

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PRETRÓLEOS

ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL BARRIO ATACABA, NOROCCIDENTE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
GEÓLOGA
OPCIÓN: ESTUDIO TÉCNICO**

LORENA ROCÍO MERINO CHAMORRO

lorenamerinogeo@gmail.com

DIRECTORA: Ing. ELIANA FERNANDA JIMENEZ ÁLVARO, M.Sc.

eliana.jimenez@epn.edu.ec

Quito, Junio 2018

DECLARACIÓN

Yo, Lorena Rocío Merino Chamorro declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito 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.

Lorena Rocío Merino Chamorro

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Lorena Rocío Merino Chamorro, bajo mi supervisión.

Ing. Eliana Jiménez, M.Sc.

DIRECTORA DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la infinita conexión conmigo.

A mi mamita Rocío, aunque físicamente ya no estás, aún puedo sentir tu presencia en cada momento de mi vida. Mil gracias por traerme a este mundo.

A mi adorada y dulce hijita Ámbar Fiorella, por existir cada día de mi vida, por hacerme reír con sus locuras, por ser mi niña inteligente y por todo el amor que produces.

Infinito agradecimiento a mi papi Galo, por todo el apoyo y valentía que ha demostrado en toda circunstancia, es el mejor de los padres por partida doble y un verdadero hombre.

A mis hermanas: Katy, Sofy y Niky, por su gran cariño y apoyo.

A mi amiga querida Vivi, por esta amistad sincera que tenemos y por todos los momentos inolvidables que hemos vivido juntas.

A mis estimados Ingenieros, Bernardo Beate y Eliana Jiménez, por la ayuda y orientación durante la realización del presente trabajo.

A mis amigos de la Facultad con quienes he compartido grandes momentos de locuras y alegrías.

A los Ingenieros: Carolina Bernal y Diego Cárdenas por su gentil colaboración en la revisión del presente trabajo.

DEDICATORIA

A la única ciencia exacta y poderosa de todo lo existente, Dios.

A mi preciosa Ámbar Fiorella Naranjo Merino.

A la tierra, la vida y al amor.

Lorena.

There is no vestige of a beginning, no prospect of an end.

James Hutton

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XV
ÍNDICE DE ECUACIONES	XVI
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema	2
1.3. Justificación	3
1.3.1. Justificación Teórica	3
1.3.2. Justificación Metodológica	3
1.3.3. Justificación Práctica	4
1.4. Hipótesis	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo General	4
1.5.2. Objetivos Específicos	4
1.6. Alcance	5
2. CAPÍTULO II: REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1. Marco Conceptual	6
2.1.1. Amenaza	6
2.1.2. Amenazas Naturales	6
2.1.3. Amenazas Geológicas	6
2.1.4. Amenazas Antrópicas	6
2.1.5. Amenazas en el Área de Estudio	7
2.1.6. Fenómenos de Remoción en Masa (FRM)	7
2.1.7. Zonificación de la Amenaza	9

2.1.8. Mapas de Zonificación de la Amenaza por FRM	9
2.2. Metodologías para la Zonificación de la Amenaza por FRM.....	9
2.2.1. Metodologías Cualitativas.....	10
2.2.2. Metodologías Cuantitativas	11
2.3. Zonificación de la Amenaza por FRM detonados por sismos	11
2.3.1. Aproximación Estadística	11
2.3.2. Análisis Pseudo-estático.....	11
2.3.3. Métodos de Desplazamientos Permanentes.....	12
2.3.4. Método de Newmark	12
2.4. Descripción del Área de Estudio	15
2.4.1. Ubicación.....	15
2.4.2. Acceso	15
2.4.3. Clima y Vegetación.....	16
2.4.4. Temperatura.....	16
2.4.5. Precipitación.....	17
2.4.6. Hidrografía.....	18
2.4.7. Población.....	18
2.4.8. Educación.....	18
2.4.9. Datos Socioeconómicos	19
2.4.10. Cobertura de Servicios Básicos	19
2.5. Estudios Previos	19
2.6. Geología Regional	20
2.6.1. Valle Interandino.....	21
2.6.2. Estratigrafía del Valle Interandino.....	22
2.6.3. Estratigrafía de la Cuenca Quito – San Antonio – Guayllabamba	22
2.7. Geología Local.....	24
2.7.1. Geomorfología.....	24
2.7.2. Hidrogeología.....	25
3. CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS	27
3.1. Geología	28
3.1.1. Mapa Geológico	28
3.1.2. Levantamiento Lito-estratigráfico.....	28
3.2. Geotecnia.....	31
3.2.1. Mapa de Cohesión	33
3.2.2. Mapa de Fricción.....	33
3.2.3. Mapas de Peso Específico	34

3.3. Modelo Digital de Terreno (DEM).....	36
3.3.1. Mapa de Pendientes.....	36
3.4. Cálculo del Factor de Seguridad	37
3.5. Cálculo de la Aceleración Crítica.....	39
3.6. Cálculo de Intensidad de Arias.....	40
3.7. Cálculo de los Desplazamientos de Newmark.....	44
3.8. Inventario de Movimientos en Masa	46
3.9. Calibración de la Metodología	47
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	48
4.1. Geología	48
4.1.1. Descripción de las Unidades Mapeadas.....	48
4.1.2. Mapa Geológico	51
4.1.3. Columnas Estratigráficas.....	51
4.2. Mapas de Unidades Geológicas-Geotécnicas.....	56
4.2.1. Mapa de Cohesión	57
4.2.2. Mapa de Fricción.....	57
4.2.3. Mapa de Peso Específico en condición seca.....	58
4.2.4. Mapa de Peso Específico en condición saturada.....	59
4.3. Mapa de Pendientes	59
4.4. Mapas de Factor de Seguridad	60
4.4.1. Mapa de Factor de Seguridad en condición seca	60
4.4.2. Mapa de Factor de Seguridad en condición saturada.....	61
4.5. Mapas de Aceleración Crítica.....	62
4.5.1. Mapa de Aceleración Crítica en condición seca	62
4.5.2. Mapa de Aceleración Crítica en condición saturada	62
4.6. Valores de Intensidad de Arias.....	63
4.7. Mapas de Desplazamientos de Newmark	64
4.7.1. Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición seca Sismo Coalinga (1983).....	64
4.7.2. Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada Sismo Coalinga (1983).....	65
4.7.3. Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición seca Sismo Loma Prieta (1989).....	65
4.7.4. Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada Sismo Loma Prieta (1989)	66
4.8. Mapa de Inventario de Movimientos en Masa	67

5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	68
5.1. Análisis del Factor de Seguridad (FS)	68
5.2. Análisis de la Aceleración Crítica	72
5.3. Análisis de la Intensidad de Arias.....	74
5.4. Análisis de los Desplazamientos de Newmark	75
5.5. Calibración de la Metodología	77
6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
6.1. Conclusiones	82
6.2. Recomendaciones	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema para de la zonificación de la amenaza. Modificado de Suárez, (2009).	9
Figura 2.2 Clasificación de los métodos para zonificación de la amenaza. Modificado de Aleotti & Chowdhury, (1999).	10
Figura 2.3 Esquema de un bloque deslizando para el análisis de desplazamientos sujetos a cargas sísmicas. Fuente: Jibson et al., (1998).	12
Figura 2.4 Mapa de ubicación del área de estudio. En el margen superior izquierdo se muestra la localización del área en el DMQ y Ecuador.	15
Figura 2.5 Avenidas y calles de acceso al de estudio. Fuente: Google Earth.....	16
Figura 2.6 Variación de la temperatura en el DMQ. Fuente: Valdivieso, (2005).	17
Figura 2.7 Precipitación anual acumulada vs precipitación acumulada. Fuente: INAMHI, (2015).	18
Figura 2.8 Esquema tectónico, representando los límites de las principales divisiones morfo-tectónicas en el Ecuador. Fuente: Vallejo et al., (2009).	20
Figura 2.9 Segmentos de las cuencas del valle interandino. Fuente: Villagómez, (2003).	21
Figura 2.10 Correlación estratigráfica entre los segmentos del Valle Interandino. Fuente: Winkler et al., (2005).	22
Figura 2.11 Geomorfología del área de estudio.	25
Figura 2.12 Acuífero de San Antonio de Pichincha. Modificado de Procel, (2008).	26
Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología. Modificado de Jibson et al., (1998).	27
Figura 3.2 Proceso de rasterización para la creación del Mapa de Cohesión.....	33
Figura 3.3 Proceso de rasterización para la obtención del Mapa de Fricción.	34
Figura 3.4 Cálculo del Mapa de Fricción en radianes.....	34
Figura 3.5 Proceso de rasterización para la obtención del Mapa de Peso específico en condición seca.	35
Figura 3.6 Proceso de rasterización para la obtención del Mapa de Peso Específico en condición saturada.....	35
Figura 3.7 Uso de herramienta de MDT para la obtención del Mapa de Pendientes.	36
Figura 3.8 Uso de la calculadora ráster para la transformación del Mapa de Pendientes a radianes.....	37
Figura 3.9 Cálculo del Mapa de FS en condición seca.....	38
Figura 3.10 Cálculo del Mapa de FS en condición saturada.....	39
Figura 3.11 Cálculo del Mapa de Aceleración en condición seca.	40

Figura 3.12 Cálculo del Mapa de Aceleración en condición saturada.....	40
Figura 3.13 División de las fuentes sismotectónicas a escala regional y local, en la fuente sismogénica marcada se encuentra el DMQ. Modificado de Alvarado, (2012).....	41
Figura 3.14 Cálculo de Intensidad de Arias para los Sismos de Coalinga (1983) y Loma Prieta (1989).....	43
Figura 3.15 Espectro de aceleración (g) e intensidad de Arias (%), Sismo Coalinga (1983).	44
Figura 3.16 Espectro de aceleración (g) e intensidad de Arias (%), Sismo Loma Prieta (1989).....	44
Figura 3.17 Cálculo de los Desplazamientos de Newmark Sismo Coalinga (1983).	45
Figura 3.18 Cálculo de los Desplazamientos de Newmark Sismo Loma Prieta (1989)....	46
Figura 3.20 Ficha Técnica utilizada en el IMM. Fuente: Carlosama & Carrera, (2017). ...	47
Figura 4.1 Mapa Geológico del Barrio Atacaba. Modificado de Ormaza, (2017).	51
Figura 4.2 Esquema de la Columna Estratigráfica 1.....	53
Figura 4.3 Esquema de la Columna Estratigráfica 2.....	54
Figura 4.4 Esquema de la Columna Estratigráfica 3.....	55
Figura 4.5 Estratigrafía Generalizada de la Zona de Estudio.	56
Figura 4.6 Mapa de Cohesión	57
Figura 4.7 Mapa de Fricción.....	58
Figura 4.8 Mapa de Peso Específico en condición seca	58
Figura 4.9 Mapa de Peso Específico en condición saturada.	59
Figura 4.10 Mapa de Pendientes en el área de estudio.	60
Figura 4.11 Mapa de Factor de Seguridad en condición seca.....	61
Figura 4.12 Mapa de Factor de Seguridad en condición saturada.....	61
Figura 4.13 Mapa de Aceleración Crítica en condición seca.	62
Figura 4.14 Mapa de Aceleración Crítica en Condición Saturada.....	63
Figura 4.15 Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición seca Sismo Coalinga (1983).....	64
Figura 4.16 Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada Sismo Coalinga (1983).....	65
Figura 4.17 Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada Sismo Loma Prieta (1989).....	66
Figura 4.18 Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada Sismo Loma Prieta (1989).....	66
Figura 4.19 Mapa de Inventario de Movimientos en Masa. Modificado de Ormaza, (2017).	67

Figura 5.1 Esquema de los esfuerzos que intervienen en el FS.....	69
Figura 5.2 Mapa de Pendientes por lotes en el área del Barrio Atacaba.	70
Figura 5.3 Esquema comparativo de los mapas de FS en condición seca y saturada.....	71
Figura 5.4 Lotes de terreno que presentan los valores de FS más bajos.	72
Figura 5.5 Esquema comparativo de los Mapas de Aceleraciones Críticas en condición seca y saturada.	73
Figura 5.6 Registro de las aceleraciones sísmicas y el mecanismo de fallamiento para el Sismo Calderón 12 de agosto del 2016. Fuente: Cañizares, (2017),	74
Figura 5.7 Esquema comparativo de los D_N , Sismo Coalinga (1983).	75
Figura 5.8 Mapa de peligro por lotes en condición saturada Sismo Coalinga (1983).....	76
Figura 5.9 Esquema Comparativo de los D_N , Sismo Loma Prieta (1989).	76
Figura 5.10 Zonificación de la Amenaza por lote del Barrio Atacaba. Mapa de peligro en condición saturada Sismo Loma Prieta (1989).....	77
Figura 5.11 Esquema comparativo del Mapa de Susceptibilidad a FRM por Ormaza, (2017), con el Mapa de Aceleración Crítica en Condición Seca o Mapa de Susceptibilidad a FRM Inducidos por Sismos obtenido en el presente trabajo.	78
Figura 5.12 Esquema comparativo de la Susceptibilidad por lotes.....	79
Figura 5.13 Comparación de los Desplazamientos de Newmark del Sismo Coalinga (1983), con la distribución de los movimientos en masa.	80
Figura 5.14 Comparación de los Desplazamientos de Newmark del Sismo Loma Prieta (1989) con la distribución de los movimientos en masa.	81

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1 Agrietamiento en superficie y deslizamientos a lo largo del camino del alcantarillado.	2
Fotografía 3.1 Identificación de capas guías LW: 001, 002, 003, 004, para levantamiento de la columna estratigráfica 1. Afloramiento ubicado en el margen izquierdo del Río Pusuquí frente al Barrio Atacaba, ingreso por la Av. Manuel Córdova Galarza Coordinada UTM X: 782276 Y: 999205 Z: 2557 (Error: 3m).....	29
Fotografía 3.2 Identificación de capas guías LW: 005 y 006 para el levantamiento de la columna estratigráfica 1. Afloramiento ubicado en el margen izquierdo del Río Pusuquí frente al Barrio Atacaba, ingreso por la Av. Manuel Córdova Galarza Coordinada UTM X: 782090 Y: 9992189 Z: 2544 (Error: 2m).....	29
Fotografía 3.3 Identificación de la capa LW001 en el camino del alcantarillado. Coordenadas UTM X: 782488 Y: 9991961 Z: 2553 (Error: 3m)	30
Fotografía 3.4 Identificación de la capa LW002 en el camino del alcantarillado. UTM X: 783240 Y: 9991968 Z: 2516 (Error: 3m).....	30
Fotografía 3.5 Identificación de la capa LW003 en el camino del alcantarillado. UTM X: 782507 Y: 9991950 Z: 2542 (Error: 3m).....	31
Fotografía 4.1 Zona de relleno a lo largo del camino del alcantarillado.....	48
Fotografía 4.2 Flujo piroclástico dacítico, margen derecho del Río Monjas.....	49
Fotografía 4.3. Depósito Coluvial identificado por Ormaza, (2017).	49
Fotografía 4.4 Depósitos Aluviales.	50
Fotografía 4.5 Afloramiento de Cangahua.	50
Fotografía 4.6 Análisis de diámetros máximos de pómez.	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características de las amenazas en el área de estudio.	7
Tabla 2.2 Clasificación de los FRM. Modificado de Corominas, (2004).	8
Tabla 2.3 Resumen de la estratigrafía Cuenca Quito-San Antonio-Guayllabamba. Fuente: Villagómez, (2003) y Winkler et al., (2005).	23
Tabla 3.1 Parámetros geotécnicos referenciales	32
Tabla 3.2 Cohesión y densidad en unidades de fuerza.	32
Tabla 3.3 Grados cualitativos de estabilidad para la cohesión, fricción y peso específico. Fuente: Miles & Keefer, (2001).	32
Tabla 3.4 Clasificación de las pendientes según su intervalo.	36
Tabla 3.5 Clasificación del FS de acuerdo a su grado de inestabilidad. Fuente: Hernández et al., (2017 in press).	39
Tabla 3.6 Registros sísmicos seleccionados para la Ciudad de Quito. Fuente: Cañizares, (2017).	41
Tabla 3.7 Registro sísmico internacional. Fuente: Cañizares, (2017)	42
Tabla 3.8 Datos sísmicos seleccionados para la filtración de datos. Fuente: Cañizares, (2017).	43
Tabla 3.9 Clasificación los DN de acuerdo a su grado de peligro.	46
Tabla 4.1 Análisis Petrográfico de las muestras.	52
Tabla 4.2 Clasificación de las pendientes según su rango cualitativo.	59
Tabla 4.3 Grados cualitativos de inestabilidad para el FS.	60
Tabla 4.4 Valor de Intensidad de Arias. Sismo Coalinga, (1983).	63
Tabla 4.5 Valor de Intensidad de Arias. Sismo Loma Prieta, (1989).	63
Tabla 4.6 Grados cualitativos de peligro para los Desplazamientos de Newmark.	64
Tabla 5.1 Comparación de los valores de cohesión entre unidades litológicas.	69
Tabla 5.2 Comparación de los valores ángulos de fricción entre unidades litológicas.	69
Tabla 5.3 Comparación del peso específico en condición seca y saturada de acuerdo a su porcentaje de saturación.	70
Tabla 5.4 Comparación de los valores máximos y mínimos del FS.	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Resumen de modelos de evolución tectónica del Valle Interandino propuesta por diferentes autores.	93
Anexo II. Mapa Geológico Preliminar del Barrio Atacaba.	94
Anexo III. Fichas de Descripción Litológica de las Columnas Estratigráficas 1, 2, 3 y Columna Estratigráfica Generalizada.....	95
Anexo IV. Resumen de los eventos sísmicos históricos en el Ecuador. Fuente Resumen tomado de los trabajos de Ordoñez, (2014) y Cañizares, (2017).	98
Anexo V. Filtrado de datos y ajuste para los sismos de Coalinga (1983) y Loma Prieta (1989).	100
Anexo VI. Mapa Geológico del Barrio Atacaba.....	101
Anexo VII. Mapas de Unidades Geológicas-Geotécnicas.	103
Anexo VIII. Mapa de Pendientes.	108
Anexo IX. Mapas de Factor de Seguridad.....	110
Anexo X. Mapas de Aceleración Crítica.	113
Anexo XI. Mapas de Desplazamientos de Newmark. Sismo Coalinga (1983).	116
Anexo XII. Mapas de Desplazamientos de Newmark Sismo Loma Prieta, (1989).	119
Anexo XIII. Inventario de Movimientos en Masa.....	122

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Cálculo del Factor de Seguridad FS.....	13
Ecuación 2.2 Cálculo de FS para un modelo de desplazamiento infinito.	13
Ecuación 2.3 Cálculo de Aceleración Crítica.....	14
Ecuación 2.4 Cálculo de Intensidad de Arias.	14
Ecuación 2.5 Ecuación general para el cálculo de los Desplazamientos de Newmark....	14
Ecuación 3.1 Cálculo del FS en condición seca.....	37
Ecuación 3.2 Cálculo del FS en condición saturada	38
Ecuación 3.3 Ecuación de los Desplazamientos de Newmark.	44

RESUMEN

El presente estudio fue desarrollado en el Barrio Atacaba, ubicado al nor-occidente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y está enfocado en la Zonificación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM), mediante la aplicación de la Metodología de Newmark, (1965).

La Metodología de Newmark se basa en el movimiento de un bloque que se desliza sobre un plano inclinado y permite el cálculo de los desplazamientos de presas de terreno durante escenarios en los que intervienen factores desencadenantes como lluvias y sismos. El Factor de Seguridad (FS) es considerado el parámetro principal de la metodología, este factor se define en función las propiedades intrínsecas de las laderas como la geología, geotecnia y topografía.

La geología se determinó en función de las características litológicas de la unidades que conforman el área de estudio y los parámetros geotécnicos fueron asignados a las unidades litológicas para determinar su comportamiento mecánico. El Modelo Digital de Terreno (con siglas en inglés DEM) permitió determinar la topografía de la zona, indicando las zonas de mayor y menor pendiente. En función de estos factores se realizó el cálculo del FS mediante la relación de los esfuerzos de resistencia al corte y los esfuerzos al cortante.

Los Desplazamientos de Newmark se obtuvieron en función de la formulación logarítmica calibrada por Hsieh & Lee, (2011), en esta ecuación se integran el parámetro pseudo-estático Aceleración Crítica y el parámetro sísmico de la Intensidad de Arias, (1970). El parámetro sísmico fue obtenido mediante la simulación de los Sismos Coalinga (1983) y Loma Prieta (1989), estos sismos internacionales fueron escogidos debido a que se ajustan a los modelos de predicción sísmica estudiados por Cañizares, (2017), de acuerdo a la comparación de sus ondas espectrales.

Finalmente los Mapas de Desplazamientos de Newmark, obtenidos, representan la Zonificación de la Amenaza por FRM, indicando el nivel de peligro para que un talud falle, considerando un escenario de lluvias y un sismo de determinadas características.

La calibración de la metodología se realizó en función del Mapa de Susceptibilidad e Inventario de Movimientos en Masa (IMM) desarrollados por Ormazá, (2017), estos mapas fueron comparados con el Mapa de Aceleración Crítica en Condición Seca y con los Mapas

de Desplazamientos de Newmark respectivamente. La semejanza entre los mapas de zonificación del peligro y ocurrencia de movimientos en masa en áreas de peligro, corroboraron la validez de los datos obtenidos en el presente trabajo.

ABSTRACT

The present study was developed in the Atacaba neighborhood, located at north-west of the Metropolitan District of Quito and is focused on Landslides Hazard Zonation, applying the Newmark Methodology, (1965).

The Newmark Methodology is based on movement of a block that slides on an inclined plane, it allows the calculation of the displacements of lands during rains and earthquakes. The Factor of Safety (FS) it is considers as the main parameter of the methodology, this factor is defined by the intrinsic properties of the slopes such as geology, geotechnics and topography.

The geology was determined by the lithological characteristics of the units and the geotechnical parameters were assigned to the lithological units to determine their mechanical behavior. The Digital Elevation Model (DEM), determined the topography, showing the areas highest and lowest slope. The calculation of the FS was made by the relation of the shear strength and the shear stress.

The Newmark Displacements were obtained based on the logarithmic formulation calibrated by Hsieh & Lee, (2011), in this equation the pseudo-static parameter critical acceleration and the seismic parameter of the Arias Intensity (1970) are integrated. The seismic parameter was obtained by simulating the Coalinga (1983) and Loma Prieta (1989) earthquakes. These international earthquakes were chosen because they fit the prediction models studied by Cañizares, (2017), according to the comparison of their spectral waves.

Finally, the Newmark Displacement Maps represent the Landslides Hazard Zonation, showing the levels of hazard induced for rains and earthquakes of determined characteristics. The methodology was calibrated with the Map of Susceptibility and the Landslide Distribution developed by Ormaza, (2017), were compared with the Critical Acceleration Map and the Newmark Displacement Maps respectively. The similarity between the maps landslide hazard zonation and the occurrence of landslides, corroborated the validity of the data obtained in the present work.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La expansión demográfica y la migración poblacional en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), desde el periodo de la revolución liberal (1985-1910) hasta la actualidad, han traído consigo un desarrollo urbano deficiente y varios cambios negativos en la organización territorial. La forma de organización urbana de los barrios en el DMQ, ha provocado asentamientos en las periferias de la ciudad (Carrión & Erazo, 2013) principalmente en zonas montañosas, quebradas, laderas inestables, abanicos aluviales y zonas de relleno.

Las amenazas geológicas que afectan al DMQ son de origen sísmico, volcánico y movimientos en masa, ocasionando importantes cambios geomorfológicos, pérdidas de vidas humanas, inestabilidad social y grandes pérdidas económicas (Atlas de Amenazas Naturales y Exposición de Infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito, 2015), estas amenazas afectan generalmente a poblaciones ubicadas en zonas de peligro.

El Barrio Atacaba, área de estudio, está ubicado sobre una ladera de gran pendiente, cuyas condiciones geológicas, litológicas y geográficas, han conformado una ladera inestable. El barrio está constituido por asentamientos humanos provenientes de diferentes provincias del país. Según los moradores, el Barrio "ATACABA" fue creado en el año de 1995 por la Asociación de Trabajadores Autónomos de Carcelén Bajo. Históricamente este barrio pertenecía al Barrio Carcelén Bajo denominado Asentamiento # 4 que estaba dividido en dos secciones, "sección A" (actual Barrio Carcelén Bajo) y "sección B" (actual Barrio Atacaba) (Aguilar, 2011), esta división ha generado varios problemas de tipo territorial, social y económico. En el año 2011, los moradores gestionaron la construcción del sistema de alcantarillado mediante la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EMAPS), con la finalidad de cubrir las necesidades de servicios básicos y de infraestructura.

Ormaza (2017), señala que el Barrio Atacaba es una zona susceptible a Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) o Movimientos en Masa (MM).

1.2. Problema

El Barrio Atacaba, está ubicado al nor-occidente del DMQ, limitado por el Río Pusuquí, Quebrada Almeida y Barrio Carcelén Bajo. Factores como las propiedades geológicas de la ladera, deficiente control en el sistema de drenaje, presencia de lluvias agresivas, falta de cobertura en la recolección de basura y la construcción del sistema de alcantarillado sin un adecuado tratamiento en la estabilidad de taludes, han provocado inestabilidad en la ladera evidenciada por la presencia de FRM y grandes grietas en superficie debido a la erosión acelerada del suelo.

La erosión en superficie puede ser observada en el borde del margen izquierdo de la Quebrada Almeida hasta el terreno en donde se encuentran las torres de alta tensión que abastecen de energía eléctrica al barrio y a sectores aledaños, por otro lado los FRM pueden ser observados a lo largo de la ladera (Fotografía 1.1) y han ocasionado varios daños en la infraestructura.

En función de lo mencionado anteriormente, en los años 2004 y 2010 el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) mediante la Ordenanza No-3515. Ha manifestado que el Barrio Atacaba se encuentra ubicado en una zona de riesgo.

En el área de estudio se han identificado un total de 83 FRM, registrados en un mapa de Inventario de Movimientos en Masa (IMM) (Ormaza, 2017).



Fotografía 1.1 Agrietamiento en superficie y deslizamientos a lo largo del camino del alcantarillado.

Para comprender la problemática, el presente estudio propone la zonificación de la amenaza por FRM en el Barrio Atacaba, a través una metodología moderna que integra escenarios de peligro por sismos y lluvias. Los resultados permiten recomendar ciertas medidas de mitigación que contribuirán a la mejora de los procesos de ordenamiento territorial.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Teórica

En Ecuador hay evidencias de grandes impactos generados por FRM. Sin embargo, a nivel de país todavía no se tiene un conocimiento detallado sobre la ocurrencia, distribución y sus causas (Eras, 2014).

