabla 2.4), además de datos generales de los barrios aledaños a esta quebrada como es el Barrio de Atucucho.

Tabla 2.4 Parámetros geotécnicos de la quebrada Rumihurco

Quebrada	Tipo de suelo	Capacidad admisible (T/m ²)	Desplante (m)	Angulo de fricción interna	Peso específico (g/cm ³)
Rumihurco	Arena limosa de baja compresibilidad sin contenido orgánico	8,0	3	29	2,00

Análisis de Susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa en el Barrio de Atucucho, NW del DMQ

La Zona de Atucucho, que se encuentra ubicada sobre las estribaciones orientales del Complejo Volcánico Pichincha, dentro del DMQ, es el resultado de invasiones a terrenos públicos y zonas de bosque protector, presentando por ello una vulnerabilidad física desde sus orígenes. Afectada aún más en la actualidad por procesos antrópicos como construcciones de edificaciones sin control ni planificación y deforestación, además de la no impermeabilización de los taludes utilizados para construir las carreteras o delimitar terrenos, los cuales han causado que las características mecánicas de los suelos del sector sean debilitadas. La ladera suroriental de Atucucho, que corresponde a la zona de estudio analizada, presenta una litología compuesta de cangagua que ha perdido en su mayoría características fisicoquímicas por cortes no técnicos, deforestación, escorrentía y subsecuentes procesos de fracturación y meteorización. La cangagua muestra intercalación de estratos de lapilli color blanco y sobre la cangagua se encuentra una capa de suelo de composición limo-arenoso que varía desde 0.15 a 2.0 m de espesor.

La zona de mayor susceptibilidad corresponde al SW de la zona de Atucucho (Figura 2.9), debido a que en este sector se presenta una pendiente abrupta, mayor altura del talud, mayor inclinación del talud incrementando el grado de susceptibilidad de este

sector. Un agente detonante en la generación de fenómenos por remoción en masa en el sector es la precipitación, ya que en los últimos meses se han registrado las mayores precipitaciones del año, lo que constituye el factor detonante por un aumento de los esfuerzos al corte en las laderas. Sin embargo, es importante indicar que las zonas de mayor susceptibilidad y que se encuentran al límite de la Quebrada Rumihurco, muestran condiciones de baja resistencia lo que las hace inestables incluso con eventos menores de lluvias y sismos.

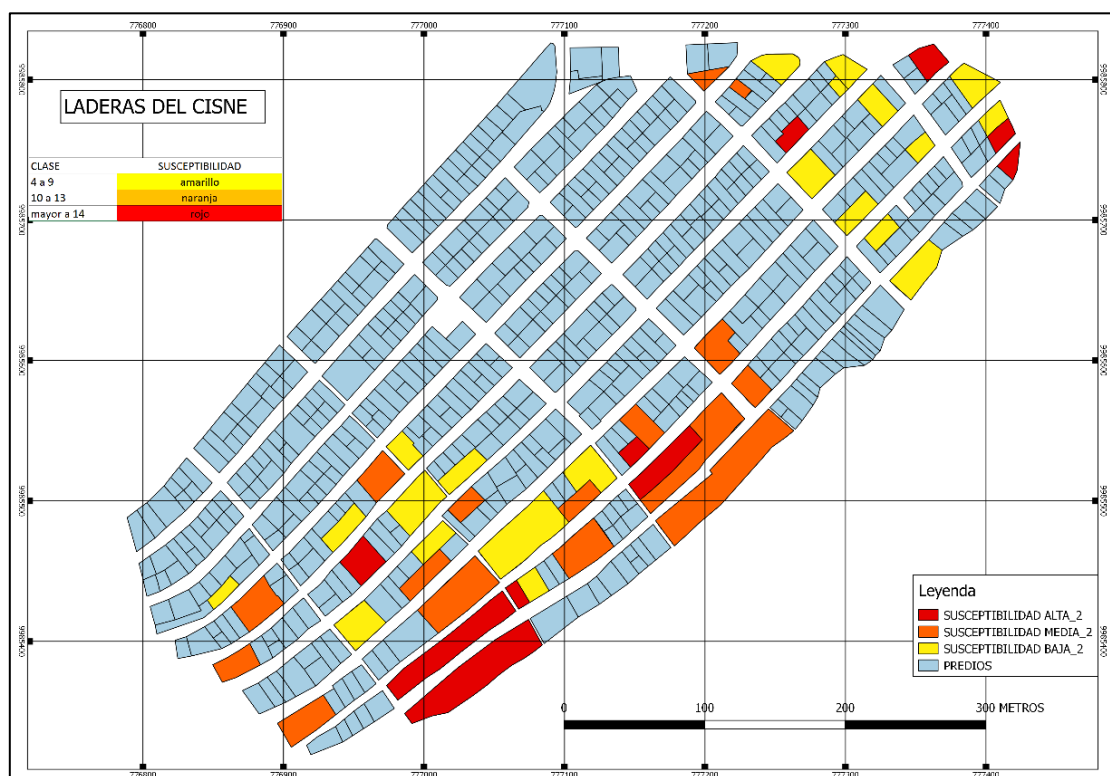


Figura 2.9 Mapa de Susceptibilidad a deslizamientos Laderas del Cisne

2.3. Aspecto Socioeconómico

Los aspectos socioeconómicos se describirán de acuerdo a datos oficiales del censo de población y vivienda 2010 de la página de la Secretaria de Territorio, Hábitat y Vivienda del Municipio del DMQ, datos obtenidos de la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, Ministerio de Defensa Nacional y Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichicha en el año 2013.

2.3.1. Tamaño de la población

Según datos del Censo, INEC 2010, en la Parroquia Cochapamba, en donde se encuentra ubicado el Barrio Atucucho, tiene 57.910 habitantes con una tasa de

crecimiento demográfico de 29,8% con respecto a los datos del censo de 2001 en el cual su población era de 44.613 habitantes. Para esta parroquia la tasa de crecimiento demográfico es de 2.9%.

Tabla 2.5 Composición de la Población

AÑO	HOMBRES	MUJERES	TOTAL	DENSIDAD(hab/ha)
2010	28.375	29.535	57.910	106.4
2001	21.905	22.708	44.613	76

Fuente: (Secretaria de Territorio DMQ, 2010)

2.3.2. Densidad de población

La densidad poblacional se ha incrementado como se observa en la tabla 2.5. En el 2001 se tenía una densidad de 76 hab/ha la cual se incrementó a 106.4 hab/ha en el 2010. Según el censo de Población y Vivienda de 2001 se contabilizaron 12.642 viviendas, mientras que para el año de 2010 estas aumentaron a 19.224.

2.3.3. Educación

Según datos del INEC en el censo de 2010 el nivel de instrucción primaria era el que primaba con un 15,49%, seguido por el 13,9% de instrucción primaria. La tasa de analfabetismo era de 5.3%.

En la Parroquia Cochapamba los centros educativos más cercanos a la zona de estudio son el colegio Ecuatoriano Suizo, Colegio Los Pinos, La escuela Fiscal Mixta Ayacucho.

2.3.4. Población Económicamente Activa (PEA)

Uno de los aspectos socioeconómicos es la población económicamente activa, específicamente en la parroquia Cochapamba, parroquia en la cual se encuentra el área de estudio se tiene que la PEA es de 40.622 habitantes.

2.4. Aspecto Físico

2.4.1. Climatología

Las condiciones climáticas del DMQ son variables, debido a su orografía, topografía, época del año y la presencia de microclimas en su entorno. Existen dos tipos de clima en el DMQ; el primero denominado ecuatorial mesotérmico semi húmedo y el segundo ecuatorial de alta montaña. (Pourrut, 1989)

Según el Instituto Espacial Ecuatoriano en el informe “Generación de Geoinformación Para La Gestión Del Territorio a nivel nacional a Escala 1:25000” el dato principal para la climatología lo aporta la estación meteorológica M055 Quito Aeropuerto-DGAC (tabla 2.6 y tabla 2.7), ubicada a 2811m de altura en las coordenadas 779273 este 99844243 norte, que es la más cercana a la zona de estudio.

Tabla 2.6 Precipitación Media Mensual (mm) de Estaciones Meteorológicas

COD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT
M055	81,8	99,9	139,7	151,5	99,7	36,1	13,1	14,8	58,5	96,3	88,8	79,7	959,9

Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2013)

Tabla 2.7 Temperatura Media Mensual y Anual (°C)

CODIG O	EN E	FE B	MA R	AB R	MA Y	JU N	JUL	AG O	SE P	OC T	NO V	DIC
M055	13, 7	13, 8	13,7	13, 8	13,9	14, 0	14, 0	14,2	14, 0	13,7	13,6	13, 7

Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2013)

2.4.2. Temperatura

La temperatura promedio anual en la estación M055 es de 13.8 °C. La variación de temperatura media mensual es de aproximadamente 0.5 °C en el transcurso de año.

2.4.3. Precipitación

La zona de Atucucho se encuentra en la zona lluviosa Interandina, teniendo periodos lluviosos comprendidos entre septiembre y abril, mientras la época seca está comprendida entre mayo y agosto. La precipitación promedio anual en esta zona es de entre 900-1100 mm por año. (Figura 2.10)

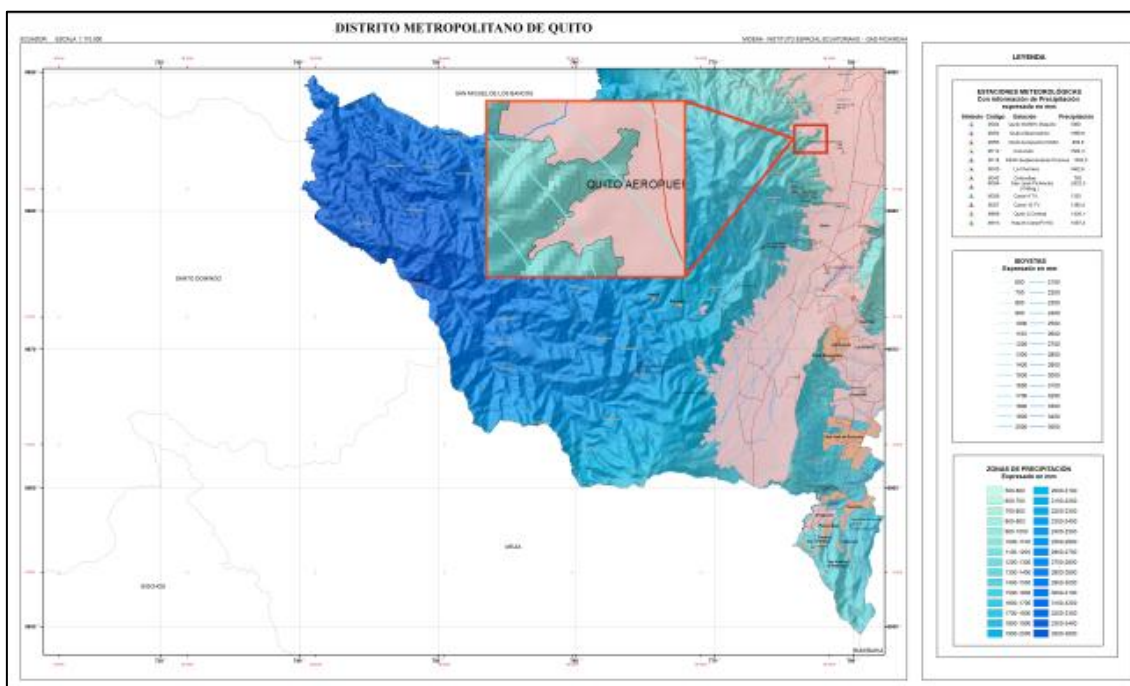


Figura 2.10 Mapa de zonas de precipitación media anual del DMQ.

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, Ministerio de Defensa Nacional, Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha, 2013.

2.4.4. Topografía

La topografía que presenta el área de estudio es característica de zonas que están ubicadas en los descensos de las laderas del Pichincha, el drenaje principal se desarrolla en un sentido noroeste a sureste con diversas quebradas y pendientes. Este drenaje es lineal que han excavado quebradas y cañones con paredes sub verticales formando taludes fuertes y susceptibles de generar movimientos en masa. (Abata, 2015)

Presenta pendientes entre 25° y 35°; aunque existen asentamientos sobre estas fuertes pendientes, no hay evidencia de erosión intensa en la zona.

2.4.5. Suelo

El suelo del área de estudio está caracterizado por materiales volcánicos indiferenciados del Complejo Volcánico Pichincha, los afloramientos de cangahuas compactadas sobre una fina franja de lapilli y arenas volcánicas tienen un origen en la actividad del Rucu Pichincha y se encuentran cubiertas por depósitos distales del Guagua Pichincha, Pululahua, etc. (FUNEPSA CIA LTDA, 2015)

2.4.6. Geología Regional

2.4.6.1. Dinámica de Subducción y Regiones Morfotectónicas

El Ecuador está ubicado al noroccidente del Continente Sudamericano, entre las latitudes 2°N – 4°S, afectado por una dinámica de subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana (Ego, Sébrier, Lavenu, Yepes, & Eguez, 1996), que subduce a una velocidad entre 55 - 58 mm/año en sentido Este-Oeste (Trenkamp, Kellogg, Freymueller, & Mora, 2002). Los procesos de subducción y acreción de terrenos en el Ecuador han conformado ocho divisiones morfo-tectónicas: Costa, Cordillera Occidental, Valle Interandino, Cordillera Real y Bloque Amotape Tahuin, Cuenca Oriente, Zona Subandina y Cuenca Alamor –Lancones (Figura 2.11).

Cada uno de estos terrenos ha sido modificado a lo largo del tiempo por procesos tectónicos que fueron originados por procesos de colisión/acreción de terrenos generados fuera del continente contra el borde sudamericano (Litherland, Aspden, & Jemielita, 1994).

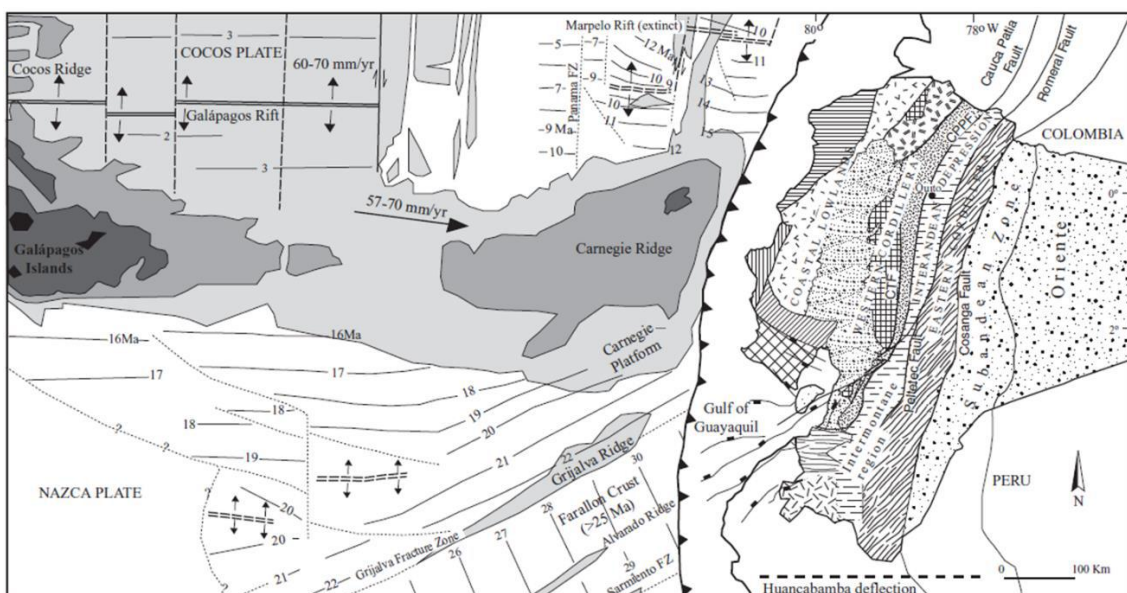


Figura 2.11 Marco Geodinámico del Ecuador

Fuente: (Vallejo, Winkler, Spikings, & Luzieux, 2009)

2.4.6.2. Valle Interandino

El Valle Interandino, se trata de una depresión tectónica en compresión que está limitada por las fallas que coinciden con los límites estructurales de ambas cordilleras (Real y Occidental) y que incorporan ramales de los sistemas de fallas inversas Peltetec y Palatanga-Pujili, respectivamente (Lavenu, Winter, & Davila, 1995). Estructuralmente el Valle Interandino se encuentra alargándose en sentido NNE-SSW, abarca 300 km de longitud y 25 km de ancho aproximadamente, esta depresión como se le denominó anteriormente se extiende desde el Valle del Chota en el norte hasta Alausí en el sur.

El Valle Interandino está dividido en 3 segmentos por 2 nudos, el Valle Interandino Norte, el Valle Interandino Central, y el Valle Interandino sur (Villagomez, 2003). Estos segmentos han sido rellenados por depósitos volcanoclásticos, volcánicos sedimentarios, fluvio lacustres y aluviales con edades Holocénicas (Winkler, y otros, 2005). El segmento central del Valle Interandino se denomina Quito-Guayllabamba y es una depresión tectónica en sentido N-S con 30 km de longitud y 5 km de ancho. Su límite Norte es el nudo constituido por los volcanes Mojanda y Cusín y su límite Sur está constituido por los volcanes Cotopaxi, Pasochoa, Rumuñahui e Illiniza (Villagomez, 2003).

2.4.6.3. Cuenca Quito-Guayllabamba

La Cuenca de Quito - Guayllabamba es una depresión tectónica con una dirección aproximada N-S y unas dimensiones de treinta kilómetros de longitud y de tres a cinco kilómetros de ancho (Alvarado, 1996), consiste en depósitos volcánicos y volcanoclásticos, se divide en dos subcuencas: Centro-Norte y Sur, según la morfología, están separadas por el Río Machángara y el Domo El Panecillo (Villagómez, 2003). El relleno sedimentario constituye dos grandes series que se encuentran separadas por una discordancia mayor, la secuencia inferior consiste de lavas, tobas, lahares, aluviales, fluviales, deltaicos y lacustres que conforman las formaciones Pisque y San Miguel y fue depositada en un leve régimen extensional E-W (Plioceno Tardío-Pleistoceno Temprano) mientras que la secuencia superior consta mayormente de Cangahua formada por la actividad volcánica de centros de emisión como el Complejo Volcánico Pichincha (Plioceno Medio-Holoceno) (Figura 2.12).

Estratigrafía de la Cuenca Quito – Guayllabamba

Unidad Pallatanga (Basamento).- Esta unidad está constituida por gabros y microgabros a lo largo del río Guayllabamba, edad: Santoniano (Villagomez, 2003).

Formación Pisque. – Dividida en miembro superior e inferior por Villagómez (2003), el miembro inferior consiste en una base de lavas basálticas andesíticas, mientras que el miembro superior está conformado por facies aluviales, tobas y lahares de gran potencia, edad: Plioceno.

Formación San Miguel. - Dividido por Villagómez (2003) en dos miembros: Mb San Miguel y Mb. Lacustre San Miguel mientras que, Winkler et al. (2005) describe toda la formación San Miguel como una secuencia de volcánicos ricos en tobas con depósitos lacustres, edad: Pleistoceno inferior.

Formación Guayllabamba. - Según Winkler et al. (2005) está formada por flujos piroclásticos, avalanchas y flujos de lavas durante un periodo compresivo de un gran volcanismo, edad: Pleistoceno medio.

Formación Chiche. - Villagómez (2003) propone una división en miembros de la siguiente manera, Mb. Fluvio Lacustre I: Constituida por limolitas, tobas, micro conglomerados y niveles arenosos finos. Mb Lahar: Consiste de flujos de lodo. Mb Fluvio Lacustre II: Son limolitas tobaceas blancas, diatomitas y areniscas grises. Mb Chiche: conglomerados, areniscas intercaladas con tobas, edad: Pleistoceno medio.

Formación Mojanda. – Está constituida por lahares ricos en líticos andesíticos y debris flow que contienen bloques dacíticos y andesíticos, edad: Pleistoceno medio (Villagomez, 2003).

Formación Cangahua. - Son depósitos jóvenes de coloración amarillento y marrón, se subdividen según su grado de consolidación y la posición estratigráfica de Cangahua en Unidad A, B, C. Se encuentra cubriendo gran parte del Valle Interandino y consiste principalmente de tobas alteradas intercaladas con caídas de ceniza, pómez, paleosuelos y menormente flujos de lodo y canales aluviales, edad: Pleistoceno superior (Villagomez, 2003).

El Volcán Guagua Pichincha tiene una edad de 60ka y está constituido por tres edificios desarrollados en el Pleistoceno tardío: 1) De los 60 a 11 ka compuesto por un estrato-cono efusivo con una fase de larga duración de crecimiento de domos (basal Guagua Pichincha), 2) se forma el Edificio Toaza por actividad explosiva y extrusiones de lava viscosa entre 11-4 ka y 3) Se da el crecimiento del Domo volcánico Cristal hace ~4 ka hasta el presente (Barberi, y otros, 1992).

El Rucu Pichincha tiene depósitos de flujo de lava andesítica interestratificados con brechas y depósitos piroclásticos de caída, mientras los depósitos del Guagua Pichincha se caracterizan por ser magmas andesíticos- dacíticos ricos en volátiles (Samaniego, y otros, 2006).

El CVP así como el Valle Interandino se encuentran cubiertos por rocas de la Fm. Cangahua, estas rocas forman un manto de ceniza volcánica retrabajada la cual sobreyace los depósitos lávicos más antiguos formados durante eventos pasados del Rucu Pichincha y Guagua Pichincha. (Beate, Hammersley , De Paolo, & Denio , 2006). La cangahua como material volcánico pertenece al cuaternario y su composición química puede variar desde cangahuas dacíticas, riodacíticas o riolíticas dentro de un mismo perfil y pueden ser modificadas fácilmente por factores como la meteorización.

2.4.7. Geología Local

El área de estudio tiene una estratigrafía conformada principalmente por los depósitos volcánicos pertenecientes a la secuencia superior de la Cuenca Quito-Guayllabamba.

Suelo

Se presenta como un estrato de coloración café oscuro a ocre, generalmente con abundante vegetación y materia orgánica, los contactos son irregulares (fotografía 2.1) y su espesor oscila entre 50cm. a 1m. pero varía dependiendo de la ubicación.

Zonas de Relleno

Son depósitos de material antrópico o artificiales dentro de una matriz retrabajada que comúnmente completa la topografía faltante. Su espesor varía dependiendo de la zona.



Fotografía 2.1 Relleno en la zona de estudio

Depósitos Coluviales

Los depósitos coluviales son depósitos antiguos de deslizamientos importantes y/o pueden estar relacionados a los conos de deyección de las quebradas.

Un único depósito coluvial se identificó mediante el análisis de la morfología del terreno y los cambios de pendientes que presentaba la zona señalada en la Figura 2.13, como se puede apreciar no se puede dar una descripción litológica ya que el depósito se encuentra cubierto por la zona urbana.

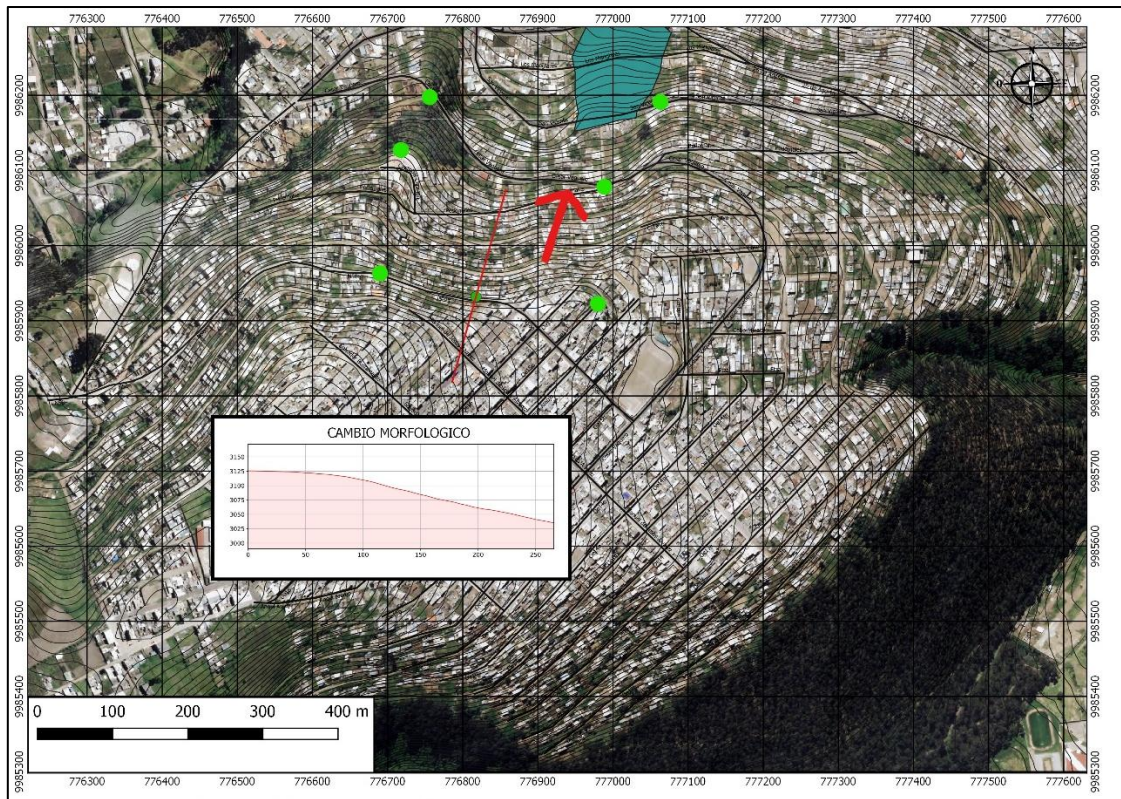
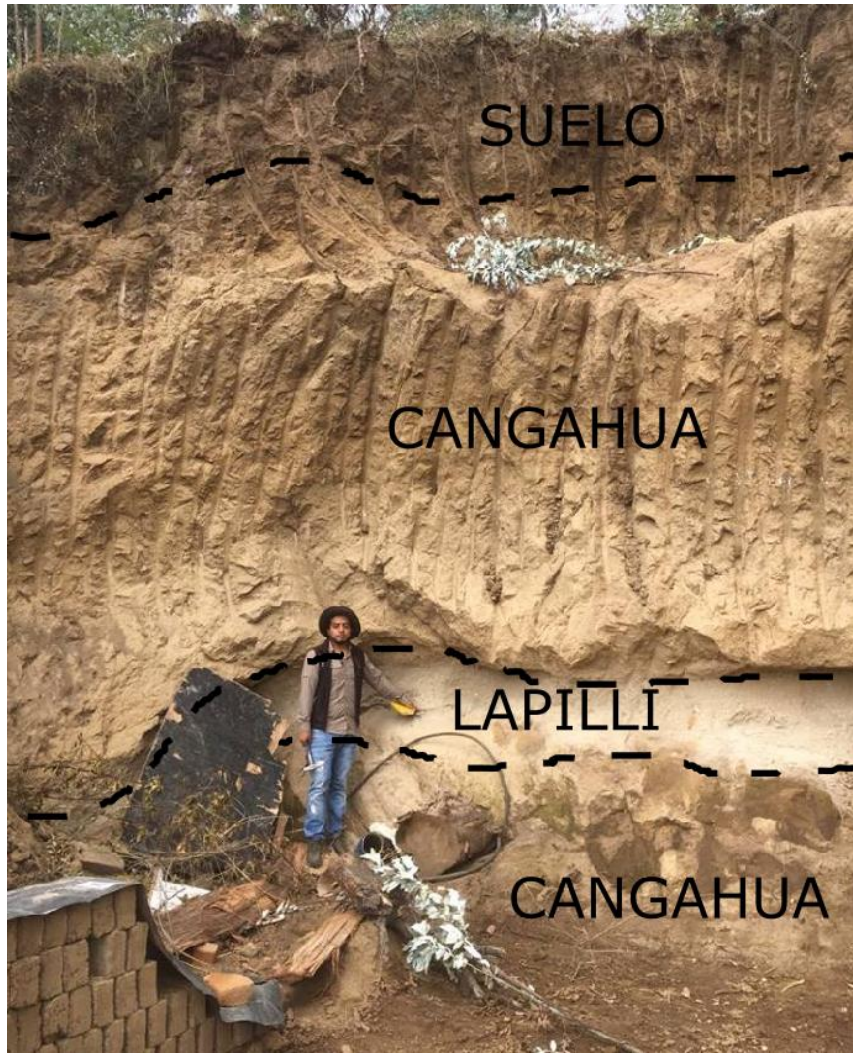


Figura 2.13 Ubicación del depósito coluvial en la zona de estudio

Unidad Cangahua

La Cangahua es una unidad geológica con una distribución muy extensa en el DMQ, está compuesta por depósitos de tobas y cenizas, sus estratos pueden ser centimétricos y hasta decimétricos de limos arcillosos o arenosos, en forma general forma un manto de 30 m de espesor aproximadamente que sobreyace las rocas más antiguas. Su coloración oscila desde café amarillento a pardo oscuro, pueden estar intercaladas con depósitos de lapilli, con estratos o lentes de arena con tamaño medio a grueso de coloración gris. Granulométricamente esta unidad está definida como arena fina variando a limosa y arcillosa que en términos generales se refiere a ceniza y polvo volcánico de origen piroclástico. (fotografía 2.1)



Fotografía 2.2 Unidad Cangahua aflorante en la zona de estudio

CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para realizar la Zonificación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en la Zona de Atucucho se utilizara la Metodología de los Desplazamientos de Newmark que se desarrolla en los trabajos de (Newmark, 1965), (Jibson, 1993) y (Chousiantis, y otros, 2016). La Metodología de Newmark, implementada mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), se revela como una técnica sencilla y relativamente fiable para evaluar a nivel regional la susceptibilidad de las laderas a inestabilidades producidas por sismos. Esta metodología utiliza los datos geológicos obtenidos a través de revisión bibliográfica y trabajo de campo, características geomecánicas y modelo de terreno que son combinadas con herramientas del SIG para poder establecer los desplazamientos (Figura 3.1). Los mapas finales obtenidos nos permiten identificar áreas de una potencial amenaza o desplazamientos de laderas, así como establecer una metodología practica que permita aplicar el método en otras áreas de interés para posteriores estudios a detalle.

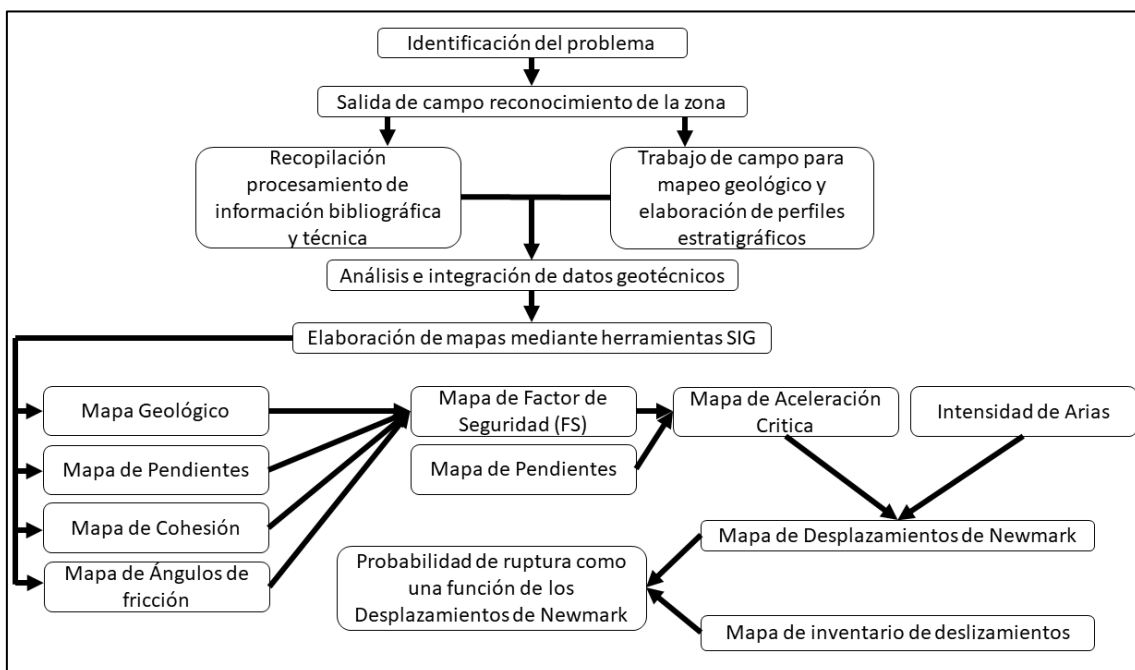


Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología propuesta para este estudio

3.1. Mapa Geológico

El mapa geológico es la principal herramienta con la que se inicia el trabajo ya que refleja las características de los diferentes tipos de depósitos y nos da información sobre su distribución espacial y sus respectivas propiedades.

El mapa geológico se realizó en función a la revisión y análisis de la información recopilada, trabajo de campo para el levantamiento de datos litoestratigráficos y morfológicos proporcionados por las diversas visitas realizadas. Es necesario tener una descripción petrográfica de los afloramientos y taludes encontrados para diferenciar los diferentes tipos de depósitos presentes en la zona de estudio.

La geomorfología nos permite identificar y analizar las formas del relieve para asociarlos con los procesos evolutivos superficiales y subterráneos, en este caso los levantamientos morfológicos se realizaron con el fin de establecer cambios de pendientes que, en el mapeo de unidades cuaternarias nos muestran variaciones en su morfología permitiéndonos darnos una idea de espesores de relleno.

Una vez culminada la fase de recolección de los datos, estos se procesan y digitalizan con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) como lo es el Qgis. 2.18.7.

3.2. Unidades Geotécnicas

Los valores de resistencia de los geomateriales, caracterizada generalmente por el ángulo de fricción, peso específico y cohesión ya sea en estado seco o saturado, son una parte fundamental para la elaboración del mapa de FS. Estos valores dependen del tipo y condiciones del ensayo, características locales (grado de alteración, grado de cementación, fracturamiento, etc.), por ello para modelar la amenaza por deslizamientos ya sea inducido por lluvias o sismos es necesario considerar valores de resistencia promedios representativos de los materiales de la capa de suelo que se encuentra alterada. Para este estudio se tomarán datos técnicos de trabajos recientes en la zona citados en la tabla 3.1, en los cuales se hayan realizado ensayos técnicos pertenecientes a la zona de estudio.

Tabla 3.1 Parámetros geotécnicos referenciales

Descripción	Cohesión (kN/m ²)	Fricción (°)	Peso Específico (kN/m ³)	Peso Especifico saturado (kN/m ³)	Fuente
Relleno	4,9	3,28	17,65	23,65	Cañari & Alva (2011), Jimenez (1999)
Cangahua	37,00	21	17,70	21,65	(Pillajo, 2016)

Coluviales	29,42	7	14,75	17,3	(Hernández, y otros, 2017)
------------	-------	---	-------	------	----------------------------

Una vez recopilados los datos, se puede integrarlos mediante un SIG (Qgis) dentro del mapa geológico, en la unidad o grupo correspondiente.

Habilitando la edición de los “shape files” y abriendo la tabla de atributos del mapa geológico para luego utilizar la opción “add field” en donde agregamos los valores de la tabla 3.1 para cada litología propuesta en el mapa.

Los valores que indican el grado de estabilidad para las unidades, son asignados mediante la bibliografía de referencia y están propuestos en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Rangos de Estabilidad

Grado cualitativo de estabilidad	Cohesión efectiva (kPa)	Fricción efectiva (°)	Peso unitario (kN/m ³)	Fuerza Total en 3m (kPa)
Pobre	30	15	20	46
Regular	40	20	20	68
Variable	55	30	20	90
Buena	70	35	20	112

Fuente: (Miles & Keefer, 2001)

3.3. Mapas de Cohesión, Peso Específico y Angulo de Fricción

Los mapas de cohesión, peso específico y ángulo de fricción de la zona de estudio, serán generados por los datos anteriores de manera automática por el software Qgis (SIG) desde cada uno de estos aspectos de la litología que tienen un valor numérico en el mapa geológico, por lo que cada mapa tiene un formato “raster” ya que por defecto el software Qgis da como resultado un formato de origen vectorial. Para ello utilizamos la pestaña *Raster > Conversion > Rasterizar*.

3.4. Mapa de Pendientes

La pendiente es una medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera, se puede medir en grados o también es expresada en porcentajes (Suárez J. , 2009).

El mapa de pendientes se obtiene mediante el manejo del software Qgis combinado con un Modelo Digital de Terreno (MDT) o DEM (siglas en inglés) nos permite extraer datos de las pendientes de la zona y representarlo en forma de mapa.

Se utiliza la pestaña Raster > *Análisis* > *MDT*, dentro de esta ventana se elige la opción *Modo* > *Pendiente*, de la cual se obtendrá un archivo “*raster*”, con la información de las pendientes de la zona de estudio (Figura 3.2). Para la utilización de estos datos se procederá a reagrupar los valores de pendientes obtenidos por defecto por un rango de valores establecidos para este estudio.

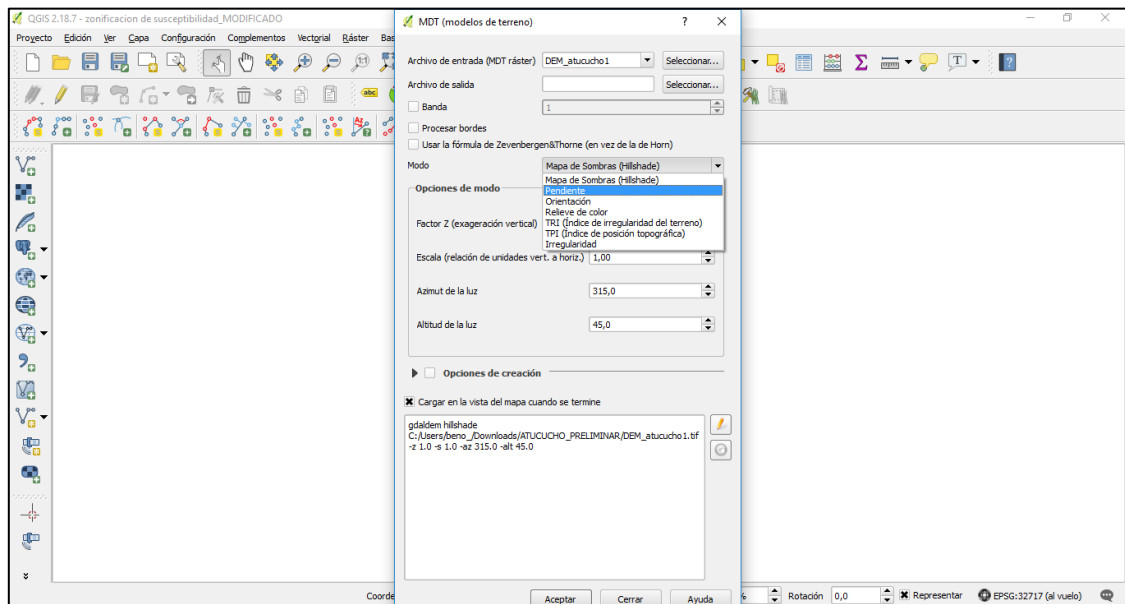


Figura 3.2 Modo de ejecución de la ventana MDT

3.5. Mapa de Factor de Seguridad

El mapa de FS se calcula asumiendo un modelo simple de equilibrio límite con talud infinito. Para ello se combinan los mapas de parámetros geotécnicos realizados con anterioridad con el mapa de pendientes mediante la ecuación:

$$FS = \frac{c'}{\gamma t \text{ sen } \alpha} + \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} + \frac{m \gamma_w \tan \phi'}{\gamma \tan \alpha}$$

Ecuación 3-1

En donde c' es la cohesión efectiva, ϕ' es el ángulo de fricción efectivo, α es el ángulo del talud, γ es el peso específico del material del talud, t es el espesor normal de la superficie de rotura, γ_w peso específico del agua, m es la proporción de la superficie que se desliza.

Para el modelo de peligros por sismos y lluvias, se considera al terreno en dos condiciones intermedias probables: seco y saturado. En un escenario seco se asignaron los valores para $t = 3$ m y $m = 0$, mientras que para un escenario saturado se asignaron los valores para $t = 5$ m y $m = 1$, (Miles & Keefer, 2001). Los grados cualitativos para el valor del FS se tomaron en base al trabajo de Hernández y otros (2017) representados en la tabla 3.3.

El software Qgis calcula el FS de las diferentes zonas con la aplicación algebra de mapas y la correcta introducción de la ecuación 3-1(Figura 3.3).

Tabla 3.3 Grados cualitativos según el FS.

Grado de susceptibilidad y/o peligro	FS
Muy bajo	Mayor a 2
Bajo	1,5 – 2
Moderado	1,3 – 1,5
Medio	1,1 – 1,3
Alto	1 – 1,1
Muy alto	Menor a 1

Fuente: (Hernández, y otros, 2017)

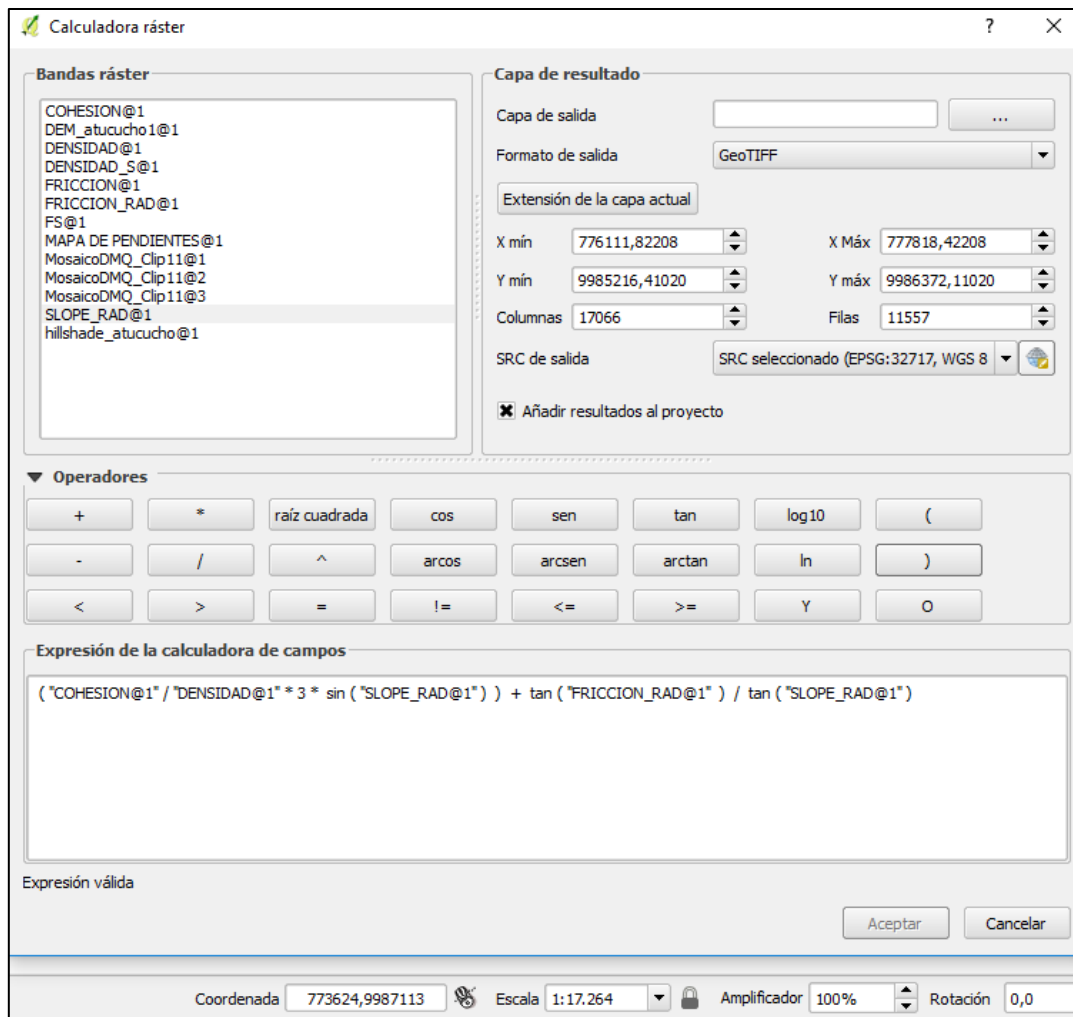


Figura 3.3 Proceso para el cálculo de FS

3.6. Mapa de Aceleración Crítica

Según Newmark (1965) este valor es una simple función del FS y la geometría del terreno. De acuerdo a Jibson (1993) este valor representa la frontera superior de equilibrio expresada en g's de gravedad. Cualquier aceleración del terreno que sobrepase dicho valor iniciaría el deslizamiento. La ecuación utilizada para la estimación de la Aceleración Crítica (a_c) es la siguiente:

Ecuación 3-2

$$a_c = (FS - 1)g \operatorname{sen}(\alpha)$$

Donde, FS es el Factor de Seguridad, g es la fuerza de la gravedad terrestre (expresada en g's) y α es el ángulo de pendiente del terreno.

Del mismo modo que el mapa de FS, el software Qgis calculará el mapa de Aceleración Crítica mediante su algebra de mapas y la correcta introducción de la ecuación 3.2 (Figura 3.4).

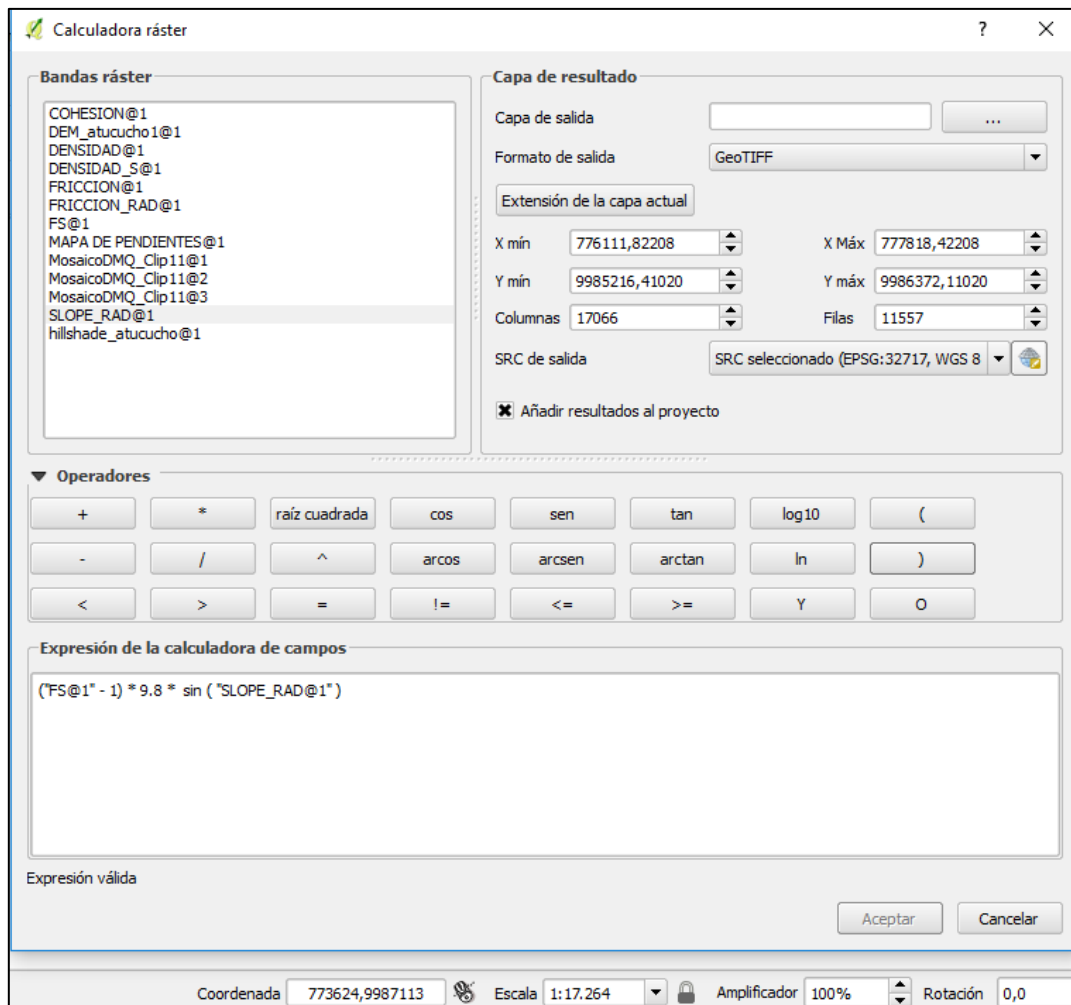


Figura 3.4 Proceso para el cálculo de a_c

3.7. Intensidad de Arias

El cálculo de la Intensidad de Arias (I_A) se realizó mediante el uso de la aplicación SeismoSignal, la cual simula acelerogramas espectrales de movimientos sísmicos locales e internacionales. Cañizares, (2017), seleccionó un registro de sismos locales recientes ocurridos en el DMQ (Tabla 3.4) y un registro de sismos internacionales (Tabla 3.5), compatibles con las condiciones geológicas y locales en un rango de magnitudes esperadas para el DMQ, mediante estas señales sísmicas calculó las ecuaciones de atenuación compatibles con los mecanismos de fallamiento del sistema de fallas de Quito (QSF).

En el cálculo no se toma en cuenta ningún periodo de retorno ya que se realiza mediante la simulación de los acelerogramas que ya están modelados con los ajustes de atenuación de ondas, los periodos de retorno solo se utilizan para el cálculo de la aceleración cuando se tiene como dato la Intensidad de Arias.

Las condiciones sísmicas consideradas para la zona de estudio están en función de las propiedades geológicas y los mecanismos del Sistema de Fallas de Quito (QSF), a partir de lo mencionado se ha tomado como referencia el rango de Vs30 entre 360 - 600 m/s, los valores de Mw esperados en el DMQ entre 5.7 - 6.9, una distancia epicentral entre 10 – 30 km y el mecanismo de fallamiento inverso (Cañizares, 2017).

Tabla 3.4 Registros sísmicos seleccionados DMQ.

Sismo	Fecha	Mw	Profundidad	dt	Mecanismo de falla
Calderón	12/08/2014	5.1	5.3	0.01	Inversa
Puembo	08/08/2016	4.6	7.3	0.01	Inversa
Puembo-Tab.	04/09/2016	4.7	2.7	0.01	Inversa
Conocoto	7/02/2011	4.2	12	0.01	Inversa
Guayllabamba	29/10/2011	4.1	3	0.01	Inversa
Calderón 2	16/08/2014	4.7	7.7	0.01	Inversa

Fuente: (Cañizares, 2017)

Tabla 3.5 Registro sísmico internacional

#	Sismo	Estación	Año	Mw	Rjb (km)	Rrup (km)	Tipo de suelo	Dt
1	San Fernando	Santa Felicita D.	1971	6.6	24.4	24.87	C	0.02
2	San Fernando	Lake Hunghes #9	1971	6.6	17.2	22.57	C	0.02
3	San Fernando	Lake Hunghes #12	1971	6.6	13.9	19.3	C	0.02
4	Friuli	Codoprio 1st	1976	6.4	30.8	30.9	C	0.005

5	Friuli	Tolmezzo centrale	1976	6.4	10.2	12.1	C	0.005
6	Colalinga	Sulphur Baths_Tem	1983	5.7	9.7	12.1	C	0.005
7	Loma Prieta	San Jose-Sant. Ter	1989	6.9	14.1	14.7	C	0.02
8	Loma Prieta	Santa Cruz_UCSlab	1989	6.9	12.4	18.4	C	0.02
9	Northridge	Glendale_Cypres Ave	1994	6.7	28.9	30.9	C	0.02
10	Northridge	Glendale-Las Palmas	1994	6.7	21.6	22.21	C	0.02

Fuente: (Cañizares, 2017)

Los registros internacionales fueron seleccionados de la base de datos de: Pacific Earthquake Engineering Research Center PEER Ground Motion Database USA. A partir de esta información se compararon datos de Vs30, distancia epicentral, mecanismos de falla, distancia epicentral y magnitudes de sismos históricos recientes e históricas esperadas en el DMQ. Se seleccionaron los sismos internacionales 6 y 7 de la tabla 3.5 ya que sus características coinciden acertadamente con propiedades geológicas y los mecanismos del QSF; estos sismos seleccionados generan una base de datos que se utiliza en el software Seismosignal para recrear el registro sísmico aceptable y así calcular los valores numéricos de espectros de Aceleración e Intensidad de Arias.

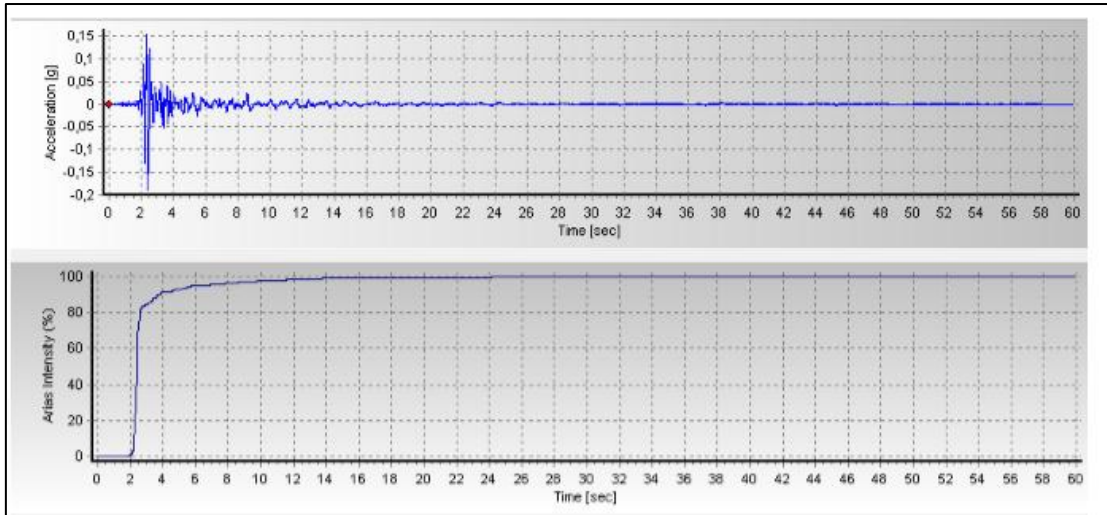


Figura 3.5 Espectro de aceleración(g) e Intensidad de Arias(%)del Sismo Coalinga 1983

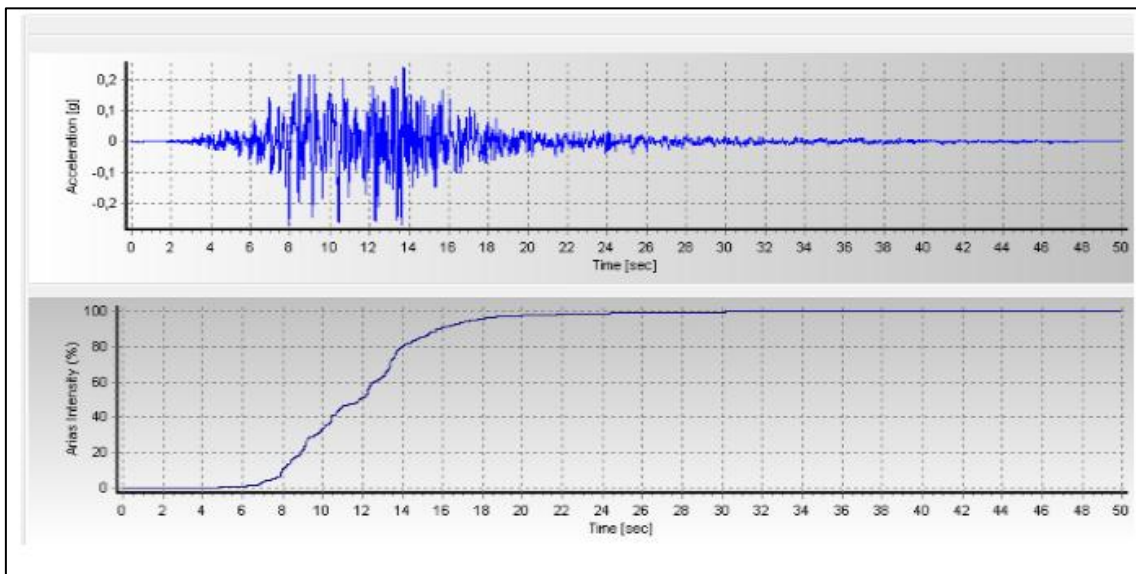


Figura 3.6 Espectro de aceleración(g) e Intensidad de Arias(%)del Sismo Loma Prieta 1989

3.8. Desplazamientos de Newmark

El mapa de Desplazamientos de Newmark (D_N) se obtiene de la integración en la ecuación 3-3 que relaciona la Aceleración Crítica y la caracterización del registro sísmico, que para este estudio es la Intensidad de Arias de los sismos cuya aceleración pico es mayor a la Aceleración Crítica del talud. Lo que significa en términos más sencillos, son las aceleraciones que teóricamente causan desplazamientos en el terreno.

Se utiliza el álgebra de mapas en el Qgis para realizar los cálculos de la fórmula que permite cuantificar y zonificar los desplazamientos de acuerdo a las condiciones dadas. El cálculo de los Desplazamientos de Newmark se realizó mediante la fórmula empírica para todas las condiciones de sitio, propuesta por Hsieh y Lee, (2011).

Ecuación 3-3

$$\log D_N = 0,847 \log I_A - 10,62 \log a_c + 6,587 a_c \log I_A + 1,84 \pm 0,295$$

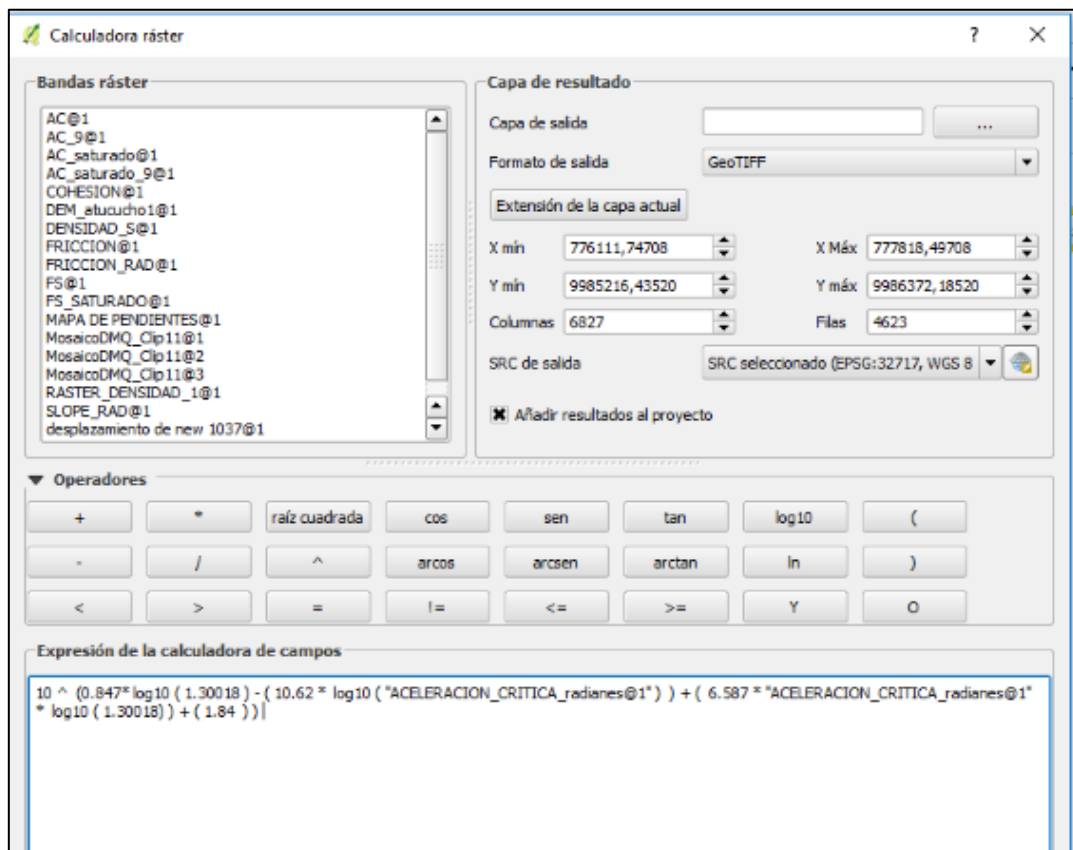


Figura 3.7 Proceso para el cálculo del Desplazamiento de Newmark

3.9. Mapa de Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa.

La base de datos para el Mapa de Inventario de Movimientos en Masa fue realizada mediante la recopilación de varios trabajos realizados en el Barrio de Atucucho como el trabajo de campo realizado por los estudiantes de la Carrera de Geología de la Universidad Central en el año 2017 y el registro de movimientos en masa dentro de la

zona de estudio realizado por el la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos del Municipio del DMQ.