En el DMQ se conoce que varios FRM han sido provocados por factores desencadenantes como sismos y lluvias (Atlas de Amenazas Naturales y Exposición de Infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

El presente trabajo zonifica la amenaza por FRM considerando los factores desencadenantes mencionados anteriormente. Los niveles de zonificación, servirán como herramienta principal para la disminución de la amenaza, reducción de pérdida de vidas humanas, planificación de la infraestructura y ordenamiento territorial.

1.3.2. Justificación Metodológica

La metodología aplicada en el presente trabajo para la zonificación de los niveles de amenaza, consta de un método moderno basado en el criterio de Newmak e Intensidad de Arias. Recientemente análisis de Newmark ha sido calibrado y comparado, demostrando su validez en la predicción de desplazamientos de un terreno durante un movimiento sísmico (Figueras et al., 2005).

Con la Metodología de Newmark e Intensidad de Arias es posible zonificar el nivel de amenaza provocada por sismos, dando como resultado mapas de amenaza, que muestran el nivel de exposición a FRM durante un movimiento sísmico. Los datos geológicos, geotécnicos, topográficos y sísmicos, complementados con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son las herramientas principales para la aplicación de la metodología. La estimación de los niveles de amenaza son analizados en dos escenarios: seco y con presencia de lluvias, ambos escenarios bajo ciertas condiciones de movimiento sísmico.

1.3.3. Justificación Práctica

El presente estudio se realizó en beneficio de los pobladores del Barrio Atacaba, los resultados obtenidos aportarán a un mejor ordenamiento territorial y como herramienta para que las autoridades del MDMQ tomen decisiones enfocadas al bienestar de la comunidad involucrada.

Además, el presente trabajo es un punto de control a escala pequeña para el Proyecto de Investigación: Escenarios de Deslizamientos Inducidos por Sismos en la Ciudad de Quito-Ecuador. Elaborado por el Ingeniero Camilo Zapata Estudiante de Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT, Medellín-Colombia.

1.4. Hipótesis

La zonificación de la amenaza por FRM en el Barrio Atacaba, a través del Método de Newmark, permite determinar los niveles de amenaza por FRM y delinear medidas de mitigación en cada nivel.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Realizar la Zonificación de la amenaza por FRM en el Barrio Atacaba utilizando la Metodología de Desplazamientos de Newmark y parámetro de Intensidad de Arias.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Actualizar las características del terreno en el Barrio Atacaba a través de datos de mapeo geológico y levantamiento lito-estratigráfico del Cuaternario obtenidos en campo para el proyecto geológico 2016 B en conjunto con Williams Ormaza, y determinar las unidades susceptibles a FRM.
- Determinar las características geomecánicas de las unidades geológicas utilizando datos existentes como perforaciones o datos geotécnicos representativos.
- Calcular la aceleración crítica mediante la integración de los datos geológicos y geotécnicos existentes.
- Aplicar la Metodología de Newmark e Intensidad de Arias para escenarios: seco y con lluvia bajo ciertas condiciones sísmicas.
- Realizar los mapas de zonificación de los niveles de exposición a FRM en el barrio Atacaba mediante la herramienta QGIS.

- Calibrar la Metodología de Newmark utilizando el software Slide 2D para el análisis de estabilidad de talud.
- Caracterizar las variables socioeconómicas y factores socioculturales que impliquen en comportamiento de la población en caso de exposición a FRM en el Barrio Atacaba.
- Determinar medidas de mitigación para reducir el peligro en el Barrio Atacaba.

1.6. Alcance

El presente estudio propone un mapa 1:5000 con la zonificación de la amenaza por FRM provocados por sismos y lluvias, mediante el uso de datos geotécnicos, susceptibilidad, mapa geológico y levantamiento lito-estratigráfico e integración de los datos mediante el software QGIS. Además, este trabajo plantea ciertas medidas de mitigación adecuadas para la prevención de un desastre ante la presencia de FRM.

CAPÍTULO II: REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Marco Conceptual

2.1.1. Amenaza

La amenaza representa un peligro asociado a fenómenos físicos de origen natural o antrópico, que podría desencadenar en un evento potencialmente desastroso causando muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental, estos eventos tienen una probabilidad de ocurrencia en un sitio específico y en un tiempo determinado (Cardona, 1993). Las amenazas pueden ser únicas, secuenciales, o combinadas en su origen y efectos, cada una de ellas se caracteriza por su localización, magnitud, frecuencia y probabilidad. (GEA, 2008).

2.1.2. Amenazas Naturales

Se definen como fenómenos naturales que tienen lugar en la Biosfera, que pueden desencadenar en un evento perjudicial y causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental (GEA, 2008). Las amenazas naturales se pueden clasificar según su origen en: *geológicas* (sismos, tsunamis, actividad volcánica), *hidrometeorológicas* (inundaciones, tormentas tropicales, sequías) o *biológicas* (epidemias). Estos fenómenos amenazantes pueden variar en magnitud o intensidad, frecuencia, duración, área de extensión, velocidad de desarrollo, dispersión espacial y espaciamiento temporal (GEA, 2008).

2.1.3. Amenazas Geológicas

Son procesos o fenómenos naturales terrestres. La amenaza geológica incluye procesos terrestres internos (endógenos) o de origen tectónico, tales como sismos, tsunamis, actividad de fallas geológicas, actividad y emisiones volcánicas; así como procesos externos (exógenos) tales como movimientos en masa. Las amenazas geológicas pueden ser de naturaleza simple, secuencial o combinada en su origen y efectos. (GEA, 2008).

2.1.4. Amenazas Antrópicas

Son las principales causantes de inducir las amenazas naturales, pueden ser originadas por accidentes tecnológicos o industriales, procedimientos peligrosos, fallos de infraestructura o de ciertas actividades humanas. Ejemplos de amenazas tecnológicas:

contaminación industrial, actividades nucleares y radioactividad, desechos tóxicos, rotura de presas; accidentes de transporte, degradación ambiental (GEA, 2008).

2.1.5. Amenazas en el Área de Estudio

Las principales amenazas identificadas en el área de estudio son de origen natural. A continuación un resumen en la tabla 2.1.

AMENAZA	CARACTERÍSTICAS DE LA AMENAZA
Amenaza Sísmica	<p>En la ciudad de Quito se han registrado sismos con magnitudes que varían entre Mw 5.3 y Mw 7.1 (Beauval et al., 2010). Estas condiciones sísmicas son suficientes para el sacudimiento del terreno y provocar FRM. Keefer (1984). La mayoría de los eventos sísmicos se encuentran asociados a los segmentos del Sistema de Fallas de Quito (QSF) (Alvarado, 2012).</p> <p>El área de estudio se encuentra cercana al segmento de fallas Catequilla y San Juan de Calderón, los mismos que forman parte del QSF, en estos segmentos se han registrado eventos sísmicos de gran magnitud (Nocquet et al., 2009). De acuerdo al Mapa de Aceleraciones Sísmicas del Ecuador Norma Ecuatoriana de la Construcción, (2011), las aceleraciones esperadas para la ciudad de Quito están en un intervalo de (0.35 g – 0.40 g), esto indica un grado de amenaza sísmica muy alta.</p>
Amenaza Volcánica	<p>Los fenómenos relacionados a la actividad volcánica son: coladas de lava caídas de proyectiles basálticas, acumulación de cenizas y lapilli, coladas, flujos piroclásticos, explosiones laterales de domos, explosiones freáticas, lahares y avalanchas de escombros (Valdivieso, 2005).</p> <p>Debido a la geología y cercanía con los volcanes Casitagua y Pululahua, el área de estudio se encuentra afectada por los siguientes fenómenos: caídas de ceniza, caídas de lapilli, flujos piroclásticos y avalanchas de escombros, el grado de amenaza volcánica, según el Mapa de Amenaza Volcánica para el DMQ presenta que la ciudad de Quito presenta un alto grado de amenaza volcánica</p>
Amenaza por FRM	<p>De acuerdo al Atlas de Amenazas Naturales y Exposición de Infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito (2015), el DMQ presenta condiciones geológicas propicias para la ocurrencia de FRM, los fenómenos más comunes que se desarrollan en los territorios del DMQ, son deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales y desprendimientos. La intensidad, frecuencia y ocurrencia de estos eventos están influenciados por factores desencadenantes e intervención antrópica que inducen los movimientos en masa, según esta información el DMQ presenta un grado de amenaza media a FRM.</p> <p>En el área de estudio se identificó un total de 83 FRM (Ormaza, 2017). Los FRM se han producido por varios factores de origen natural como lluvias intensas y procesos de erosión y factores de acción antrópica son los principales causantes de estos fenómenos.</p>

Tabla 2.1 Características de las Amenazas en el área de estudio.

2.1.6. Fenómenos de Remoción en Masa (FRM)

Son fenómenos geodinámicos que transforman el relieve de la Tierra, originados por procesos exógenos naturales o inducidos que causan numerosas pérdidas humanas y cuantiosos daños materiales y ambientales (Ellis et al., 2012). A continuación se presenta un resumen de clasificación de los FRM (Tabla 2.2).

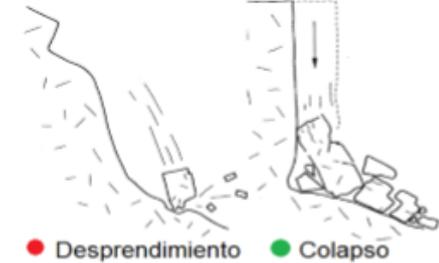
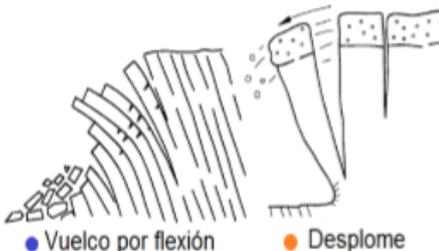
TIPOS DE FRM	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
<p>Desprendimientos o caídas (falls) Es originado por el despegue de masa de suelo o roca de una superficie empinada. En laderas con pendientes mayores a 75° el desprendimiento se produce por caída libre, mientras que en laderas con pendientes menores a 45° el desprendimiento se produce por rodadura.</p>	 <p>● Desprendimiento ● Colapso</p>
<p>Vuelcos (topples) Son originados por la rotación de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado fuera de su centro de gravedad. La gravedad y los fluidos son los principales desestabilizadores, existen dos procesos para el mecanismo de rotura vuelco por flexión (<i>flexural toppling</i>) y desplome.</p>	 <p>● Vuelco por flexión ● Desplome</p>
<p>Deslizamiento (slides) Se definen como desplazamientos ladera debajo de una masa de suelo o roca. Se clasifican por el tipo de movimiento en deslizamientos rotacionales (<i>rotational slides, slumps</i>) y deslizamientos traslacionales (<i>translational slides</i>). Existen tres mecanismos de rotura para los deslizamientos traslacionales: resbalamiento, deslizamiento de derrubio y corrimiento.</p>	 <p>● Deslizamiento rotacional ● Resbalamiento ● Corrimiento ● Deslizamiento de derrubios</p>
<p>Expansiones laterales (lateral spreads) Fracturación y extensión de material compacto debido a licuefacción de material adyacente. El desplazamiento lateral provoca fracturación de capas de recubrimiento separándose en grandes bloques en los cuales puede ingresar material arcilloso.</p>	 <p>● Por fluencia y extrusión de material subyacente ● Por licuefacción</p>
<p>Flujos (Flows) Se definen como movimientos continuos de masas de suelo similar a un fluido viscosos, debido a esta característica la masa movida no conserva su forma, esto depende si el tipo de material es cohesivo o granular y en función del contenido de agua movilidad y evolución del movimiento .</p>	 <p>● Reptación ● Soliflucción ● Colada de tierra ● Corriente de derrubios ● Golpe de arena ● Avalancha de derrubios</p>

Tabla 2.2 Clasificación de los FRM. Modificado de Corominas, (2004).

2.1.7. Zonificación de la Amenaza

Varnes (1984), define la zonificación de la amenaza como la división de una superficie de terreno en áreas que determinan el grado o potencial de la amenaza por movimientos en masa o FRM.

2.1.8. Mapas de Zonificación de la Amenaza por FRM

De acuerdo al Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, (2007), los mapas de zonificación deben mostrar el tipo de proceso, el potencial de daño en términos de magnitud o intensidad y la posibilidad de ocurrencia en términos cualitativos (alta – media – baja) o cuantitativamente mediante el cálculo de la frecuencia o probabilidad.

La importancia del uso de mapas de zonificación de la amenaza y de peligro en procesos como ordenamiento territorial y gestión del riesgo (Cascini et al., 2005), exige métodos estandarizados en lo que se refiere a la clasificación de la amenaza de manera que los resultados de la amenaza puedan ser comparables. En la figura 2.1 se muestra un esquema general para la zonificación de la amenaza.

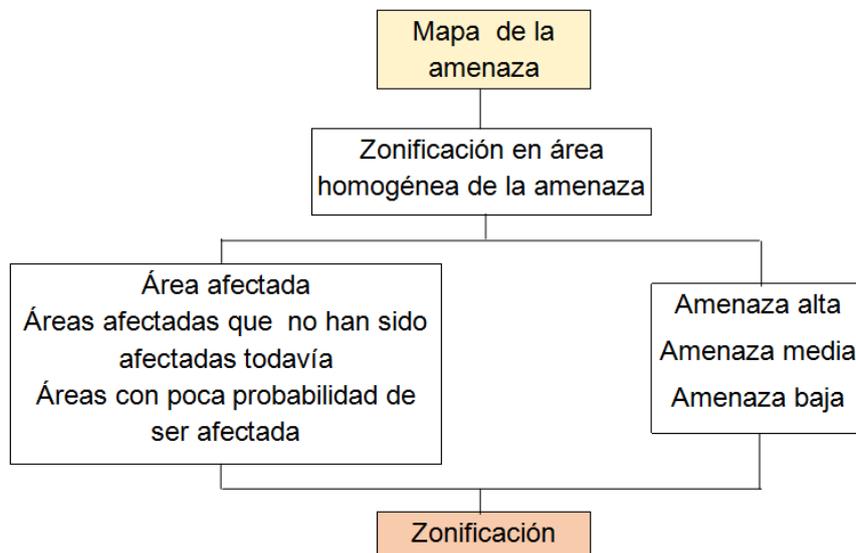


Figura 2.1 Esquema para de la zonificación de la amenaza. Modificado de Suárez, (2009).

2.2. Metodologías para la Zonificación de la Amenaza por FRM

Debido a la importancia de estos fenómenos a nivel mundial, existen diversos enfoques metodológicos para la zonificación de la amenaza. Varios autores han desarrollado

herramientas que pueden ser utilizadas para análisis de estos fenómenos. A nivel global las metodologías varían de acuerdo a las condiciones geológicas locales, escala y accesibilidad de las áreas a ser evaluadas.

Aleotti & Chowdhury (1999), proponen una clasificación de los métodos para la zonificación de la amenaza en métodos en cualitativos y cuantitativos (Figura 2.2).

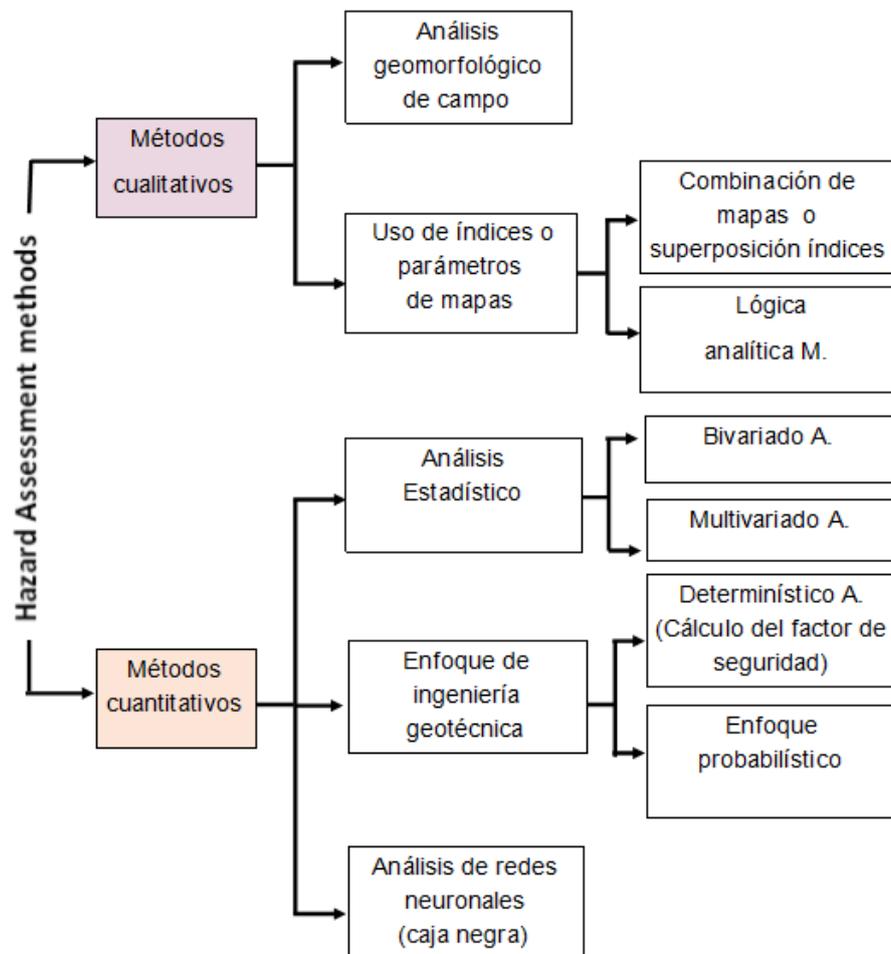


Figura 2.2 Clasificación de los métodos para zonificación de la amenaza. Modificado de Aleotti & Chowdhury, (1999).

2.2.1. Metodologías Cualitativas

En general estos enfoques están basados en el criterio de la persona que se encarga de evaluar la susceptibilidad o la amenaza. Estos métodos llamados también Heurísticos se basan en categorizar y ponderar factores de inestabilidad de las laderas, la entrada de datos usualmente es obtenida mediante observaciones de campo y puede ser soportada con herramientas de fotointerpretación. Se divide en dos

tipos: análisis geomorfológico de campo y la combinación de mapas o superposición de índices con o sin peso (Aleotti & Chowdhury, 1999).

2.2.2. Metodologías Cuantitativas

Estas metodologías están enfocadas al estudio de factores condicionantes o desencadenantes de la inestabilidad de las laderas, comparando la distribución espacial de los deslizamientos con los parámetros considerados factores de inestabilidad. Pueden ser aplicadas en áreas bajo condiciones de susceptibilidad o en regiones en las que se podrían generar deslizamientos futuros. Estos análisis utilizan un IMM, su ventaja ante los métodos analíticos es que reduce la subjetividad en la asignación de pesos, ya que la aproximación estadística es comparada con la distribución de los FRM. Otra gran ventaja es que el procesamiento de datos es mucho más simple haciendo uso de los SIG (Aleotti & Chowdhury, 1999). Dentro de las metodologías cuantitativas tenemos: Método Estadístico Bivariado, Método Estadístico Multivariado, Método Determinístico, Método Probabilístico y Método de Redes Neuronales.

2.3. Zonificación de la Amenaza por FRM detonados por sismos

Los principales detonantes de los FRM generados en las laderas son los sismos y lluvias, las laderas representan un sistema dinámico complejo en el cual las variables se encuentran en equilibrio y una vibración sísmica podría generar movimientos en masa (Salazar, 2012). El comportamiento de una ladera afectada por sismos se puede aproximar a partir de cuatro metodologías cuantitativas:

2.3.1. Aproximación Estadística

En este enfoque la amenaza es evaluada a partir de la correlación de los FRM ocurridos en el pasado con varios factores que causan inestabilidad en la ladera (Smiles & Keefer, 1999).

2.3.2. Análisis Pseudo-estático

Se realiza mediante el análisis del factor de seguridad, cálculo de la aceleración crítica y la aceleración máxima del terreno o área en la que se espera la ocurrencia de un desplazamiento (Smiles & Keefer, 1999). Este método utiliza el procedimiento general de los métodos de equilibrio límite, pero incluye fuerzas pseudo estáticas horizontales y verticales que se deben a un evento sísmico (Salazar, 2012).

2.3.3. Métodos de Desplazamientos Permanentes

Se aplican en función de la información del comportamiento de la ladera ante un evento sísmico, mediante el cálculo de índices de desplazamiento del terreno actual o relativo que se encuentran clasificados de acuerdo a la magnitud sísmica (Smiles & Keefer, 1999).

2.3.4. Método de Newmark

Es un método de análisis cuantitativo probabilístico, intermedio entre análisis pseudo-estático y desplazamientos permanentes. Determina los desplazamientos inerciales inducidos por un evento sísmico (Smiles & Keefer, 1999).

Newmark (1965), propuso un método para calcular el desplazamiento de presas de tierra y taludes durante un evento sísmico, bajo el concepto de un bloque que se desliza sobre una superficie inclinada (Figura 2.3).

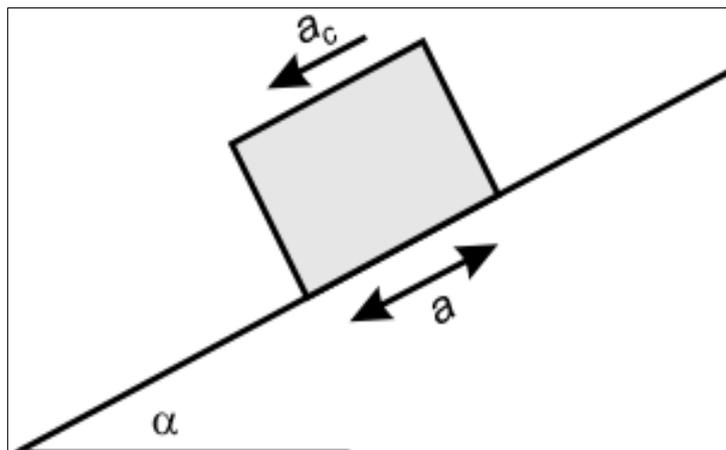


Figura 2.3 Esquema de un bloque deslizando para el análisis de desplazamientos sujetos a cargas sísmicas. Fuente: Jibson et al., (1998).

El cálculo de los Desplazamientos de Newmark se estima mediante la ecuación 2.5. Además, Jibson et al., (1998), integraron el cálculo de la aceleración crítica que se requiere para que se exceda el equilibrio estático mediante la expresión representada en la ecuación 2.3.

Jibson & Keefer (1994), correlacionan el esquema del bloque que se desliza durante un evento sísmico con la Intensidad de Arias (Arias, 1970), dicha intensidad cuantifica la energía del movimiento generado por los Desplazamientos de Newmark. Esta Intensidad incorpora la amplitud, frecuencia y duración en un único valor el cual es

proporcional a la energía disipada en el sitio de registro. Para la aplicación de esta metodología es necesario contar con información geológica, geotécnica y sísmica de la zona de interés.

A continuación una descripción de los parámetros geotécnicos y sísmicos necesarios para la aplicación de la Metodología de Newmark.

Cohesión (c'): Es una propiedad física de los suelos que mide el grado de cementación o adherencia entre partículas de suelo, dentro de la mecánica de suelos, representa la resistencia al esfuerzo cortante producida por la cementación entre partículas (Suárez, 2009).

Ángulo de Fricción Interna (ϕ'): Es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, dicho coeficiente depende de los siguientes factores: tipo de material constitutivo de las partículas, tamaño de granos o partículas, forma de las partículas, distribución de los tamaños de las partículas, microestructura, densidad, permeabilidad, presión normal o de confinamiento y presión de consolidación (Suárez, 2009)

Peso específico: Es una propiedad física de los suelos determinada por la relación entre el peso y volumen, este valor depende de la humedad, espacios intersticiales, presión de aire, presión de agua en los poros. El comportamiento mecánico de los suelos en función del peso específico varía de acuerdo a las condiciones de saturación del material (Yepes, 2014).

Factor de Seguridad (FS): Está definido como el factor de amenaza para que un talud falle en las peores condiciones de comportamiento (Suárez., 2009). Se calcula mediante la expresión:

$$FS = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}}$$

Ecuación 2.1 Cálculo del Factor de Seguridad FS.

Para el modelo de desplazamiento infinito Jibson (1993), propuso su cálculo mediante la siguiente ecuación:

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

Ecuación 2.2 Cálculo de FS para un modelo de desplazamiento infinito.

Aceleración Crítica (a_c): Está es representada por un valor numérico que indica la estabilidad de un talud y por tanto la susceptibilidad a que se produzcan deslizamientos durante un sismo (Figueras et al., 2005).

El método de Newmark utiliza un análisis pseudo-estático para el cálculo de la Aceleración crítica (A_c) (Hsieh & Lee, 2011) a partir de la siguiente expresión:

$$a_c = (FS - 1)g \text{ Sen } \theta$$

Ecuación 2.3 Cálculo de Aceleración Crítica.

Intensidad de Arias (I_a): Llamada también intensidad instrumental y representada en velocidades (Cañizares, 2017), cuantifica la energía de movimiento de la tierra proporcionando una mejor correlación con el efecto permanente de la deformación del suelo generada por sismos (Chousianitis et al., 2016). Su valor está representado en m/s y se calcula a partir de la siguiente integral:

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

Ecuación 2.4 Cálculo de Intensidad de Arias.

Donde (a) es la aceleración del suelo durante el sismo, (t) es una variable temporal y (t_0) es la duración total del registro de movimiento.

Desplazamiento de Newmark (D_N): estima el desplazamiento cosísmico permanente a lo largo de una superficie de deslizamiento (Chousianitis et al., 2016). Hsieh y Lee (2011), establecen la ecuación de Newmark calibrada mediante correlaciones y ajustes de fórmulas a nivel mundial, para todas las condiciones sitio se calcula a través de la ecuación 2.5, el valor es calculado en cm.

$$\log D_N = A \log I_a - B a_c + C \log I_a + D \pm \sigma$$

Ecuación 2.5 Ecuación general para el cálculo de los Desplazamientos de Newmark

2.4. Descripción del Área de Estudio

2.4.1. Ubicación

El Barrio Atacaba, está ubicado en el nor-occidente del DMQ, pertenece a la Parroquia Carcelén, Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Limitado al nor-orienté con la Quebrada Almeida y al Norte por el Río Pusuquí, el mismo que marca la división entre el nor-occidente de Quito y la subcuenca Pusuquí-San Antonio (Figura 2.4). Hacia el Sur está limitado por los barrios Carcelén Bajo, Mastodontes, 29 de Abril, Corazón de Jesús, La Josefina, Lirios de Carcelén (Figura 2.5).



Figura 2.4 Mapa de ubicación del área de estudio. En el margen superior izquierdo se muestra la localización del área en el DMQ y Ecuador.

El área de estudio, tiene una superficie total de 26,54 hectáreas. De acuerdo a Ormaza, (2017) existen dos áreas de influencia: Área de influencia directa donde se encuentra asentado Barrio Atacaba con una superficie de 16.84 hectáreas y el área de influencia indirecta que abarca otros poblados cercanos y el margen de protección del Río Pusuquí.

2.4.2. Acceso

La zona de estudio tiene dos avenidas principales de acceso: la Av. Jaime Roldós Aguilera y la Av. Isidro Ayora, estas avenidas se intersecan en la Calle E3, la misma que se enlaza a la Calle N90, ingreso directo al Barrio Atacaba (Figura 2.5).

Uno de los afloramientos "in situ" más importantes puede ser observado en una planicie cercana a la Quebrada Almeida, se ingresa por la Calle E y Calle H. En el margen izquierdo del Río Pusuquí se puede observar un corte paralelo al Barrio Atacaba, el

ingreso a este corte es por medio la Av. Manuel Córdova Galarza frente a la Escuela Superior de Policía "Gral. Alberto Enríquez Gallo" (Figura 2.5).

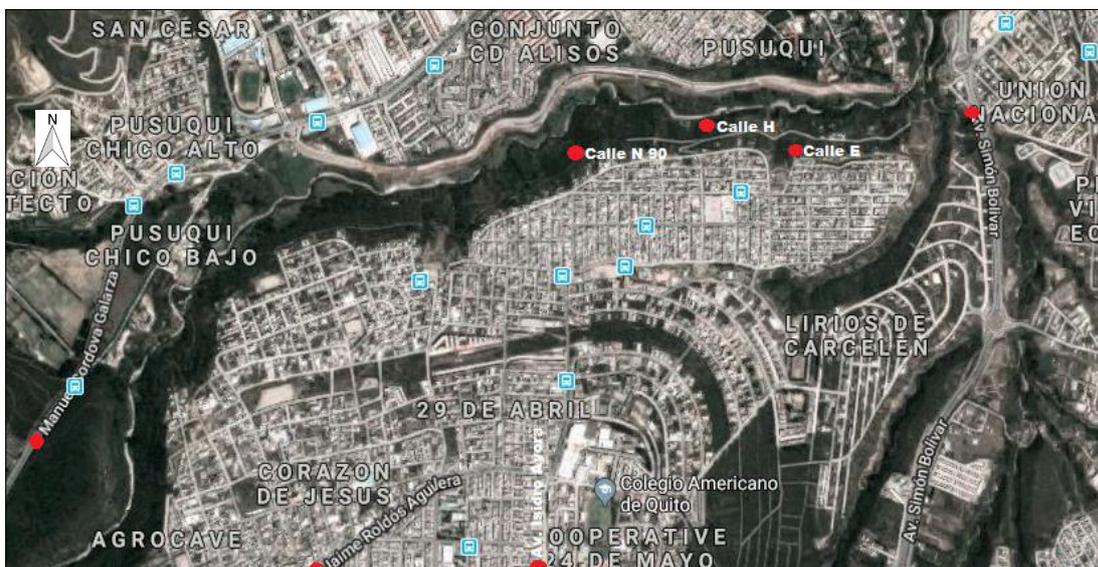


Figura 2.5 ● Avenidas y calles de acceso al de estudio. Fuente: Google Earth.

2.4.3. Clima y Vegetación

La Ciudad de Quito posee un clima particular debido a su posición geográfica, relieve, morfología y otros factores que han generado diferentes condiciones climáticas, en distancias cortas. De acuerdo a la información del mapa de climas para el para el DMQ, nuestra zona de estudio tiene un clima ecuatorial mesotérmico seco (< 750 mm de precipitación) (Valdivieso, 2005), con variaciones entre los meses de junio a septiembre en los que el clima es muy seco, mientras que en los meses de febrero a mayo y de octubre a diciembre el clima es templado con presencia de lluvias. En general la vegetación en el DMQ es diversa y está representada por especímenes de los estratos arbóreos y herbáceos, típica vegetación de quebrada, dispuesta a lo largo de las riberas de los ríos (Valdivieso, 2005).

2.4.4. Temperatura

La temperatura media en el DMQ es de 14 °C, debido a las fluctuaciones diarias, la temperatura media mínima es de 8°C y la media máxima es de 22 °C (Figura 2.6). En San Antonio de Pichincha, zona cercana al Barrio Atacaba, la temperatura media varía entre 16°C y 18°C. (Atlas de Amenazas Naturales y Exposición de Infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

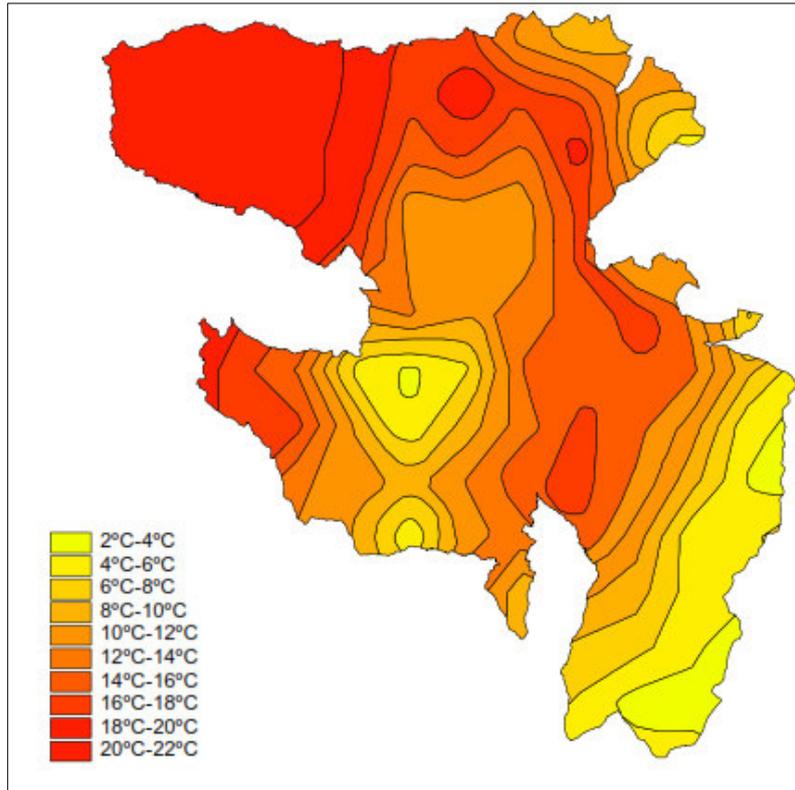


Figura 2.6 Variación de la temperatura en el DMQ. Fuente: Valdivieso, (2005).

2.4.5. Precipitación

Según datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en el DMQ la precipitación normal acumulada registrada en años anteriores fue 336.3 mm. En el año 2017 se reportó una precipitación normal acumulada de 565,3 mm en los meses de enero febrero y marzo, este valor indica una anomalía de incremento de precipitaciones en un 68%. El INAMHI presenta anuarios de precipitaciones muy variables, lo cual dificulta una adecuada proyección de precipitaciones para el DMQ.

La variación de la precipitación anual respecto a la precipitación normal anual acumulada, registrada para Quito en el año 2015 se muestra en la figura 2.7.

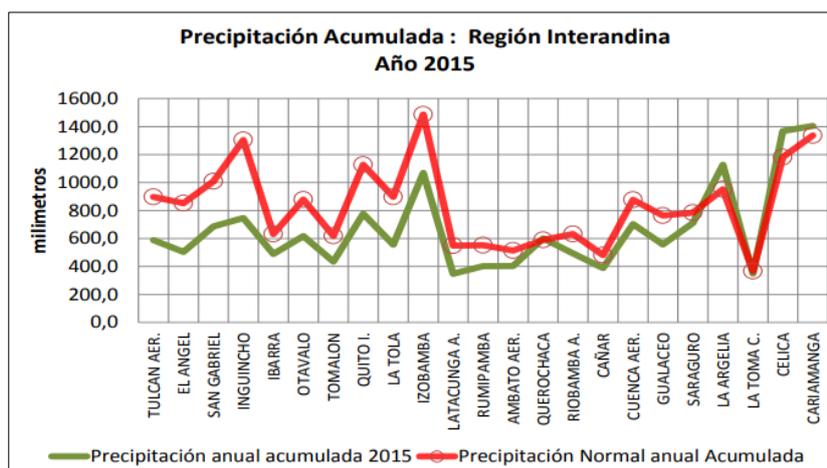


Figura 2.7 Precipitación anual acumulada vs precipitación acumulada. Fuente: INAMHI, (2015).

2.4.6. Hidrografía

El DMQ está ubicado en la cuenca hidrográfica del Río Guayllabamba, sus principales recursos hídricos provienen de aguas superficiales de la cuenca alta del Río Esmeraldas (Valdivieso, 2005)

La zona de estudio se encuentra influenciada por los drenajes de la sub-cuencas Pusuquí- San Antonio de Pichincha y Monjas. El principal drenaje es el Río Pusuquí ubicado al nor-occidente del área de estudio, se une hacia el nor-orienté con la Quebrada Almeida y desembocan en el Río Monjas a los 2400 m.s.n.m. que se extiende 14,2 Km aproximadamente y posteriormente converge con el Río Guayllabamba a 1655 m.s.n.m. (Figura 2.1).

2.4.7. Población

Los datos de la población son referentes a la Parroquia Carcelén Bajo, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el año 2010 el Barrio Carcelén Bajo registró un total de 12537 habitantes, 6139 hombres y 6398 mujeres, el barrio tiene una densidad poblacional de 219,8 habitantes por hectárea y un total de 3844 viviendas.

2.4.8. Educación

El índice de analfabetismo en el Barrio Carcelén Bajo es 3.5% de la población (Aguilar, 2011). Según datos del INEC, (2010) el 42% de la población tiene un nivel de instrucción secundaria, 31% nivel de instrucción primaria y 8% nivel de instrucción superior.

2.4.9. Datos Socioeconómicos

El Barrio Atacaba es un sector urbano popular de clase media baja, está conformado mayoritariamente por campesinos de diferentes provincias del país. Según Aguilar (2011), en el Barrio Carcelén Bajo 2510 personas viven en condiciones de pobreza por necesidades básicas insatisfechas y 527 en pobreza extrema, 4359 personas se encuentran dentro de la población económicamente activa, la tasa de desempleo es del 3.1%.

2.4.10. Cobertura de Servicios Básicos

El 98% de la población del Barrio Carcelén Bajo tiene acceso a servicios básicos como: transporte público, servicio de alcantarillado, red de agua potable, tendido eléctrico, calles principales adoquinadas y varias calles secundarias lastradas, servicio de recolección de basura deficiente, servicio telefónico móvil con cobertura limitada, carecen de instituciones educativas, cuentan con dos áreas de salud pública y pocos espacios deportivos (Aguilar, 2011).

2.5. Estudios Previos

En el área de estudio no existen trabajos similares de acuerdo al objetivo principal de este trabajo; sin embargo, a continuación se resumen estudios relacionados a la infraestructura del barrio y un estudio sobre la ocurrencia de los FRM.

Levantamiento Planimétrico Barrio Atacaba realizado por el Arquitecto Iván Romero en el año 2004. En el estudio se realizó un plano a escala 1:2000 bajo la clave catastral 14009-01-003 y número de predio 366806, en el que delimita las áreas de los 51 lotes que conforman el barrio, número de predio, área de afectación por alcantarillado, áreas verdes, área de protección del río Pusuquí, áreas de protección municipal y área útil.

EMAPS, (2014). Sistema de Alcantarillado Barrio Atacaba. El 18 de abril de 2011, los moradores del barrio gestionaron la construcción del alcantarillado, la obra fue realizada por el Consorcio JJ-T para la construcción del Alcantarillado combinado, descontaminación del Río Monjas, interceptor Oriental Etapa I. La obra fue entregada el 20 de marzo del 2013. En el informe técnico de la obra no se especifica si el los cortes en la ladera fueron realizados bajo criterios de seguridad para la estabilidad de taludes.

Ormaza, W. (2017). Zonificación de la Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa en el Barrio Atacaba Noroccidente de Quito; Tesis de Grado, Escuela Politécnica

Nacional. 108 págs. Este trabajo presenta una aproximación semicuantitativa de las Zonas Susceptibles a FRM en el Barrio Atacaba, a partir de la aplicación de un Método Estadístico Univariado, en función de las propiedades intrínsecas de la ladera, utilizando cuatro factores condicionantes (geología, geomorfología, cobertura y uso de suelo y pendientes del terreno), los mismos que compara con un mapa IMM y obtiene resultados de Zonificación de la Susceptibilidad por FRM.

2.6. Geología Regional

El Ecuador está ubicado en el Continente Sudamericano, entre las latitudes 2°N – 4°S, se encuentra afectado por la dinámica de subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana desde el (Jurásico Tardío) (Ego et al., 1996), que subduce a una velocidad de 60 mm/año en sentido Este-Oeste (Trenkamp et al., 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 2.8). Estas divisiones han sido originadas por la interacción geodinámica entre placas (Litherland et al., 1994).

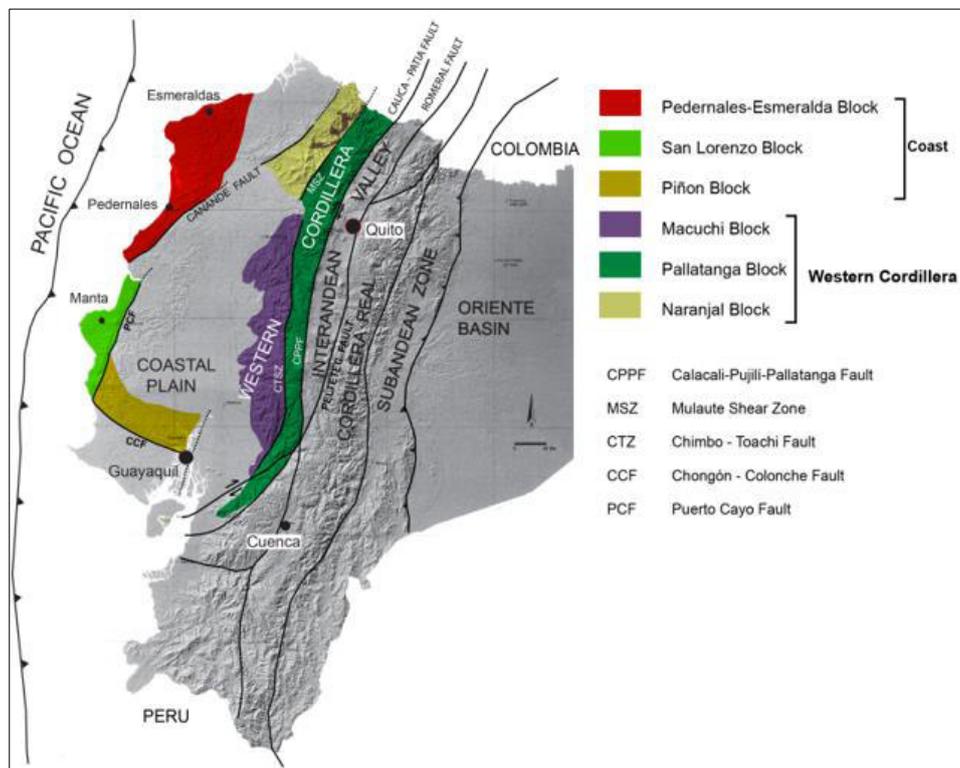


Figura 2.8 Esquema tectónico, representando los límites de las principales divisiones morfo-tectónicas en el Ecuador. Fuente: Vallejo et al., (2009).

2.6.1. Valle Interandino

El Valle Interandino es una depresión limitada al Occidente por la Cordillera Occidental y al Oriente por la Cordillera Real. La historia Neógena de la región interandina, está estrechamente integrada al desplazamiento tectónico de los terrenos acrecionados Pallatanga-Piñón y Macuchi (Figura 2.8), a lo largo de la falla Pallatanga-Calacalí en un movimiento dextral en dirección NNE (Egüez & Aspend., 1993).

Existen varios modelos que representan la evolución tectónica del Valle Interandino (Anexo 1), los cuales han sido discutidos por diferentes autores debido a la falta de estudios de cronoestratigrafía (Villagómez, 2003).

Estudios actuales como Winkler et al., (2005), mejoran el modelo de evolución del Valle Interandino, integrando datos cronoestratigráficos. Además, describen detalladamente las características de las cuencas que se encuentra en los siguientes segmentos: 1. Cuenca del Chota entre el segmento Ibarra y Tulcán, 2. Cuenca Quito – San Antonio – Guayllabamba, 3. Ambato – Latacunga y 4. Riobamba – Alausí (Figura 2.9).

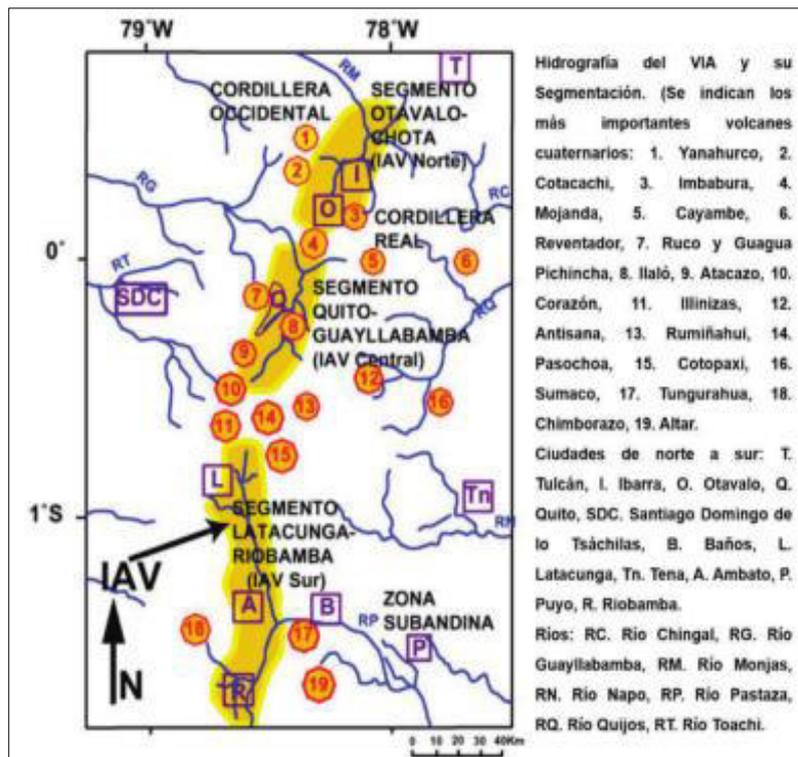


Figura 2.9 Segmentos de las cuencas del valle interandino. Fuente: Villagómez, (2003).

2.6.2. Estratigrafía del Valle Interandino

Según Winkler et al., (2005), existe una correlación estratigráfica entre los segmentos del Valle Interandino y algunas formaciones del Sur del Ecuador (Figura 2.10)

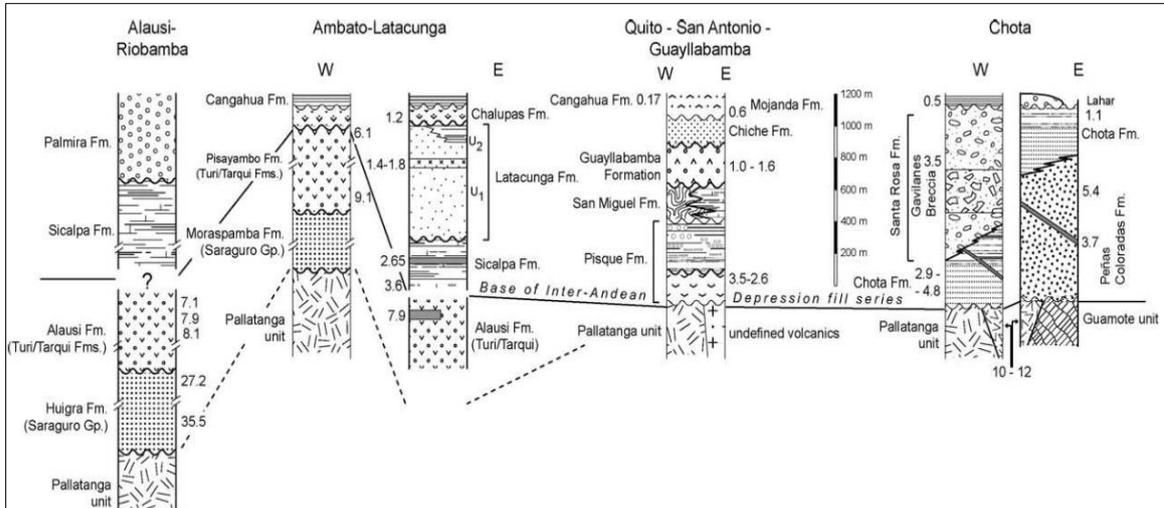


Figura 2.10 Correlación estratigráfica entre los segmentos del Valle Interandino.

Fuente: Winkler et al., (2005).

2.6.3. Estratigrafía de la Cuenca Quito – San Antonio – Guayllabamba

La Cuenca Quito – San Antonio – Guayllabamba (Figura 2.7), es producto de un sistema tectónico de media rampa (Winkler et al., 2005). La Cuenca se elevó durante el Plioceno y evolucionó en sentido Oeste-Este, este levantamiento se encuentra evidenciado por la presencia de fallas sinsedimentaria normales. Después hubo un periodo de compresión en sentido Este – Oeste durante la deposición de la Fm. Guayllabamba, dando lugar a la formación del pliegue Calderón-Catequilla. La compresión disminuyó durante la deposición de la Fm. Chiche, pero recomenzó en 5 Ma con la actividad de las fallas Quito Botadero. (Lavenu et al., 1996; Winkler et al., 2005). A continuación se presenta un resumen de la estratigrafía de la Cuenca (Tabla 2.3).

Basamento (Santoniano)	Está constituido por gabros porfiríticos y microgabros, a lo largo del Río Guayllabamba (Villagómez, 2003). Según Winkler et al., (2005), estas rocas pertenecen a la Unidad Pallatanga. No aflora en la zona de estudio.
Formación Pisque (Plioceno)	Está conformada por depósitos volcánicos y volcanoclásticos <6-5 Ma. (Winkler et al., 2005). El Mb. Pisque inferior consiste en una base de lavas basálticas andesíticas, mientras que el Mb. Pisque superior está conformados por facies aluviales, tobas doradas y lahares de gran potencia, estos depósitos constituyen el relleno sedimentario del Valle Interandino (Villagómez, 2003). No aflora en la zona de estudio.
Formación San Miguel (Pleistoceno-Inferior)	Es una secuencia de volcánicos ricos en tobas con depósitos lacustres (Winkler et al., 2005). Estudios de facies de acuerdo al trabajo presentado por Villagómez, (2003) asigna diferentes ambientes para estas secuencias, de tal manera que divide a la Fm. San Miguel en dos miembros: Mb. San Miguel y Mb. Lacustre San Miguel. En la zona de estudio se encontró un afloramiento de espesor centimétrico, no mapeable, en el que posiblemente aparece esta formación , ubicada en unión del Río Pusuquí y el Río Monjas, coordenadas UTM X: 783362 Y: 9992144 Z: 2447 (Error: 3m).
Formación Guayllabamba (Pleistoceno-Medio)	Se depositó durante un periodo compresivo de gran volcanismo, está conformada por flujos piroclásticos, avalanchas y flujos de lavas, dataciones muestran edades entre 1.62 y 0.98 Ma. (Winkler et al., 2005). Estudios de facies según el trabajo de Villagómez, (2003) indica que la Fm. Guayllabamba consiste en los siguientes miembros: Mb. Láhar, Mb Domos, Mb Volcánico y Mb. Aluvial. No aflora en la zona de estudio.
Formación Chiche (Pleistoceno-Medio)	Está constituida por depósitos epiclásticos que muestran la inconformidad geométrica de la falla de Quito (Winkler et al., 2005). Se proponen las siguientes cuatro divisiones: Mb. Fluvio-Lacustre I (limolitas cremas, tobas blancas, microconglomerados y niveles arenosos finos), Mb. Láhar (flujos de lodo menos potente que el de la Fm. Guayllabamba), Mb. Fluvio-Lacustre II (limolitas tobáceas blancas, diatomitas, areniscas grises), Mb. Chiche (conglomerados, areniscas gruesas intercaladas con tobas) (Villagómez, 2003). No aflora en la zona de estudio.
Formación Mojanda (Pleistoceno Medio)	Derivada del Complejo Volcánico Mojanda (Volcanes Mojanda y Fuya-Fuya) del Pleistoceno (Winkler et al., 2005). Está constituida láhars ricos en líticos andesítico, debris flow que contienen bloques andesíticos y dacíticos. (Villagómez, 2003). No aflora en la zona de estudio
Formación Cangahua (Pleistoceno Superior)	Son depósitos jóvenes, en general tiene colores amarillentos y marrón, se subdividen según su grado de consolidación y la posición estratigráfica de Cangahua en Unidad A, B y C. Cubre gran parte del Valle Interandino, consiste en tobas alteradas intercaladas con caídas cenizas, pómez, paleosuelos, menormente flujos de lodo y canales aluviales (Villagómez, 2003). Cubre gran parte de la zona de estudio.

Tabla 2.3 Resumen de la estratigrafía Cuenca Quito – San Antonio – Guayllabamba.

Fuente: Villagómez, (2003) y Winkler et al., (2005).

2.7. Geología Local

El área de estudio pertenece a la Cuenca Quito – San Antonio – Guayllabamba y está conformada por los depósitos volcánicos de la secuencia superior de esta cuenca.

Formación Cangahua (Pleistoceno Superior – Holoceno)

La Fm. Cangahua está constituida por material volcánico cuaternario fino consolidado de colores amarillentos y marrones, intercalada por capas de cenizas, caídas de pómez y arenas limosas. La cangahua se subdivide de acuerdo a su grado de consolidación en tres unidades (Villagómez, 2003).