El trabajo de campo realizador por los estudiantes de la Carrera de Geología se realizó mediante fichas técnicas (Figura 3.8) de levantamiento de información geológica y geotécnica. Posteriormente se recopiló, revisó y procesó la información de las fichas levantadas por los estudiantes para la elaboración del Mapa de Inventario de MM.

FORMATO PARA VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD EN TALUDES

GRUPO: _____ Fecha: ____/____/____ Hora: _____

TRAMO TOTAL: _____

Factor de susceptibilidad	Sub Tramo:	Sub Tramo:	Sub Tramo:	Sub Tramo:	Sub Tramo:	Sub Tramo:
Altura del talud (m)						
Inclinación del talud (°)						
Salientes topográficas (si/no)						
Espesor del suelo superficial (m)						
Espesor de la capa de relleno (m)						
Nacimiento de agua (si/no)						
Presencia de escorrentía superficial (si/no)						
Meteorización (si/no)						
Fracturación (si/no)						
Altura del nivel freático (m)						
Presencia vegetación (si/no)						

OBSERVACIONES DEL TRAMO:

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

ESQUEMA DEL MOVIMIENTO.

Tramo:

DATOS ADICIONALES DE LOS POBLADORES:

Figura 3.8 Ficha Técnica utilizada para el levantamiento de datos Geológicas y Geotécnicos.

3.9.1. Calibración

La calibración de la metodología se realizó mediante la comparación de los Mapas de Desplazamientos de Newmark con la distribución de los deslizamientos en el Mapa de Inventario de MM realizado anteriormente.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Geología

4.1.1. Mapeo Geológico

El mapa geológico se elaboró en función al trabajo de campo realizado entre los meses de agosto y octubre del año 2017 para el levantamiento litoestratigráfico a lo largo de la zona de estudio. Durante el recorrido de campo se pudo determinar que en la parte más alta de la zona de estudio no hay afloramientos expuestos ya que todo está recubierto de adoquín, es decir es una zona ya altamente poblada por lo que dificultó determinar litologías en esos lugares.

Se realizaron a su vez un levantamiento de columnas litoestratigráficas (Figura 4.1) para llevar un control de la litología presente dentro de la zona. Las coordenadas de las columnas se presentan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Coordenadas de columnas estratigráficas

COLUMNA	X (ESTE)	Y (SUR)	COTA DE ALTURA (msnm)
1	776880	9985378	3051
2	776750	9986196	3024
3	777047	9986301	2964



Figura 4.1 Ubicación de las columnas estratigráficas

4.1.2. Columnas estratigráficas

En las columnas estratigráficas levantadas se puede apreciar los depósitos de cangahua sobreyaciendo un nivel de lapilli el cual se utiliza como un indicador para correlacionar los afloramientos y permitirnos ubicarnos en el espacio. Además, debajo de este nivel de lapilli se encuentra otra capa de cangahua de composición similar a la que sobreyace el nivel de lapilli.

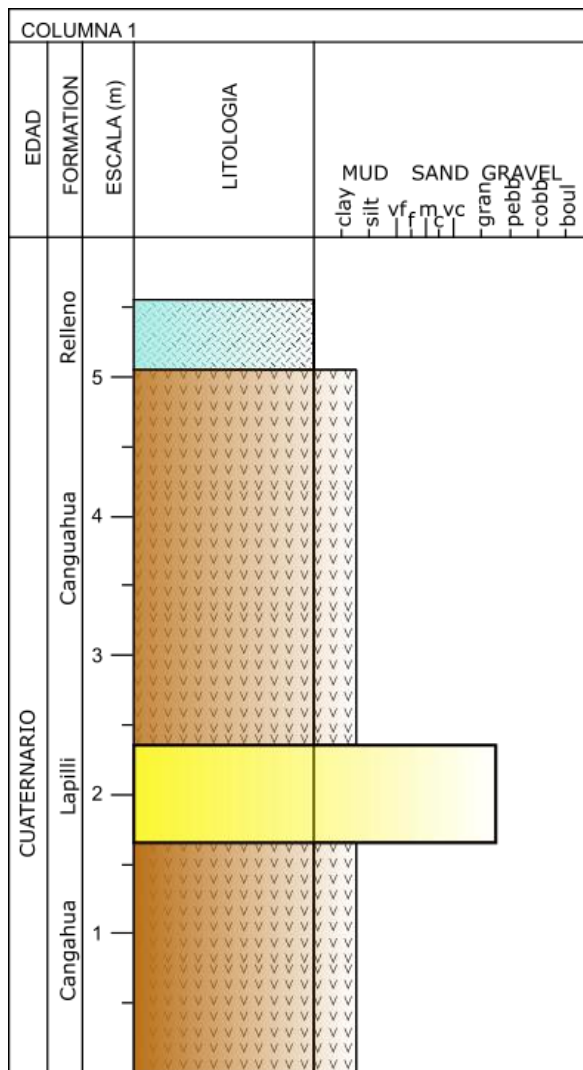


Figura 4.2 Columna estratigráfica 1 y afloramiento

Se puede apreciar en la columna estratigráfica 1 (Figura 4.2) que no existe suelo en la parte más alta, sino directamente un relleno sobre el cual están ubicadas las casas, lo cual es una diferencia muy notoria con las columnas 2 y 3 (Figuras 4.3 y 4.4) en las cuales el suelo está presente y con una potencia que varíen entre 50 cm. y 1 m.

En las columnas 2 y 3 que están ubicadas en la parte norte y noroccidental de la zona de estudio se observa un incremento en la potencia del estrato de cangahua de aproximadamente 20 metros, mientras que en la columna 1 la potencia de la cangahua llega a 5 metros aproximadamente. Esto nos indica que la cangahua se vuelve más potente hacia la parte norte de la zona.

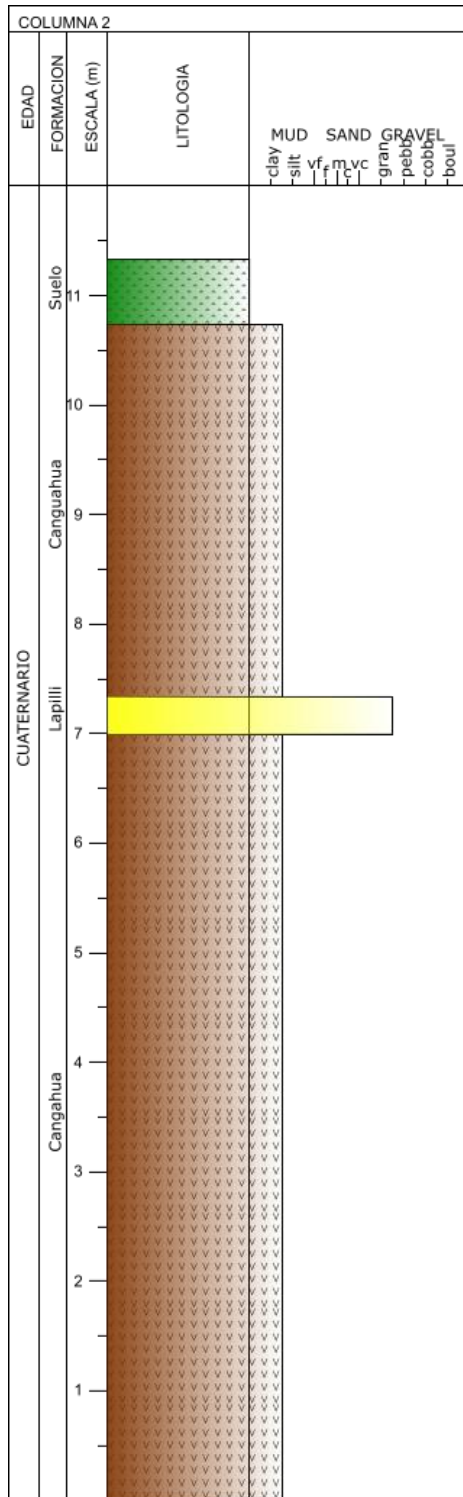


Figura 4.3 Columna estratigráfica 2 y afloramiento

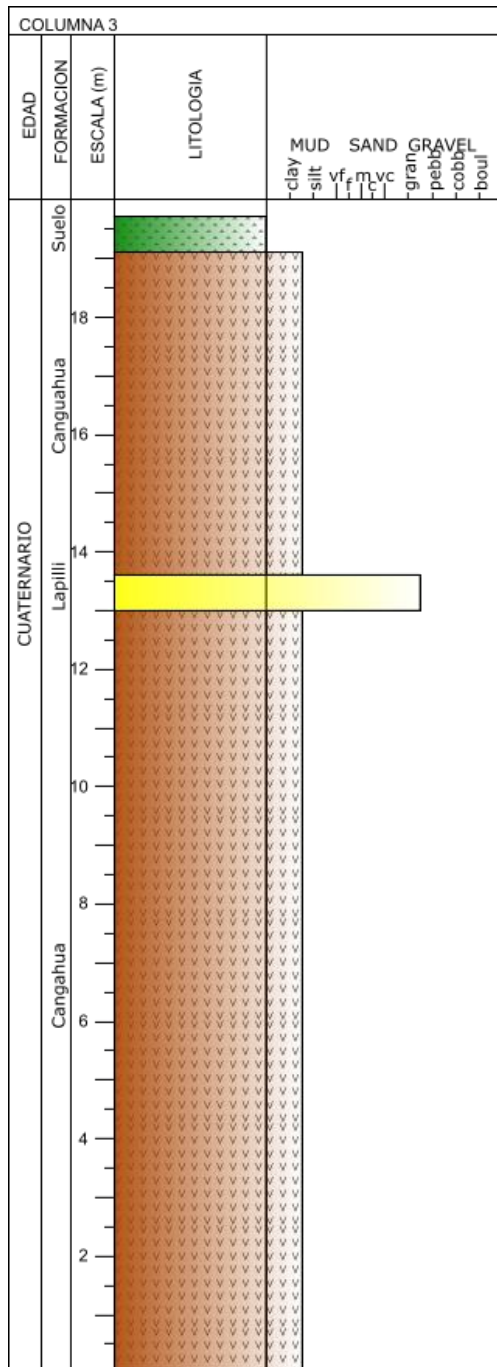


Figura 4.4 Columna estratigráfica 3 y afloramiento

En estas columnas se puede apreciar que el depósito de cangahua es interrumpido por un nivel de lapilli que está presente a lo largo de toda la zona de estudio, ambas unidades pertenecen a la formación Cangahua del Holoceno.

- Suelo: Estrato de coloración café oscuro con abundante vegetación y materia orgánica, los contactos son irregulares y su espesor varía dependiendo de la ubicación.

- Relleno: Son depósitos artificiales o material antrópico dentro de una matriz de ceniza re trabajada que comúnmente completa la topografía faltante. Su espesor varía dependiendo de la zona.
- Cangahua: Es un depósito limo-arenoso de coloración café, contiene fragmentos de pómez y presenta una consolidación alta. Presenta también cristales de plagioclasas y cuarzos dispersos en una matriz vítrea amorfa con esporádicos líticos de pómez.
- Lapilli: Son ricas en cuarzo y biotita con presencia de fenocristales de anfíbol, biotita y cuarzo en una matriz soportada, conformada de arena volcánica de color gris claro, es fácilmente disgregable y su espesor varía entre 50-70 cm.

4.1.3. Cambios de pendiente

Los cambios de pendiente muchas veces están relacionados a cambios morfológicos asociados a unidades geológicas distintas, estos cambios son de gran importancia en zonas urbanas donde no podemos encontrar afloramientos para determinar contactos litológicos entre la cangahua, zonas de relleno y depósitos coluviales presentes.

En la Zona de Atucucho se registraron varios puntos (tabla 4.2) en donde se aprecia cambios de pendientes importantes que señalan una superficie de deslizamiento antiguo, con los cuales se llegó a delimitar una zona de depósito coluvial cubierta por la zona urbana como se puede ver en la Figura 4.5.

Tabla 4.2 Coordenadas de cambios de pendientes observados

Punto	X	Y
1	776785	9986347
2	776818	9985932
3	776756	9986198
4	776719	9986126
5	776977	9985922
6	776991	9986081
7	776690	9985961

8	777062	9986192
---	--------	---------

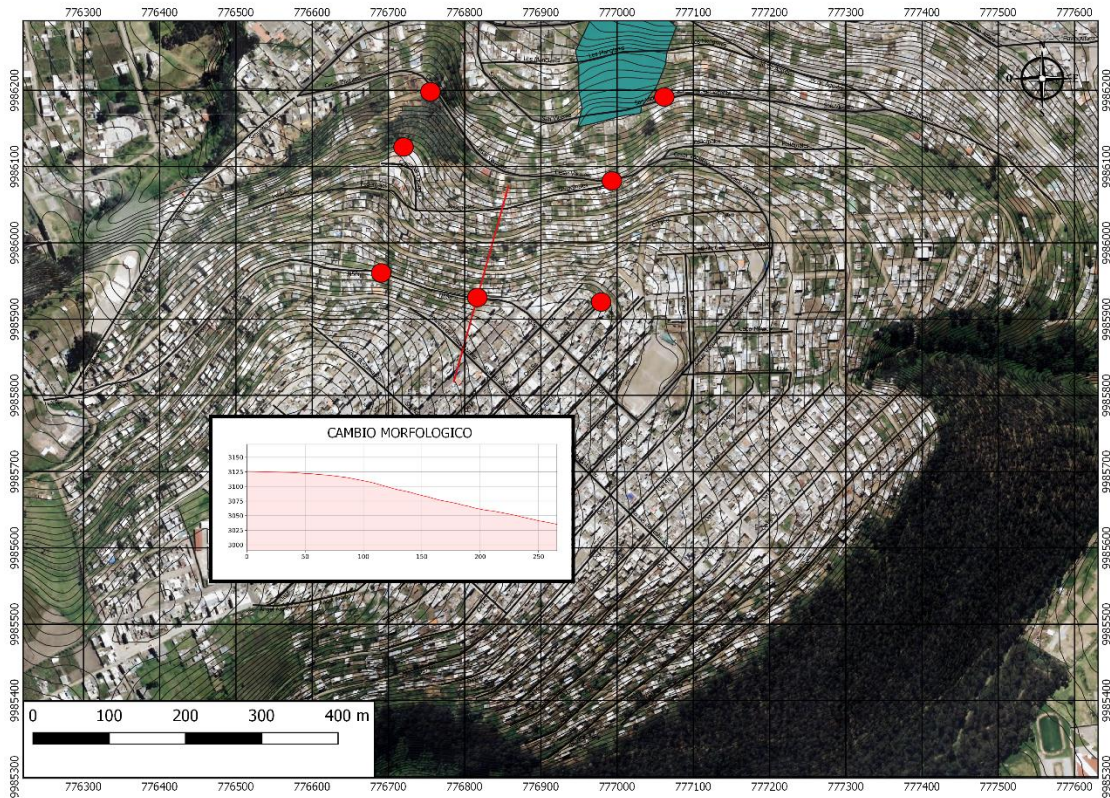


Figura 4.5 Mapa de la ubicación de los cambios de pendiente en la zona de estudio

4.1.4. Mapa Geológico

Como resultado del trabajo de campo y las descripciones petrográficas realizado entre los meses de agosto y octubre de 2017 de los distintos afloramientos presentes se elaboró un mapa geológico de la Zona de Atucucho el cual se indica en la Figura 4.6. En el mapa propuesto, están representadas las unidades geológicas descritas en la geología local con siglas que facilitan su visualización, la Unidad Cangahua representada en color café tiene las siglas Ch, la unidad Coluvial está representada por el color celeste y las siglas Clv, y por último la unidad de Rellenos representada en color amarillo tiene por siglas Zre. Estas unidades ya fueron descritas en las columnas litoestratigráficas presentadas en la sección 4.1.2.

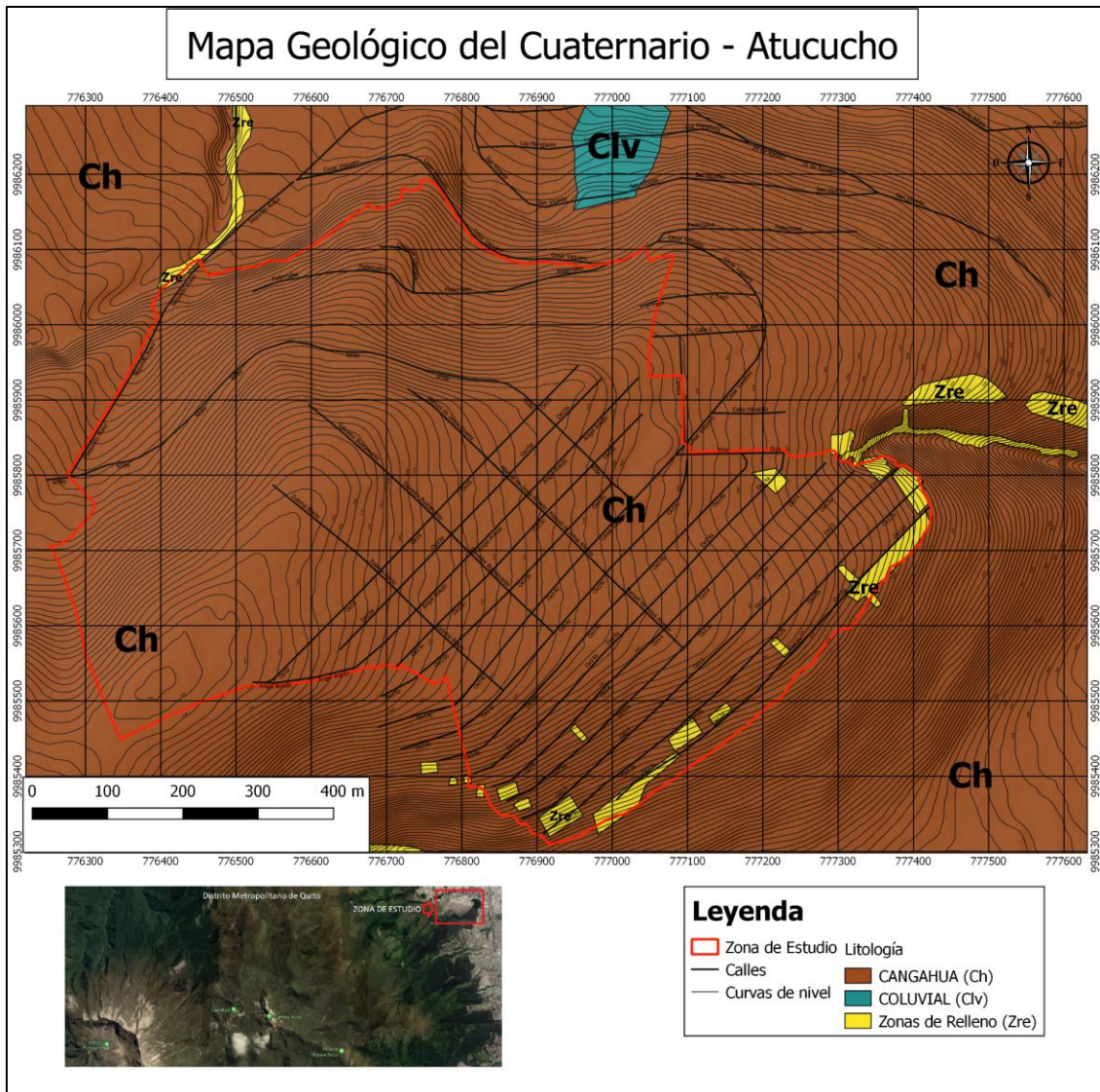


Figura 4.6 Mapa Geológico del Área de Estudio

En la figura 4.6 se puede observar los depósitos de cangahua cubriendo la mayoría de la zona, estos son depósitos comunes en las faldas del Complejo Volcánico Pichincha. Las zonas en color amarillo son zonas donde existen rellenos compuestos de basura y escombros con un espesor que varía de acuerdo a las necesidades de los habitantes. Por último, el depósito coluvial fue representado mediante el análisis de la morfología del terreno, las curvas de nivel y el cambio de pendientes ya que casi toda la superficie está cubierta.

En el mapa geológico a escala 1:5000 se presenta en los Anexos.

4.2. Mapas de características geotécnicas

Los mapas de propiedades geotécnicas representan los valores que fueron asignados por la Tabla 4.3 para cada grupo litológico.

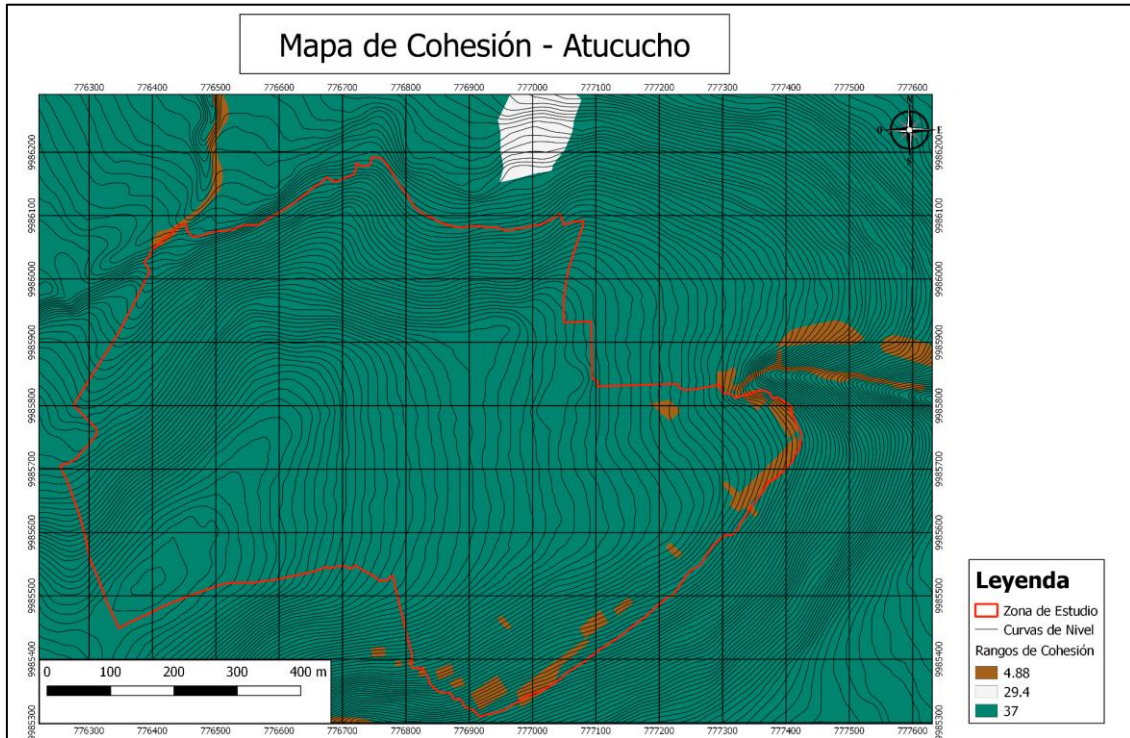


Figura 4.7 Mapa de Cohesión

Los mapas geotécnicos tienen una gama de 3 colores ya que solo se asigna un valor numérico para cada unidad.

Tabla 4.3 Propiedades geotécnicas de las unidades geológicas

Unidad	Cohesión (kN/m ²)	Fricción (°)	Peso Específico (kN/m ³)	Peso Específico saturado (kN/m ³)
Cangahua	37,00	21	17,70	21,65
Relleno	4,9	3,28	17,65	23,65
Coluviales	29,42	7	14,75	17,3

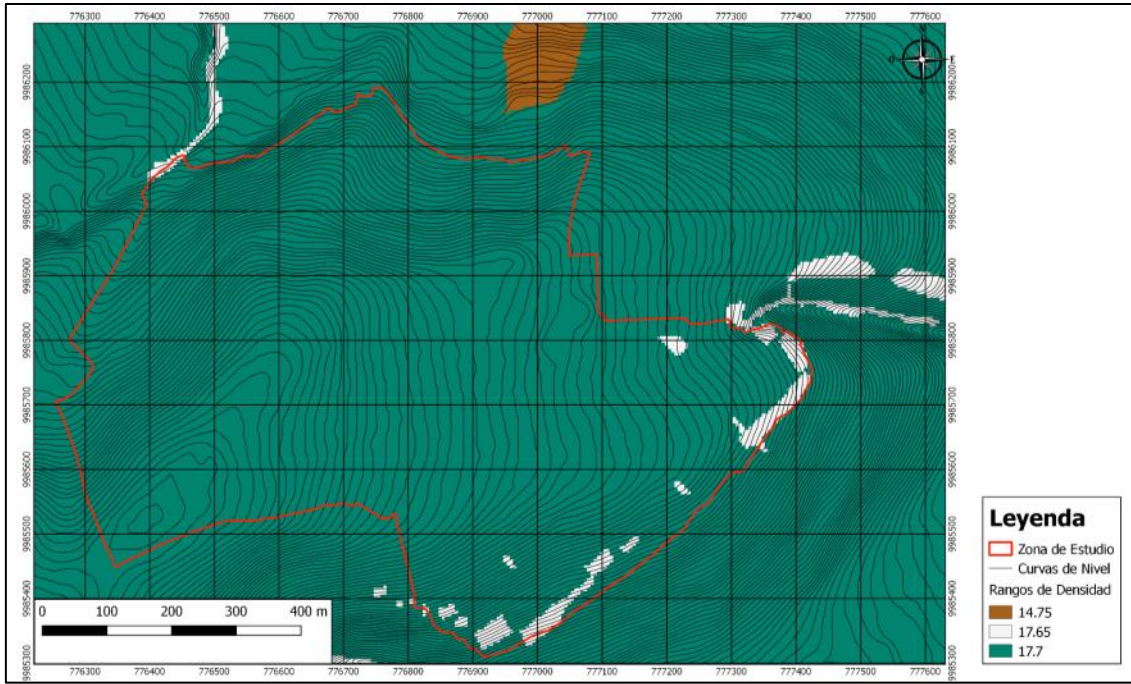


Figura 4.8 Mapa de Peso Específico en condición seca

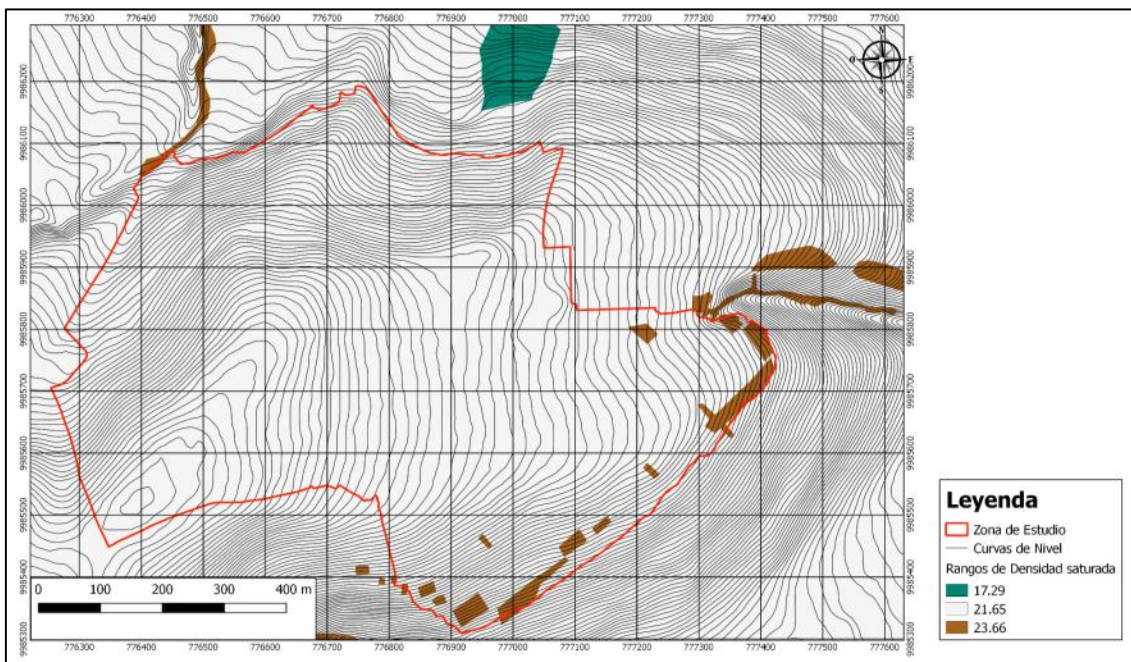


Figura 4.9 Mapa de Peso Específico en condición saturada

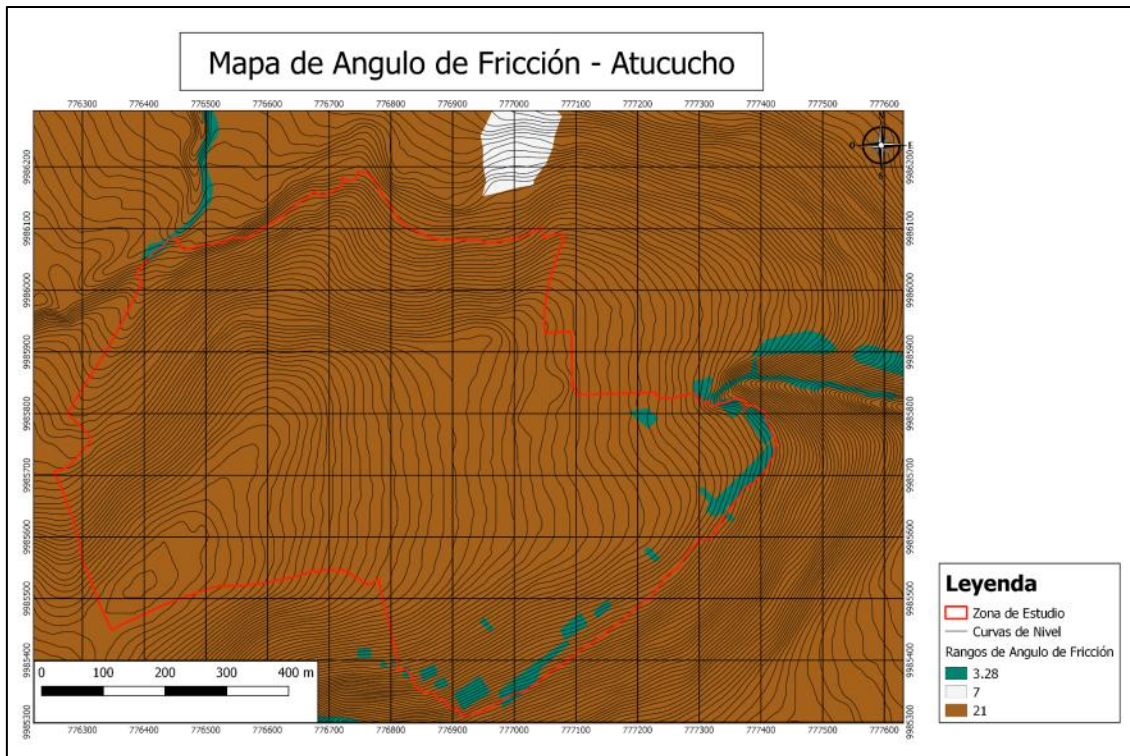


Figura 4.10 Mapa de Ángulos de Fricción

Los mapas geotécnicos a escala 1:5000 se presentan en los Anexos.

4.3. Mapa de Pendientes

Los intervalos que establecen la clasificación de las pendientes fueron designados en base a trabajos previos de zonificación de la amenaza (Hernández, y otros, 2017). En la tabla se puede observar los diferentes rangos con los que fue realizado el mapa de la Figura 4.11.

En la parte alta de la zona Atucucho se puede apreciar que predominan las pendientes muy suaves y suaves ya que en esta zona se encuentra asentada la mayor parte urbana y la morfología pudo cambiar de acuerdo a las necesidades poblacionales. En los flancos SE y NW las pendientes cambian a moderadas y fuertes posiblemente reflejan la estabilidad de las cangahuas. Zonas aledañas a las quebradas tienen un cambio de pendientes a muy fuertes debido a procesos de erosión natural y coinciden en algunos lugares con zonas de relleno.

Tabla 4.4 Clasificación de las Pendientes

Pendientes en grados	Tipo de pendiente
0°-11°	Muy suave
11°-21°	Suave
21°-31°	Moderada
31°-45°	Fuerte
Mayor a 45°	Muy Fuerte

Fuente: (Hernández, y otros, 2017)

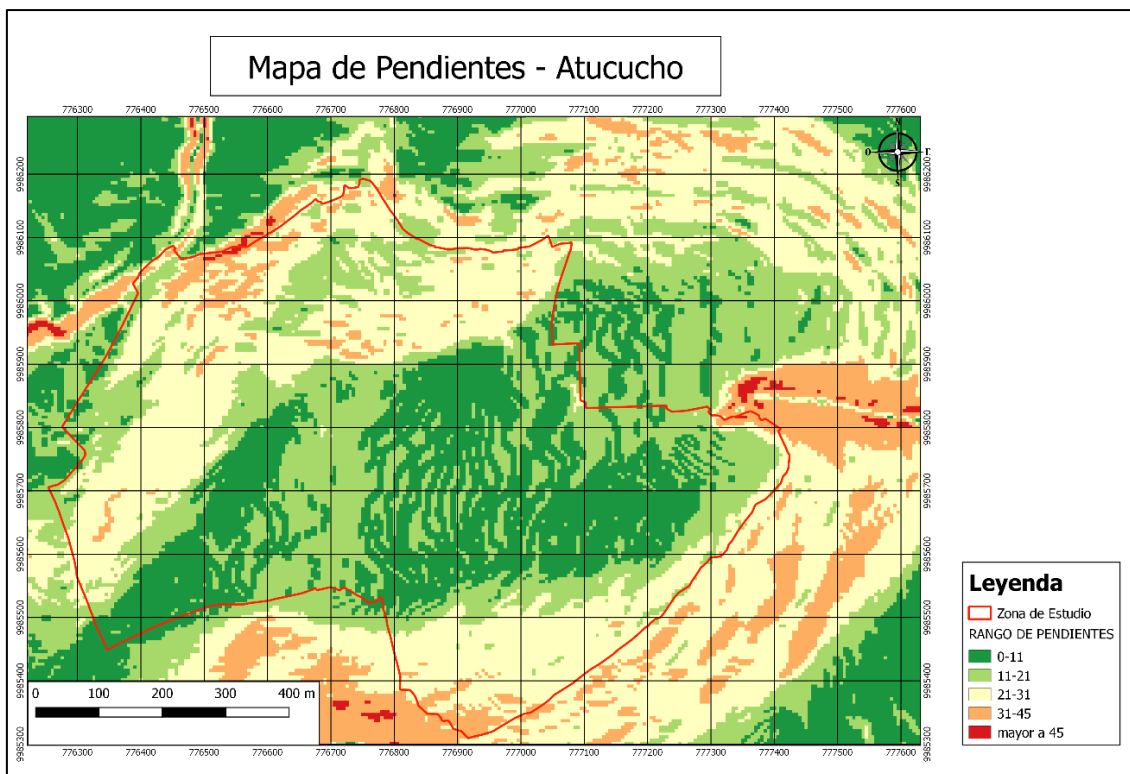


Figura 4.11 Mapa de Pendientes de la zona de estudio

En el mapa de pendientes a escala 1:5000 se presenta en los Anexos.

4.4. Mapa de Factor de Seguridad

El FS teóricamente es el resultado de la razón que existe entre la resistencia corte y esfuerzo al cortante, donde influyen las características geotécnicas tales como la cohesión y ángulo de fricción con respecto al ángulo de las pendientes y el peso específico. Los grados cualitativos de peligro están definidos de acuerdo con la tabla 4.5. la cual es propuesta por Hernandez J., 2017.

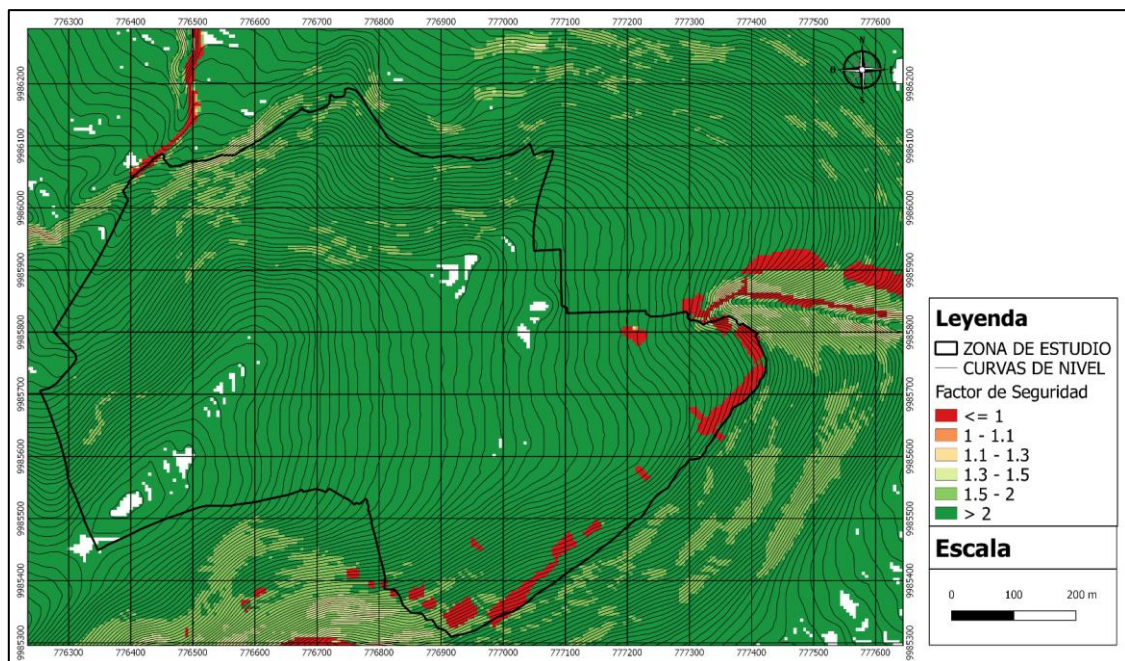


Figura 4.12 Mapa de Factor de Seguridad condición seca

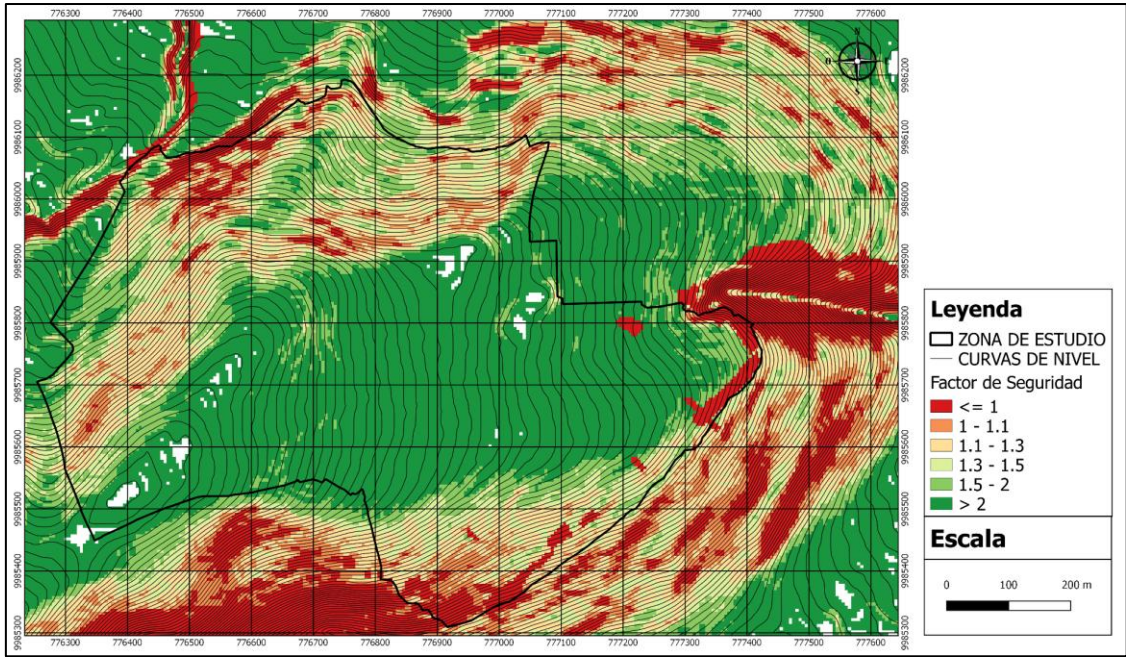


Figura 4.13 Mapa de Factor de Seguridad en condición saturada

Tabla 4.5 Grados de peligro por lluvia según el factor de seguridad en condición saturada

Grado de susceptibilidad o peligro	F.S.
Muy bajo	Mayor a 2
Bajo	1.5 – 2
Moderado	1.3 – 1.5
Medio	1.1 – 1.3
Alto	1 – 1.1
Muy alto	Menor a 1

Fuente: (Hernández, y otros, 2017)

Los resultados presentados en los mapas de FS nos muestran coherencia con la realidad, ya que las zonas con mayor peligro se encuentran en las partes ubicadas sobre rellenos antrópicos y que presentan pendientes moderadas (Figura 4.12). En la parte noroccidental de la zona a pesar de tener pendientes moderadas el FS es aproximadamente 2 por lo que se consideran zonas con un peligro muy bajo al igual que la parte central de Atucucho, todo esto para condición seca.

Para las condiciones saturadas los valores de FS que indican un peligro de moderado a muy alto se ubican en las laderas de la zona de estudio, mientras tanto que la parte central sigue presentando una baja peligrosidad (Figura 4.13).

Los mapas de FS se presentarán a escala 1:5000 en los Anexos.

4.5. Mapa de Aceleración Crítica

El mapa de Aceleración Crítica integra el FS y el ángulo de las pendientes. Esta aceleración describe la estabilidad dinámica de las pendientes para un nivel de vibración dado que sería la gravedad (g 's).

En términos generales la Aceleración Crítica muestra las propiedades propias de las pendientes independientemente del escenario sísmico, es decir que el mapa de Aceleración Crítica actúa como un mapa de susceptibilidad al deslizamiento sísmico.

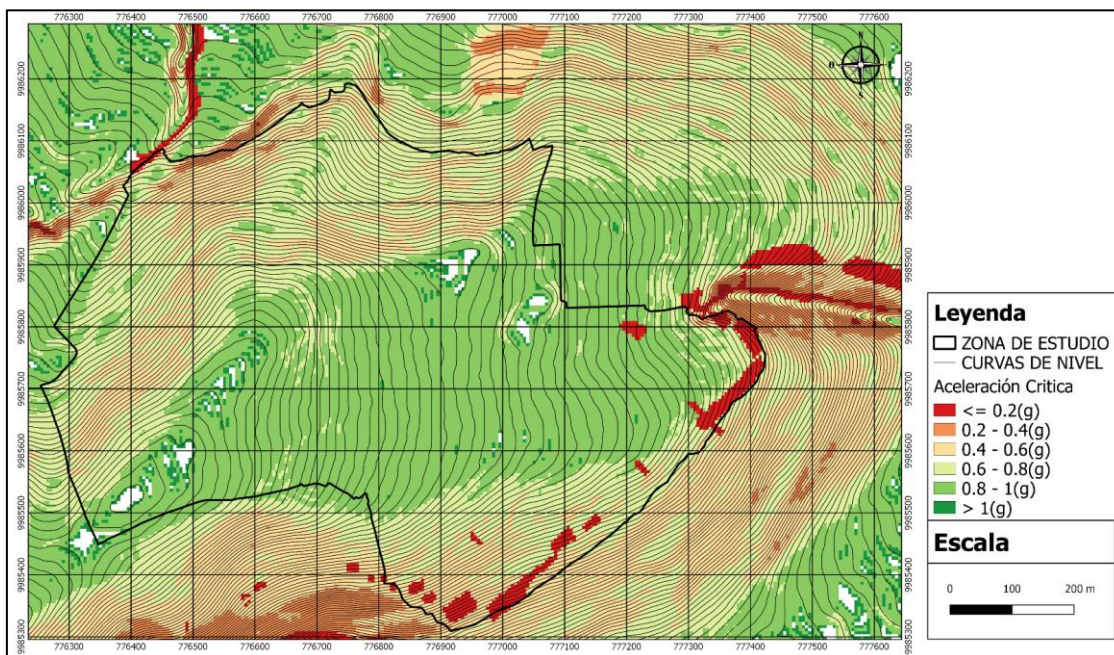


Figura 4.14 Mapa de Aceleración Crítica en condición seca

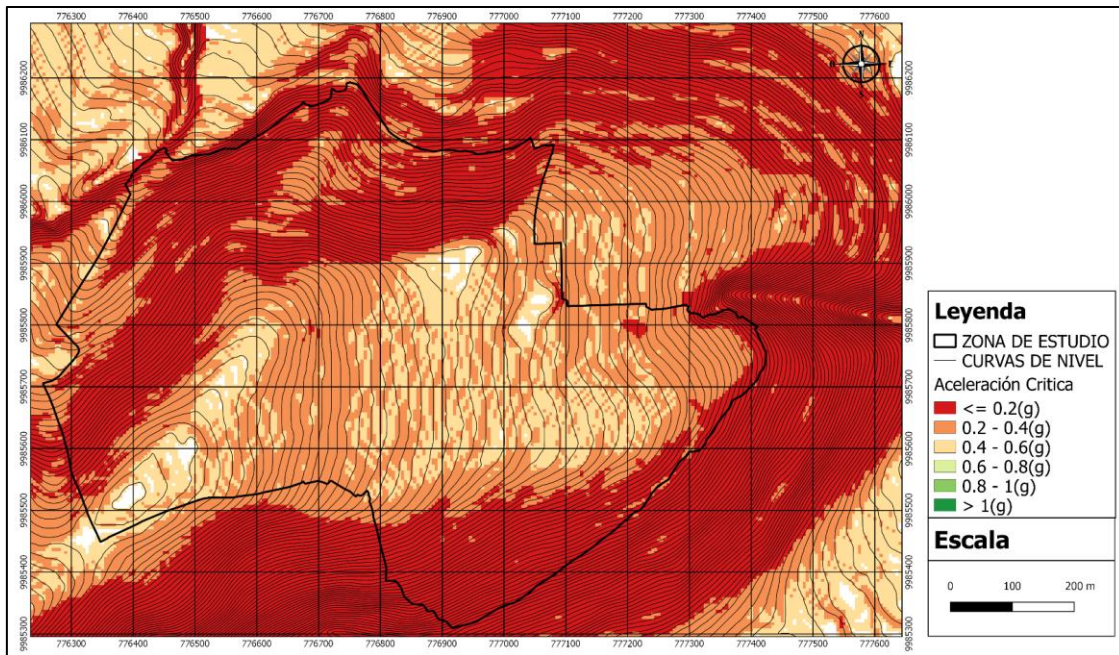


Figura 4.15 Mapa de Aceleración Crítica en condición saturada

Basados en la definición de Aceleración Crítica, en el mapa podemos observar que los valores más bajos corresponden a zonas que requieren un sismo de baja intensidad para generar desplazamientos. Es importante destacar que las variaciones en los valores de g en las mismas zonas entre el mapa de condición seca y el mapa de condición saturada son muy notorias, por lo que ante un evento vibratorio las pendientes reaccionarían de manera muy distinta en ambos casos.

Los mapas de Aceleración Crítica se presentarán a escala 1:5000 en los Anexos.

4.6. Intensidad de Arias

Los resultados del uso del software Seismosignal se proponen en las Figuras 4.16 y 4.17, a partir de ellos se obtiene el valor numérico de la Intensidad de Arias la cual es un dato necesario para la ecuación 3-3 de los Desplazamientos de Newmark.

Parameter	Corrected Accelerogram
Time of Max. Displacement (sec)	2,43000
Vmax / Amax: (sec)	0,05280
Acceleration RMS: (g)	0,01059
Velocity RMS: (cm/sec)	0,64153
Displacement RMS: (cm)	0,17936
Arias Intensity: (m/sec)	0,10370

Figura 4.16 Parámetros de Sismo Coalinga

Parameter	Corrected Accelerogram
Vmax / Amax: (sec)	0,09314
Acceleration RMS: (g)	0,04108
Velocity RMS: (cm/sec)	3,75689
Displacement RMS: (cm)	3,14664
Arias Intensity: (m/sec)	1,30018
Characteristic Intensity (Ic)	0,05888

Figura 4.17 Parámetros Sismo Loma Prieta

4.7. Mapa de Desplazamientos de Newmark

Los factores que definen el valor numérico del desplazamiento en la Metodología de Newmark son la Intensidad de Arias y la Aceleración Crítica, en puntos anteriores esos factores ya fueron definidos y se integraron a la ecuación 3-3, y el resultado se muestra en cuatro mapas que representan los Desplazamientos de Newmark en cm. Dos mapas de condición seca como saturada para el sismo de magnitud baja (Coalinga), y otros 2 mapas de igual manera representando condiciones secas y saturadas del sismo de magnitud alta (Loma Prieta).

4.7.1. Sismo Simulado Coalinga

Los desplazamientos para las condiciones simuladas de este evento sísmico en condición seca solo afectan las zonas en donde se encuentran los rellenos antrópicos (Figura 4.18), ya que se encuentran dentro del grado de peligro muy alto, teniendo desplazamientos mayores a 5cm. según lo indica la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Grados cualitativos de peligro sísmico en función de Dn

Grado de Peligro	Dn (cm)
Muy alto	Mayor 5
Alto	2.5 – 5
Medio	1.5 – 2.5

Moderado	1 – 1.5
Bajo	0.5 – 1
Muy bajo	Menor a 0.5

Fuente: (Hernández, y otros, 2017)

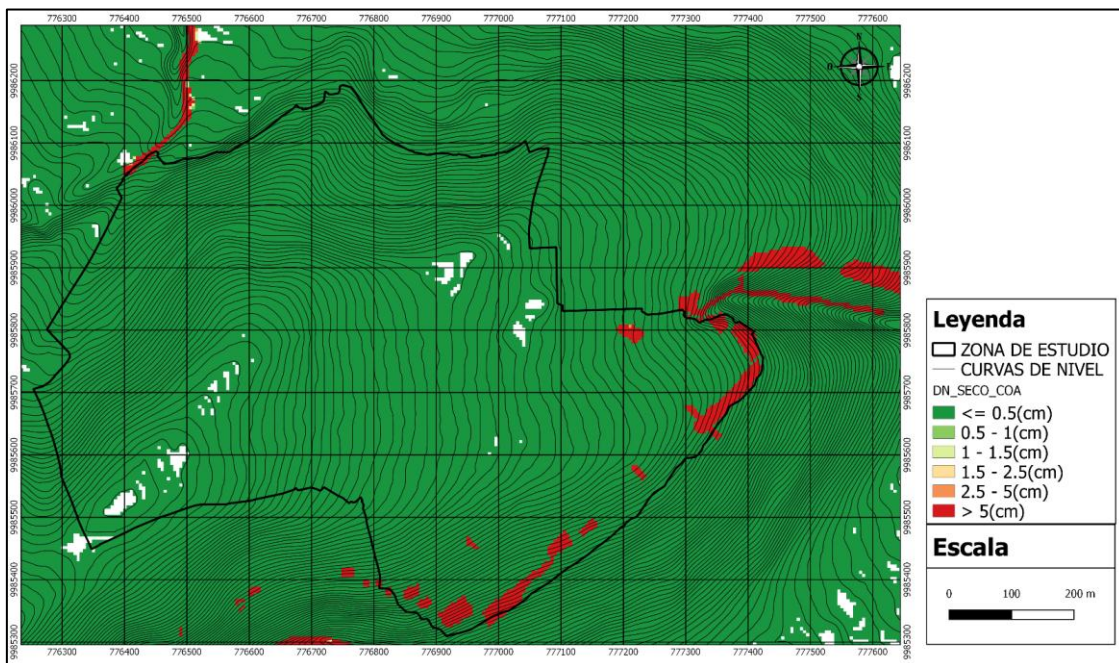


Figura 4.18 Mapa de amenaza por FRM para el Sismo Coalinga, condición seca.

El mapa de desplazamientos en condiciones saturadas (Figura 4.19) muestra que algunas zonas en los flancos de las pendientes con mayores grados de inclinación y quebradas se vuelven zonas de peligro entre alto y muy alto, pudiendo desplazarse entre 2.5 a 5 cm. con la acción de un evento sísmico como el de Coalinga.

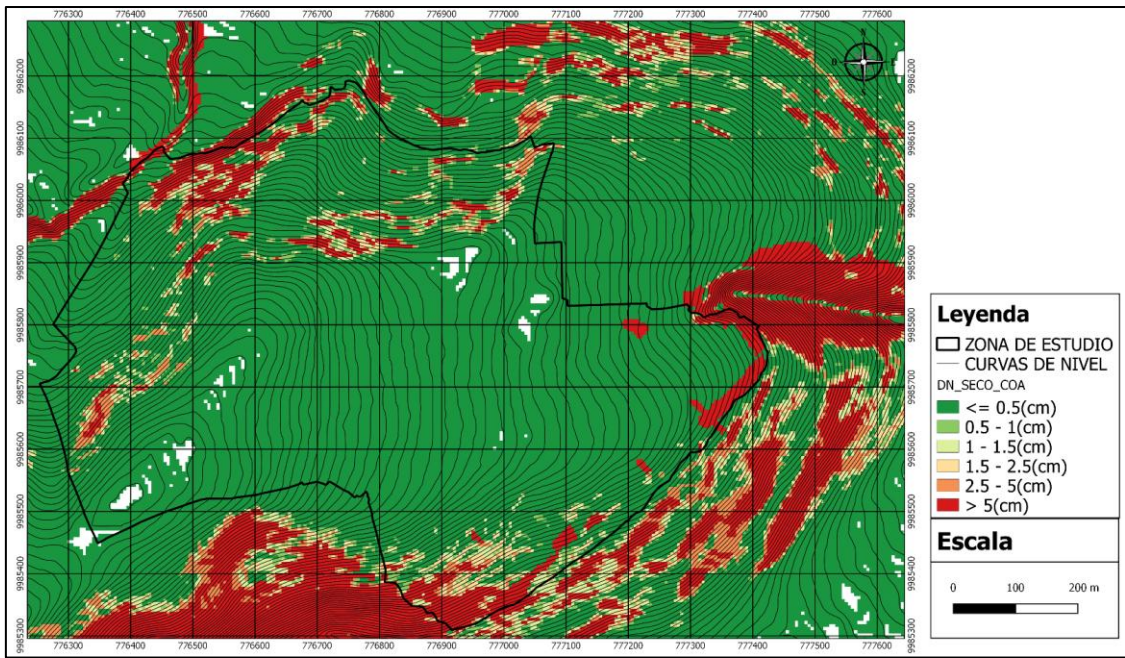


Figura 4.19 Mapa de amenaza por FRM para el Sismo Coalinga, condición saturada

4.7.2. Sismo simulado Loma Prieta

Para el caso de desplazamientos en condición seca podemos observar que el área afectada es la zona de rellenos antrópicos pudiendo desplazarse más de 5cm según la tabla 4.6, la cual ubica estas zonas de relleno en áreas me muy alto peligro ante las condiciones simuladas (Figura 4.20).

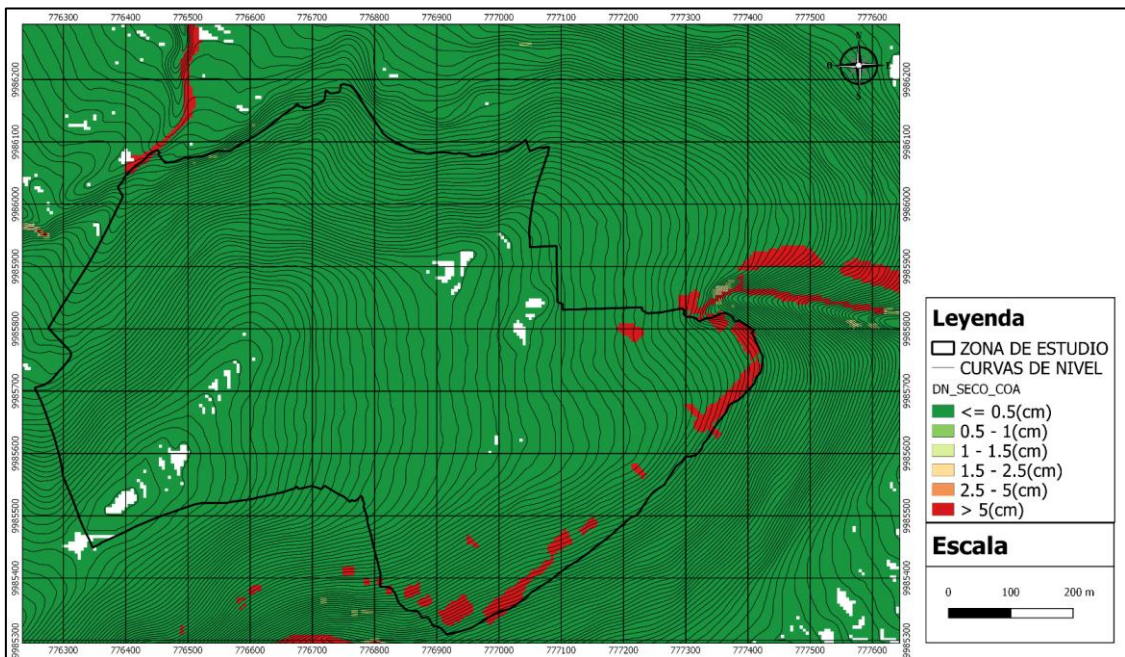


Figura 4.20 Mapa de amenaza por FRM para el Sismo Loma Prieta, condición seca.