Volcánicos del Casitagua (Plioceno Tardío)

Son depósitos volcánicos provenientes del Volcán Casitagua ubicado al nor-occidente del área de estudio, en la secuencia superior de estos depósitos está conformada por tobas amarillentas intercaladas con caídas de pómez de Pifo A (Andrade, 2002).

Depósitos del Pululahua (Holoceno)

"Los depósitos volcánicos del Pululahua consisten de flujos piroclásticos, láhares, colapsos de domos y productos detríticos radialmente distribuidos desde la caldera" (Villagómez, 2003). Se han identificado flujos piroclásticos de tipo "*block and ash*" resultantes de un colapso de domo, asociado a la extrusión de magmas (Andrade, 2002).

2.7.1. Geomorfología

En general el relieve del DMQ es muy heterogéneo, representa relieves casi planos con valores de pendiente entre (0-5%) y relieves montañosos con valores de pendiente hasta del 70% (Valdivieso, 2005). El relieve de la zona de estudio ha sido modificado por procesos volcánicos, procesos erosivos de los ríos y por acciones antrópicas (Figura 2.11). Las geoformas que destacan en el área son:

- **Relieve montañoso:** hacia el nor-occidente de la zona de estudio se encuentra la elevación del Complejo Volcánico Casitagua con una altura de 3519 m (Procel, 2008).

- **Relieve escarpado:** la zona sur del área de estudio se caracteriza por tener un relieve escarpado con fuerte pendiente, sus altitudes varían entre 2447m (punto más bajo en la zona de convergencia entre el Río Pusuquí y Río Monjas) y 2610m (punto más alto en la calle principal de ingreso a la zona).
- **Meseta:** hacia el este se encuentra la llanura elevada Artesón con una altura de 2838 m.



Figura 2.11 Geomorfología del área de estudio.

2.7.2. Hidrogeología

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona de recarga del acuífero de San Antonio de Pichincha (Figura 2.12), el cual se extiende a lo largo del Río Monjas aproximadamente 11 km. La zona de recarga directa o de infiltración está afectada por el escurrimiento subterráneo, a través del relleno volcanosedimentario (Procel, 2008).

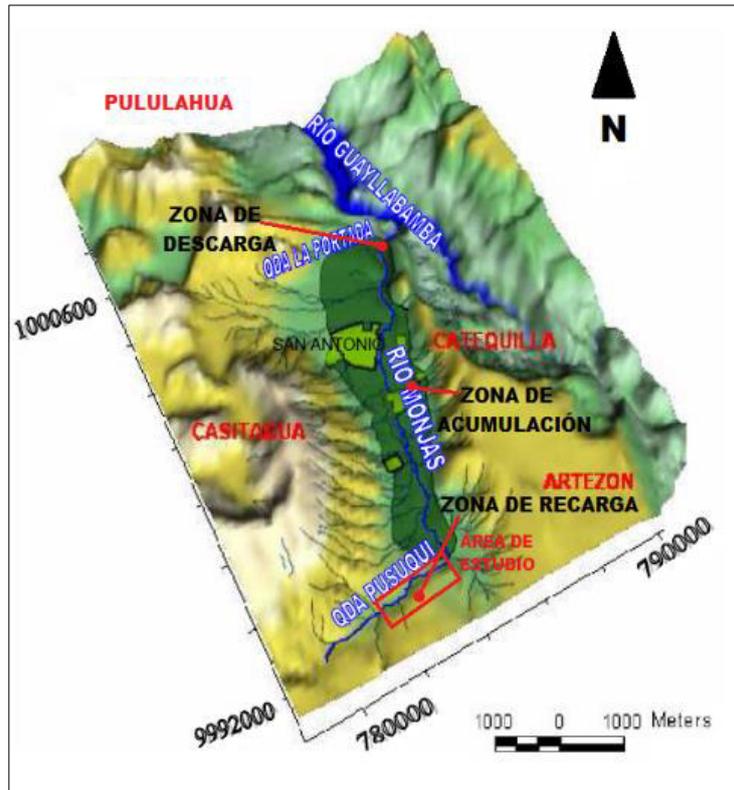


Figura 2.12 Acuífero de San Antonio de Pichincha. Modificado de Procel, (2008).

CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS

La zonificación de la amenaza por FRM se realizó a través de la Metodología de Newmark, (1965) para escenarios de lluvias y sismos, mediante la obtención del valor de desplazamiento cosísmico permanente a lo largo de una superficie de deslizamiento (Chousianitis et al., 2016). Los autores Jibson & Keefer (1994) y Jibson et al., (1998), correlacionaron los Desplazamientos de Newmark con la Aceleración Crítica obtenida en función del Factor de Seguridad (FS). Finalmente los desplazamientos son calculados mediante una ecuación logarítmica calibrada a nivel mundial y propuesta por Hsieh & Lee, (2011), quienes integran un parámetro sísmico como disparador de FRM llamado Intensidad de Arias.

Para el desarrollo de esta metodología se utilizan tres factores principales: la Geología, Geotecnia y Modelo Digital del Terreno (por sus siglas en inglés DEM), a partir de estos elementos se calculan todos los parámetros necesarios para la obtención de los mapas de zonificación. Como parte de la metodología para el procesamiento de información y generación de mapas, se requiere el uso de los SIG, en el presente trabajo se utilizó el software con licencia abierta QGIS 2.18. En el análisis de la sismicidad y estimación de Intensidad de Arias se utilizó el software con licencia temporal SeismoSignal 2016.

A continuación se presenta un diagrama de flujo de la metodología aplicada en el presente trabajo (Figura 3.1)

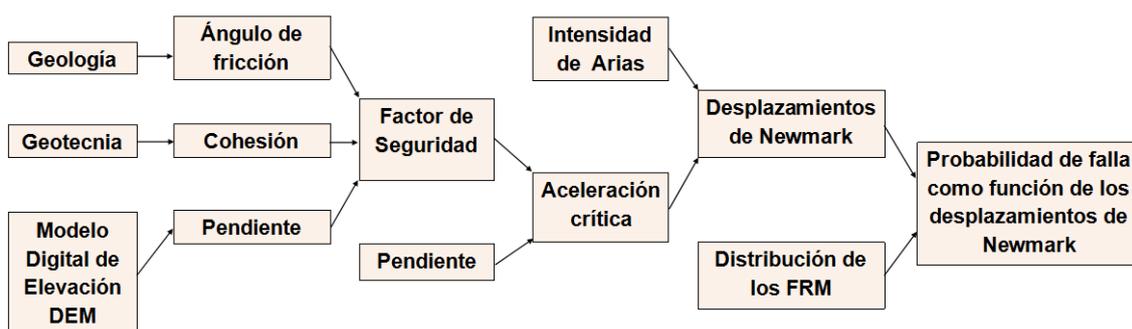


Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología. Modificado de Jibson et al., (1998).

La calibración de la metodología se realizó mediante un Mapa de Susceptibilidad a FRM y la distribución de los FRM existentes en el área de estudio.

3.1. Geología

El mapa de zonificación de la amenaza requiere de la identificación y descripción de las unidades geológicas, a través de datos de campo y recopilación de información bibliográfica de estudios previos a nivel local o regional.

La geología del área de estudio se definió mediante varias visitas en campo, mapeo geológico y levantamiento lito-estratigráfico del cuaternario. Se elaboró un mapa geológico del área de estudio y una descripción detallada de las unidades mapeadas por Merino & Ormaza, (2017 *in press*) mediante datos de levantamiento lito-estratigráfico.

3.1.1. Mapa Geológico

A partir de observaciones en campo y mapeo del área de estudio, se realizó un mapa geológico preliminar a escala 1:5000 que se presenta como esquema en el anexo 2, fue elaborado para el proyecto geológico 2016 B por Lorena Merino, en conjunto con Williams Ormaza. En el mapa se muestran las unidades geológicas, tres cortes geológicos y la ubicación de las columnas estratigráficas. Debido a los cambios que se generaron en la morfología del terreno, afectado principalmente por lluvias y actividades antrópicas, en el desarrollo del presente trabajo se tomó como base geológica el mapa actualizado por Ormaza, (2017).

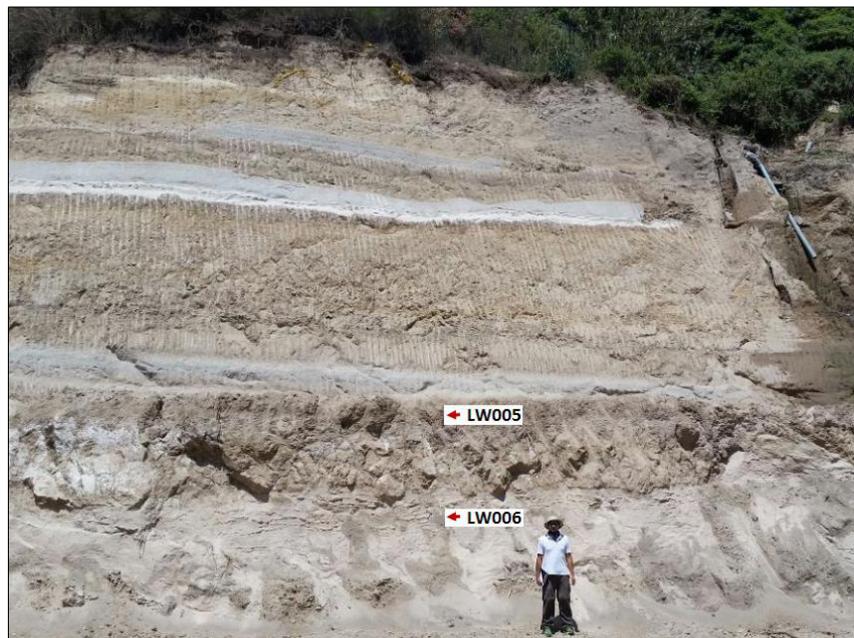
3.1.2. Levantamiento Lito-estratigráfico

Se elaboraron tres columnas estratigráficas a partir de la toma de muestras en afloramientos "*in situ*". La descripción petrográfica de las muestras tomadas se realizó mediante un análisis de tamaños de clastos, trituración de la muestra, separación de minerales máficos y análisis petrográfico.

Para cada columna estratigráfica se construyó una ficha de descripción litológica (Anexo 3), en las que se consideraron seis "capas guías" identificadas en todos los afloramientos estables de Cangahua y fueron nombradas como: **LW001** caída de lapilli gris, **LW002** caída de lapilli gris muy oxidada, **LW003** caída de lapilli blanca (Pifo A), y **LW004** ceniza blanca grisácea coignimbrítica (Fotografía 3.1), **LW005** ceniza gris y **LW006** ceniza crema (Fotografía 3.2).



Fotografía 3.1 Identificación de capas guías LW: 001, 002, 003, 004, para levantamiento de la columna estratigráfica 1. Afloramiento ubicado en el margen izquierdo del Río Pusuquí frente al Barrio Atacaba, ingreso por la Av. Manuel Córdova Galarza Coordenada UTM **X**: 782276 **Y**: 999205 **Z**: 2557 (Error: 3m).



Fotografía 3.2 Identificación de capas guías LW: 005 y 006, para el levantamiento de la columna estratigráfica 1. Afloramiento ubicado en el margen izquierdo del Río Pusuquí frente al Barrio Atacaba, ingreso por la Av. Manuel Córdova Galarza Coordenada UTM **X**: 782090 **Y**: 9992189 **Z**: 2544 (Error: 2m).

A lo largo del camino donde está el alcantarillado la litología se encuentra perturbada, sin embargo se identificaron las capas guías LW001 (Fotografía 3.3), LW002 (Fotografía 3.4) y LW003 (Fotografía 3.5).



Fotografía 3.3 Identificación de la capa LW001 en el camino del alcantarillado.

Coordenadas UTM **X**: 782488 **Y**: 9991961 **Z**: 2553 (Error: 3m)



Fotografía 3.4 Identificación de la capa LW002 en el camino del alcantarillado. UTM

X: 783240 **Y**: 9991968 **Z**: 2516 (Error: 3m)



Fotografía 3.5 Identificación de la capa LW003 en el camino del alcantarillado. **UTM**
X: 782507 Y: 9991950 Z: 2542 (Error: 3m)

A partir de la información obtenida se correlacionaron las capas guías de los afloramientos "*in situ*" con los afloramientos perturbados para la obtención columna estratigráfica generalizada de la zona.

3.2. Geotecnia

Los parámetros geotécnicos se pueden obtener mediante ensayos en laboratorio o a partir de la recopilación de información bibliográfica de estudios técnicos previos, en el presente trabajo no se realizaron ensayos geotécnicos.

La asignación de parámetros geotécnicos de las unidades geológicas se realizó mediante recopilación de información bibliográfica, se obtuvieron valores de cohesión, ángulo de fricción, densidad seca y densidad saturada (Tabla 3.1), posteriormente se realizó la transformación de los valores geotécnicos en unidades de fuerza (Tabla 3.2).

Unidad Geológica	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de Fricción (°)	Densidad en condición seca (g/cm ³)	Densidad en condición saturada (g/cm ³)	Referencia
Relleno	0,05	3,28	1,8	2,412	Cañari & Alva, (2011); Jiménez, (1999)
Flujo Piroclástico o "block and ash"	0,12	26	1,86	2,28	Hernández (2004); Vásconez, (2015)
Cangahua	0,37	23	1,851	2,3	Guerrón & Tacuri, (2013); Pachacama, (2015)
Coluviales	0,31	25	1,7	2,159	SAMBITO S.A, (2016)
Aluviales	0	35	1,9	2,1	SAMBITO S.A, (2016)

Tabla 3.1 Parámetros geotécnicos referenciales

Unidad Geológica	Cohesión (KN/m ²)	Ángulo de Fricción (°)	Peso específico en condición seca (KN/m ³)	Peso específico en condición saturada (KN/m ³)
Relleno	4,9	3,28	17,64	23,63
Flujo Piroclástico "block and ash"	11,76	26	18,22	22,34
Cangahua	36,26	23	18,13	22,54
Coluviales	30,38	25	16,66	21,16
Aluviales	0	35	18,62	20,58

Tabla 3.2 Cohesión y densidad en unidades de fuerza.

Los valores que indican el grado de estabilidad para cada unidad geológica-geotécnica en unidades de fuerza, se presentan en la tabla 3.3.

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

Tabla 3.3 Grados de estabilidad para la cohesión, fricción y peso específico. Fuente: Miles & Keefer, (2001).

3.2.1. Mapa de Cohesión

El Mapa de Cohesión se obtuvo a partir de los datos geotécnicos asignados a cada unidad litológica y mediante el proceso de rasterización de los datos de cohesión (Figura 3.2). Para la asignación de los rangos de estabilidad se utilizó la tabla 3.3.

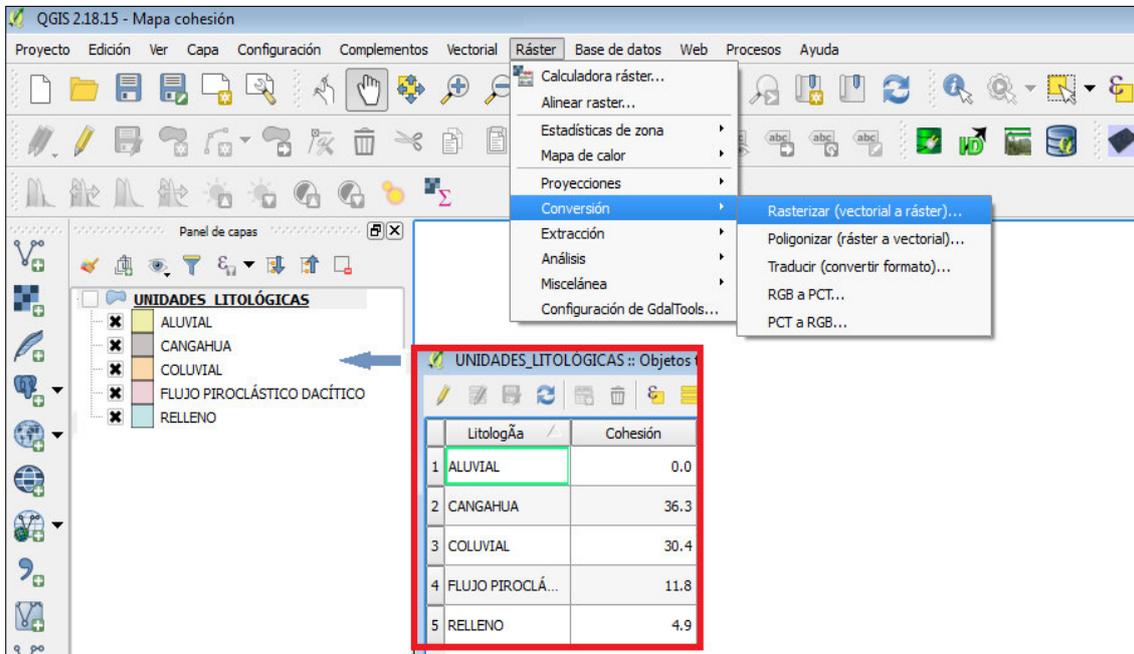


Figura 3.2 Proceso de rasterización para la creación del Mapa de Cohesión.

3.2.2. Mapa de Fricción

El Mapa de Fricción se obtuvo a partir de los datos geotécnicos asignados a cada unidad litológica y mediante un proceso de rasterización de los datos de cohesión (Figura 3.3). Los rangos de estabilidad se determinaron mediante la tabla 3.3.

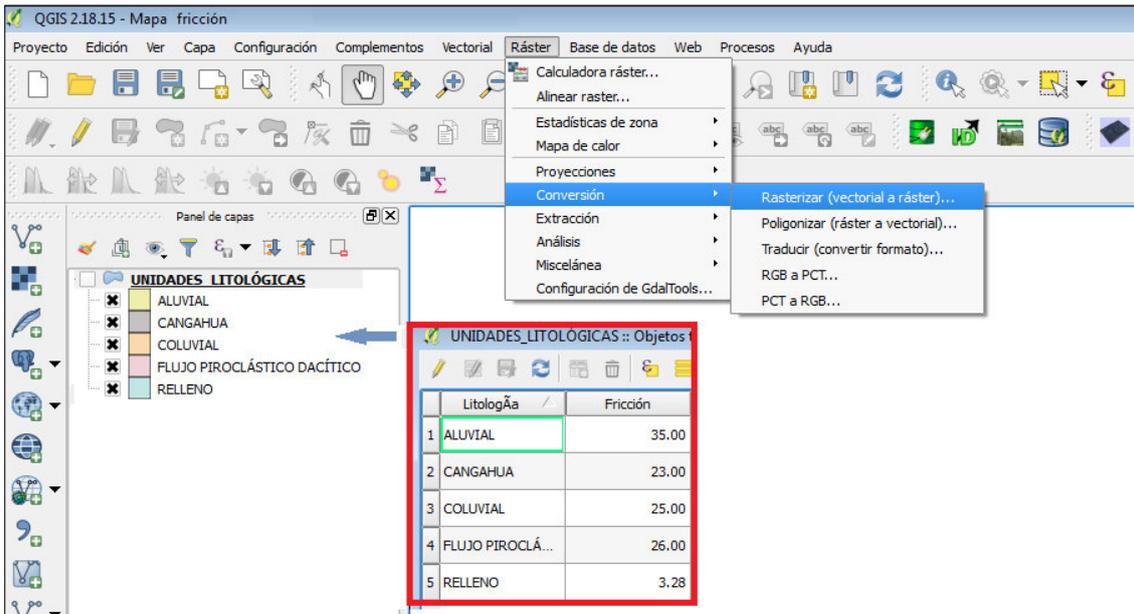


Figura 3.3 Proceso de rasterización para la obtención del Mapa de Fricción.

Para el cálculo de parámetros en los que interviene el Mapa de Fricción, fue necesario transformar a radianes mediante la calculadora ráster (Figura 3.4).

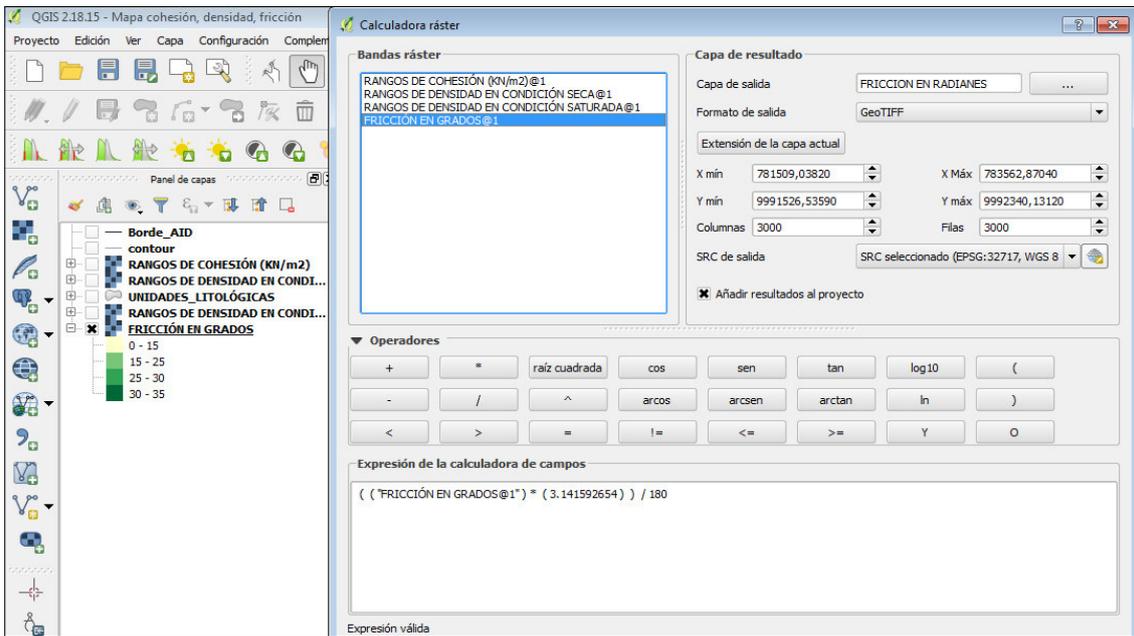


Figura 3.4 Cálculo del Mapa de Fricción en radianes.

3.2.3. Mapas de Peso Específico

Los Mapas de Peso Específico se obtienen a partir de un proceso de rasterización de los valores de peso específico asignados a cada unidad litológica, la entrada de datos

en la calculadora ráster son: peso específico en condición seca (Figura 3.5) y peso específico en condición saturada (Figura 3.6)

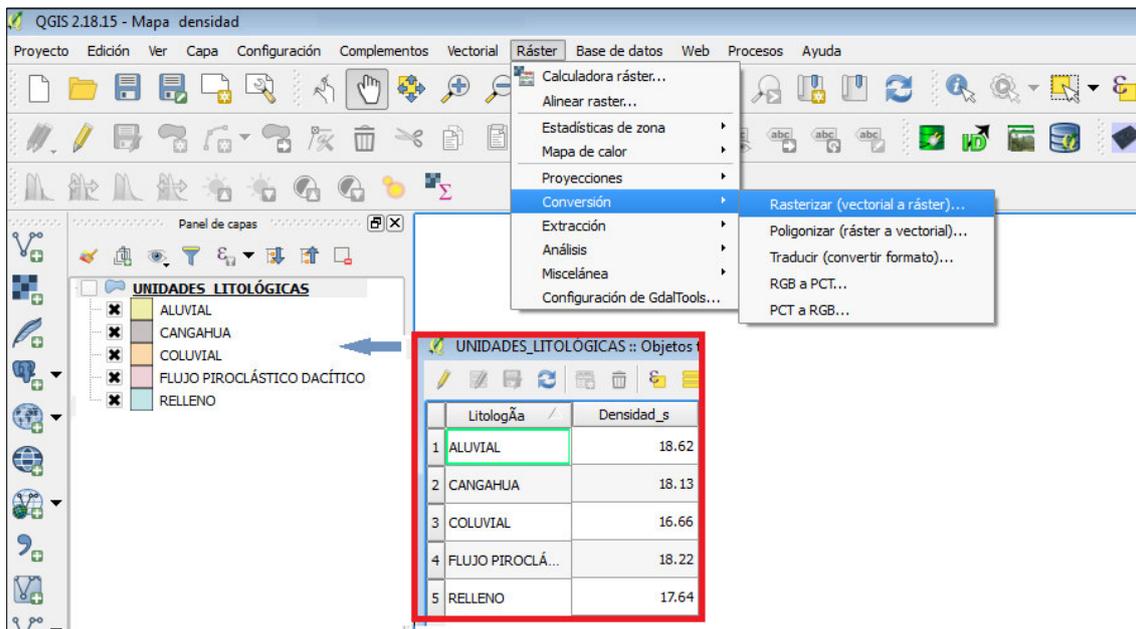


Figura 3.5 Proceso de rasterización para la obtención del Mapa de Peso específico en condición seca.

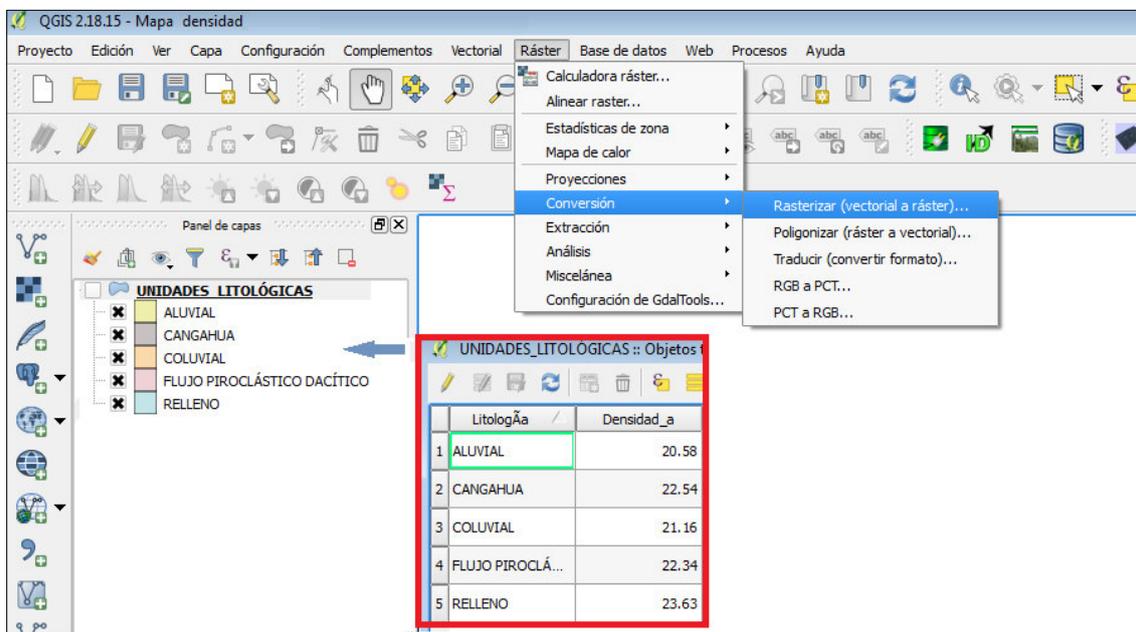


Figura 3.6 Proceso de rasterización para la obtención del Mapa de Peso Especifico en condición saturada.

3.3. Modelo Digital de Terreno (DEM)

A partir del DEM con resolución de 3 m disponible para el DMQ se realizó el Mapa de Pendientes.

3.3.1. Mapa de Pendientes

Mediante herramientas de geo-proceso y análisis del Modelo Digital del Terreno (MDT) en el software QGIS como se muestra en la figura 3.7, se definieron los intervalos de pendientes para el área de estudio con su respectivo rango (Tabla 3.4).

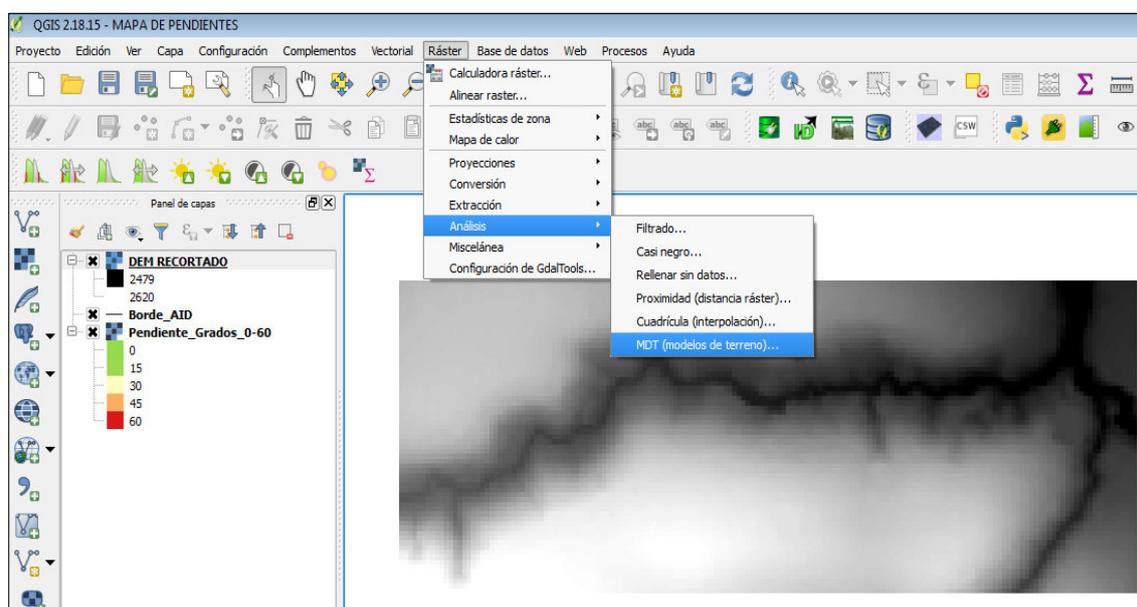


Figura 3.7 Uso de herramienta de MDT para la obtención del Mapa de Pendientes.

Intervalo	Rango Cualitativo
0° - 15°	Suaves
15° - 30°	Moderadas
30° - 45°	Fuertes
45° - 60°	Muy fuertes

Tabla 3.4 Clasificación de las pendientes según su intervalo.

Para el cálculo de los parámetros en los que interviene el Mapa de Pendientes se transformó a radianes mediante el uso de la calculadora ráster (Figura 3.8).

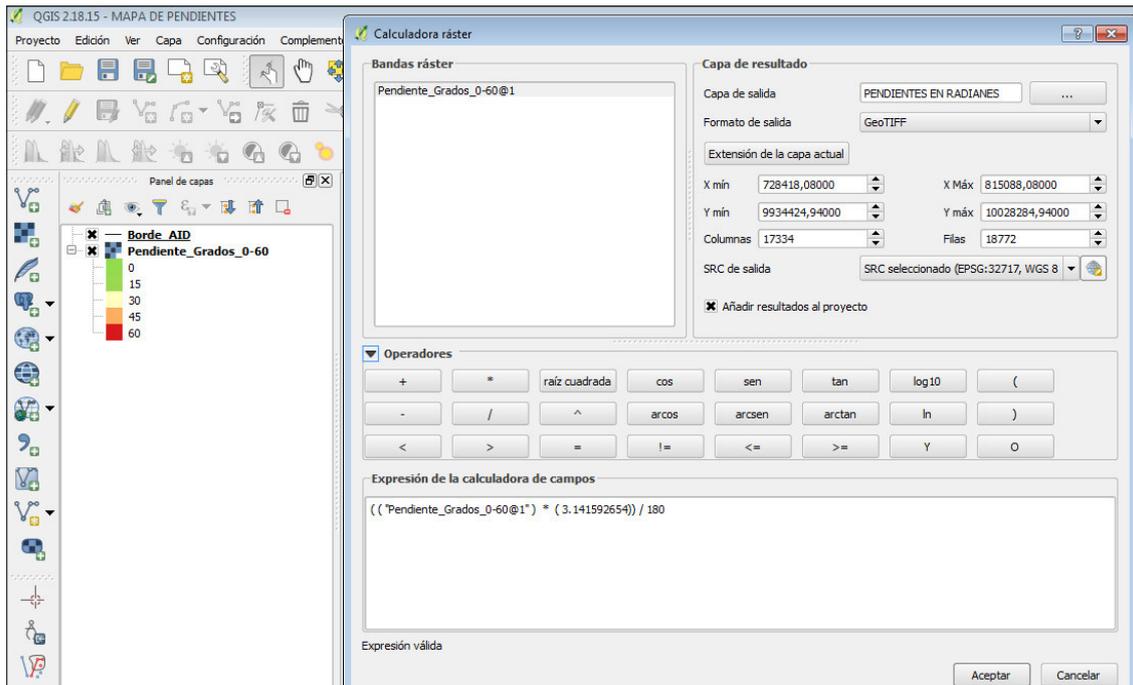


Figura 3.8 Uso de la calculadora ráster para la transformación del Mapa de Pendientes a radianes.

3.4. Cálculo del Factor de Seguridad

En la estimación del FS, se integraron los datos geotécnicos para un modelo de análisis de equilibrio límite y talud infinito (Jibson, 1994) y el mapa de pendientes en radianes. En el modelo de peligro por sismos y lluvias, se consideró al terreno en dos condiciones intermedias probables: seco y saturado.

Para escenario seco se asignaron los valores para $t = 3$ m y $m = 0$ de acuerdo a los trabajos de Miles & Keefer, (2001) y Hernández et al., (2017 *in press*), bajo estos parámetros la ecuación 2.2 presentada en el capítulo anterior, queda reducida a la siguiente expresión:

$$FS = \frac{c'}{\gamma_{SEC} t \text{sen}\theta} + \frac{\text{tan}\phi'}{\text{tan}\theta}$$

Ecuación 3.1 Cálculo del FS en condición seca.

En donde se refieren: cohesión (c'); ángulo de fricción interna (ϕ'); pendiente de la ladera (θ); peso específico del material en condición seca (γ_{SEC}); espesor de la superficie de falla (t).

La ecuación 3.1 es ingresada en la calculadora ráster y mediante álgebra de mapas se obtiene el Mapa de FS en condición seca (Figura 3.9).

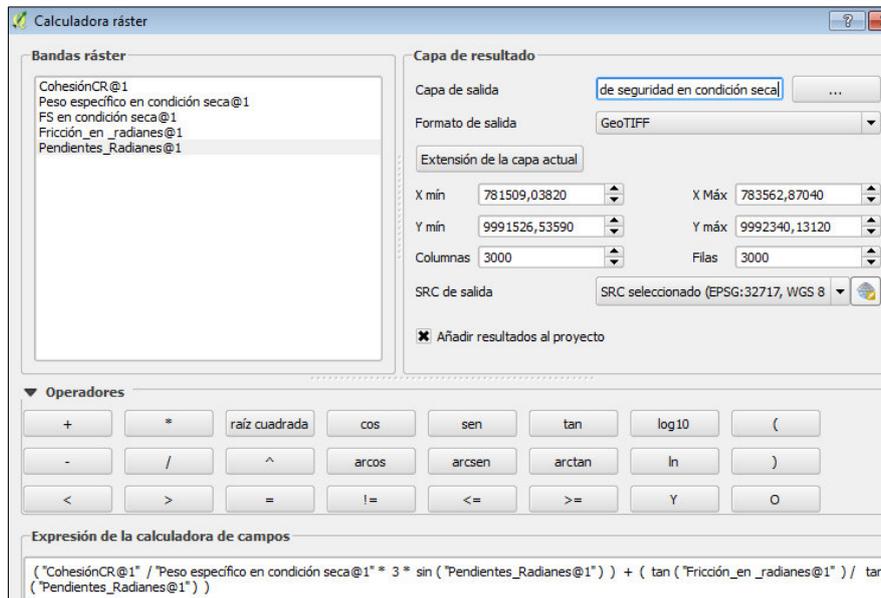


Figura 3.9 Cálculo del Mapa de FS en condición seca.

Mientras que para el cálculo de FS en un escenario saturado, se asignaron los valores de $t = 5$ m y $m = 1$ tomados de los trabajos de Miles & Keefer, (2001) y Hernández et al., (2017 *in press*), a partir de la ecuación 3.2.

$$FS = \frac{c'}{\gamma_{SAT} t \text{sen}\theta} + \frac{\tan\phi'}{\tan\theta} + \frac{m\gamma_w \tan\phi'}{\gamma_{SAT} \tan\theta}$$

Ecuación 3.2 Cálculo del FS en condición saturada

En donde se refieren: cohesión (c'); ángulo de fricción interna (ϕ'); pendiente de la ladera (θ); peso específico del material en condición saturada (γ_{SAT}); peso específico del agua (γ_w); espesor de la superficie de falla (t); proporción de saturación de la superficie que desliza (m).

La ecuación 3.2 es ingresada en la calculadora ráster y mediante álgebra de mapas se obtiene el Mapa de FS en condición saturada (Figura 3.10).

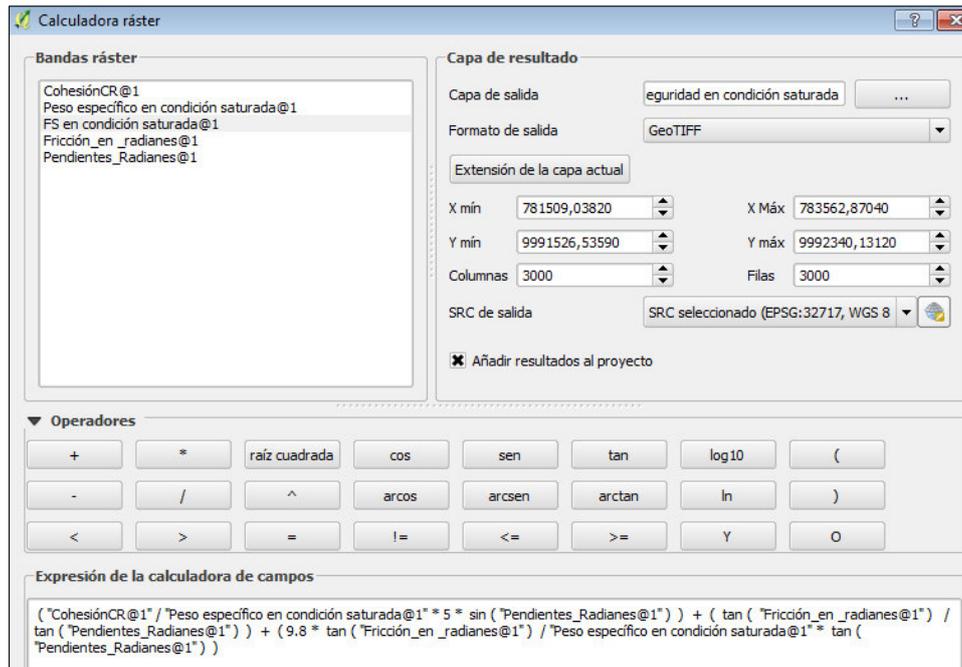


Figura 3.10 Cálculo del Mapa de FS en condición saturada.

Los rangos de estabilidad para los valores FS se representan en la tabla 3.5.

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

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

3.5. Cálculo de la Aceleración Crítica

El cálculo de la aceleración crítica se realizó mediante la ecuación 2.3 presentada en el capítulo anterior.

$$a_c = g(FS - 1) \text{ Sen } \theta$$

En donde se refieren: aceleración de la gravedad (g) y ángulo de empuje (θ). Su unidad está representada en g.

La ecuación se integró en la calculadora ráster y se aplicó álgebra de mapas a partir de los mapas de FS, mapas de pendientes y g. La entrada de datos para el cálculo la aceleración crítica en condición seca se presenta en la figura 3.11, y los datos para el cálculo de la aceleración crítica en condición saturada se muestran en la figura 3.12

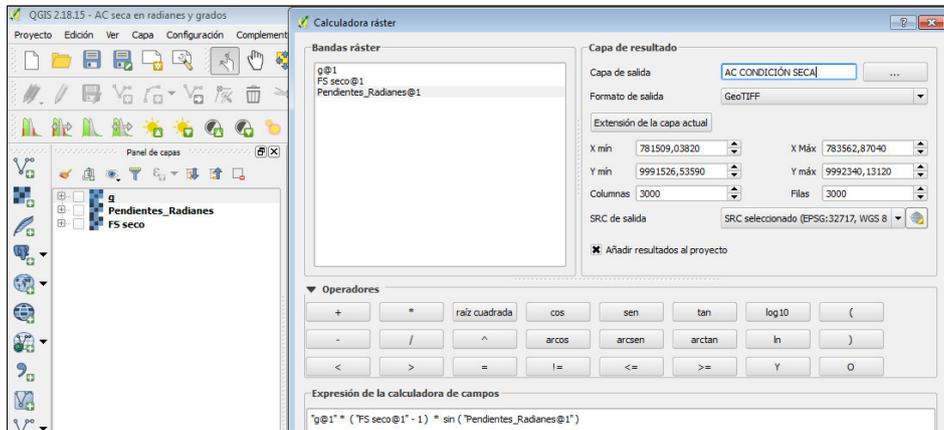


Figura 3.11 Cálculo del Mapa de Aceleración en condición seca.

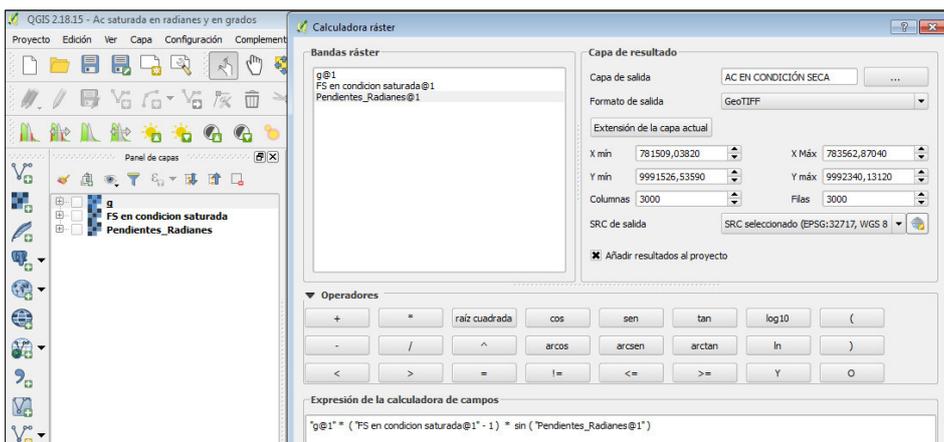


Figura 3.12 Cálculo del Mapa de Aceleración en condición saturada.

3.6. Cálculo de Intensidad de Arias

Previo al cálculo de la intensidad de Arias fue indispensable determinar las características sísmicas generales del área de estudio. En función de los trabajos realizados por Alvarado, (2012) y Cañizares, (2017), se determinaron las características sísmicas.

El trabajo de Alvarado, (2012), indica que el DMQ se encuentra ubicado dentro de una fuente sismogénica (Figura 3.13) o volumen de corteza continental con una profundidad máxima de 40 km que contiene grandes sistemas de fallas como el QSF. De acuerdo

de acuerdo a los sismos recientes e históricos (Anexo 4), los sismos esperados para la Ciudad de Quito están en un intervalo de magnitud 4.1 Mw y 6.9 Mw.

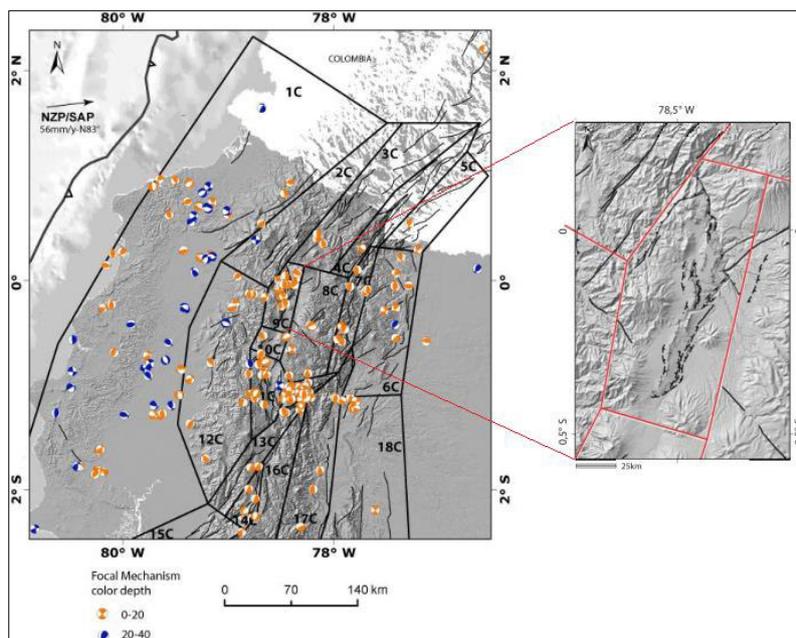


Figura 3.13 División de las fuentes sismotectónicas a escala regional y local, en la fuente sismogénica marcada se encuentra el DMQ. Modificado de Alvarado, (2012).

Cañizares, (2017), calculó las ecuaciones de atenuación compatibles con los mecanismos de fallamiento en el QFS, mediante señales sísmicas seleccionadas de un registro de sismos locales recientes ocurridos en la Ciudad Quito (Tabla 3.6) y un registro de sismos internacionales (Tabla 3.7) son compatibles con las condiciones geológicas y locales, en un rango de magnitudes esperadas en la ciudad de Quito.

SISMO	FECHA	Mw	DEPTH	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	17/02/2011	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

Tabla 3.6 Registros sísmicos seleccionados para la Ciudad de Quito. Fuente: Cañizares, (2017).

Un dato relevante en la tabla 3.6 indica que dos de los eventos más recientes se registraron en la zona de Calderón y Pusuquí, estas zonas son aledañas al área de estudio.

#	Sismo	Estación	Año	Mw	Rjb (Km)	Rrup (Km)	Tipo de suelo	Dt
1	San Fernando	Santa Felicita D.	1971	6.6	24.7	24.87	C	0.02
2	San Fernando	Lake Hunghe # 9	1971	6.6	17.2	22.57	C	0.02
3	San Fernando	Lake Hunghe # 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	Coalinga	Sulphur Barths_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	Northidge	Glendale_Cypres Ave	1994	6.7	28.9	30.9	C	0.02
10	Northidge	Glendale- Las Palmas	1994	6.7	21.6	22.21	C	0.02

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

A partir de la información recopilada se determinó que las características sísmicas del área de estudio son las siguientes: los valores de Vs30 se encuentran en un rango entre 360 - 180 m/s (NEC, 2015), los valores de distancia epicentral están en un intervalo de 10 – 30 km (Cañizares, 2017) y el mecanismo de fallamiento es de tipo inverso (Alvarado, 2012). Una vez identificadas las características sísmicas del área de estudio se seleccionaron dos sismos internacionales de la tabla 3.7, compatibles con las características sísmicas del DMQ.

Los sismos seleccionados Coalinga (1983) y Loma Prieta (1989), se utilizaron para el filtrado datos de la tabla 3.8 que constituye la distancia epicentral, distancia hipocentral, profundidad, Vs30 y mecanismo de falla, a través de la base de datos de *Pacific Earthquake Engineering Center "PEER" Ground Motion Database USA*. Una vez filtrados los datos (Anexo 4) se integraron en la aplicación SeismoSignal 2016, para simular los acelerogramas espectrales de movimiento de los dos sismos seleccionados.

#	Distancia Epicent. (km)	Distancia Hipocent. (Km)	Depth (Km)	Vs30 (cm/s)	PGA1 (cm/s ²)	PGA2 (cm/s ²)	Estaci.	Falla
1	26.2	33.7	13	389	213	198.3	CSMIP	Inversa
2	23	28.1	13	670.8	119.3	109.5	CSMP	Inversa
3	19.8	24.6	13	602.1	346.2	277.9	CSMP	Inversa
4	41.6	-	5.7	445	88.78	61.5	ITAC	Inversa
5	27.2	-	5.7	458	339.0	309.0	ITACA	Inversa
6	-	14.7	8.4	617.43	173.7	159.7	PEER	Inversa
7	11.9	27.3	17.5	671.7	223.4	269.3	PEER	Inversa
8	18.8	24.2	17.5	713.5	433.1	401.5	CSMIP	Inversa
9	29.9	32.19	14.6	366.71	150.8	204.4	CSMIP	Inversa
10	22.6	34.3	14.6	371.07	388.8	212.1	CSMIP	Inversa

Tabla 3.8 Datos sísmicos seleccionados para la filtración de datos. Fuente: Cañizares, (2017).

Finalmente al simular los sismos en la aplicación se obtuvieron los valores de Intensidad de Arias para los Sismos de Coalinga (1983) y Loma Prieta (1989) (Figura 3.14). Además, se generaron los espectros de la aceleración e intensidad de Arias en porcentaje para los sismo Coalinga (1983) (Figura 3.15) y para el sismo Loma Prieta (1989) (Figura 3.16). En los espectros se muestran los picos de aceleración y el valor máximo de la intensidad de Arias en el 95%.

Parameter	Corrected Accelerogram	Parameter	Corrected Accelerogram
Time of Max. Displacement (sec)	2,43000	Vmax / Amax: (sec)	0,09314
Vmax / Amax: (sec)	0,05280	Acceleration RMS: (g)	0,04108
Acceleration RMS: (g)	0,01059	Velocity RMS: (cm/sec)	3,75689
Velocity RMS: (cm/sec)	0,64153	Displacement RMS: (cm)	3,14664
Displacement RMS: (cm)	0,17936	Arias Intensity: (m/sec)	1,30018
Arias Intensity: (m/sec)	0,10370	Characteristic Intensity (Ic)	0,05888

Figura 3.14 Cálculo de Intensidad de Arias para los Sismos de Coalinga (1983) y Loma Prieta (1989).

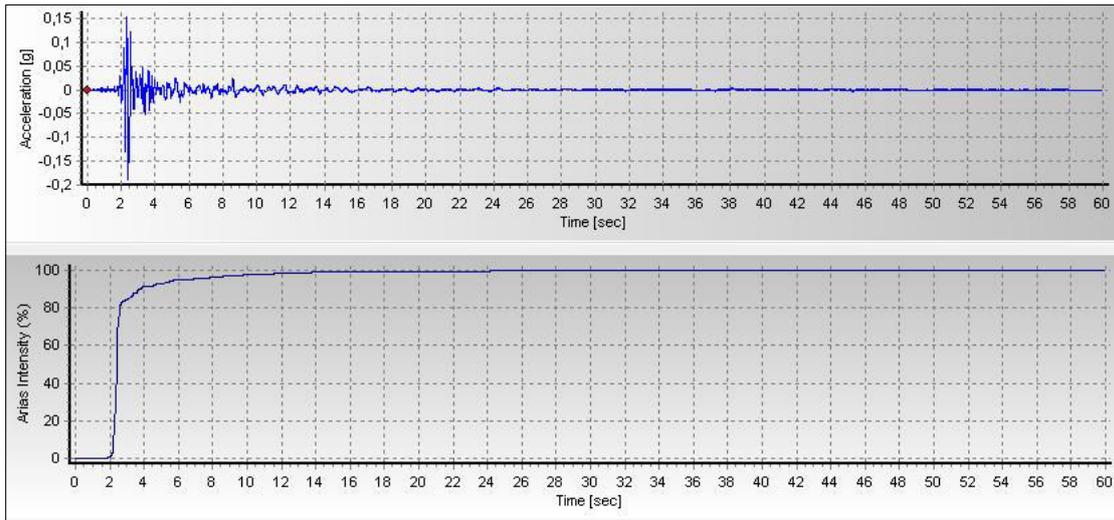


Figura 3.15 Espectro de aceleración (g) e intensidad de Arias (%), Sismo Coalinga (1983).

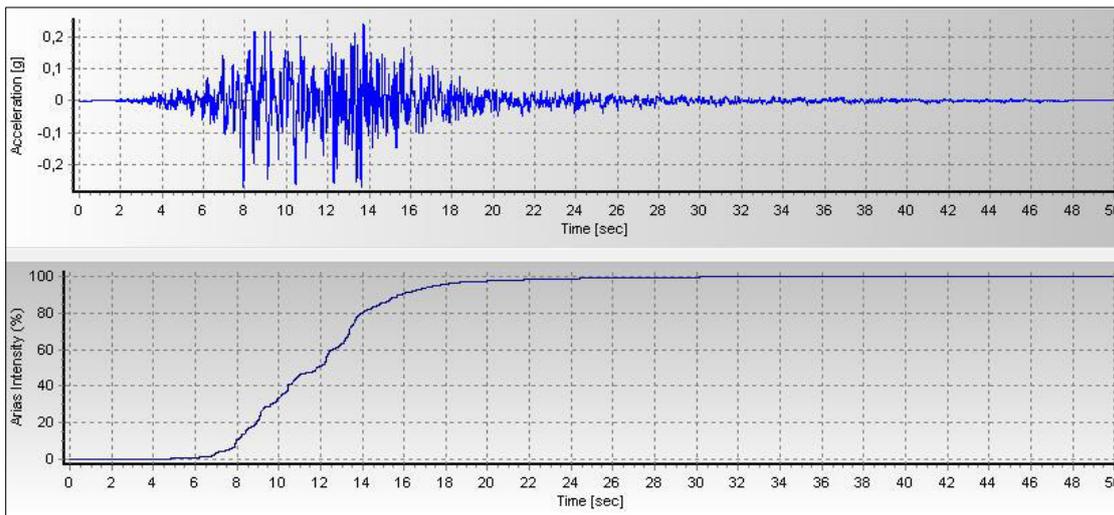


Figura 3.16 Espectro de aceleración (g) e intensidad de Arias (%), Sismo Loma Prieta (1989).