El mapa de peligro de desplazamientos en condiciones saturadas muestra el peor escenario para la zona de estudio ya que con un sismo de las características de Loma Prieta y una cantidad de lluvias importantes los flancos de las laderas podrían desplazarse más de 5 cm. (Figura 4.21)

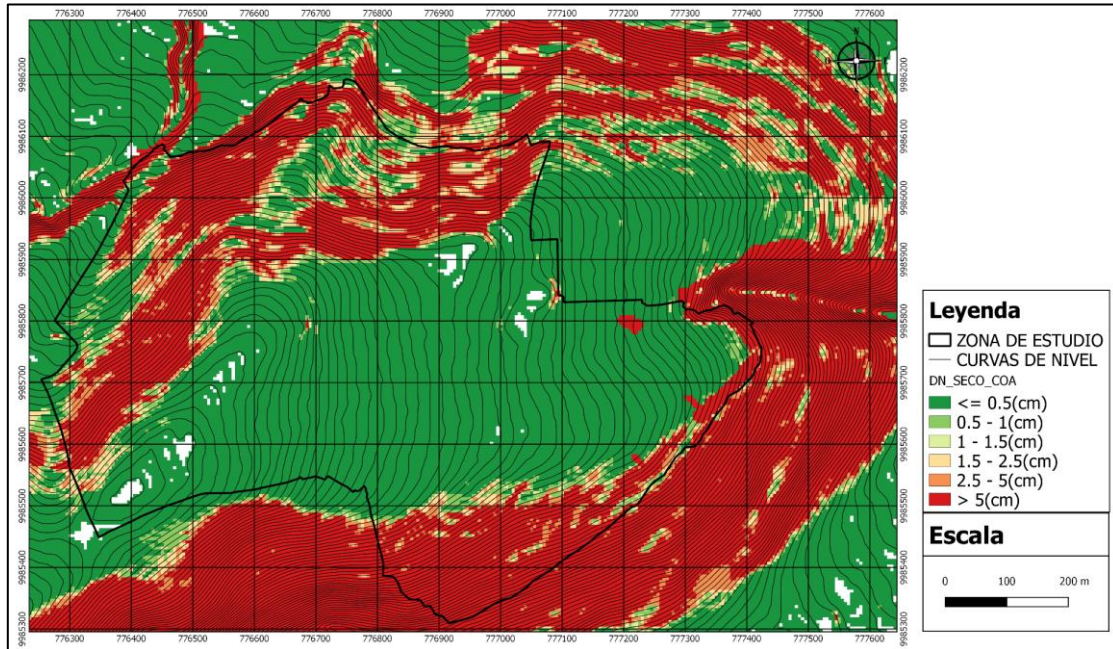


Figura 4.21 Mapa de amenaza por FRM para Sismo Loma Prieta, condición saturada.

Los mapas de Desplazamientos de Newmark se presentarán a escala 1:5000 en los Anexos.

4.8. Mapa Inventario de Deslizamientos

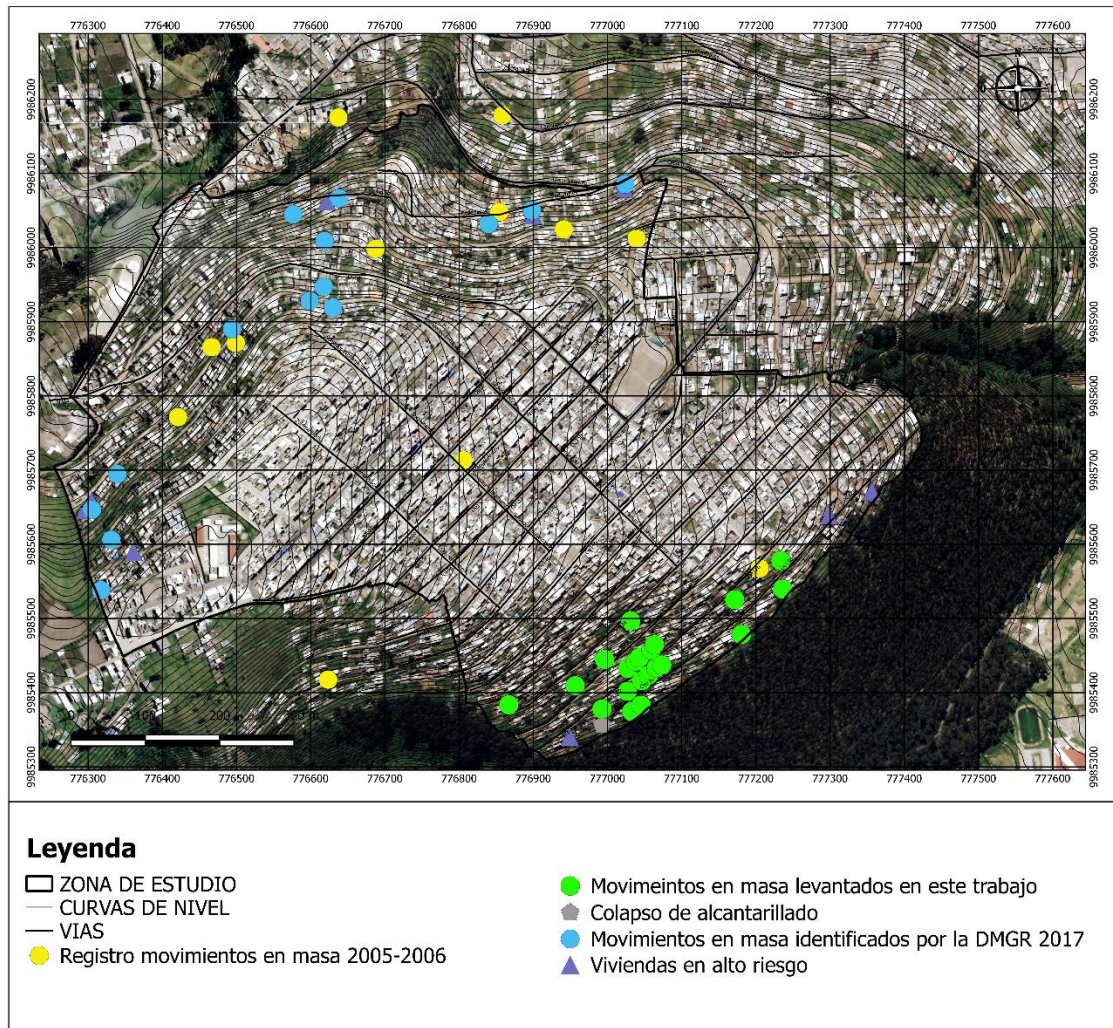


Figura 4.22 Mapa de Inventario de Deslizamientos

El mapa de inventario de deslizamientos se elaboró en base a una recopilación de datos proporcionados por la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos del Municipio del DMQ y el trabajo de campo realizado por la colaboración entre el departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional y la carrera de Geología de la Universidad Central del Ecuador (Figura 4.22). Están registrados 36 movimientos en masa mapeados en campo (22 deslizamientos y 14 caídas), están ubicados en su mayoría en los flancos de las laderas NW y SE del barrio, Quebradas Rumihurco y Atucucho respectivamente. También se han ubicado 14 movimientos en masa registrados entre los años 2005-2016 lo cuales tienen una diversificación similar a los deslizamientos más recientes. Al tener deslizamientos en los flancos laderas es correcto suponer que las viviendas en alto riesgo también serán las que están ubicadas en este sector, así como colapsos de alcantarillado.

El mapa de Inventario de FRM se presentará a escala 1:5000 en los Anexos.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Metodología de Newmark

La Metodología de Newmark parte de un análisis de los aspectos inherentes de la ladera como la geología, geotecnia y la topografía, y los involucra mediante la ecuación:

$$FS = \frac{c' + \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} + \frac{m\gamma_w \tan \phi'}{\gamma \tan \alpha}}{\gamma t \sin \alpha}$$

Resistencia al corte \Rightarrow Valores Geotécnicos

Esfuerzos al cortante \Rightarrow Valor de la pendiente

$\gamma_{\text{saturada}} > \gamma_{\text{seca}}$

Figura 5.1 Elementos de la Metodología de Newmark

El FS es un concepto empleado para conocer “cuál es el factor de amenaza para que talud falle en las peores condiciones” (Suárez F. , 2008) mediante la relación entre los factores que definen la resistencia al corte (c' , ϕ') sobre los esfuerzos al cortante (α , γ). Los valores de resistencia al corte, caracterizados generalmente por la cohesión y el ángulo de fricción, ya sea en estado seco o saturado, llegan a representar mucha diferencia incluso dentro de una misma unidad litológica. Asignar valores representativos a los materiales generalmente conlleva una gran incertidumbre, dado que son puntuales y dependen del tipo y condiciones del ensayo, de características locales, etc. Por ello, para modelar la amenaza por deslizamiento, ya sea inducido por sismo o lluvia, es necesario considerar los valores de resistencia promedio más representativos de las unidades geológicas en la zona de estudio. Al ser una relación entre factores de resistencia al corte y esfuerzos al cortante el fácil suponer que si los valores de resistencia al corte (valores geotécnicos), son mayores a los esfuerzos al

cortante (pendientes bajas) el resultado va a ser un FS mayor a 1 ya que estos valores de entre mayores sean (valores de cohesión y ángulo de fricción) más resistencia van a tener. Por el contrario, si los esfuerzos al cortante son mayores (altas pendientes) que los de resistencia al corte (valores geotécnicos pobres), el FS será menor a 1.

En el caso de la unidad geológica/geotécnica Cangahua que aflora en toda la Zona de Atucucho los valores altos de cohesión y ángulo de fricción hace que, a pesar de que las laderas presenten pendientes altas, estas no son lo suficientemente preponderantes como para desencadenar en un valor de FS menor a 1. Por el contrario, a lo largo de la extensión de la Cangahua el FS tiene un valore numérico mayor a 2 (Figura 4.11).

En el caso de la unidad Coluvial, que tiene un FS entre 1.3 a 2 (moderado), esta unidad se encuentra en un rango de pendientes suaves a moderadas es decir valores medios, mientras que los valores de c' y ϕ' (29.42 kN/m^2 y 7°) no son muy buenos, por consiguiente, a pesar de tener valores bajos de factores en resistencia al corte, los valores de esfuerzos al cortante no son lo suficientemente altos para determinar que esta unidad tenga un grado de peligrosidad alto o muy alto.

Por ultimo tenemos las zonas de relleno, las cuales tienen los peores coeficientes de c' y ϕ' (4.9 kN/m^2 y 3.28°) de las unidades mapeadas. Sumado a esto, las zonas de relleno se encuentran en zonas donde los rangos de pendientes varían entre fuerte a muy fuerte. Todo esto hace que tengan un valor de FS por debajo de 1 y sean considerados de muy alta peligrosidad.

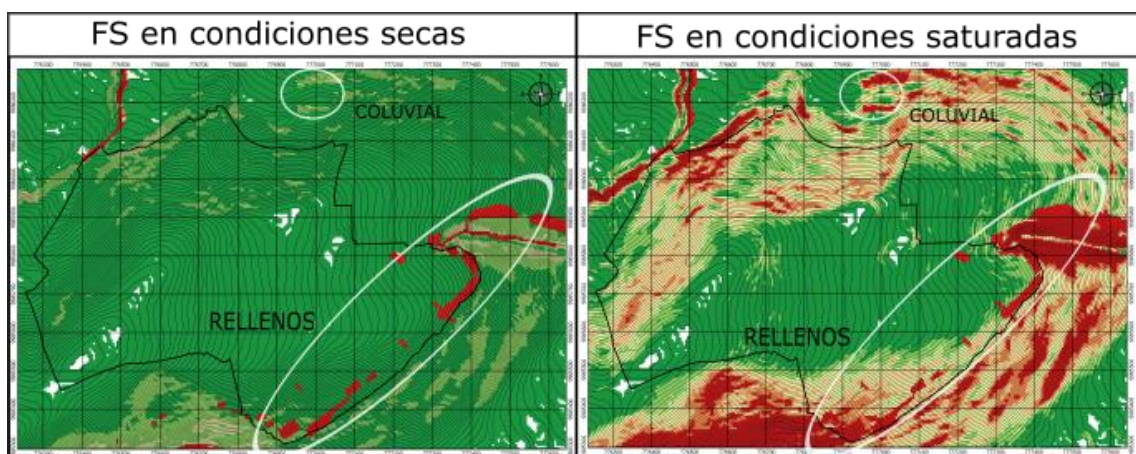


Figura 5.2 Comparación de FS para diferentes condiciones en las diferentes unidades geológicas

Como observamos en la Figura 5.2, las condiciones saturadas aumentan el FS, especialmente en zonas donde hay pendientes de rangos fuerte a muy fuerte como se muestra en las zonas encerradas. Esto se debe a tres factores, el primero es indiscutiblemente el tipo de pendientes (moderadas - fuertes), el segundo es consecuencia de que la peso específico saturado sea mayor al peso específico seco y por último el coeficiente m (proporción de la superficie que se desliza) pasa de tener un valor igual a 3 (para el caso de condición seca) a tener un valor igual a 5 (para el caso de las condiciones saturadas), estos son factores de saturación del material y se utilizan con estos valores ya que fueron propuestos en el estudio de Hernández y otros (2017). Esto se refleja dentro de la ecuación del FS (Figura 5.1) como un aumento en los esfuerzos al cortante por lo que es correcto decir que el FS disminuye notablemente en estos sectores.

Cabe recalcar que el FS en condición seca muestra las características inherentes de las laderas sin un evento disparador. Cuando el FS integra el peso específico saturado se simula la condición de lluvia.

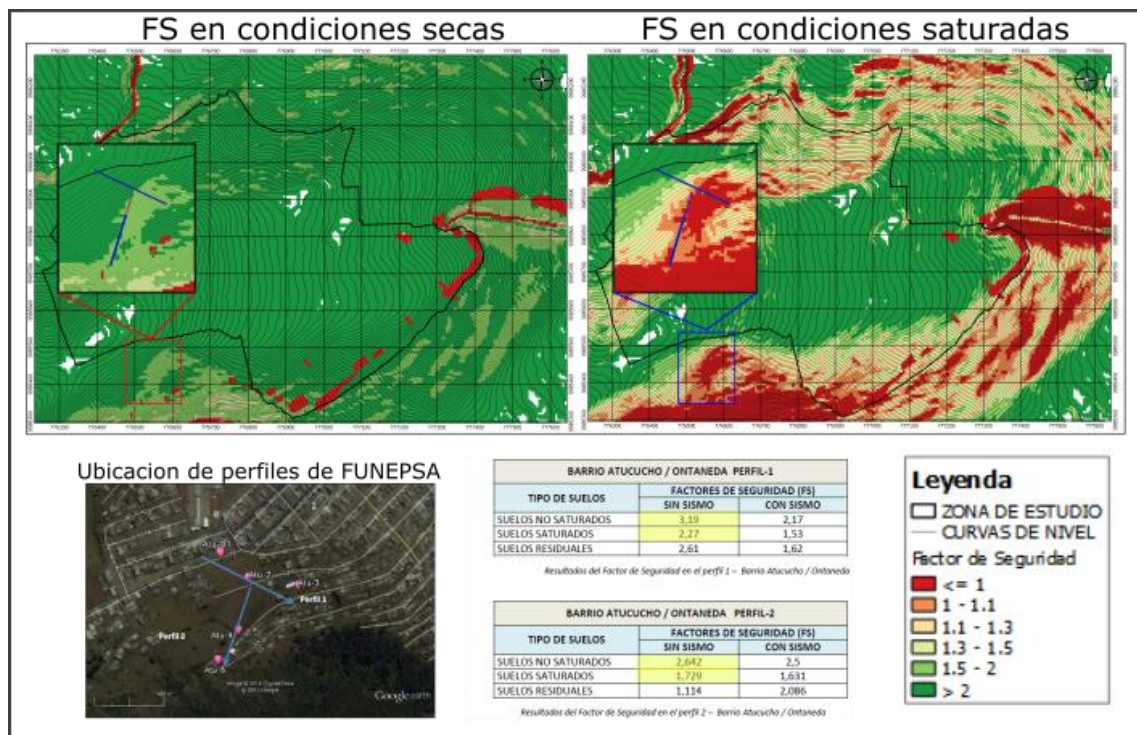


Figura 5.3 Comparación de resultados de FS para Atucucho, FS en condición seca a la izquierda, FS en condición saturada a la derecha

De acuerdo a la comparación de los valores de FS obtenidos del mapa realizado en este estudio con los valores resultantes de los perfiles realizados en FUNEPSA (2015),

(Tabla 5.1) que se ubican en la misma zona se puede observar que: Para el perfil 1 en suelos no saturados, el valor de FS es similar mientras que, para los suelos saturados del mismo perfil el valor de FS calculado en el mapa es menor en un 50 por ciento. En el perfil 2 en condición no saturada el valor de FS calculado en el mapa es menor en aproximadamente 50 por ciento, y en cambio para condición saturada el FS es menor en un 35 por ciento. Las condiciones analizadas en la Tabla 5.1 solo comparan factores de seguridad estáticos, es decir sin tomar en cuenta el disparador sísmico.

Esta comparación refleja que a pesar de que el FS calculado con el software Slide 6.0 es muy confiable, la Metodología de Newmark tiene un nivel de coincidencia mucho mayor que el FS obtenido mediante la metodología simplificada de Junbú en el Slide.

Tabla 5.1 Comparación de valores de FS para el perfil 1 y perfil 2

Perfil	Tipo de Suelo	Factor de Seguridad	
		Benitez A. (2018) in press	FUNEPSA (2015)
1	No saturados	> 2	3.19
	Saturados	1 - 1.5	2.27
2	No saturados	1.5 - 2	2.64
	Saturados	< 1.1	1.72

Los resultados en ambos casos son distintos por la metodología utilizada para su cálculo, FUNEPSA (2015) utilizó el método simplificado de Junbú mientras que en el presente estudio se utilizó el método de equilibrio límite de talud infinito.

5.2. Aceleración Crítica

La aceleración crítica es la aceleración mínima que necesita una ladera para generar una inestabilidad e iniciar un movimiento permanente del talud, en la Figura 5.4 se presenta la estabilidad del talud calculada por medio de la Aceleración Crítica.

Como es estableció antes, la Aceleración Crítica muestra las propiedades propias de las pendientes, independientemente del escenario sísmico, es decir que el mapa de Aceleración Crítica actúa como un mapa de susceptibilidad al deslizamiento en función de la gravedad (g),

Dentro de este estudio se puede observar que las zonas que requieren una menor aceleración para generar una inestabilidad y comenzar un movimiento coinciden en condición seca con las zonas de relleno ubicadas en la ladera SE de la zona, mientras que en condiciones saturadas coincide con las zonas de topografía abrupta en toda la zona.

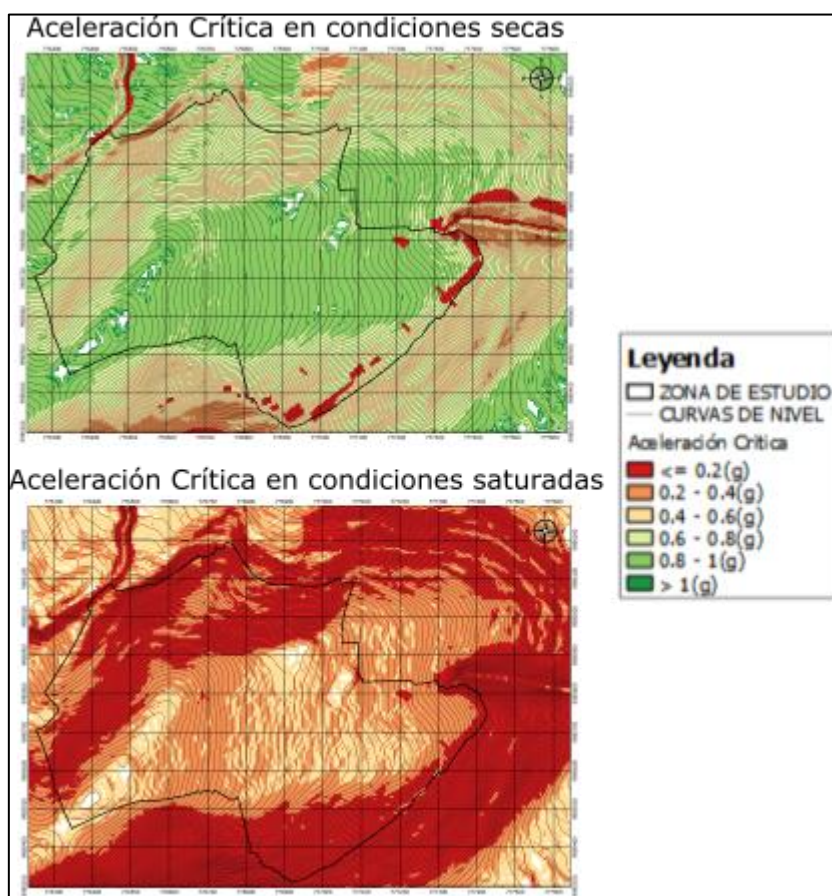


Figura 5.4 Comparación de A_c en Atucucho para diferentes condiciones

En el cálculo del mapa de Aceleraciones Críticas existen datos con valores negativos los cuales carecen de sentido ya que no se puede trabajar con valores de gravedad (g) negativos. Para la elaboración de los mapas posteriores no se reclasifico ningún dato, solo se tomaron como "NO DATA" los valores negativos, ya que aceleraciones críticas negativas son el resultado de un FS estático menor a 1 y debido a esto la ladera

podría deslizarse sin la necesidad de un sismo, si ese fuera el caso esta metodología no es aplicable (Hernández, y otros, 2017).

En el caso del mapa de Aceleraciones Críticas en condición seca, se puede observar que las zonas que requieren una menor aceleración para generar estabilidad se encuentran ubicadas en los rellenos antrópicos, con rangos $\leq 0.2g$ para deslizarse. Los flancos de las laderas requieren de $0.2g$ a $0.4g$ para comenzar a deslizarse, esto puede tener una estrecha relación con las altas pendientes. La zona donde se encuentra la unidad Coluvial necesita entre $0.2g$ a $0.6g$ para generar una estabilidad y el resto de la zona conforme va disminuyendo el ángulo de la pendiente necesita de una aceleración mayor para iniciar dicha inestabilidad.

Para condiciones saturadas existen dos valores importantes, los valores menores a $0.2g$ que es la aceleración que necesitan las laderas en condiciones saturadas para deslizarse, mientras que, para las demás zonas, conforme su ángulo de pendiente va disminuyendo a rangos de pendientes bajas (11° - 21°) necesitan valores entre $0.2g$ a $0.4g$ para deslizarse.

Según el mapa de zonificación sísmica de la norma ecuatoriana de la construcción (NEC15, 2015), el DMQ está señalado como una zona de alta amenaza sísmica con una aceleración de $0.4g$. Con respecto a las aceleraciones críticas que obtuvimos en el presente estudio, para condición seca, las zonas susceptibles son los flancos de las laderas y los lugares donde están ubicados los rellenos antrópicos. Para las condiciones saturadas el panorama no es nada bueno ya que un 90% de la zona de estudio deslizaría con estas aceleraciones sísmicas esperadas.

La formulación de Newmark para la Aceleración Crítica solo toma en cuenta dos factores: el primero es el FS de cada unidad geológica que se obtuvo previamente, y segundo es el valor de la pendiente, no se toma en cuenta el valor numérico de la gravedad ya que para efectos de la metodología es necesario expresar A_c en términos de g .

5.3. Intensidad de Arias

La Intensidad de Arias, también conocida como Intensidad Sísmica Instrumental es un parámetro que sirve para determinar el riesgo sísmico de un área. Además, es una medida instrumental utilizada para determinar los daños que un evento sísmico provoca en las estructuras y edificaciones y que permite determinar la reacción de un suelo determinado ante un movimiento sísmico.

La Intensidad de Arias integra el evento disparador sísmico para los movimientos en masa. Como se explicó en la metodología, el valor numérico de IA se obtiene de simular dos eventos sísmicos que se encuentran entre los rangos de magnitudes esperadas para el DMQ con condiciones geológicas y locales compatibles. Los sismos de Coalinga (1983) y Loma Prieta (1989) son ejemplos de sismos esperados en el DMQ ya que comparten características como el rango de V_{s30} entre 360 - 600 m/s, una distancia epicentral entre 10 – 30 km y el mecanismo de fallamiento inverso.

Para analizar las posibles consecuencias de las condiciones simuladas de los sismos de Coalinga y Loma Prieta cuyas magnitudes son 5.7 y 6.9 respectivamente, se debe tener en cuenta las principales características y consecuencias que dejó un sismo ya conocido que causó inestabilidades en el pasado.,

El sismo del 12 de agosto de 2014 ocurrido en la parroquia Calderón tuvo una magnitud de 5.1 a una profundidad de 5 km debido al QFS (Tabla 5.2). Su mecanismo de ruptura principal pertenece a una falla inversa con una dirección NNE-SSW según indica el informe sísmico realizado por el IG-PN. (IG-EPN, 2014).

En la Figura 5.5 podemos observar los registros en las estaciones sísmicas y la ubicación del sismo con sus mecanismos focales.

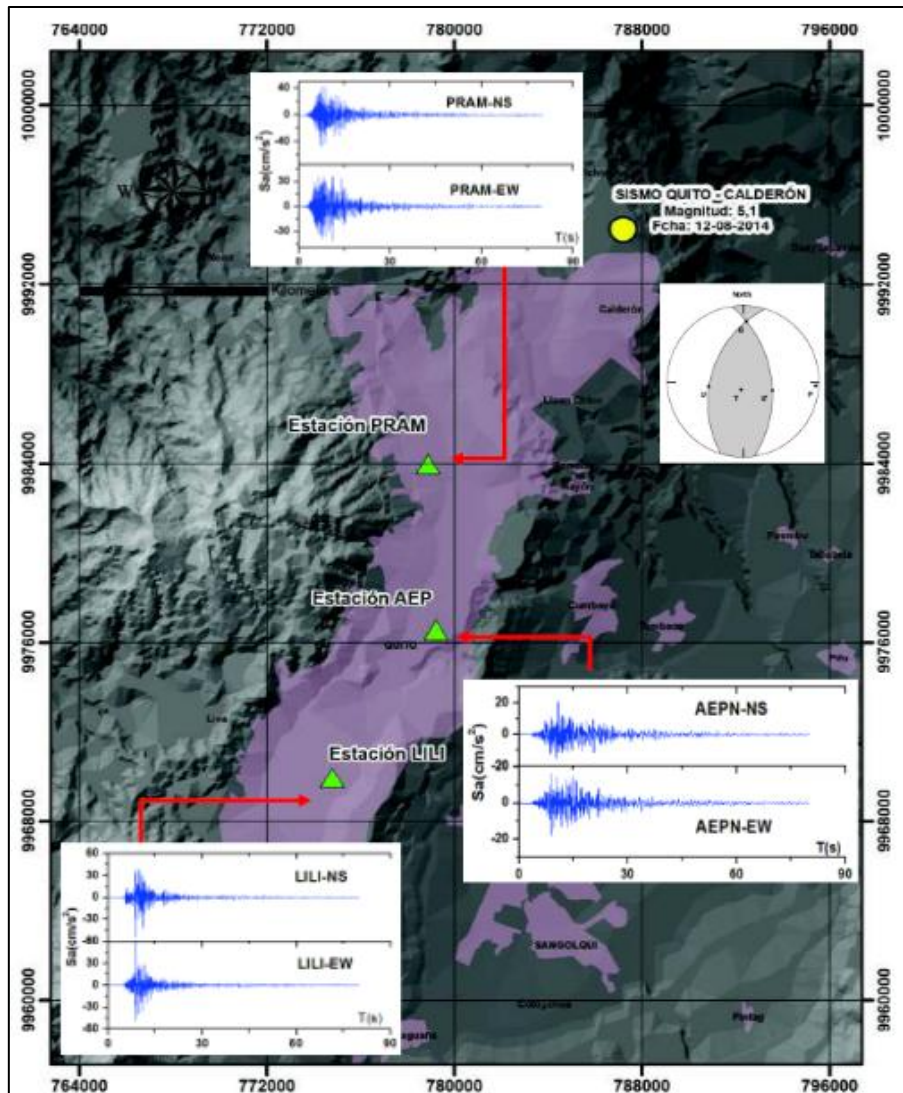


Figura 5.5 Sismo de Calderón 12 de agosto 2014, registros en estaciones

Fuente: (Cañizares, 2017)

Las consecuencias de ese sismo, de una intensidad más baja que los propuestos por las simulaciones en este estudio (Coalinga y Loma Prieta), dejaron en el DMQ: 4 fallecidos como resultado del deslizamiento de masas en la vía Quito-Guayllabamba, 64 viviendas colapsadas 5 hospitales con fisuras (López, 2014), los efectos generados por la actividad sísmica provocaron inestabilidad en varias laderas que produjeron deslizamientos de los taludes dentro de la vía Quito-Guayllabamba. San Antonio de Pichincha fue otra de las zonas afectadas por el sismo de magnitud 5.1, ahí la actividad minera está relacionada con la extracción de materiales de construcción (pétreos) y tiene una alta influencia directa e indirecta sobre la economía del sector y del DMQ.

El sismo de 5.1 en la Parroquia de Calderón en 2014 causo las problemáticas expuestas anteriormente, por lo tanto, si en el DMQ esperamos que haya un sismo máximo como el que simula Coalinga o Loma Prieta, pueden existir problemáticas aún más importantes con respecto a las carreteras e infraestructura. Ambos casos simulados presentan condiciones sísmicas mayores al sismo ya registrado en Calderón ya que las magnitudes registradas superan por casi 2 puntos al de Calderón en el peor escenario, esto nos deja la certeza de que un sismo es un disparador importante en los movimientos en masa para esta metodología propuesta por Newmark.

5.4. Desplazamientos de Newmark

La metodología de Newmark se usa para calcular el desplazamiento de un deslizamiento como resultado de la acción de un movimiento sísmico, este desplazamiento está calculado en base a dos entradas: La Aceleración Crítica y la Intensidad de Arias calculadas previamente. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5.6, los cuales están agrupados de acuerdo al evento sísmico detonante y sus condiciones secas o saturadas.