3.7. Cálculo de los Desplazamientos de Newmark

El cálculo de esta variable se realizó mediante la fórmula empírica global para todas las condiciones de sitio, propuesta por Hsieh y Lee, (2011). La formulación que estima los Desplazamientos de Newmark en cm (Ecuación 3.3).

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

Ecuación 3.3 Ecuación de los Desplazamientos de Newmark.

Donde (D_N) representa el desplazamiento durante el sismo, (I_a) Intensidad de Arias y (a_c) aceleración crítica.

La estimación de los Desplazamientos de Newmark en condición seca y saturada se realizaron en la calculadora ráster mediante la ecuación logarítmica 3.3, en la cual se integró la intensidad de Arias calculada para el Sismo de Coalinga (1983) igual a 0.10370 m/s y los ráster de aceleraciones críticas respectivamente (Figura 3.17).

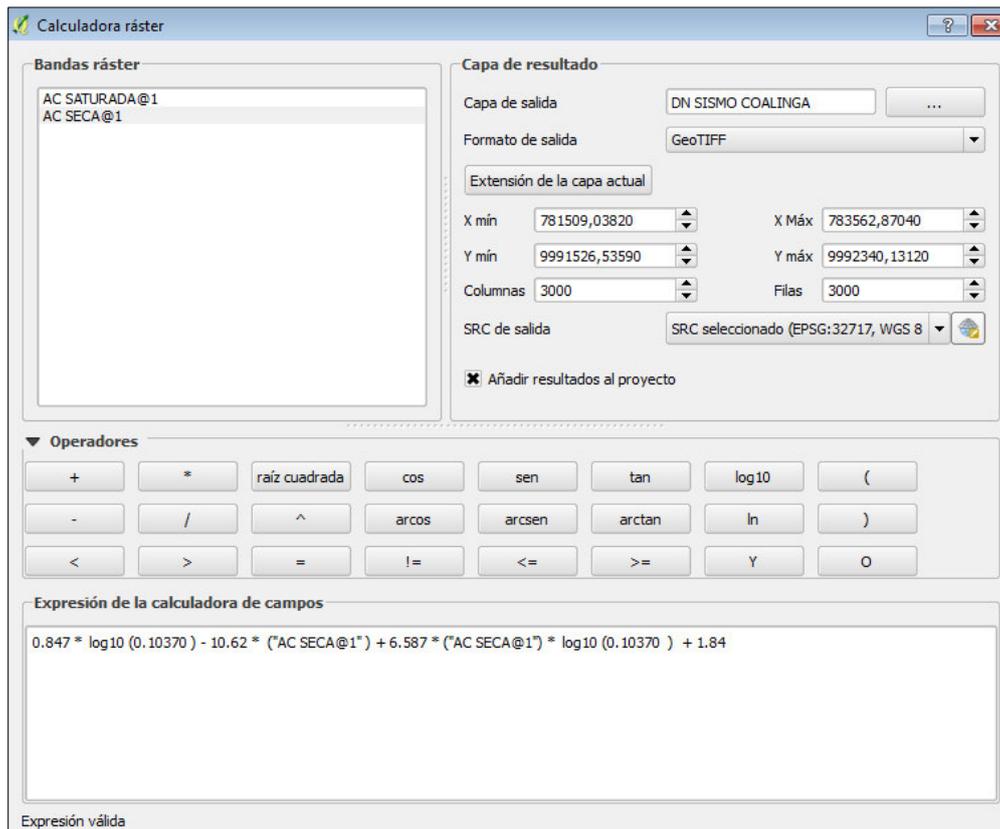


Figura 3.17 Cálculo de los Desplazamientos de Newmark Sismo Coalinga (1983).

Finalmente la estimación de los Desplazamientos de Newmark en condición seca y saturada para el Sismo Loma Prieta (1989) se realizaron en la calculadora ráster mediante la ecuación logarítmica 3.3, en la cual se integró la intensidad de Arias cuyo valor es igual a 1.3018 m/s y los ráster de aceleraciones críticas respectivamente (Figura 3.18).

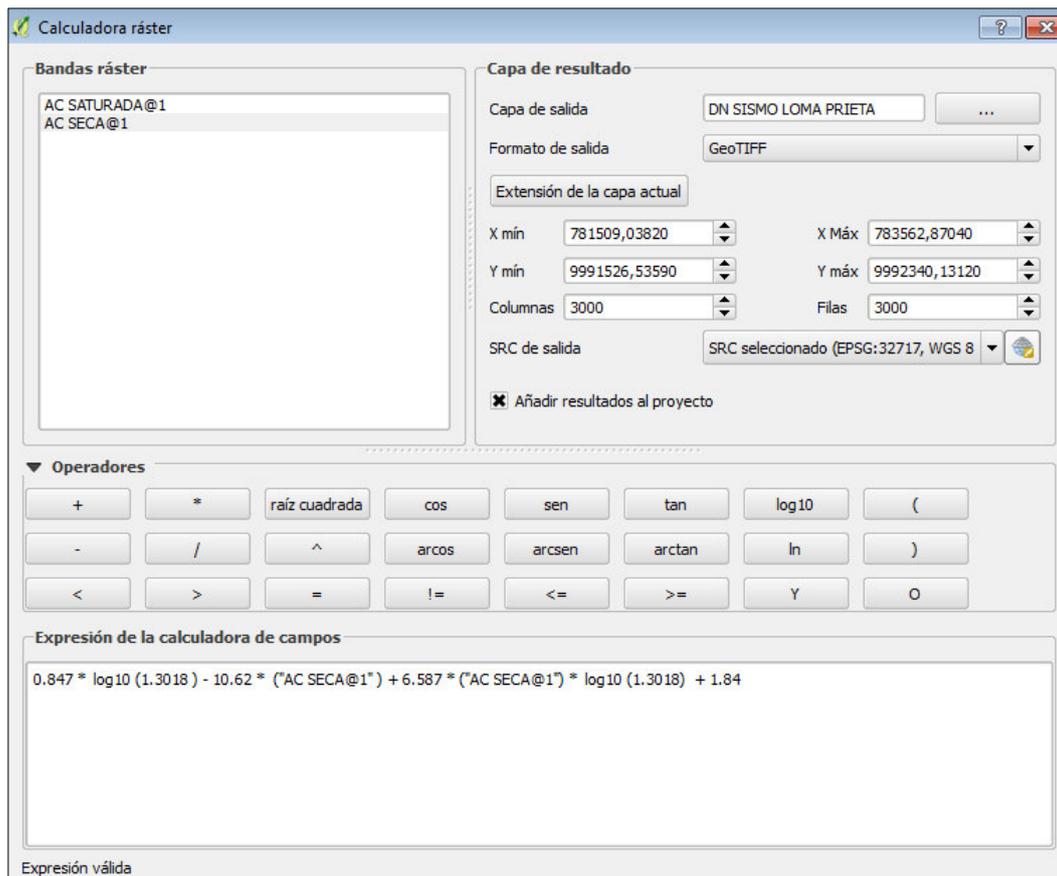


Figura 3.18 Cálculo de los Desplazamientos de Newmark Sismo Loma Prieta (1989).

Los grados de peligro para los valores de los Desplazamientos de Newmark (Tabla 3.9), tomados del trabajo de Jibson et al., (1998).

Grado de peligro	DN (cm)
Muy Alto	> 5
Alto	5 - 2,5
Medio	2,5 - 1, 5
Moderado	1,5 - 1
Bajo	1 - 0,5
Muy Bajo	< 0,5

Tabla 3.9 Clasificación los Desplazamientos de Newmark de acuerdo a su grado de peligro.

3.8. Inventario de Movimientos en Masa

Los Movimientos en Masa fueron levantados mediante trabajo de campo, bajo la colaboración de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Geológica de la Escuela Politécnica Nacional, en la materia de Fenómenos de Remoción en Masa semestre 2016 B. El trabajo de campo se realizó mediante fichas técnicas de levantamiento de

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Geología

4.1.1. Descripción de las Unidades Mapeadas

Zonas de relleno (Zr): material retrabajado muy heterogéneo, de origen antrópico mezclado con cenizas de colores marrón y gris, presenta clastos subangulares de tamaño centimétrico. El material se encuentra en estado muy perturbado y se presenta como deslizamiento (Fotografía 4.1).



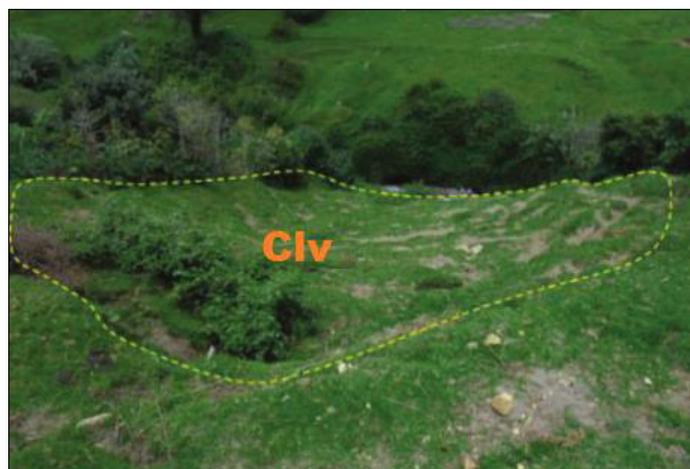
Fotografía 4.1 Zona de relleno a lo largo del camino del alcantarillado.

Flujo Piroclástico Dacítico (Fpd): es un material altamente deleznable, está compuesto por ceniza, arenas color gris rosáceas y clastos dacíticos (Domo Pondoña). Se presenta como deslizamientos sobre la Fm. Cangahua en el margen izquierdo de la Quebrada Almeida y a lo largo de la ribera del Río Monjas, presenta alto grado de erosión evidenciado por la presencia de grietas con dimensiones entre 2 m a 40 m de longitud, 30 cm a 2 m de ancho y 3 m de profundidad (Fotografía 4.2).



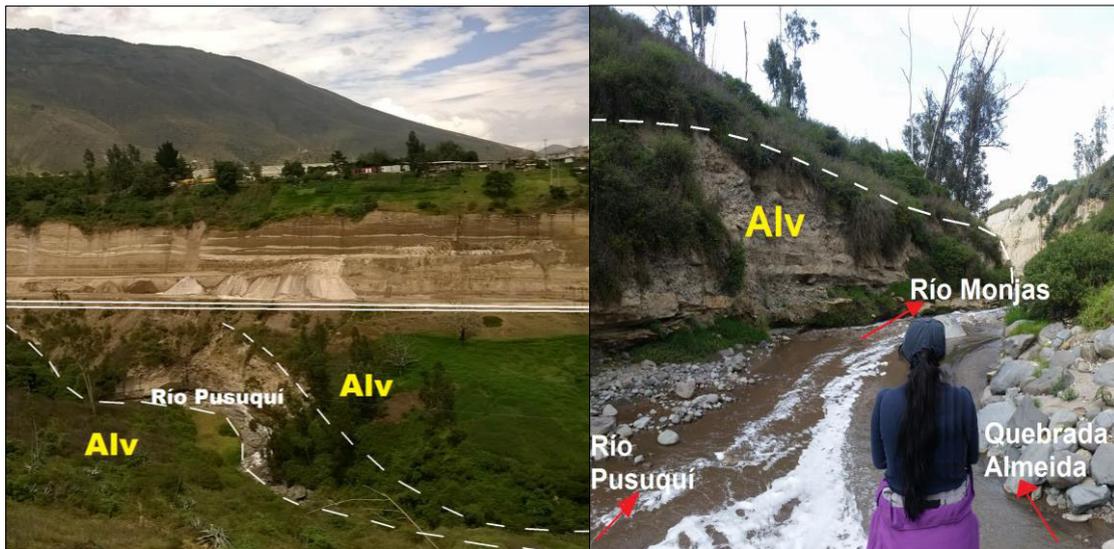
Fotografía 4.2 Flujo piroclástico dacítico, margen derecho del Río Monjas.

Depósitos Coluviales (Clv): están compuestos por bloques decimétricos, presentan una matriz limo-arenosa, medianamente consistentes (Fotografía 4.3).



Fotografía 4.3. Depósito Coluvial identificado por Ormaza, (2017).

Depósitos Aluviales Indiferenciados (Alv): estos depósitos están conformados por bloques de andesitas piroxénicas y dacitas anfibolíticas con diámetros que van desde 30cm hasta 2m (Fotografía 4.4). Son productos de conos aluviales y fujos piroclásticos provenientes de volcanes aledaños como el Rucu Pichincha y Pululahua (Procel, 2008).



Fotografía 4.4 Depósitos Aluviales.

Formación Cangahua (Cgh): está depositada periclinalmente, es un material muy heterogéneo presenta intercalaciones de tobas amarillentas colores crema y marrón, limos, arenas y diferentes niveles de caídas de pómez, cubre gran parte del área de estudio (Fotografía 4.5).



Fotografía 4.5 Afloramiento de Cangahua.

En el presente trabajo no se encontró el basamento, pero un estudio en el acuífero de San Antonio de Pichincha cercano a la zona de interés, indica que el basamento está constituido por depósitos de avalancha del Volcán Casitagua (Procel, 2008).

4.1.2. Mapa Geológico

El mapa geológico es el resultado del trabajo de mapeo y descripción de las unidades mapeadas por Merino & Ormaza, (2017 *in press*). Posteriormente el mapa geológico fue actualizado por Ormaza, (2017), en mapa actual se muestra un aumento de zonas de relleno (Figura 4.1). El mapa a escala 1:500 se presenta en el anexo 6.

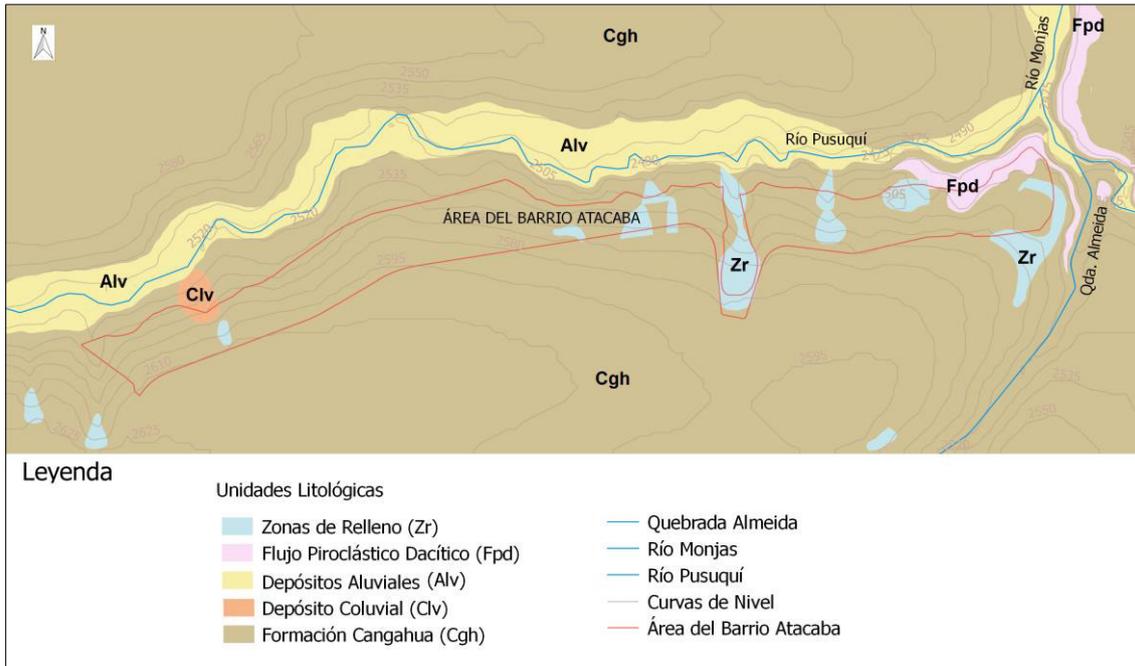


Figura 4.1 Mapa Geológico del Barrio Atacaba. Modificado de Ormaza, (2017).

4.1.3. Columnas Estratigráficas

Las columnas estratigráficas están conformadas principalmente por la Fm Cangahua, en cada columna se presentan las capas guías de tefras que se utilizaron para la correlación estratigráfica. La descripción petrográfica de las principales estas capas se realizó mediante análisis de tamaños de clastos (Figura 2.2), trituración de las muestras, separación de minerales máficos y determinación del porcentaje de minerales observados mediante microscopio petrográfico (Tabla 4.1).



Fotografía 4.6 Análisis de diámetros máximos de pómez.

Capas guías	Características generales	Espesor	Promedio (DMx)	Características y porcentaje de vesículas	Composición Mineralógica los clastos de pómez
LW001	Caída de Lapilli de pómez gris con líticos de andesita. Matriz de grano fino.	0.35 m	DMx 1,03 cm	Vesículas redondeadas, poco fibrosas. 35%	Piroxenos 12%, Biotita 6%, Magnetita 15%, Plagioclasas 8%, Cuarzo 5%
LW002	Caída de Lapilli de pómez gris oxidada se encuentra sobre ceniza blanca, tiene líticos de andesita oxidada en la parte superior de la capa. Matriz de grano medio.	1.40 m	DMx 1,8 cm	Vesículas redondeadas y alargadas, poco fibrosas. 30%	Plagioclasa 10%, Cuarzo 5%, Vidrio 5%, Biotita 10%, Piroxenos 8%, Magnetita 10% Matriz poco fibrosa
LW003	Pómez blanca (Pifo A), forma de pómez aplanada, la capa se encuentra sobre un paleosuelo. Matriz de grano fino.	0.90 m	DMx 1 cm	Vesículas, alargadas, muy fibrosas. 5%	Biotita dorada 10%, Vidrio 5%, Cuarzo 5%, Magnetita 7%.
LW004	Ceniza blanca fina, sobre coignimbrita	0.35 m	No contiene pómez		Magnetita 15%
LW005	Ceniza gris muy fina, se encuentra sobre una capa de ceniza rojiza fina.	0.80 m 0.20 m	No contiene pómez		Magnetita 5% y Biotita 8%
LW006	Ceniza a color crema limosa mezclada con pómez. Matriz de grano muy fino.	Mayor a 2 m	DMx 1,8 cm	Vesículas muy pequeñas, poco fibrosa. 20%	Biotita dorada 10%, Magnetita 5%.

Tabla 4.1 Análisis Petrográfico de las muestras.

Columna Estratigráfica 1. La litología en este afloramiento es la más estable, se identificaron las seis principales capas guías mostradas en la figura 4.2. Las capas de tefras LW001, LW002 y LW003 están conformadas de lapilli de pómez con diferentes

características. LW001, es la capa de menor espesor, presenta coloración gris y los tamaños de clastos varían de 0.5 cm a 1.8 cm. LW002 es la capa color gris de mayor espesor, una de las principales características de esta capa es que sus clastos están oxidados y sus tamaños varían de 1.1 cm a 2.5 cm. LW003 (Pifo A) es una capa de color blanco con clastos pequeños de formas aplanadas, los clastos varían de 0.3 cm y 1.7 cm. El material más fino está conformado por las capas LW004, LW005 y LW006, cenizas grises, cremas y blancas.

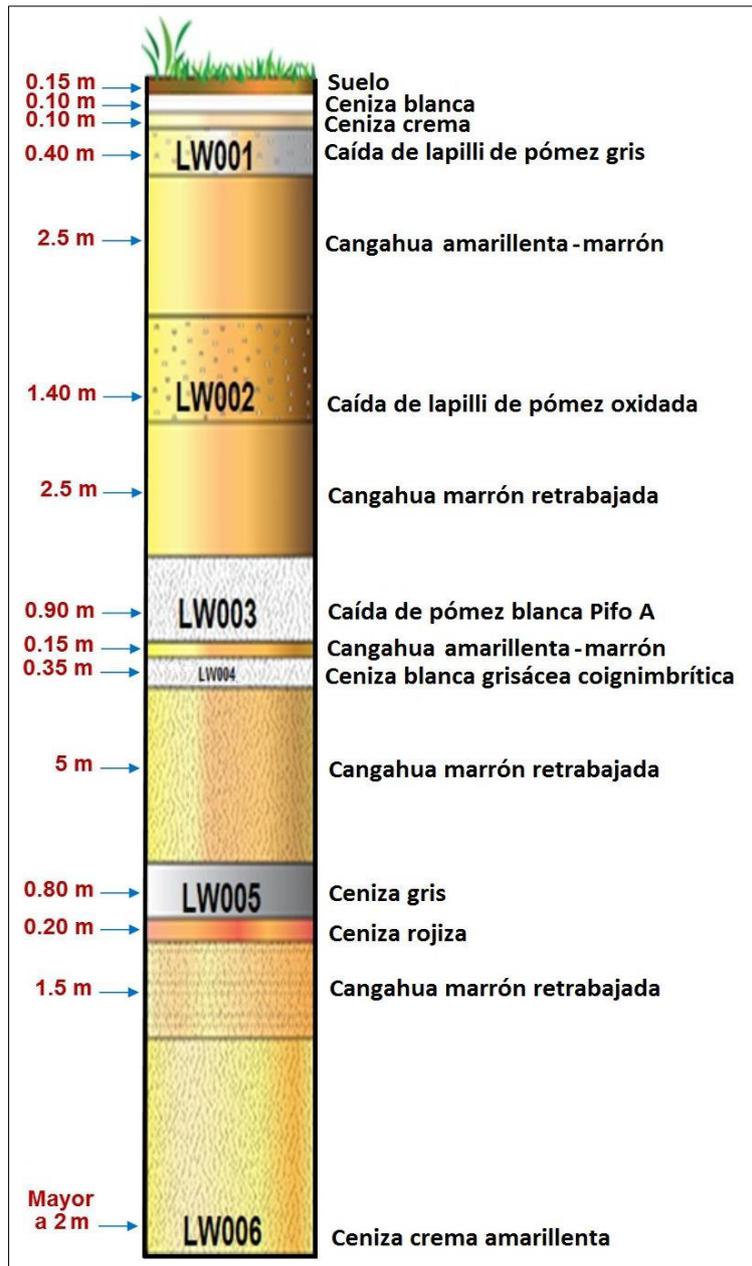


Figura 4.2 Esquema de la Columna Estratigráfica 1.

Columna Estratigráfica 2. Se identificaron las capas guías de tefra LW001 y LW002 (Figura 4.3), este afloramiento es el más estable en el área del Barrio Atacaba, los espesores de las capas guías son menores que en la columna estratigráfica 1.

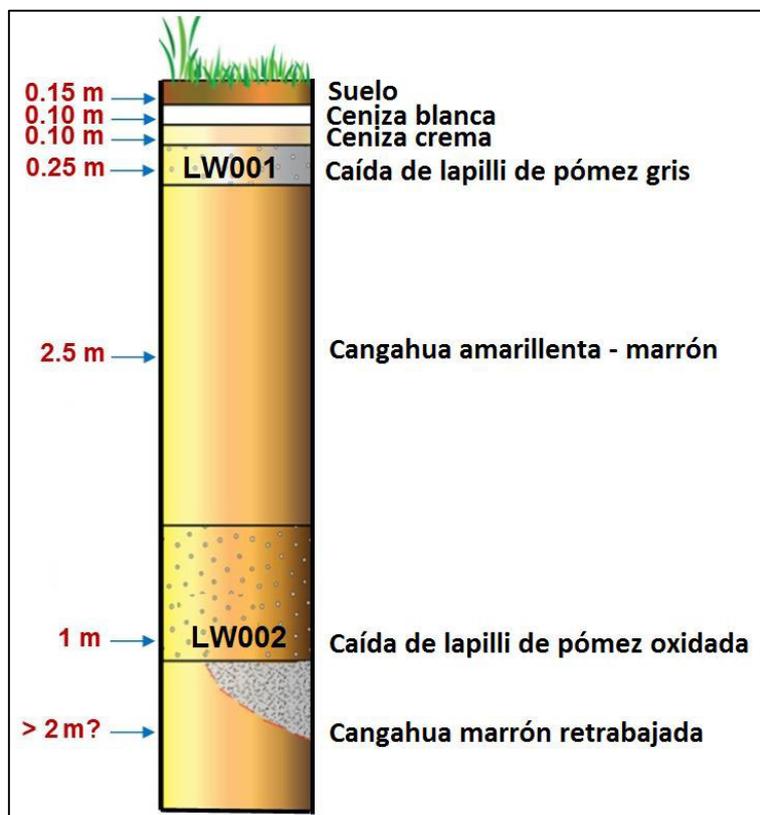


Figura 4.3 Esquema de la Columna Estratigráfica 2.

Columna Estratigráfica 3. En esta columna se identificó el flujo piroclástico dacítico del volcán Pululahua (Figura 4.4) conformado por un material de colores gris y rosáceo altamente deleznable y discordante con la Fm. Cangahua, la información de fue levantada en el margen derecho del Río Monjas, se ingresa por la nueva vía de prolongación de la Av. Simón Bolívar, en la zona de estudio el flujo puede ser observado a lo largo del margen izquierdo de la Quebrada Almeida y en la Calle de ingreso a las torres de alta tensión. Coordenadas UTM **X:** 7833318 **Y:** 9991937 **Z:** 2518 (Error: 2m)

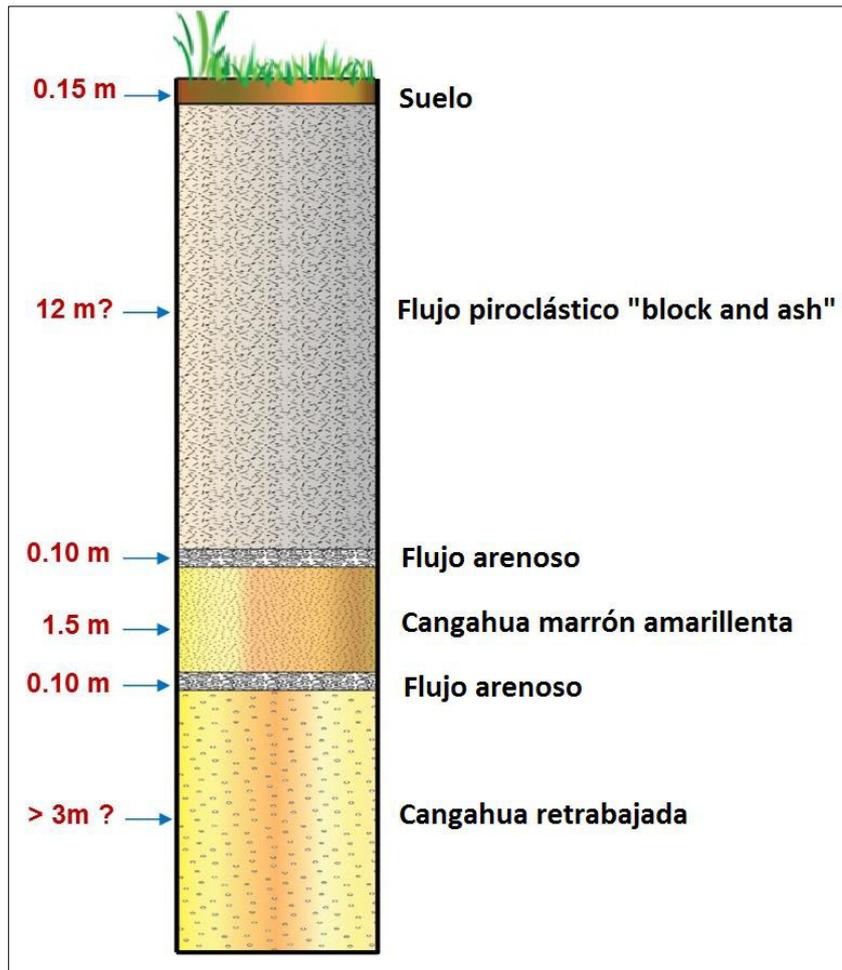


Figura 4.4 Esquema de la Columna Estratigráfica 3.

Columna Estratigráfica Generalizada. La correlación estratigráfica entre las columnas estratigráficas 1, 2 y 3 definieron la estratigrafía generalizada para el área de estudio representada en la figura 4.5. Las capas guías **LW001** caída de lapilli, **LW002** caída de lapilli gris muy oxidada y **LW003** caída de lapilli blanca (Pifo A) son materiales altamente deleznales, poco consolidados y altamente erosionados, estas capas se identifican en todos los afloramientos del área de estudio. Las capas guías **LW004** ceniza blanca grisácea coignimbrítica, **LW005** ceniza gris y **LW006** ceniza crema, están conformados por material fino, altamente erosionable y poco consolidado, en afloramientos estables son más fáciles de reconocer que en los afloramientos inestables debido a la perturbación del terreno.

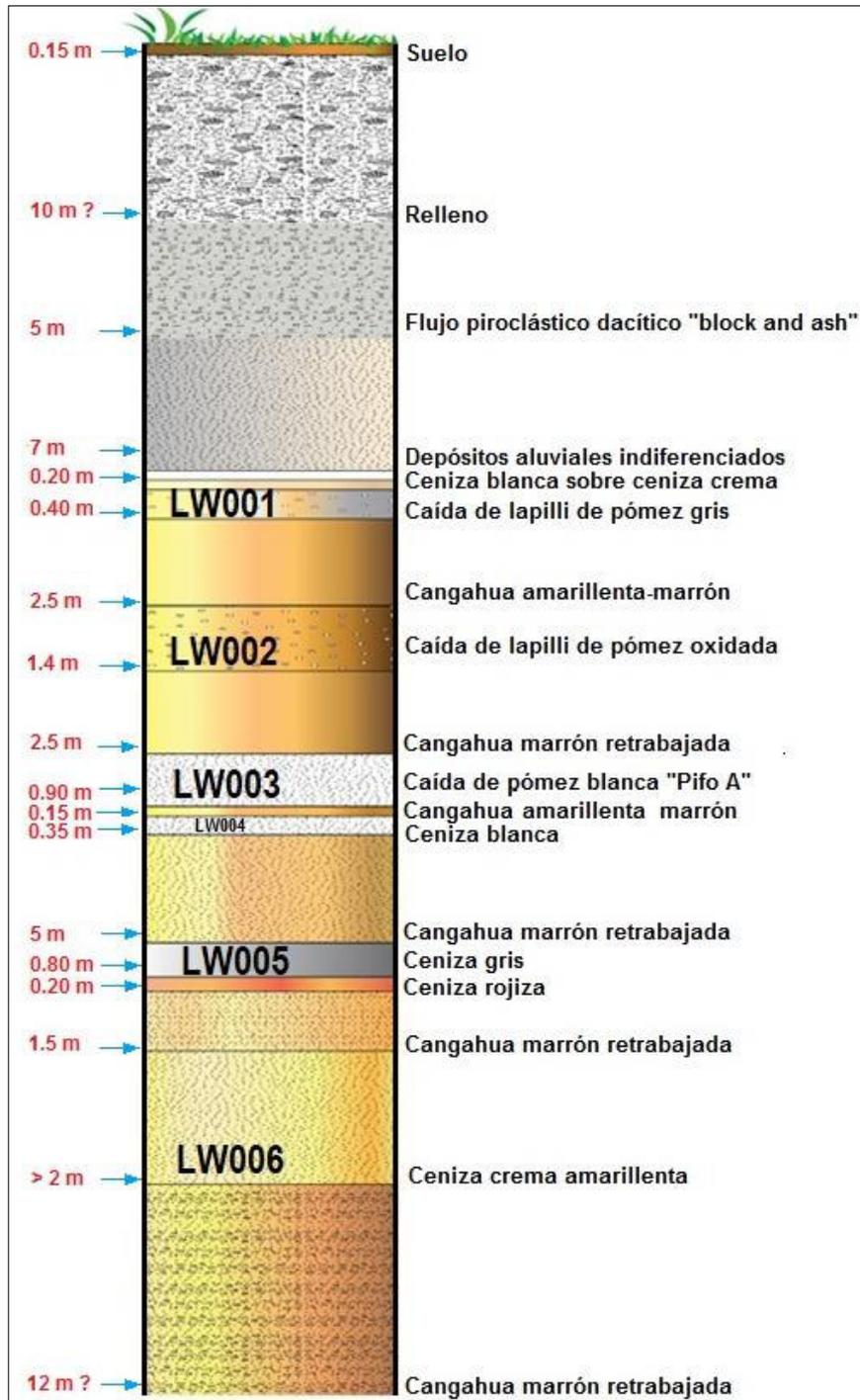


Figura 4.5 Estratigrafía Generalizada de la Zona de Estudio.

4.2. Mapas de Unidades Geológicas-Geotécnicas

A partir del procedimiento descrito en el capítulo anterior para la obtención de los mapas de unidades geológicas-geotécnicas se asignaron rangos en función de la tabla 3.3 los cuales indican el grado de estabilidad de las unidades geológicas.

4.2.1. Mapa de Cohesión

Los valores obtenidos en el Mapa de Cohesión (Figura 4.6) muestran que los depósitos aluviales (Alv), zonas de relleno (Zr) y flujo piroclástico dacítico (Fpd) se encuentran en un rango de cohesión pobre (0 -30), la zona del depósito coluvial (Clv) presenta un rango de cohesión regular (20 -30) y la unidad cangahua (Cgh) presenta el valor de cohesión más alto dentro de un rango de estabilidad variable.

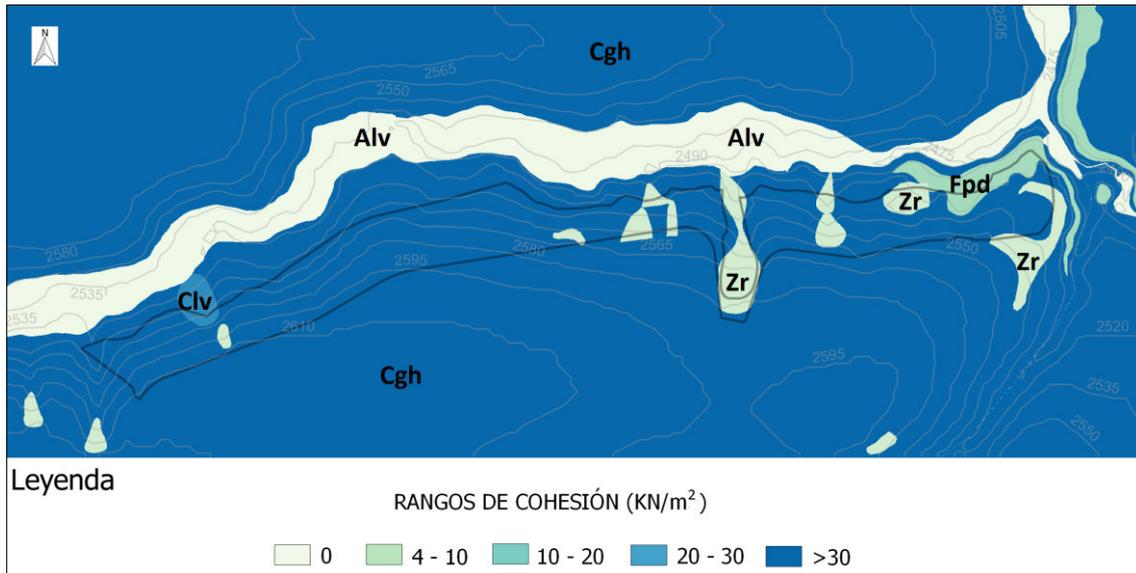


Figura 4.6 Mapa de Cohesión

4.2.2. Mapa de Fricción

Los valores obtenidos en el Mapa de Fricción (Figura 4.7) indican el grado de estabilidad del material respecto a su ángulo de fricción en grados, que indican lo siguiente: las zonas de relleno (Zr) se encuentran en un rango de estabilidad pobre ($0^{\circ} - 15^{\circ}$), el flujo piroclástico dacítico (Fpd) y la unidad cangahua (Cgh) se encuentran en un rango de estabilidad regular a variable ($20^{\circ} - 30^{\circ}$) y finalmente los depósitos aluviales (Alv) presentan un rango de estabilidad bueno ($30^{\circ} - 35^{\circ}$).

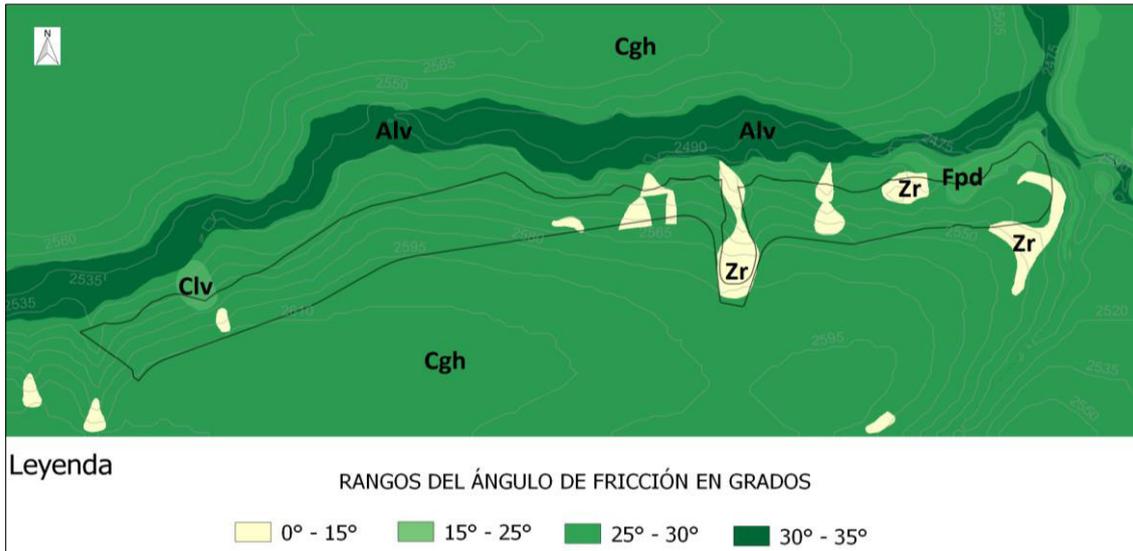


Figura 4.7 Mapa de Fricción.

4.2.3. Mapa de Peso Específico en condición seca

Los valores del Mapa de Peso específico en condición seca (Figura 4.8) muestran lo siguiente: el depósito coluvial presenta los valores más bajos en un intervalo de (16 – 17), las zonas de relleno (Zr), flujo piroclástico dacítico (Fpd) y unidad cangagua (Cgh) presentan valores intermedios en un intervalo (17 – 18), y finalmente los depósitos aluviales presentan los valores más altos en un intervalos (18 – 19).

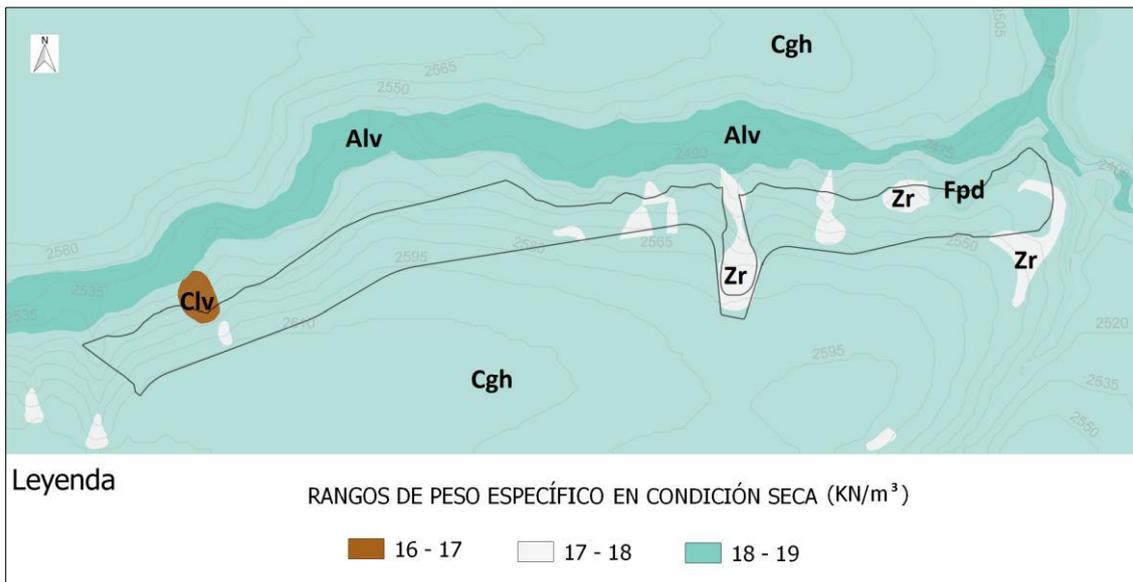


Figura 4.8 Mapa de Peso Específico en condición seca

Los Mapas Cohesión, Fricción y Pesos Específicos se muestran escala 1:5000 se presentan en el anexo 7.

4.2.4. Mapa de Peso Específico en condición saturada

El Mapa de Peso Específico en condición saturada (Figura 4.9) muestra que las litologías con mayor peso específico son las zonas de relleno (Zr), flujo piroclástico dacítico (Fpd) y depósito coluvial (Clv) en un intervalo de (21 – 24) y los depósitos aluviales (Alv) presentan el valor más bajo.

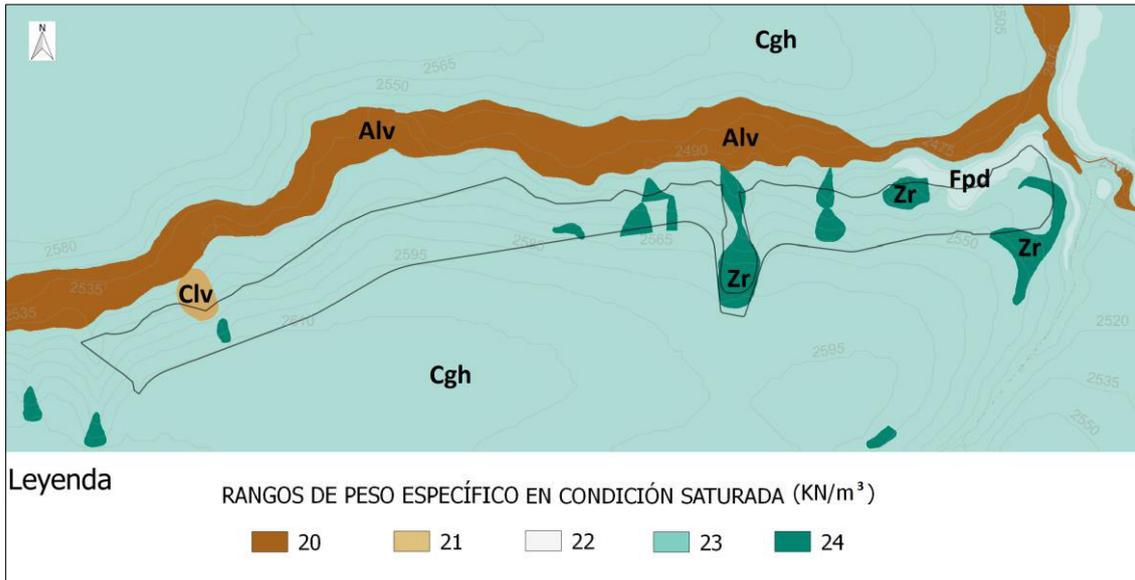


Figura 4.9 Mapa de Peso Específico en condición saturada.

4.3. Mapa de Pendientes

El Mapa de Pendientes (Figura 4.10) es resultado del uso las herramientas de geo-proceso descritas en el capítulo anterior. El mapa muestra zonas de pendientes suaves (0°-15°), moderadas (15°- 30°), pendientes fuertes (30°- 45°) y pendientes muy fuertes (45°- 60°). Las zonas más planas se encuentran hacia el norte y sur del área del Barrio Atacaba, mientras que los bordes del Río Pusuquí y Quebrada Almeida y Río Monjas se encuentran en zonas de pendientes muy fuertes. Los intervalos establecidos para clasificación de los rangos de pendientes están en función de la tabla 3.2. En el anexo 8 se presenta el Mapa de Pendientes en grados a escala 1:5000.

Intervalo	Rango Cualitativo
0° - 15°	Suaves
15° - 30°	Moderadas
30° - 45°	Fuertes
45° - 60°	Muy fuertes

Tabla 4.2 Clasificación de las pendientes según su rango cualitativo.

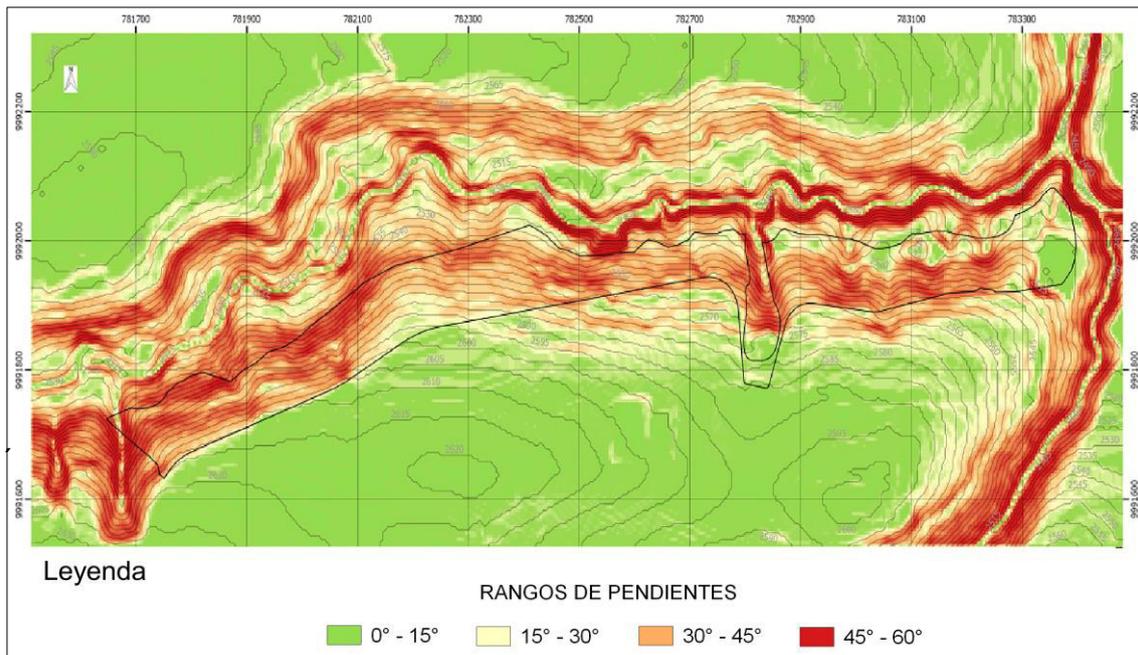


Figura 4.10 Mapa de Pendientes en el área de estudio.

4.4. Mapas de Factor de Seguridad

A partir del procedimiento descrito en el capítulo anterior, el Mapa de Factor de Seguridad del área de estudio fue obtenido en condición seca y condición saturada, los grados cualitativos de inestabilidad para los mapas se encuentra en función de la tabla 4.3. Los mapas de Factor de seguridad a escala 1:500 se presentan en el anexo 9.

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

Tabla 4.3 Grados cualitativos de inestabilidad para el FS.

4.4.1. Mapa de Factor de Seguridad en condición seca

Mediante la ecuación 3.1 descrita en el capítulo anterior se obtuvo el Mapa de FS en condición seca (Figura 4.1), el mapa muestra los siguientes resultados: las zonas de relleno representan las zonas de grado Muy Alto de inestabilidad con valores de FS muy bajos <1 los bordes de los ríos Pusuquí, Monjas y quebrada Almeida presentan un grado

de inestabilidad Alto en un intervalo de FS (1 – 1.1), las zonas norte y sur del área del Barrio Atacaba presentan grados de inestabilidad Muy bajos con valores de FS > 2.

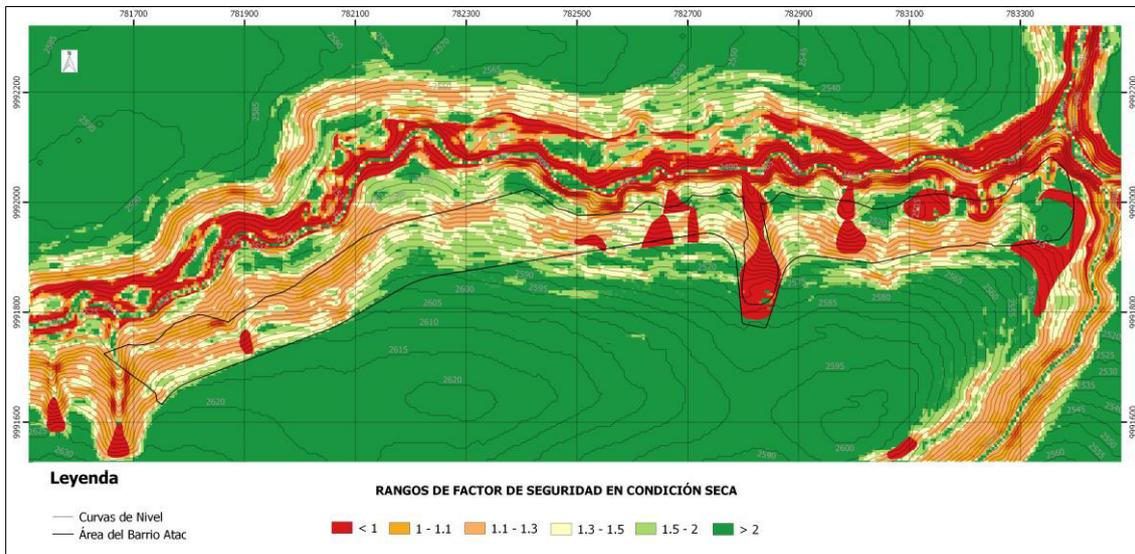


Figura 4.11 Mapa de Factor de Seguridad en condición seca.

4.4.2. Mapa de Factor de Seguridad en condición saturada

El Mapa de FS en condición saturada (Figura 4.12), muestra los siguientes resultados: las zonas de relleno (Zr), los bordes de los ríos Pusuquí, Monjas y quebrada Almeida presentan los valores más bajos de FS <1, por lo tanto su grado de inestabilidad es Muy Alto, en el área del Barrio Atacaba predominan zonas de Muy Alta y Alta inestabilidad.

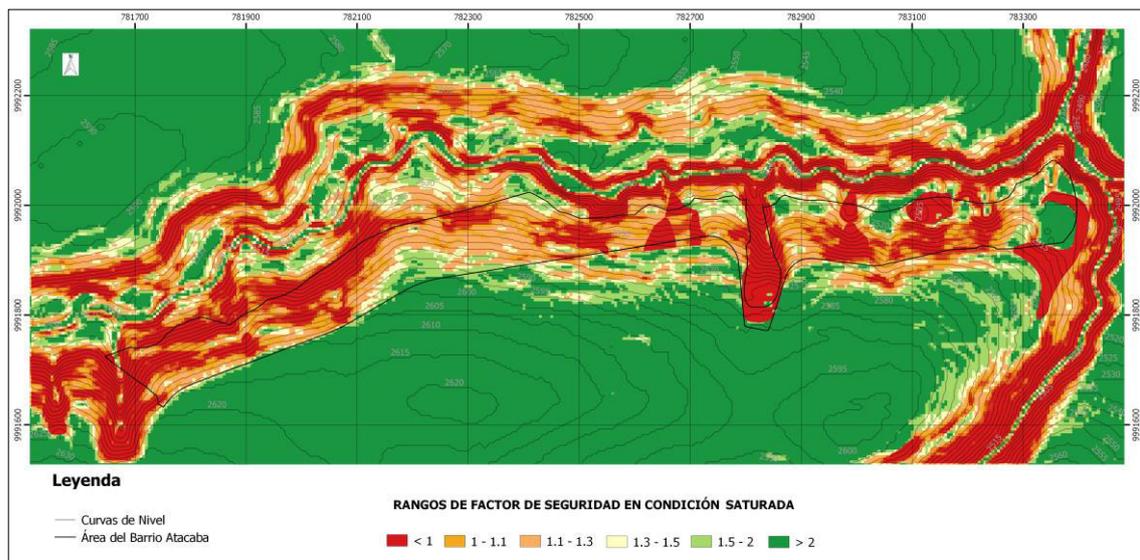


Figura 4.12 Mapa de Factor de Seguridad en condición saturada

4.5. Mapas de Aceleración Crítica

La aceleración crítica fue calculada mediante la ecuación 2.3 en la cual los factores determinantes son el FS, la pendiente y la gravedad. Los mapas de Aceleración Crítica obtenidos se muestran en función de la aceleración de la gravedad (g).