Podemos observar que tanto el sismo de Coalinga como el sismo Loma Prieta en condición seca, las zonas que entran en la categoría de peligro muy alto a deslizarse son las zonas de relleno con valores mayores a 5 centímetros, esto debido a que los rellenos muestran valores de cohesión y ángulos de fricción bajos por su mala calidad. Mientras que para el resto de la zona de estudio para ambos eventos sísmicos el grado de peligro entra en la categoría de muy bajo con desplazamientos menores a 0.5 cm.

Tomando en cuenta los mismos eventos sísmicos y adicionando la condición saturada, se puede mirar que no solamente las zonas de relleno son susceptibles a deslizarse sino también las zonas con pendientes altas.

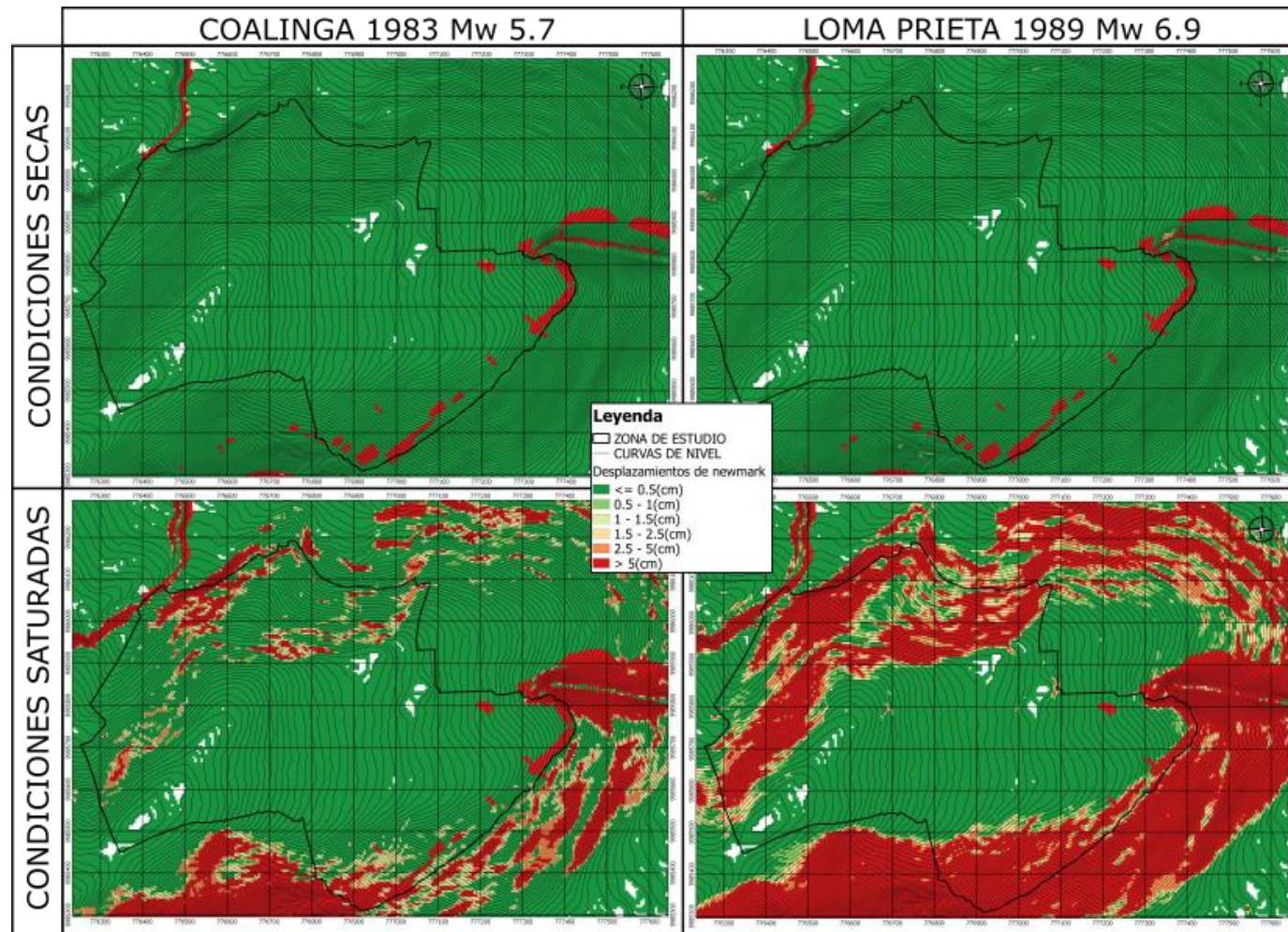


Figura 5.6 Mapas de Desplazamientos de Newmark para condiciones simuladas.

Para el sismo Coalinga 1983 podemos apreciar que el grado de peligro en zonas aledañas a las quebradas y obviamente las zonas de relleno es muy alto, además de pequeñas zonas ubicadas en la parte NW de Atucucho donde se tenía una alta susceptibilidad a desplazamiento por sismo según el mapa de aceleraciones críticas.

Para el sismo Loma Prieta y en condiciones saturadas (el peor escenario) podemos observar que los flancos de la ladera sobre la que está asentada la zona de estudio tienen un grado de peligro a deslizarse muy alto con valores q superan los 5 cm. Esto se podía predecir muy fácilmente observando el mapa de aceleraciones críticas para este escenario el mismo que indicaba una alta a muy alta susceptibilidad a deslizamientos por sismo dentro de la misma zona que ahora indica desplazarse más de 5 cm con las condiciones propuestas.

En los cuatro casos expuestos la zona con un grado de peligro muy bajo es decir que se podría desplazar menos de 0.5 cm. es la parte central de Atucucho, esto puede ser debido al material (características geotécnicas) sobre el que está asentado, el bajo ángulo de pendientes (con respecto a las laderas) que se tiene en esa zona, lo cual hace que se tenga una baja a muy baja susceptibilidad a deslizamientos por sismos.

Para determinar los grados de peligro de acuerdo a los datos arrojados por los mapas de desplazamiento de Newmark para las condiciones simuladas, se utiliza la Tabla 4.6 la cual se ocupa también en el trabajo de Hernández y otros, (2017).

Si planteamos un orden de eventos asumiendo que primero ocurre un sismo bajo (Coalinga) y luego un sismo alto (Loma Prieta), además las condiciones de lluvias, observamos que, efectivamente el nivel de peligro es directamente proporcional al aumento de disparadores de deslizamientos (lluvias y sismos), es decir que el peligro de deslizamientos aumenta conforme los factores disparadores van aumentando.

5.5. Calibración

Como parte de la Metodología de Newmark se utiliza el mapa de inventario de deslizamientos para calibrar la validez del método. Adhiriendo el mapa de inventario de deslizamientos con el mapa de Desplazamientos de Newmark en condiciones saturadas para ambos eventos podemos observar que los movimientos en masa mapeados tienen una correlación acertada con las zonas a desplazarse, es decir están ubicados espacialmente dentro de las zonas que potencialmente van a deslizarse si ocurren los eventos sísmicos estudiados en este estudio (Figura 5.7).

Existen FRM que no están mapeados dentro de las zonas identificadas en este estudio a deslizarse, para ellos hay que tomar en cuenta que no se sabe a ciencia cierta la naturaleza o el origen de los movimientos en masa mapeados y que toda metodología también tiene un rango de error aceptable.

La metodología parece adaptarse correctamente a las condiciones existentes en la zona de estudio con resultados que tienen relación entre lo modelado y la realidad vista.

La Metodología de Newmark indica teóricamente zonas donde se pueden generar movimientos traslacionales, pero en la zona de estudio los tipos de movimientos que se presentan son: deslizamientos, caídas, flujos y movimientos rotaciones. Sin embargo, la Metodología de Newmark muestra que las zonas con mayor peligrosidad son las mismas en las cuales se han generado inestabilidades.

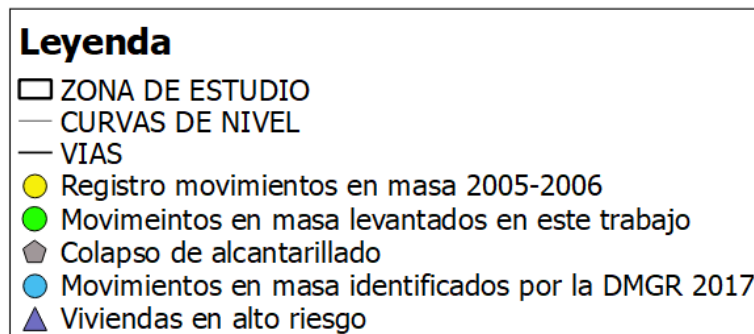
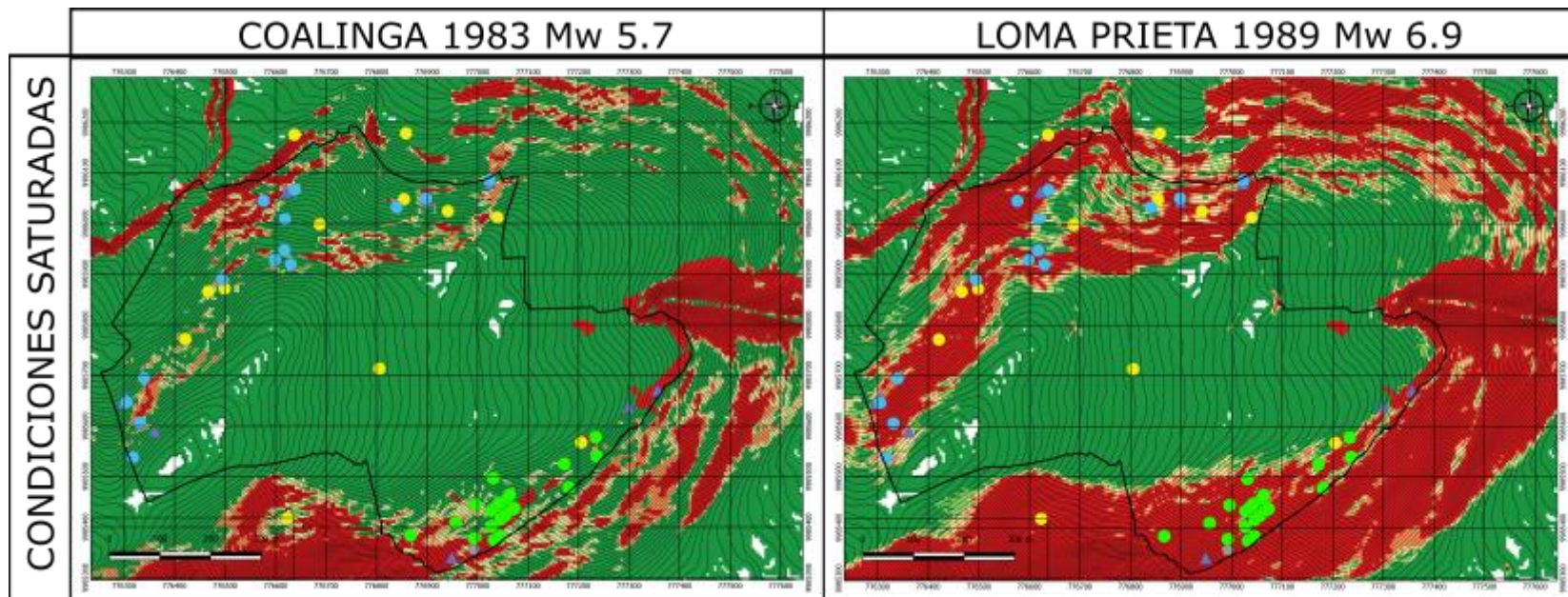


Figura 5.7 Calibración de resultados con mapa de Inventario de deslizamientos

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La Zona de Atucucho se encuentra ubicada al noroccidente del DMQ y está conformada por tres unidades geológicas cuaternarias que son: la unidad cangahua, unidad coluvial, zonas de rellenos antrópicos, además se ubica en zonas con altas pendientes.
- La Zona de Atucucho se encuentra cubierta en su mayoría por la Unidad Cangahua que es descrita como un manto de ceniza volcánica retrabajada conformada por limos arenosos e intercalada por capas de lapilli, la cangahua tiene potencias importantes a lo largo de la zona que van desde 5 metros en las laderas ubicadas al Sur, hasta 20 metros aproximadamente en las laderas del Norte
- La Metodología de Newmark utilizada en la zona de estudio parte de la caracterización litológica, geotécnica, geomorfológica (MDT) y observaciones geológicas generales, para determinar las zonas de alta, media y baja peligrosidad.
- El mapa de Aceleración Crítica muestra que la zona de estudio es una zona muy susceptible a movimientos en masa por sismos debido a su ubicación geográfica, topografía accidentada e hidrología además de aspectos antrópicos como rellenos y las construcciones sin planificación, que son factores aumentan esta susceptibilidad.
- La Metodología de Newmark indica teóricamente zonas donde se pueden generar movimientos traslacionales, pero en la zona de estudio los tipos de movimientos que se presentan son: deslizamientos, caídas, flujos y movimientos rotaciones. Sin embargo, la Metodología de Newmark muestra que las zonas con mayor peligrosidad son las mismas en las cuales se han generado inestabilidades.
- Los valores de FS del mapa obtenido por la Metodología de Newmark, muestran un mejor acoplamiento a la realidad de la zona de estudio comparado

con los valores de FS obtenidos por perfiles con el software Slide realizados por FUNEPSA (2015).

- En los dos mapas de Aceleración Crítica tanto para condición seca como saturada se observan que existen valores menores a 0.2g que representan una susceptibilidad sísmica muy alta, los valores entre 0.2g y 0.4g representan una susceptibilidad sísmica alta, los valores entre 0.4g y 0.8g representan una susceptibilidad sísmica media y los valores mayores a 0.8g una susceptibilidad baja a deslizar con el accionar de un sismo.
- Al comparar los cuatro mapas de Desplazamientos de Newmark de la Figura 5.6 tanto en condición seca como saturada, se observa que existe un incremento importante de la peligrosidad en las zonas de rellenos y zonas con altas pendientes, en las cuales se esperan desplazamientos mayores a 5cm.

6.2. Recomendaciones

- Es importante que el estudio realizado en la Zona de Atucucho se pueda socializar a los moradores para que se puedan implementar acciones en las zonas de media y alta peligrosidad.
- Los mapas de Desplazamientos de Newmark indican los valores de las rupturas en cuanto a la ocurrencia de un sismo en las distintas litologías por lo cual pueden utilizarse para actividades de prevención dentro de las zonas marcadas con un peligro alto a muy alto a deslizarse.
- Se debería realizar rellenos bajo una supervisión técnica adecuada para reducir el impacto antrópico en las zonas de peligrosidad alta ya que esto es uno de los principales valores que incrementa los valores de peligro ante eventos sísmicos.
- El DMQ debería contar con una cartografía geológica y geotécnica de toda la zona urbana de la ciudad a una escala 1:10.000, georeferenciada y depurada para que se puedan implementar estos tipos de metodologías de una manera más eficiente y rápida.
- Debido a que el FS y los desplazamientos en la zona para condiciones saturadas son muy importantes, se deben construir canales adecuados para la evacuación de aguas lluvias y aguas servidas desde las zonas de alta peligrosidad hacia las quebradas Rumihurco y Atucucho, para evitar que las mismas lleguen a humedecer las capas superficiales, lo que favorece la generación de movimientos de terrenos.
- Debido a que la Metodología de Newmark mostró que las zonas de alta peligrosidad coinciden con zonas en las cuales se han generado todo tipo de movimientos en masa y no solo traslacionales, por lo cual puede ser aplicada en otros barrios.

Bibliografía

- Abata, D. (2015). *Diseños definitivos para el Saneamiento de la Quebrada Rumihurco*. Quito.
- Aelotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard. *Bulletins of Engineering Geology and the Environment*, 21-44.
- Arias, A. (1970). MEASURE OF EARTHQUAKE INTENSITY. (U. o. Chile, Ed.) *Massachusetts Inst. of Tech., Cambridge*.
- Barberi, F., Ghigliotti, M., Mancedonio, M., Orellana, G., Pareschi, H., & Rosi, M. (1992). Volcanic hazard assesment of Guagua Pichincha (Ecuador) based on past behaviour and numerical models . *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 49, 56-68.
- Beate, B., Hammersley , L., De Paolo, D., & Denio , A. (2006). La edad de la Ignimbrita de Chalupas. En *Resumenes de las Sextas Jornadas en Ciencias de la Tierra* (págs. 68-71). Prov. Cotopaxi Ecuador.
- Cañizares, F. (2017). *Selección de ecuaciones de atenuación (GMPE's) compatibles con el sistema de fallas de Quito*. EPN, Quito.
- Chousiantis, K., Del Gaudio, V., Sabatakakis, N., Kavoura, K., Drakatos, G., Bathrellos, G., & Skilodimou, H. (2016). Assessment of earthquake-induced landslide hazard in Greece: From Arias intensity to spatial distribution of slope resistance demand. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 174-188.
- Das B. M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* . Mexico: Tohomson Learning.
- Diario Ultimas Noticias. (27 de Marzo de 2017). *Ultimas Noticias*. Obtenido de <http://www.ultimasnoticias.ec/las-ultimas/vecinos-atucucho-lluvia-invierno-quito.html>
- Ego, F., Sébrier, M., Lavenu, A., Yepes , H., & Eguez, A. (1996). Quaternary state of stress in the Northen Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian ANdes. *Tectonophysics*, 101-116.

- El Universo. (27 de Marzo de 2017). 509 emergencias se han reportado desde octubre por fuertes lluvias en Quito. Quito, Pichincha, Ecuador.
- El Universo. (7 de Mayo de 2017). Las cifras que deja el invierno más fuerte de los últimos 19 años, en Ecuador. *El Universo*.
- Figueras, S., Macau, A., Goula, X., & Gonzales, M. (2005). Aplicación del Método de Newmark para el estudio de los movimientos de ladera activados por terremotos. *VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*.
- FUNEPSA CIA LTDA. (2015). *Actualización de la zonificación por la amenaza de deslizamiento en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito.
- GEMMA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la Evaluación de Amenazas*. Canada: GCA.
- Hernández, J., Jiménez, E., Osorio, I., Parra, J., Singer, A., Rodríguez, L., & Marrero, J. (2017). *Peligro de Deslizamientos en Portoviejo*. Quito.
- IG-EPN. (2014). *Informe Sísmico Especial N°1 - Sismo de Quito 12 de Agosto de 2014*. Quito.
- INAMHI. (2017). *Boletín Agrometeorológico*. Quito.
- INGEOMINAS. (2001). *Evaluación de riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa-Guía Metodológica* (Vol. 1). Bogotá.
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2013). *Generación de Geoinformación Para La Gestión Del Territorio a nivel nacional a Escala 1:25000*. Quito.
- Instituto Geofísico EPN. (2013). *Informe Sísmico para el Ecuador*. Quito.
- Jibson, R. (1993). Predicting Earthquake-Induced Landslide Displacements Using Newmark's Sliding block Analysis. *Nacional Research Council*.
- Jibson, R., & Keefer, D. (1993). Analysis of the seismic origin of landslides: Examples from the New Madrid seismic zone. *Geological Society of America Bulletin*. v 105, 521-536.
- Lavenu, A., Winter, T., & Davila, F. (1995). A Pliocene-Quaternary compressional basin in the Interandean Depression, Central Ecuador. *Geophys J*.

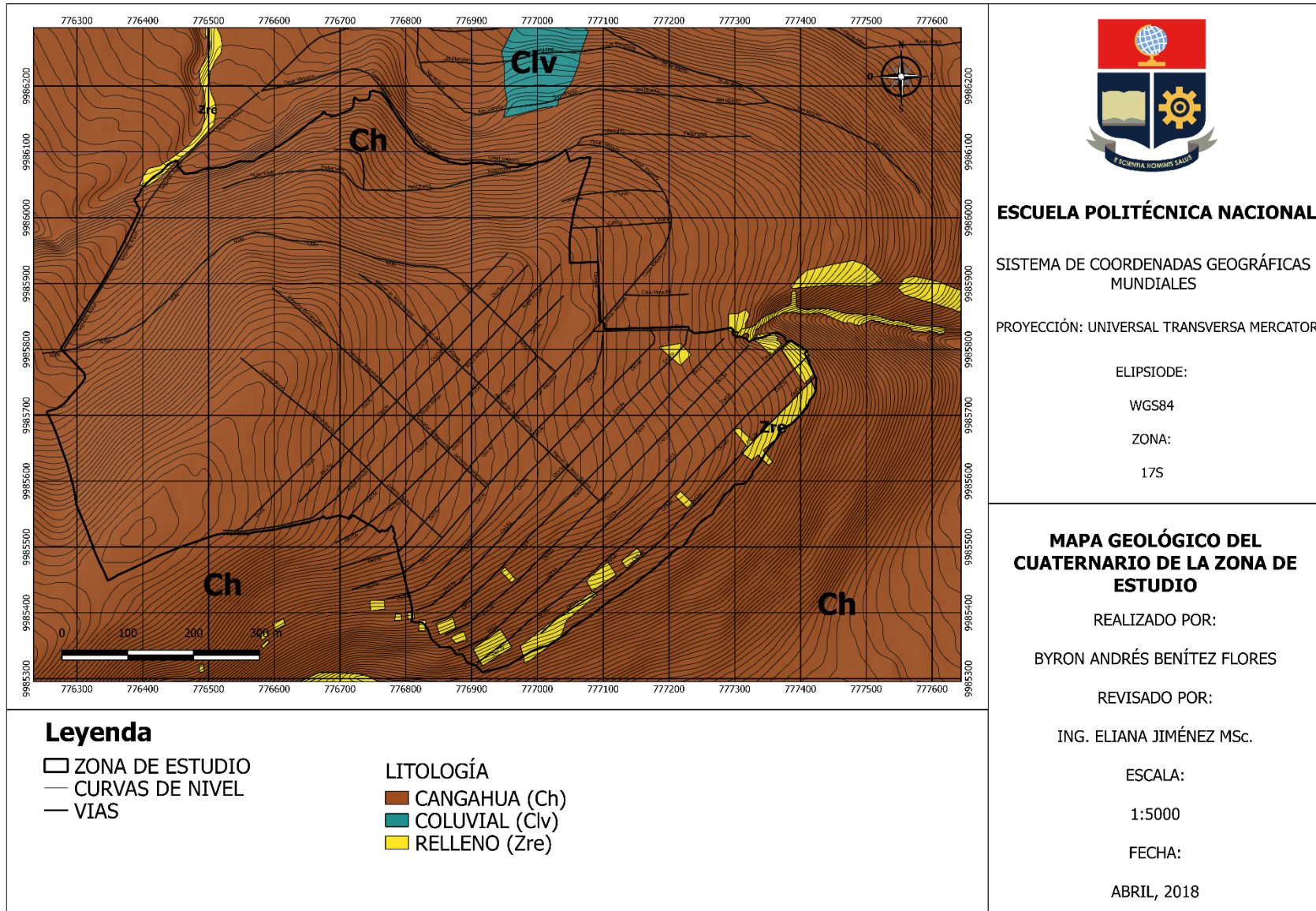
- Litherland, M., Aspden, J., & Jemielita, R. (1994). *The Metamorphic Belts of Ecuador*. Keyworth, Nottingham.
- López, M. (2014). *Efectos del Sismo de Quito de 12 de Agosto de 2014 y su impacto socioeconómico en la Parroquia Guayllabamba*. Quito.
- Miles, S., & Keefer, D. (2001). Seismic landslide hazard for the cities of Okland and Piedmont, California. (U. G. Survey, Ed.) *Miscellaneous Field Studies MAP MF-2379*.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito* (Segunda ed.). Quito.
- NEC15. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. En *Peligro Sísmico Diseño Sismoresistente Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda 2014*. Código . NEC-SE-DS.
- Newmark, N. (1965). Effects of Earthquakes on Dams and Embankments. *Géotechnique*, XV, 139-159.
- Pillajo, T. (2016). *Análisis, Evaluación y Gestión del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa en el barrio San Jacinto de Atucucho, Noroccidente de Quito*. Quito.
- Pourrut, P. (1989). *Estudios de Geografía*. Quito: Editora Nacional.
- Robin, C., Samaniego, P., Le Pennec, J., Fornari, M., Mothes, P., & Van Der Plitch, J. (2010). New radiometric and petrological constraints on the evolution of the Pichincha volcanic complex (Ecuador). *Bulletin of volcanology*, 1109-1129.
- Rodríguez, M., García, J., & Azañón, J. (2008). Evaluación regional de inestabilidades de ladera por efecto sísmico: Mapas de desplazamiento de Newmark para la Cuenca de Lorca (SE España). *Geo Temas 10*.
- Samaniego, P., Robin, C., Monzier, M., Mothes, P., Beate, B., & Garcia, A. (2006). Guagua Pichincha Volcano Holocene and Late Pliocene Activity. *Cuarta Conferencia "Cities on Volcanoes IAVCEI Quito 2006"*. Quito-Ecuador.

- Schmidt, V. (2008). Correlaciones a partir de la Intensidad de Arias para datos acelerográficos de Costa Rica. *Revista Geológica de America Central* 38, 95-117.
- Secretaría de Gestion de Riesgos. (2017). *Informe de situacion 27/03/2017 Epoca lluviosa en Ecuador*. Quito.
- Secretaria de Territorio DMQ. (2010). Obtenido de <http://sthv.quito.gob.ec/estadistica/>
- Suárez , F. (2008). *Efecto de la textura superficial en el desempeño a fricción de un cojinete plano de deslizamiento (Doctoral dissertation, tesis (maestría)*. Universidad Nacional de Colombia, Medellin, Colombia.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*. Bucaramanga: Ingenieria de suelos Ltda.
- Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, J., & Mora, H. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America. *Journal South America Easth Science*, 157-171.
- United Nations Disaster Relief Organization. (1979). Informe de reunion del grupo de expertos. En *Natural disasters and vulnerability analysis*. Ginebra.
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). *Terminology on Disaster Risk Reduction*. Geneva: United Nations.
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R., & Luzieux, L. (2009). Evolución Geodinámica de la cordillera occidental (cretácico tardio - paleogeno). *Revista Politecnica*, 112-130.
- Varnes, D. (1978). Slope movements types and processes. *Landslides analysis and control*, 9-33.
- Villagomez, D. (2003). *Evolución Geológica Plio-Cuaternaria del Valle Interanino Central del Ecuador* . Quito.
- Wang, H., Liu, G., Xu, W., & Wang, G. (2005). GIS-based landslide hazard assessment: an overview. *Progress in Physical Geography*, 548–567.
- Winkler, W., Villagomez, D., Spikings, R., Abegglen, P., Tobler, S., & Eguez, A. (2005). The Chota Basin and its significance for the inception and tectonic setting of the

Interandean depression in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*
19, 5-19.

ANEXOS

Anexo I. Mapa Geológico del cuaternario de Atucucho.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES

PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR

ELIPSIODE:

WGS84

ZONA:

17S

MAPA GEOLÓGICO DEL CUATERNARIO DE LA ZONA DE ESTUDIO

REALIZADO POR:

BYRON ANDRÉS BENÍTEZ FLORES

REVISADO POR:

ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc.

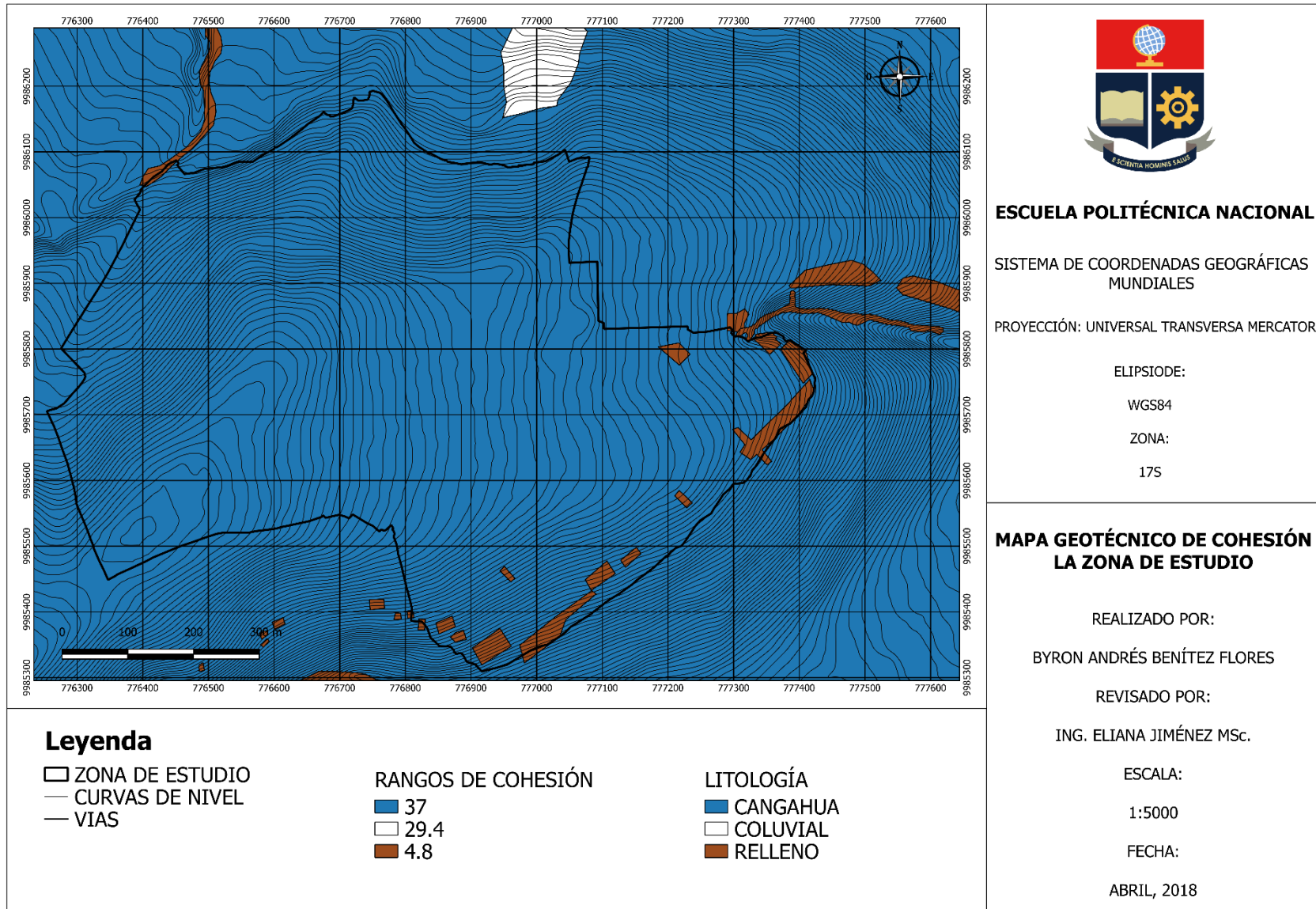
ESCALA:

1:5000

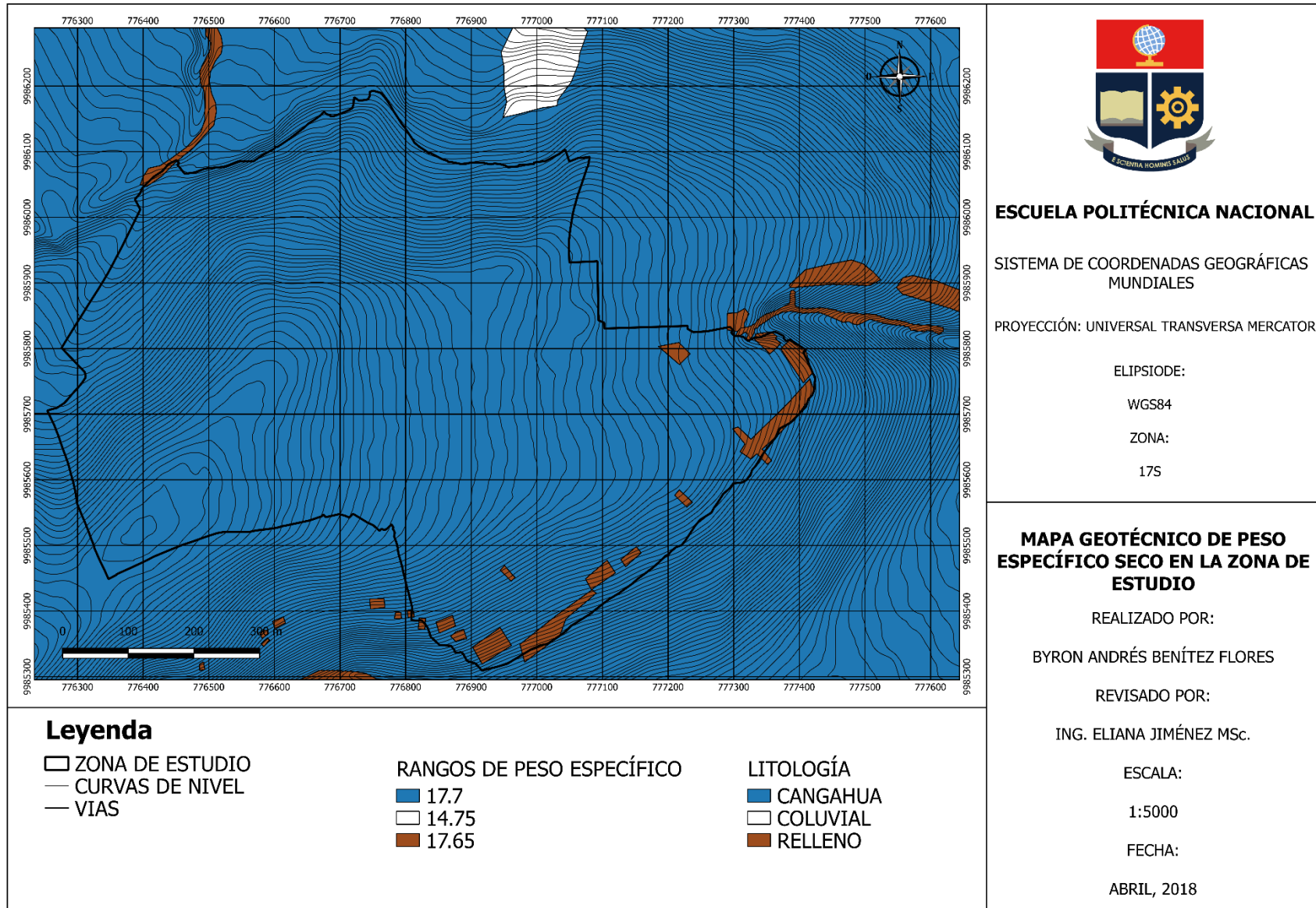
FECHA:

ABRIL, 2018

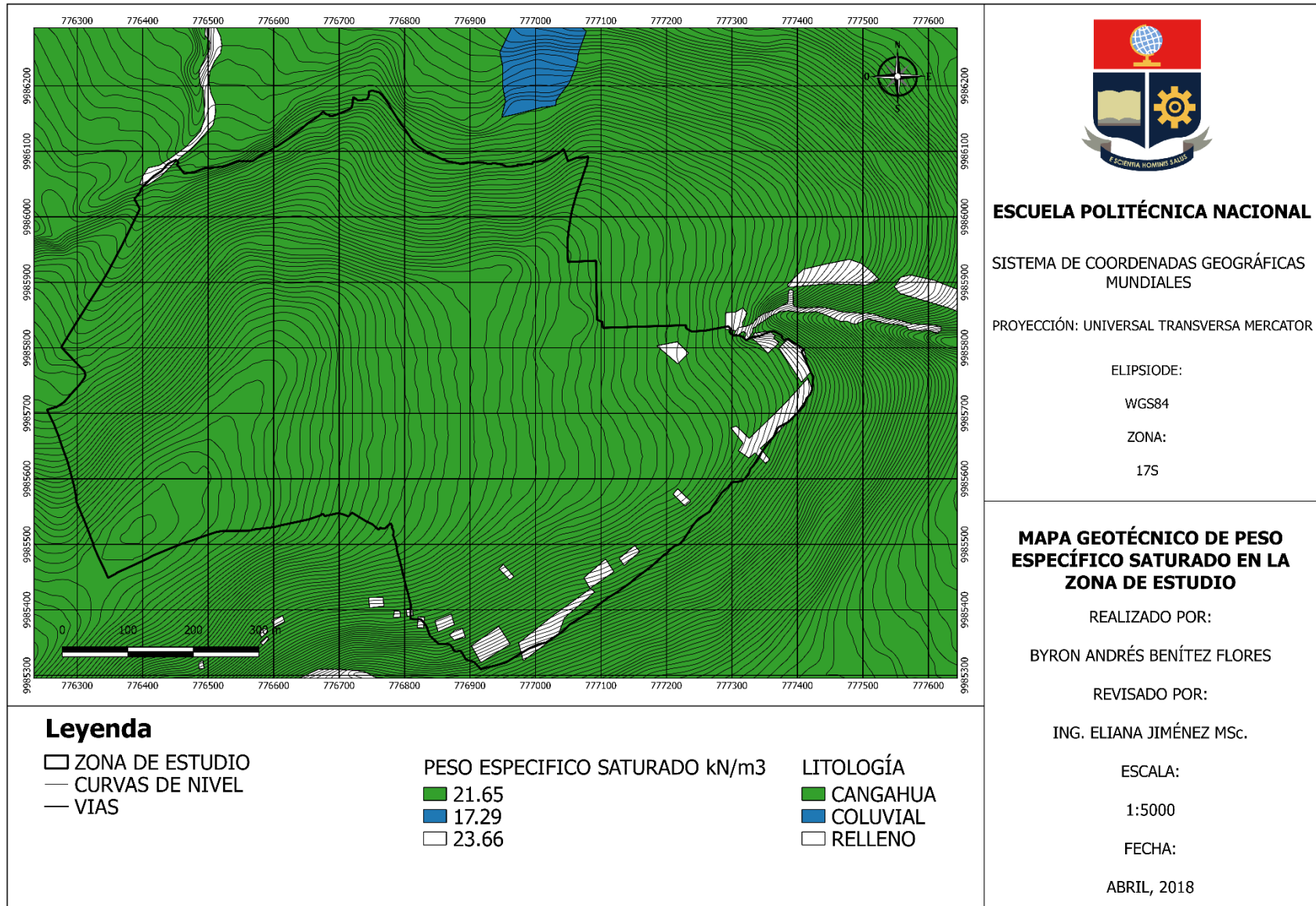
Anexo II. Mapa Geotécnico de Cohesión de Atucucho.



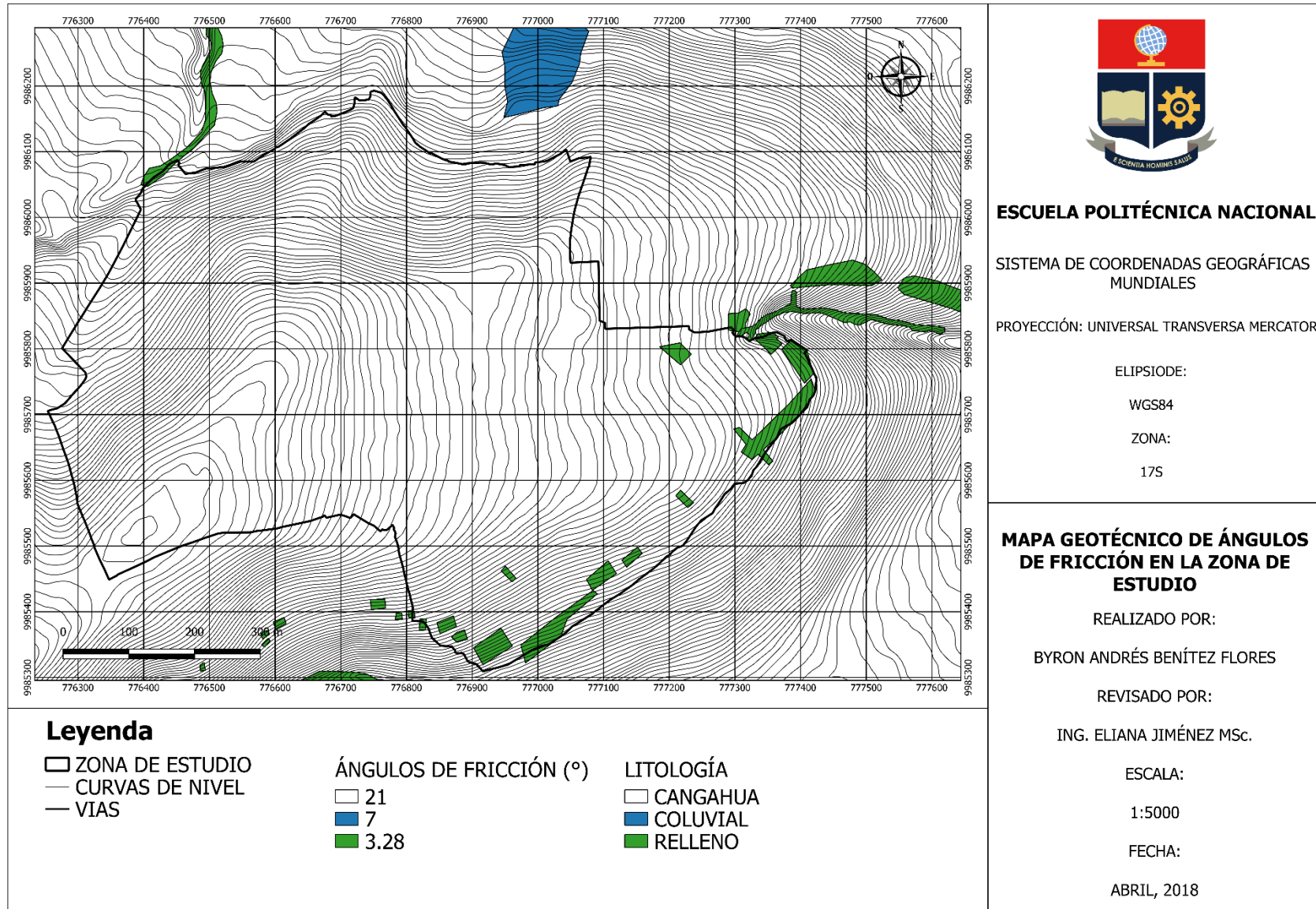
Anexo III Mapa Geotécnico de Peso Específico Seco de Atacucho.



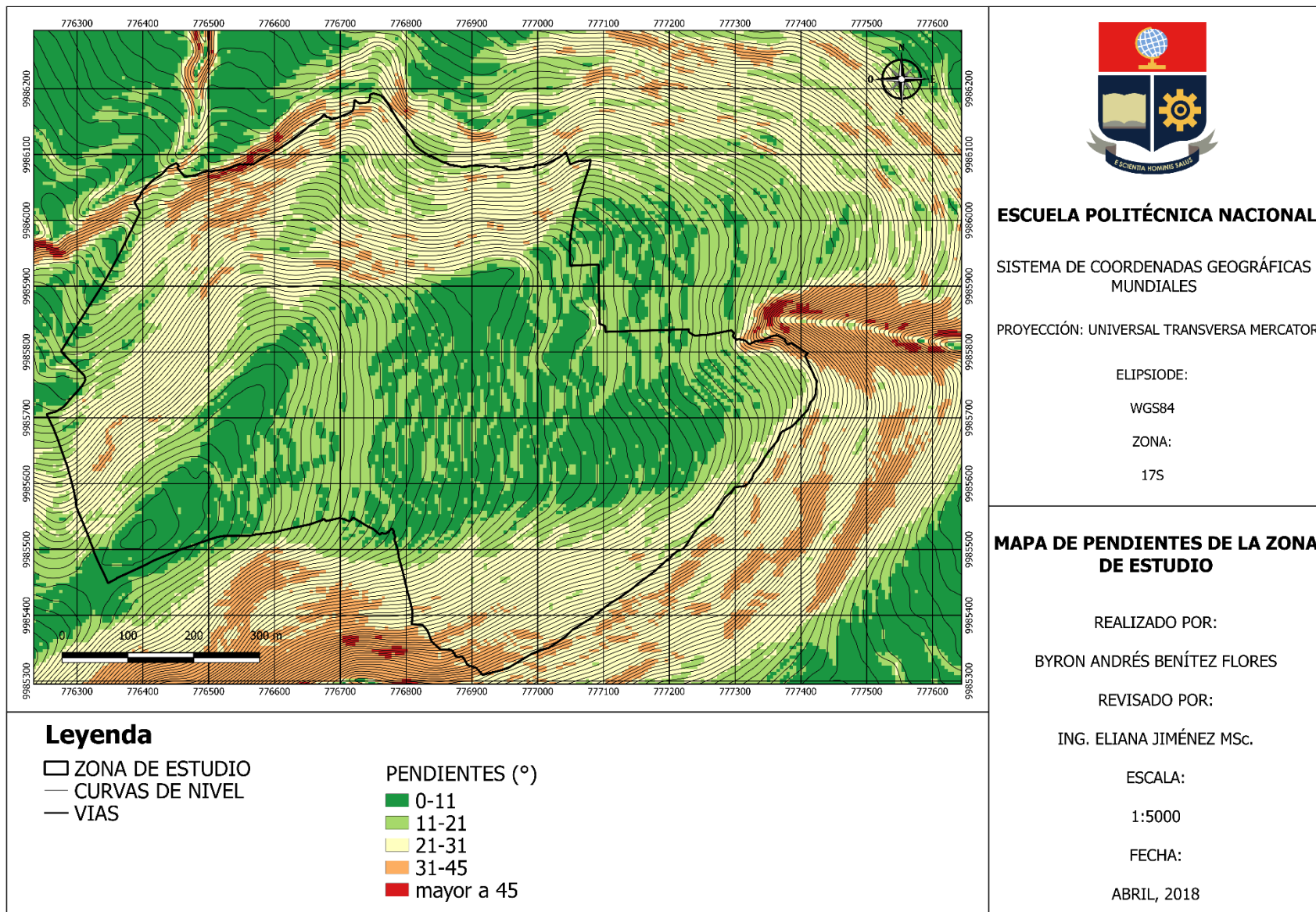
Anexo IV Mapa Geotécnico de Peso Específico Saturado de Atucucho.



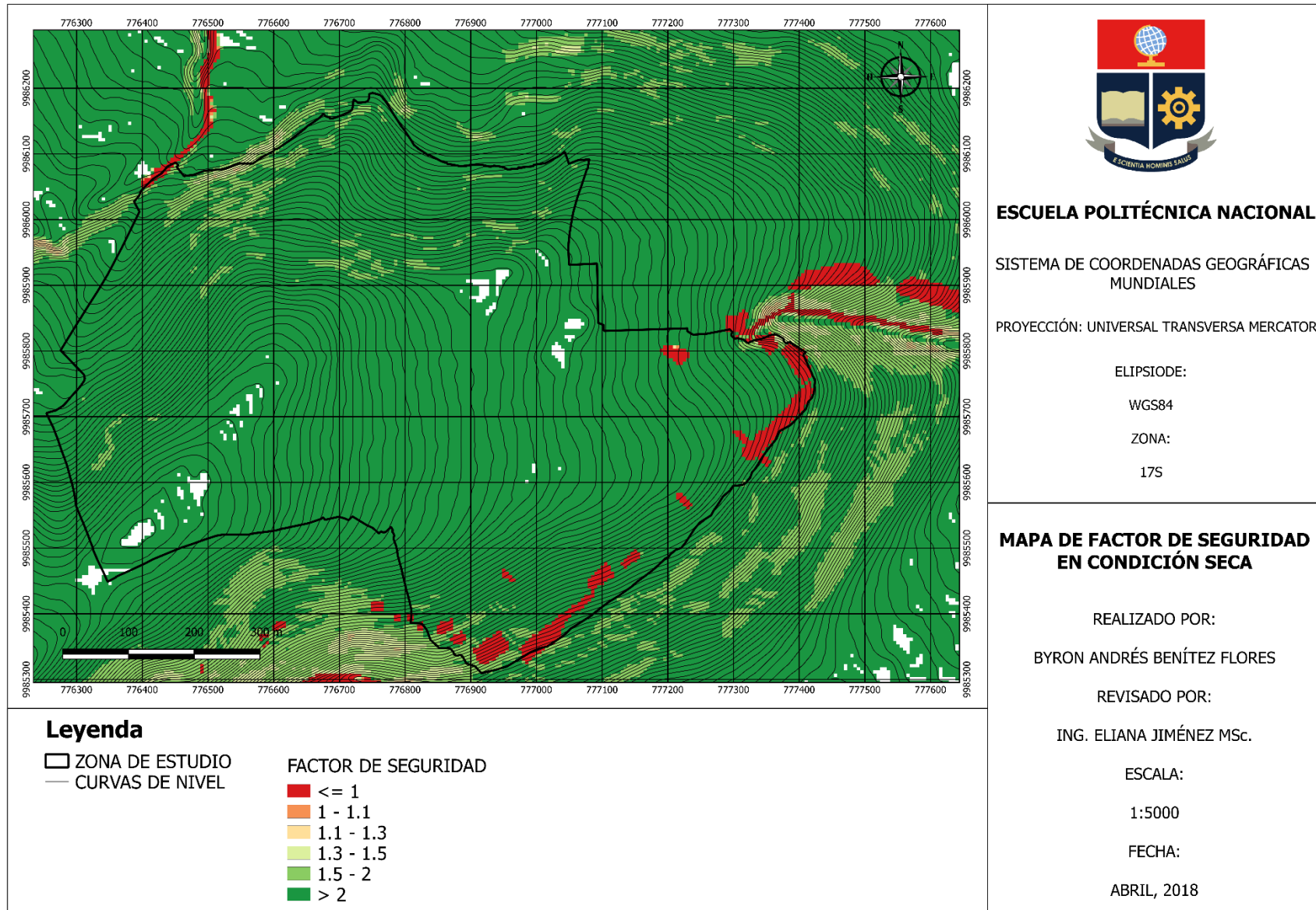
Anexo V Mapa Geotécnico de Angulo de Fricción de Atucucho.



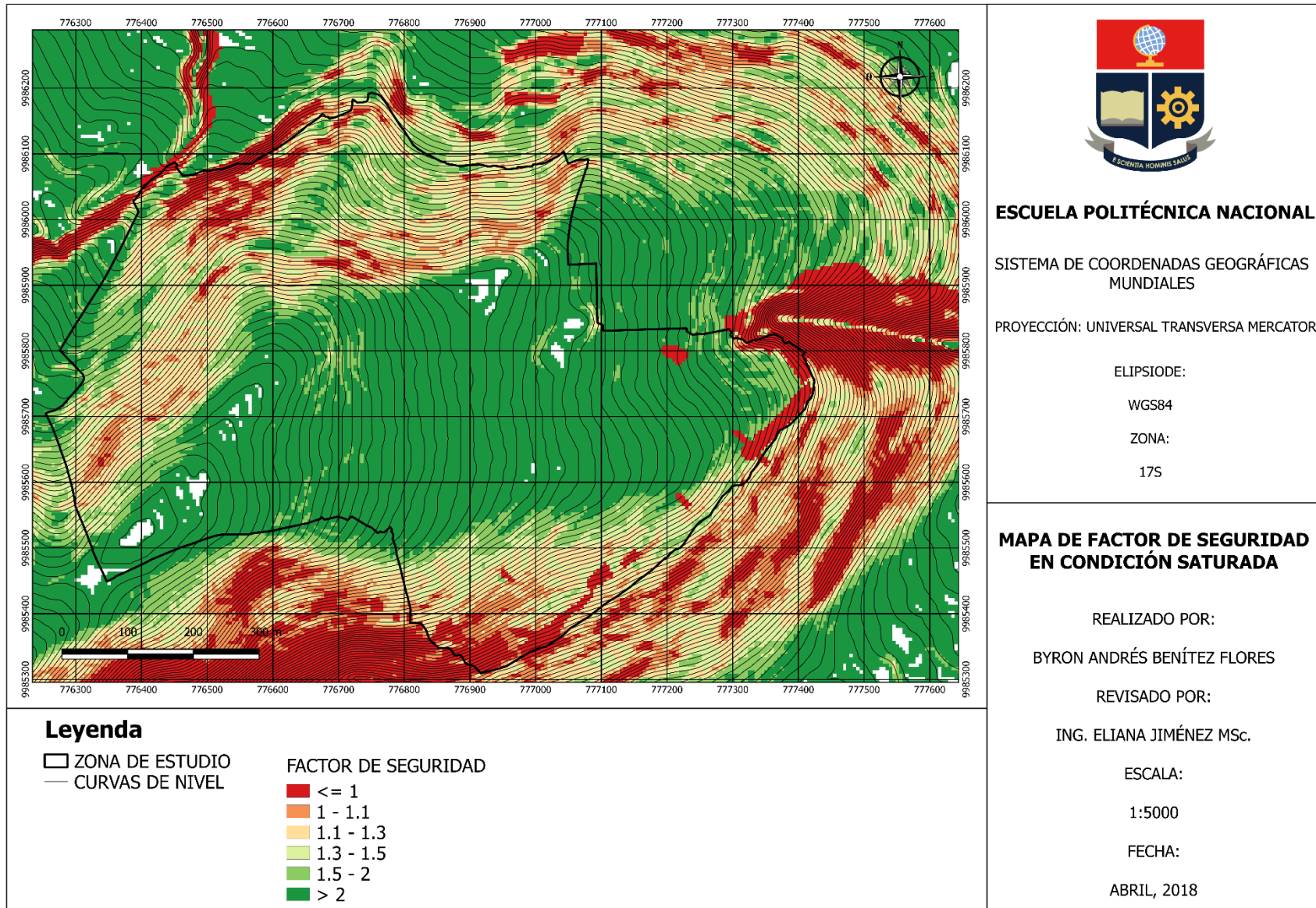
Anexo VI. Mapa de Pendientes de Atucucho.



Anexo VII. Mapa de Factor de Seguridad en condición seca de Atucucho.



Anexo VIII Mapa de Factor de Seguridad en condición saturada de Atucucho.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES

PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR

ELIPSIODE:

WGS84

ZONA:

17S

MAPA DE FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIÓN SATURADA

REALIZADO POR:

BYRON ANDRÉS BENÍTEZ FLORES

REVISADO POR:

ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc.

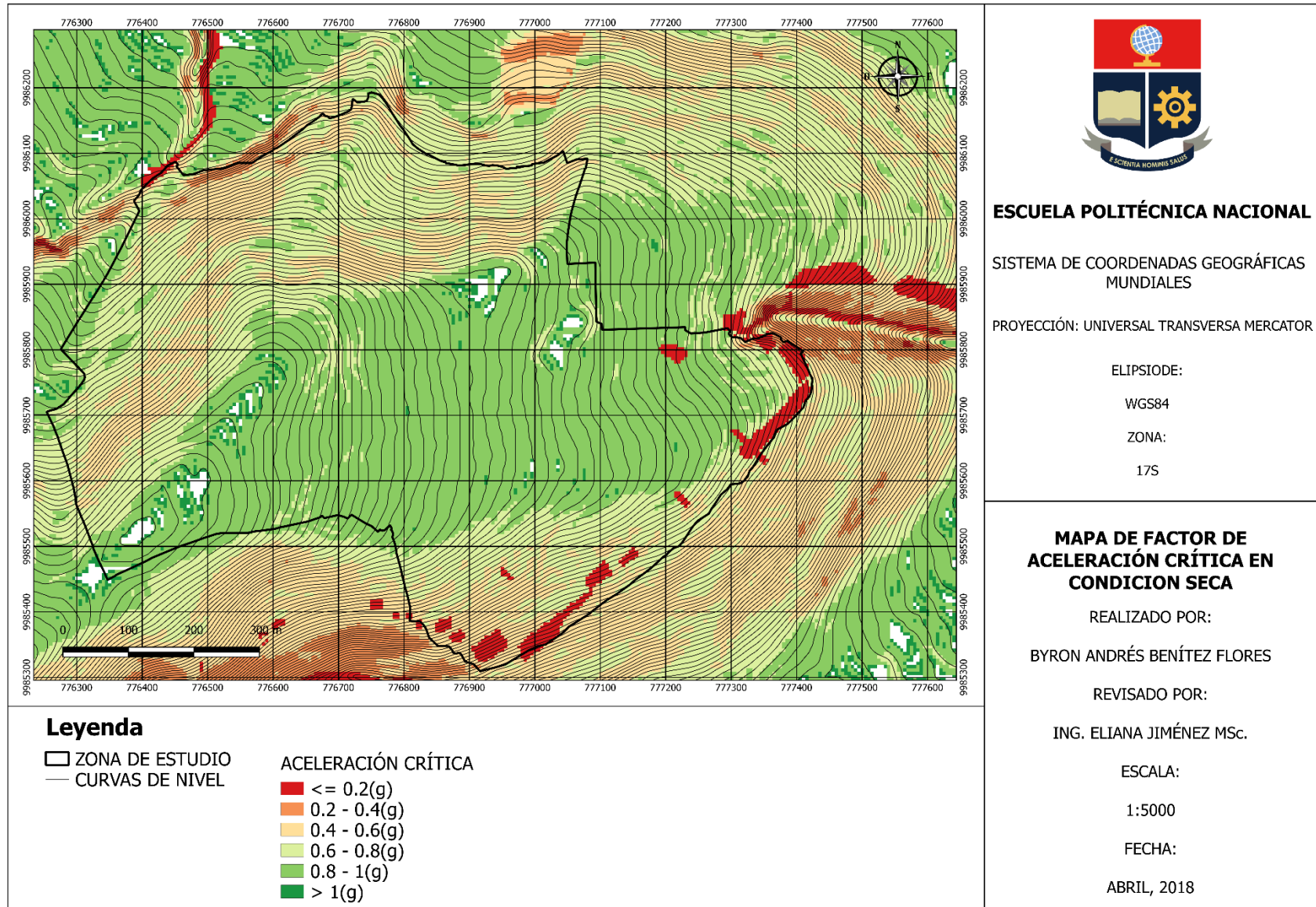
ESCALA:

1:5000

FECHA:

ABRIL, 2018

Anexo IX. Mapa de Aceleración Crítica en condición seca de Atucucho.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES

PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR

ELIPSOIDE:

WGS84

ZONA:

17S

MAPA DE FACTOR DE ACCELERACIÓN CRÍTICA EN CONDICION SECA

REALIZADO POR:

BYRON ANDRÉS BENÍTEZ FLORES

REVISADO POR:

ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc.

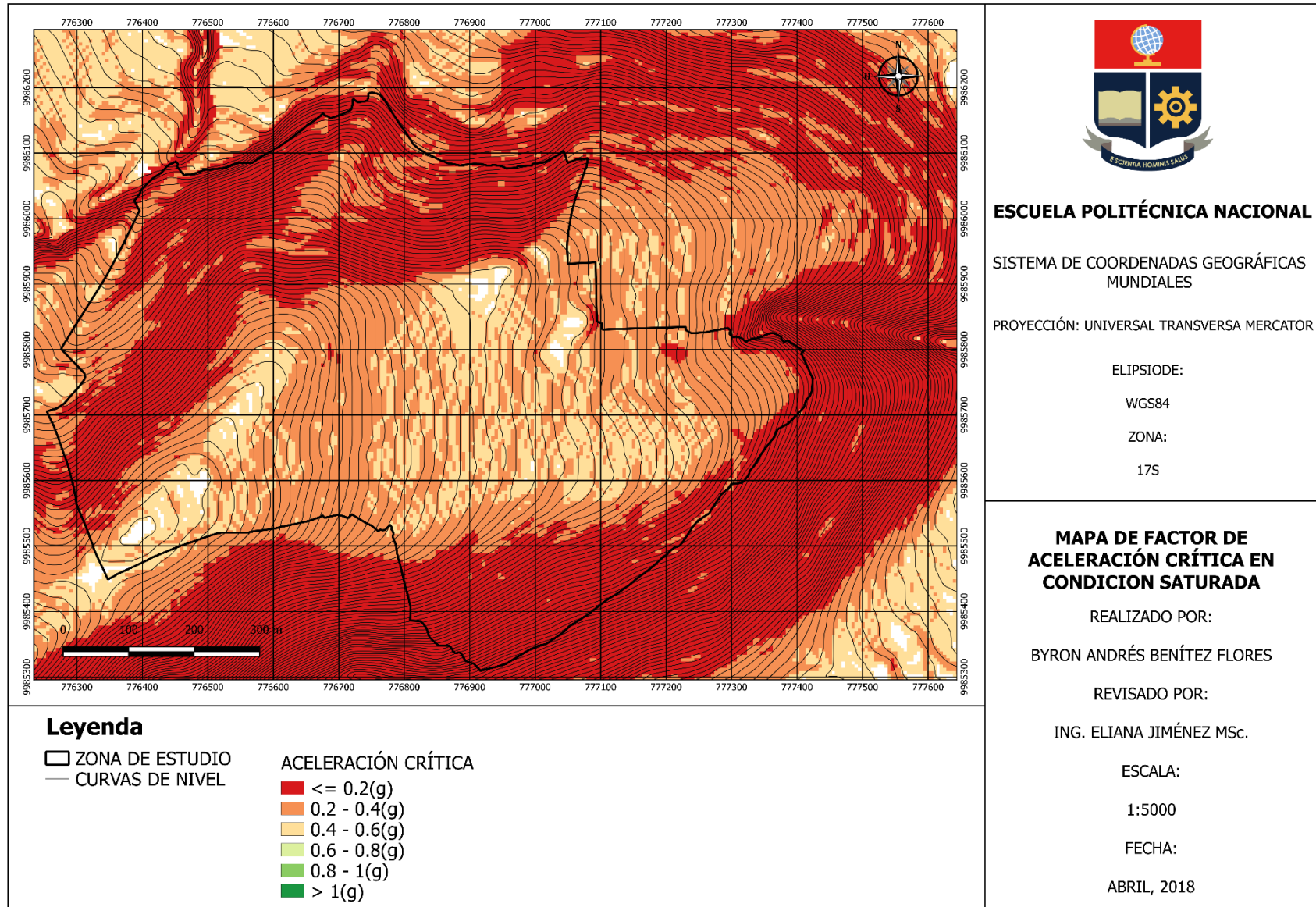
ESCALA:

1:5000

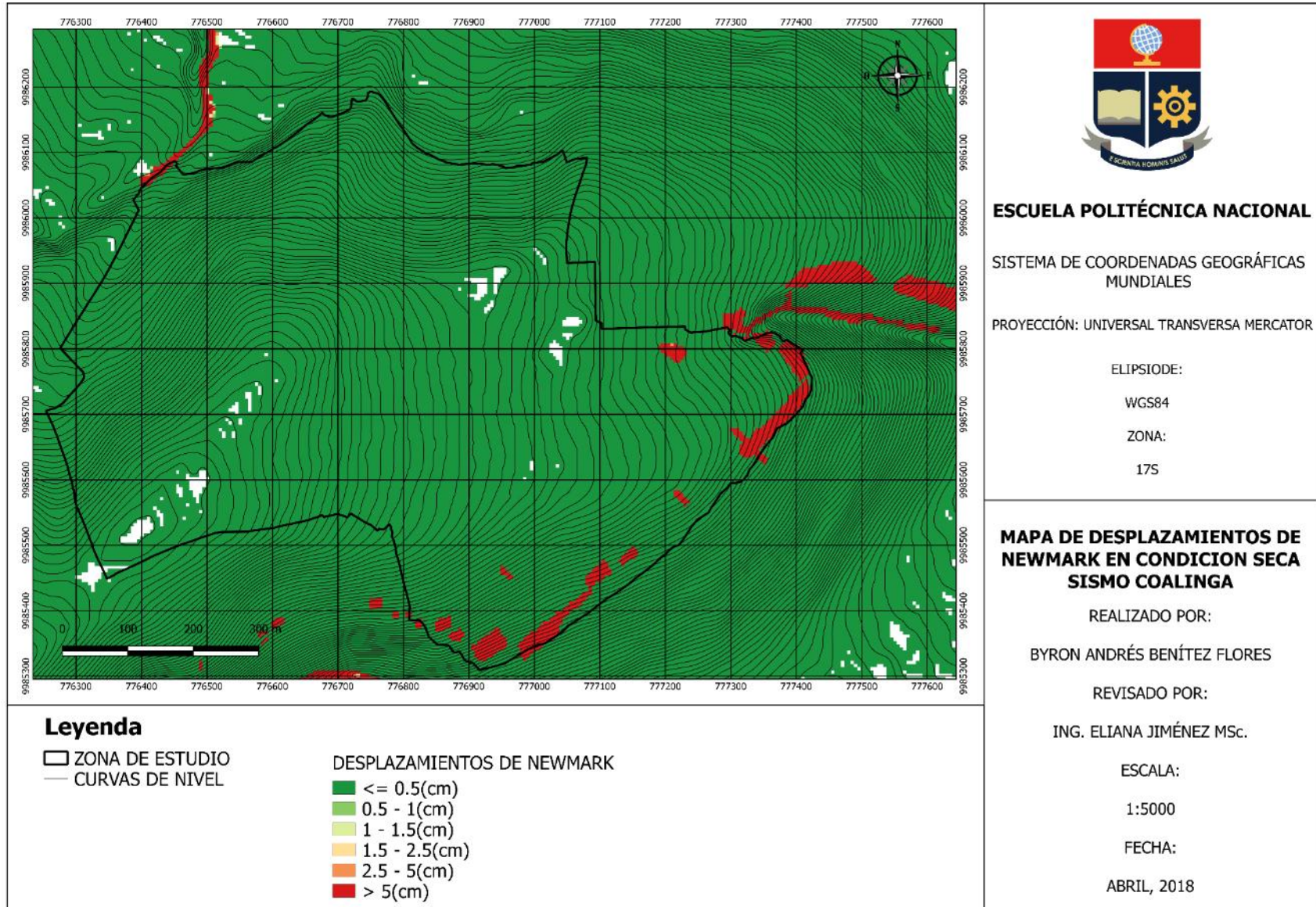
FECHA:

ABRIL, 2018

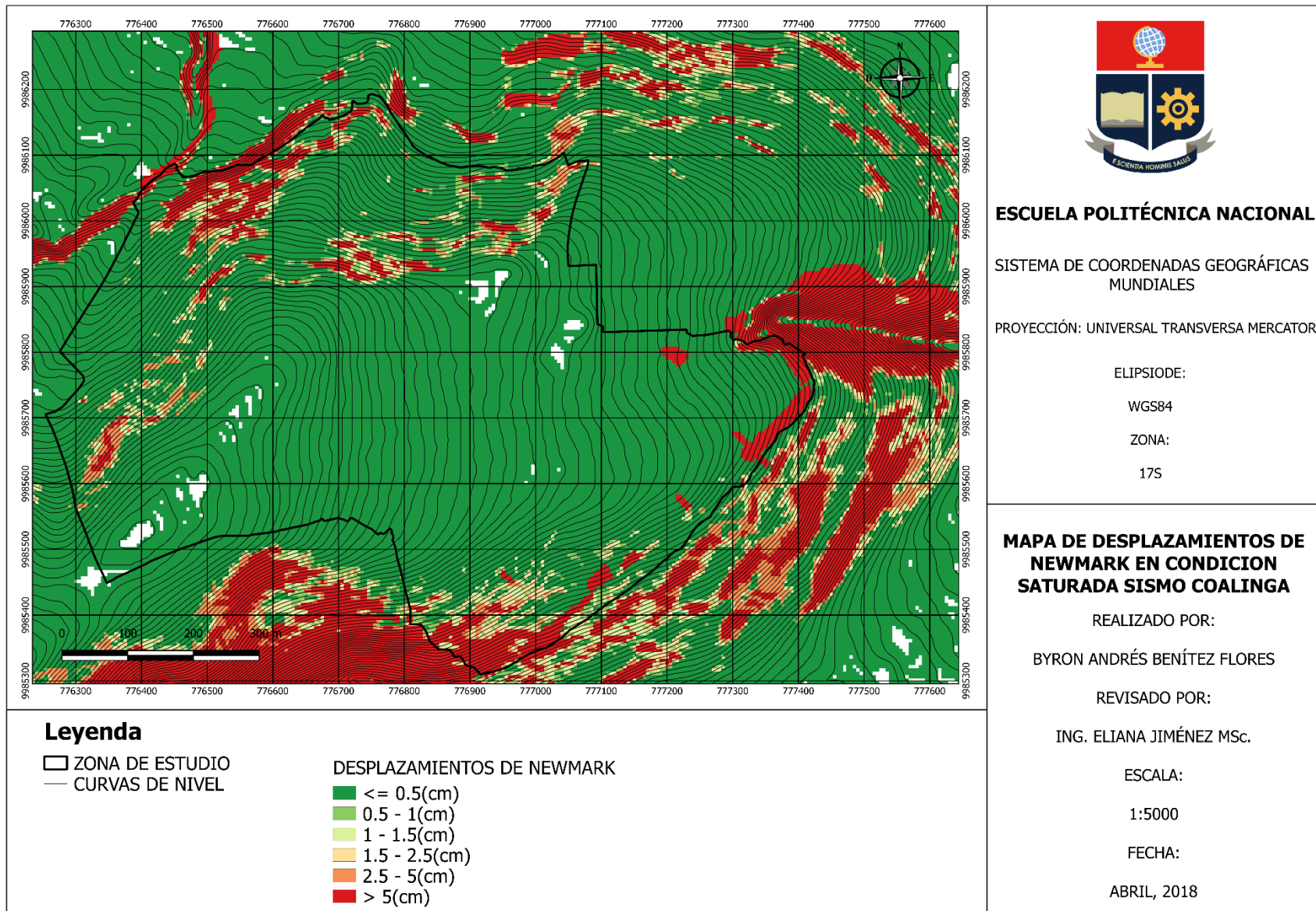
Anexo X Mapa de Aceleración Crítica en condición saturada de Atucucho.



Anexo XI. Mapa de Desplazamientos de Newmark condición seca, sismo Coalinga.



Anexo XII Mapa de Desplazamientos de Newmark condición saturada, sismo Coalinga.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES

PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR

ELIPSIODE:

WGS84

ZONA:

17S

MAPA DE DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK EN CONDICION SATURADA SISMO COALINGA

REALIZADO POR:

BYRON ANDRÉS BENÍTEZ FLORES

REVISADO POR:

ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc.

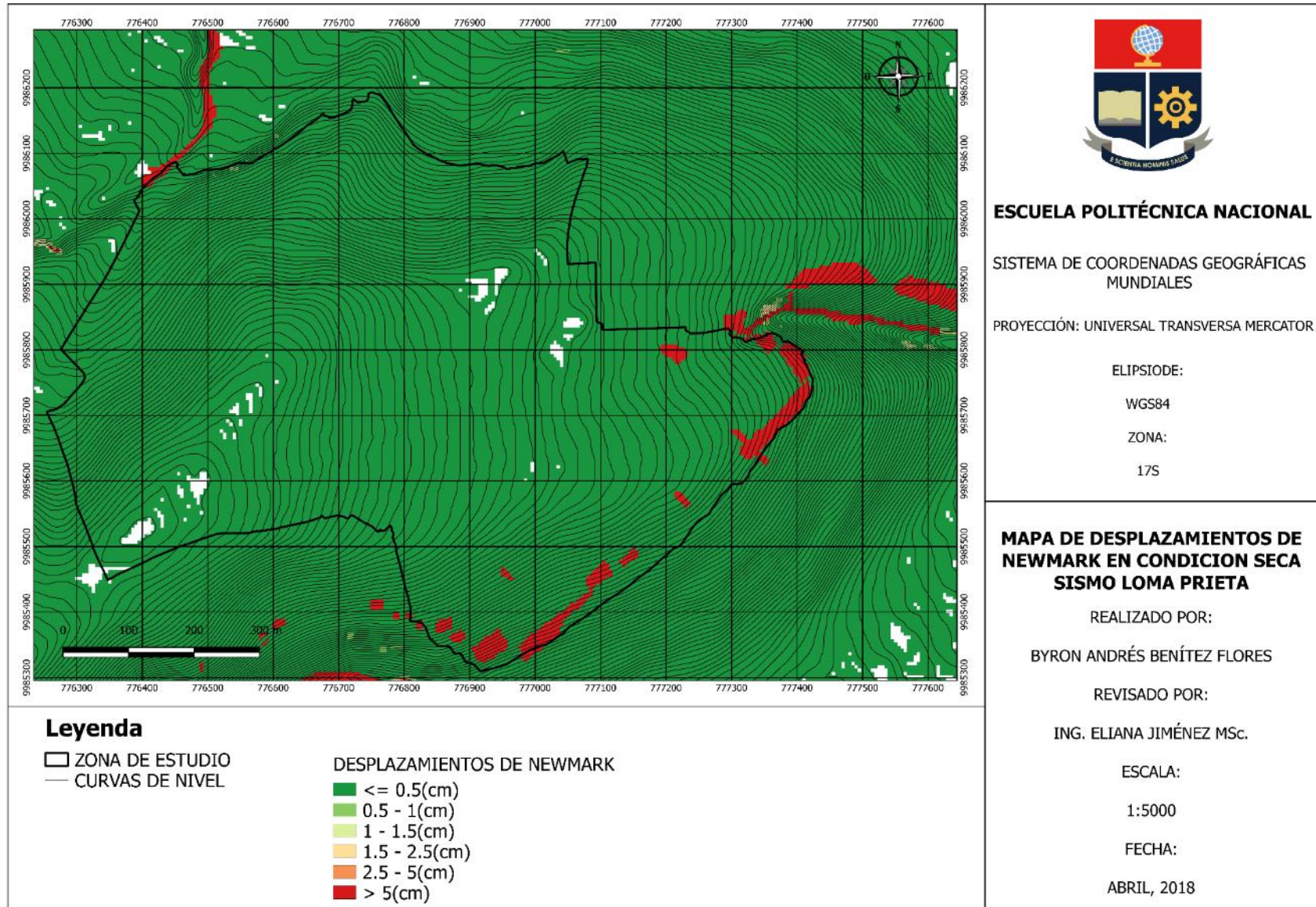
ESCALA:

1:5000

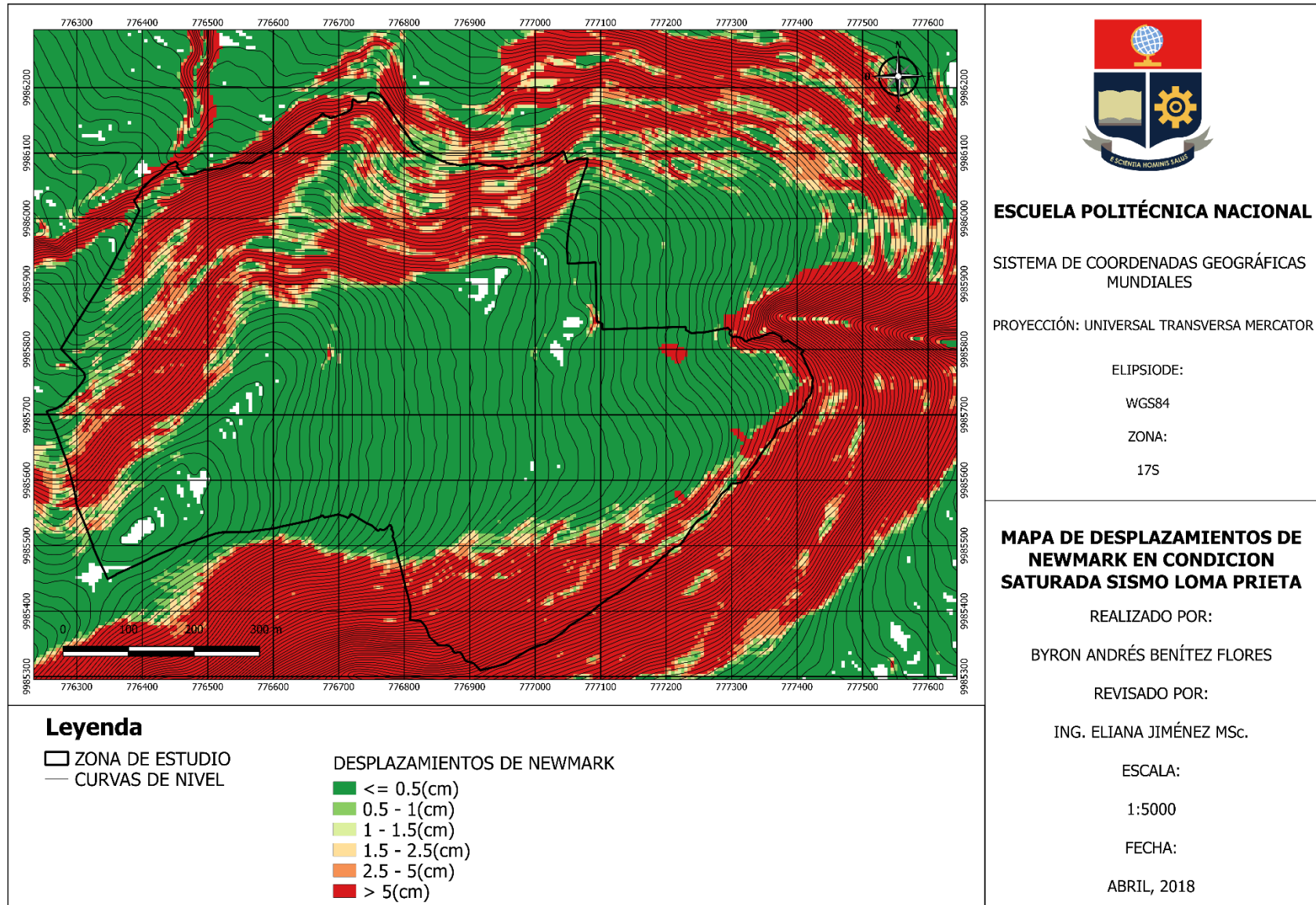
FECHA:

ABRIL, 2018

Anexo XIII Mapa de Desplazamientos de Newmark condición seca, sismo Loma Prieta.



Anexo XIV Mapa de Desplazamientos de Newmark condición saturada, sismo Loma Prieta.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES

PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR

ELIPSIODE:

WGS84

ZONA:

17S

MAPA DE DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK EN CONDICION SATURADA SISMO LOMA PRIETA

REALIZADO POR:

BYRON ANDRÉS BENÍTEZ FLORES

REVISADO POR:

ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc.

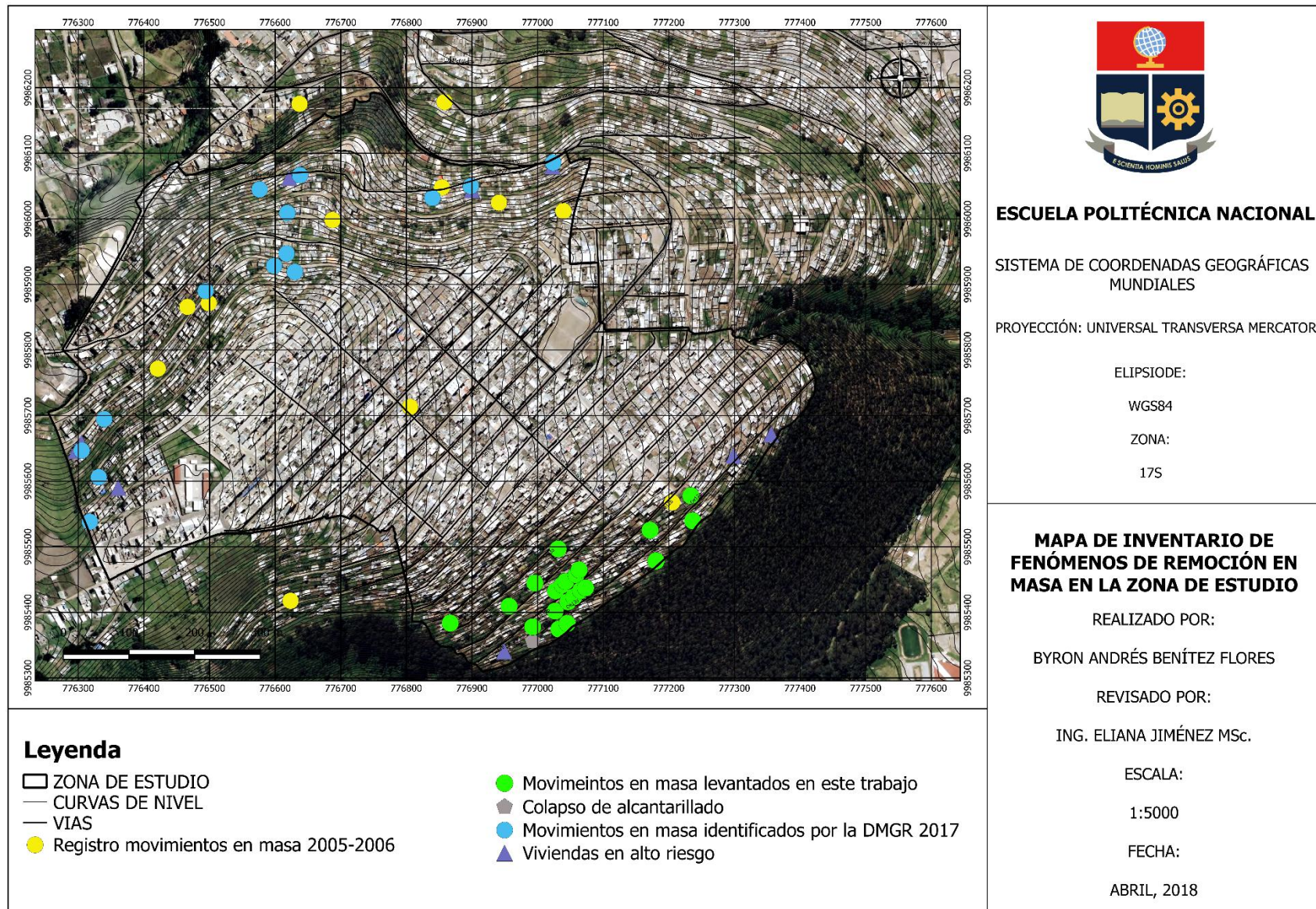
ESCALA:

1:5000

FECHA:

ABRIL, 2018

Anexo XV. Mapa Inventario de Movimientos en Masa de Atacucho.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES

PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR

ELIPSIODE:

WGS84

ZONA:

17S

MAPA DE INVENTARIO DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA ZONA DE ESTUDIO

REALIZADO POR:

BYRON ANDRÉS BENÍTEZ FLORES

REVISADO POR:

ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc.

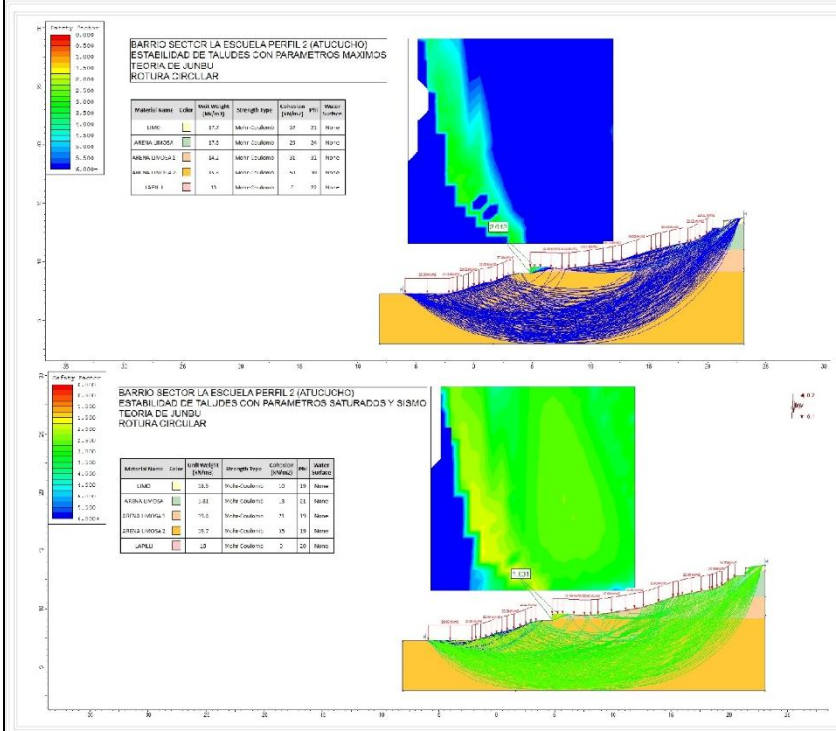
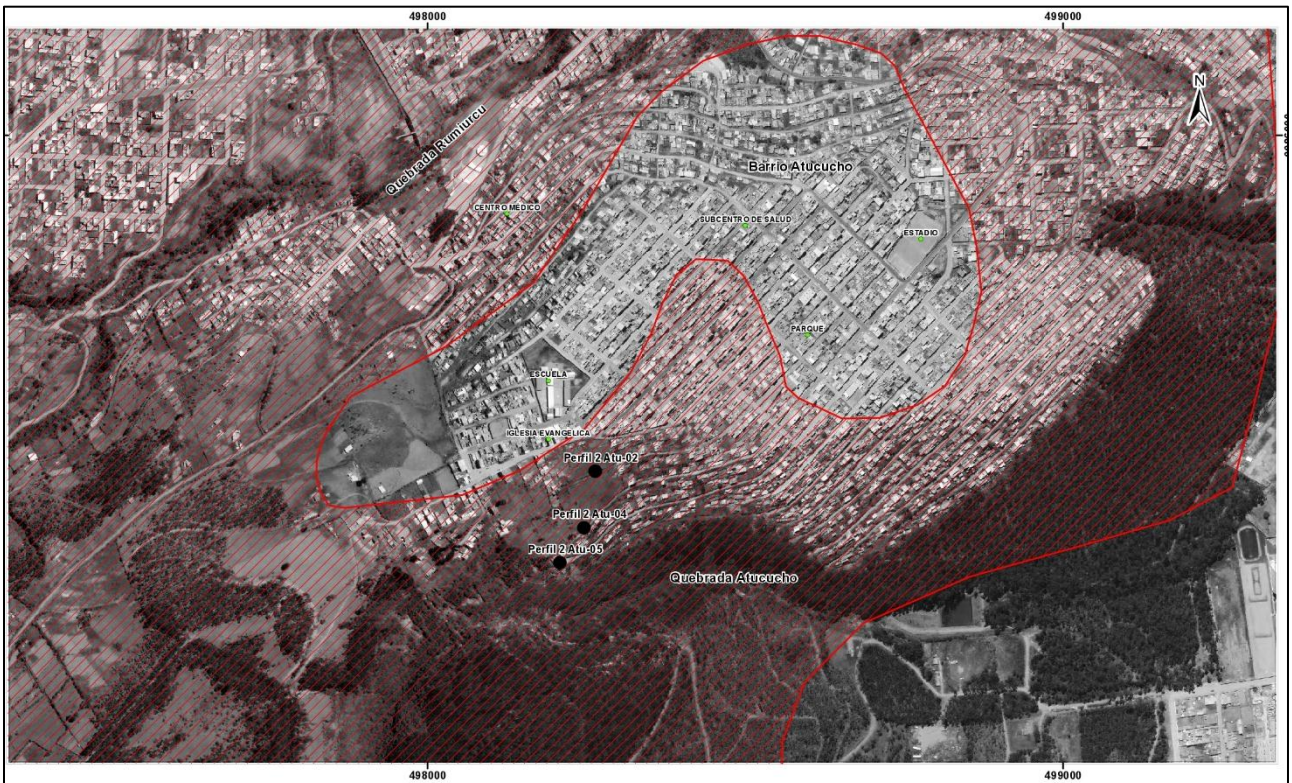
ESCALA:

1:5000

FECHA:


ABRIL, 2018

Anexo XVI. Factor de Seguridad calculado por FUNEPSA CIA. LTDA.



- SIMBOLOGIA**
- Punto de referencia
 - Estudio de suelos para determinar el factor de seguridad (FS)
 - ⊗ Zona de Muy Alta Amenaza



 <p>SECRETARÍA GENERAL DE SEGURIDAD Y GOBERNABILIDAD DIRECCIÓN METROPOLITANA DE GESTIÓN DE RIESGOS</p>	<p>PROYECTO: ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN POR AMENAZA DE DESLIZAMIENTO</p>	<p>ELABORADO POR:</p>  <p>FUNEPSA CIA. LTDA. GRUPO CONSULTOR</p>	<p>ESCALA DEL ORTOFOTOMOSAICO:</p> <p>1:5 000</p>
	<p>CONTIENE:</p> <p>ZONA DE MUY ALTA AMENAZA - ATUCUCHO 2 ADMINISTRACIÓN ZONAL - NORTE</p>	<p>REVISADO POR:</p> <p>DMGR</p>	<p>ARCHIVO DIGITAL:</p> <p>2. Zona 2.mxd</p>
	<p>FUENTE:</p> <p>DIRECCIÓN METROPOLITANA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN FUNEPSA CIA. LTDA. - GRUPO CONSULTOR</p>	<p>FECHA:</p> <p>Febrero 2015</p>	<p>ZONA N°</p> <p>2</p>
	<p>SISTEMA DE COORDENADAS: SIRES - DMQ Proyección Cartográfica: Transversa de Mercator Modificada (TMQ - WGS84) Zona: 17 Sur Modificada (w 77° - w 80°) Datum: WGS84</p>		