Los valores de aceleración crítica se clasificaron en seis rangos, los mismos indican que las áreas con valores más bajos de aceleración crítica presentan mayor grado de susceptibilidad a desestabilizarse y las áreas con valores más altos de aceleración crítica presentan menor susceptibilidad a desestabilizarse.

4.5.1. Mapa de Aceleración Crítica en condición seca

El Mapa de Aceleración Crítica en condición seca (Figura 4.13) muestra lo siguiente: las zonas de relleno (Z_r), los bordes de los ríos Pusuquí, Monjas y quebrada Almeida presentan valores de aceleración crítica menores a 0.2 (g) por lo tanto el grado de susceptibilidad a deslizarse es Muy Alto, mientras que hacia el sur y norte del área del Barrio Atacaba los valores de aceleración crítica son mayores a 1 (g) es decir que presentan Baja susceptibilidad a deslizarse.

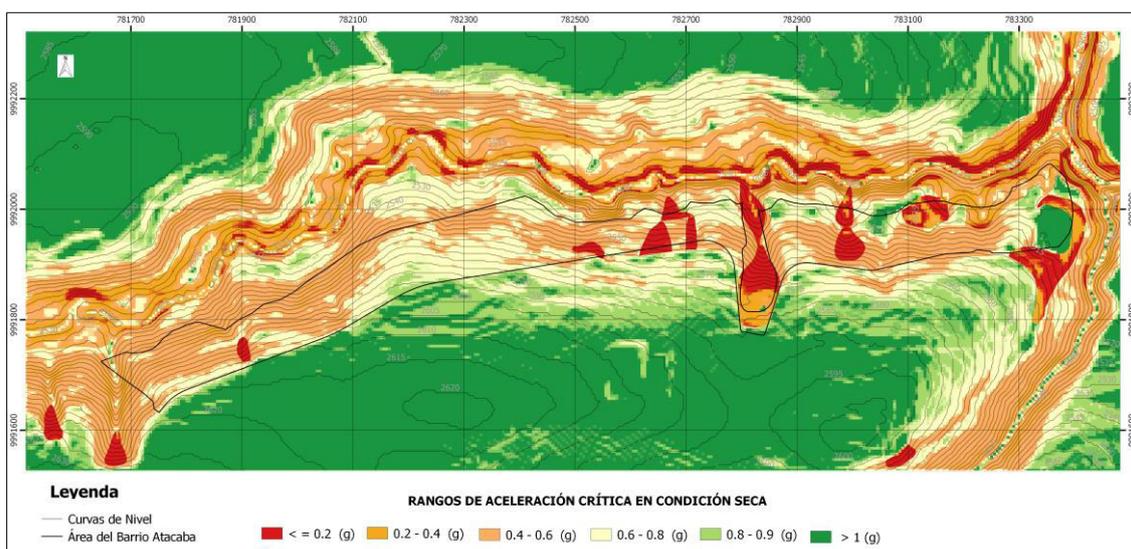


Figura 4.13 Mapa de Aceleración Crítica en condición seca.

4.5.2. Mapa de Aceleración Crítica en condición saturada

El Mapa de Aceleración crítica en condición saturada (Figura 4.14) muestra que los valores de aceleración menor a 0.2 (g) en zonas de relleno (Z_r), bordes de los ríos Pusuquí, Monjas y quebrada Almeida, indican que son zonas de Muy Alta

susceptibilidad a deslizarse. Las zonas con aceleración crítica menor que 0.4 (g) están conformadas por el área del Barrio Atacaba y frente Atacaba, por lo tanto presentan Alta susceptibilidad a desestabilizarse. Las zonas de Baja susceptibilidad a deslizarse son los bordes norte y sur del área de estudio, cuyos valores de aceleración crítica son mayores a 1 (g).

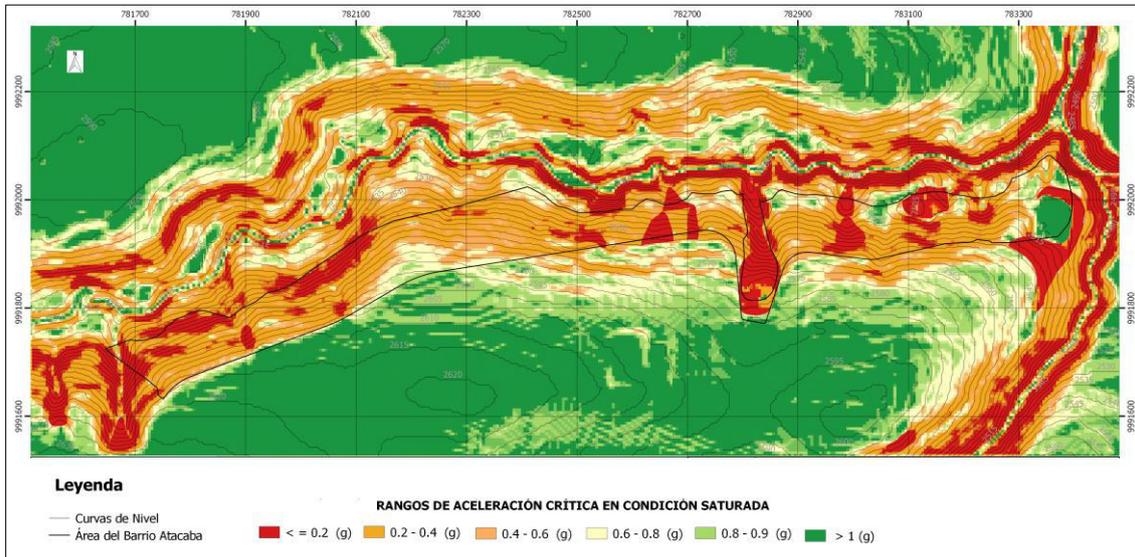


Figura 4.14 Mapa de Aceleración Crítica en Condición Saturada.

Los mapas de Aceleraciones Críticas a escala 1:5000 se encuentran en el anexo 10.

4.6. Valores de Intensidad de Arias

Los resultados de Intensidad de Arias obtenidos en la simulación de los Sismos Coalinga (1983) y Loma Prieta (1989) son los siguientes: para el sismo Coalinga (1983) de Mw 5.7 es $I_a = 0.10370$ m/s (Tabla 4.4) y para el Sismo Loma Prieta (1989) de Mw 6.9 es $I_a = 1.3018$ (Tabla 4.5).

Parameter	Corrected Accelerogram
Arias Intensity: (m/sec)	0,10370

Tabla 4.4 Valor de Intensidad de Arias. Sismo Coalinga, (1983).

Parameter	Corrected Accelerogram
Arias Intensity: (m/sec)	1,30018

Tabla 4.5 Valor de Intensidad de Arias. Sismo Loma Prieta, (1989).

4.7. Mapas de Desplazamientos de Newmark

Los Mapas de Desplazamientos de Newmark son producto de correlación entre aceleración crítica e intensidad de Arias, mediante la formulación logarítmica presentada en el capítulo anterior y el grado cualitativo de amenaza o peligro mediante la tabla 4.6.

Grado de peligro	D_{II} (cm)
Muy Alto	> 5
Alto	5 - 2,5
Medio	2,5 - 1,5
Moderado	1,5 - 1
Bajo	1 - 0,5
Muy Bajo	< 0,5

Tabla 4.6 Grados cualitativos de peligro para los Desplazamientos de Newmark.

4.7.1. Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición seca Sismo Coalinga (1983).

El Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición seca (Figura 4.15), presenta la zonificación de la amenaza para un escenario sísmico de magnitud M_w 5.7, mediante seis rangos de peligro: en los bordes norte y sur del área de estudio el grado de peligro es Muy Bajo (<0.5) cm, los bordes de los ríos Pusuquí, Monjas y quebrada Almeida presentan grados de peligro Alto (2.5 – 5) cm y Muy Alto (>5) cm.

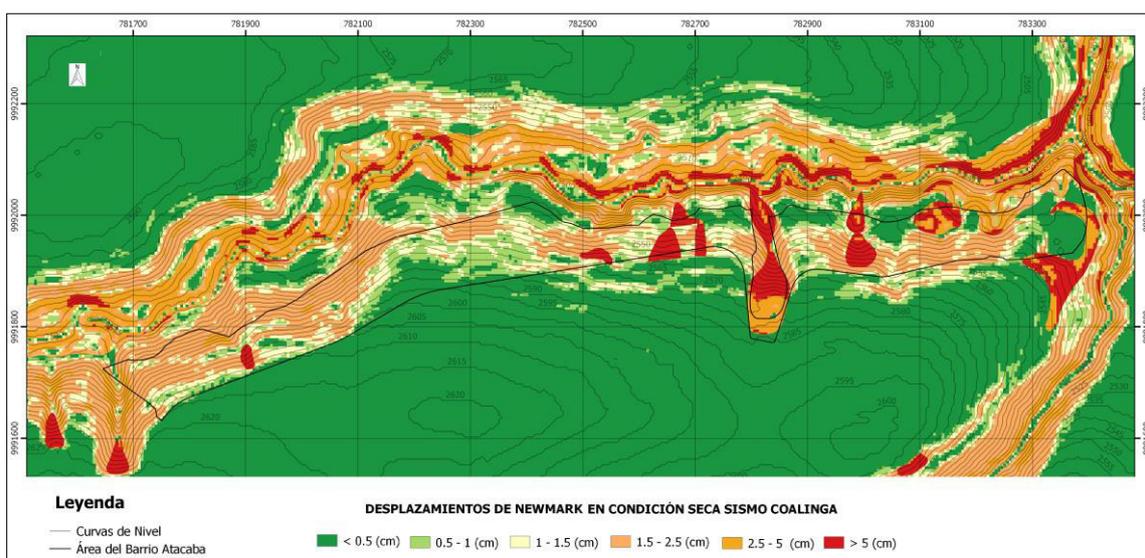


Figura 4.15 Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición seca Sismo Coalinga (1983).

4.7.2. Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada Sismo Coalinga (1983)

El Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada (Figura 4.16), presenta la zonificación de la amenaza para un escenario de lluvias y un evento sísmico de magnitud Mw 5.7, mediante seis rangos de peligro: los bordes norte y sur del área de estudio presentan un grado de peligro de Muy Bajo (< 0.5) cm a Moderado (0.5 – 1) cm, las zonas de peligro Muy Alto (> 5) cm se encuentran en los bordes de los ríos Pusuquí, Monjas, quebrada Almeida y zonas de relleno (Zr).

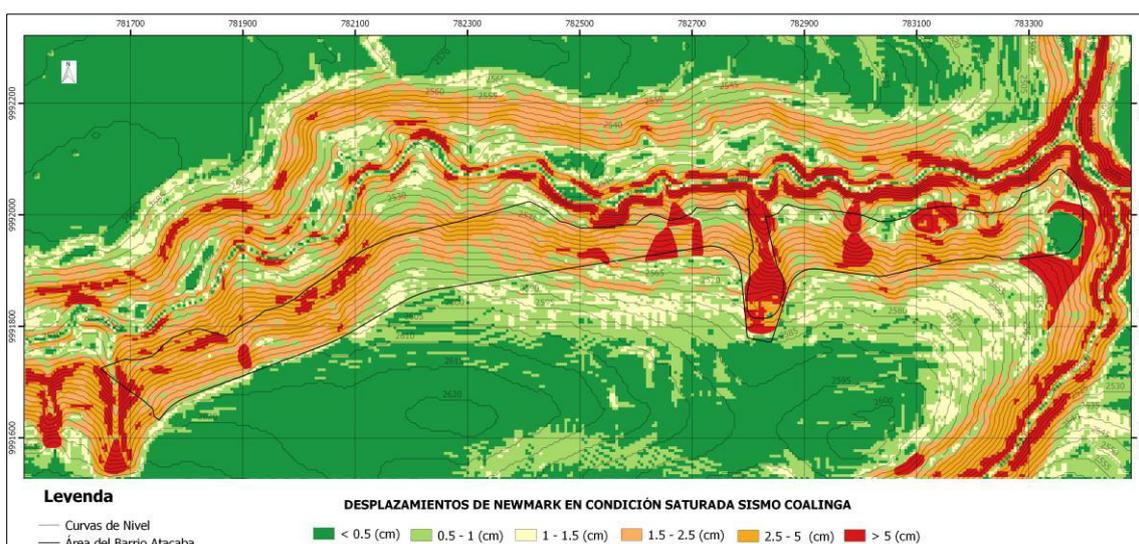


Figura 4.16 Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada Sismo Coalinga (1983).

Los Mapas de Desplazamientos de Newmark en condición seca y saturada para el Sismo de Coalinga (1983) a escala 1:5000 se encuentran en el anexo 11.

4.7.3. Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición seca Sismo Loma Prieta (1989)

El Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición seca (Figura 4.17), presenta la zonificación de la amenaza en un escenario sísmico de magnitud Mw 6 mediante seis rangos de peligro: en la parte norte y sur del área del Barrio Atacaba predominan grados de peligro Moderado (1.3 – 1.5) cm y peligro medio (1.5 – 2.5) cm, mientras que las zonas de peligro Alto (2.5 – 5) y Muy Alto (> 5) están conformadas por los bordes de los ríos Pusuquí, Monjas, quebrada Almeida y las zonas de relleno (Zr).

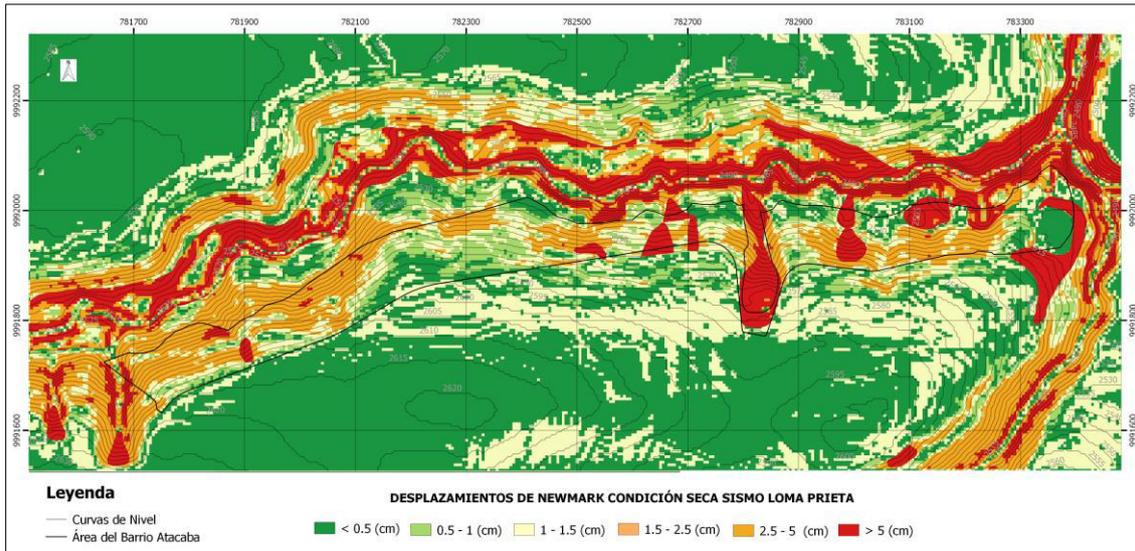


Figura 4.17 Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada Sismo Loma Prieta (1989)

4.7.4. Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada Sismo Loma Prieta (1989)

El Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada (Figura 4.18), presenta la zonificación de la amenaza en escenario de lluvias y un evento sísmico de magnitud Mw 6.9 mediante cuatro rangos de peligro: predominan las zonas de peligro Muy Alto principalmente en bordes de los ríos Pusuquí, Monjas y quebrada Almeida, las zonas de menor peligro se encuentran hacia el norte y sur del Barrio Atacaba.

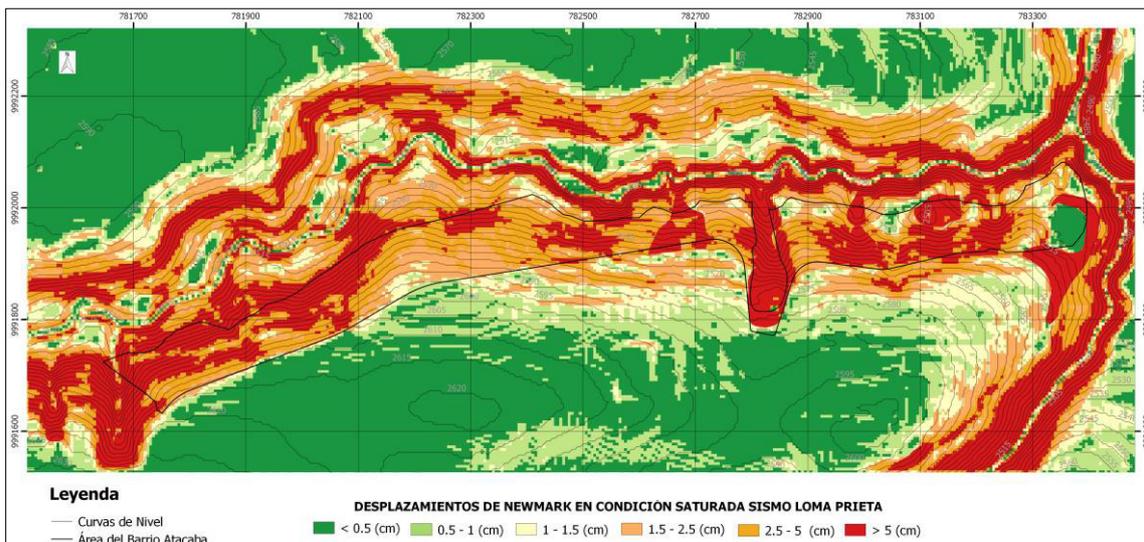


Figura 4.18 Mapa de Desplazamientos de Newmark en condición saturada Sismo Loma Prieta (1989).

Los Mapas de Desplazamientos de Newmark en condición seca y saturada para el Sismo de Loma Prieta (1989) a escala 1:5000 se presentan en el anexo 12.

4.8. Mapa de Inventario de Movimientos en Masa

En el área de estudio se identificó un total de 83 FRM: 26 son deslizamientos de tipo rotacional, 21 tipo caída de bloques y 32 de tipo flujo (Ormaza, 2017) (Figura 4.19). El mapa a escala 1:5000 se presenta en el anexo 13.

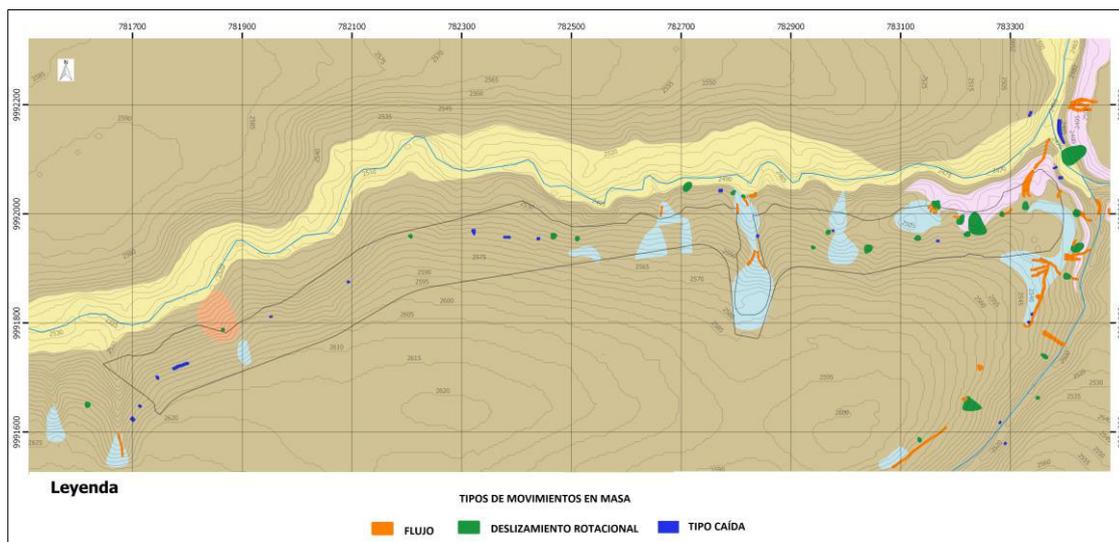


Figura 4.19 Mapa de Inventario de Movimientos en Masa. Modificado de Ormaza, (2017).

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La Metodología de Newmark (1965), permite la zonificación espacial de la amenaza por FRM determinando el comportamiento de una ladera en función de los desplazamientos inerciales del terreno, producidos por la intervención de factores desencadenantes o disparadores como lluvias y sismos. La metodología integra condiciones de saturación del suelo para un escenario de lluvias, mientras que para un escenario sísmico integra parámetros disparadores de movimiento del suelo. Al aplicar la metodología a escala regional es preferible emplear ecuaciones regresión del Desplazamiento de Newmark (D_N) utilizando las aceleraciones pico (PGA, *Peak Ground Acceleration*) para diferentes periodos de retorno (Salazar, 2012). Sin embargo, estudios como los de Hsieh & Lee, (2011), calibran la metodología para el cálculo de los desplazamientos integrando en la aceleración crítica calculada con el modelo pseudo-estático y la Intensidad de Arias, (1960), la cual reemplaza en una sola componente las aceleraciones pico para diferentes periodos de retorno.

Las metodologías aplicadas en la zonificación de la amenaza dependen de la escala en la que se pretende trabajar. La Metodología de Newmark en general ha sido aplicada en estudios regionales (Chousianitis et al., 2016). Un estudio comparativo de la Metodología de Newmark a escala local y regional en el caso de desprendimiento de la Paca en Murcia España realizado por Rodríguez et al., (2009), muestra que al aplicar esta metodología a escala local la información de los desplazamientos es más detallada, mientras que los desplazamientos obtenidos a escala regional son casi nulos, por lo tanto los resultados a escala regional pueden ser insatisfactorios.

La Metodología de Newmark toma como base principal para el análisis pseudo-estático, el Factor de Seguridad (FS), este factor se define en función de las propiedades geotécnicas y topográficas que constituyen los factores intrínsecos de las laderas.

5.1. Análisis del Factor de Seguridad (FS)

El FS es relación entre los esfuerzos de resistencia al corte y los esfuerzos al cortante. La integración de factores intrínsecos de la ladera como la geotecnia y topografía, permiten el cálculo del FS. Los esfuerzos de resistencia al corte que intervienen en el FS dependen de la calidad de la cohesión y el ángulo de fricción, mientras que los esfuerzos al cortante dependen del peso específico en condición seca, el peso

específico en condición saturada y las pendientes (Figura 5.1), es decir que la variación de estos esfuerzos influye en la obtención de los valores del FS.

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

COHESIÓN
ÁNGULO DE FRICCIÓN
⇒ ESFUERZOS DE RESISTENCIA AL CORTE

PESO ESPECÍFICO
PENDIENTE
⇒ ESFUERZOS AL CORTANTE

Figura 5.1 Esquema de los esfuerzos que intervienen en el FS.

A continuación un análisis de la variación de los esfuerzos que intervienen en el cálculo del FS.

Esfuerzos de Resistencia al Corte: la calidad y resistencia de los suelos pueden ser medidas en función de sus parámetros de cohesión y ángulo de fricción, estos son los principales esfuerzos de resistencia al corte que condicionan la estabilidad de un terreno. Si los esfuerzos de resistencia aumentan o son de buena calidad, el valor del FS también aumenta. A continuación se presenta una comparación los valores de cohesión (Tabla 5.1) y ángulo de fricción (Tabla 5.2) entre las unidades litológicas del área de estudio, indicando su grado de estabilidad de acuerdo a la clasificación de Miles & Keefer, (2001). La comparación de los valores en general indica que las litologías tienen un grado de estabilidad muy pobre.

Unidad Litológica	Cohesión (KN/m ²)	Grado de estabilidad
Depósitos Aluviales	0	Muy Pobre
Zonas de Relleno	4,9	Pobre
Flujo Piroclástico "block and ash"	11,76	Pobre
Depósitos Coluviales	30,38	Regular
Unidad Cangahua	36,26	Regular

Tabla 5.1 Comparación de los valores de cohesión entre unidades litológicas

Unidad Litológica	Ángulo de Fricción (°)	Grado de estabilidad
Zonas de Relleno	3,28	Pobre
Unidad Cangahua	23	Pobre
Coluviales	25	Pobre
Flujo Piroclástico "block and ash"	26	Pobre
Aluviales	35	Regular

Tabla 5.2 Comparación de los valores ángulos de fricción entre unidades litológicas.

Esfuerzos al cortante: los principales esfuerzos al cortante que intervienen el valor del FS son el peso específico en condición seca o saturada y las pendientes. El peso específico en condición seca depende de la densidad natural de cada unidad litológica, pero varía en presencia de lluvias y aumenta de acuerdo al porcentaje de saturación de los suelos. Mientras más alto es el grado de saturación en un suelo menor es su resistencia al corte. A continuación se muestran la comparación entre el peso específico en condición seca, en condición saturada y el porcentaje de saturación (Tabla 5.3).

Unidad Litológica	Peso específico en condición seca (KN/m ³)	Porcentaje de saturación %	Peso específico en condición saturada (KN/m ³)
Depósitos Aluviales	18.62	10,53	20,58
Depósitos Coluviales	16.66	27	21,16
Flujo Piroclástico "block and ash"	18.22	26	22,34
Unidad Cangahua	18.13	24,31	22,54
Zonas de Relleno	17.64	34	23,63

Tabla 5.3 Comparación del peso específico en condición seca y saturada de acuerdo a su porcentaje de saturación.

La pendiente representa el esfuerzo al cortante, si incrementa el valor de la pendiente la componente en x del peso del suelo también aumenta, de tal forma que en zonas de pendiente fuerte el FS disminuye. Los rangos de pendientes en los lotes que predominan en el área del Barrio Atacaba se encuentre en el intervalo de (45°– 60°) (Figura 5.2), este rango de pendientes muestra una mayor predisposición a generar inestabilidades.

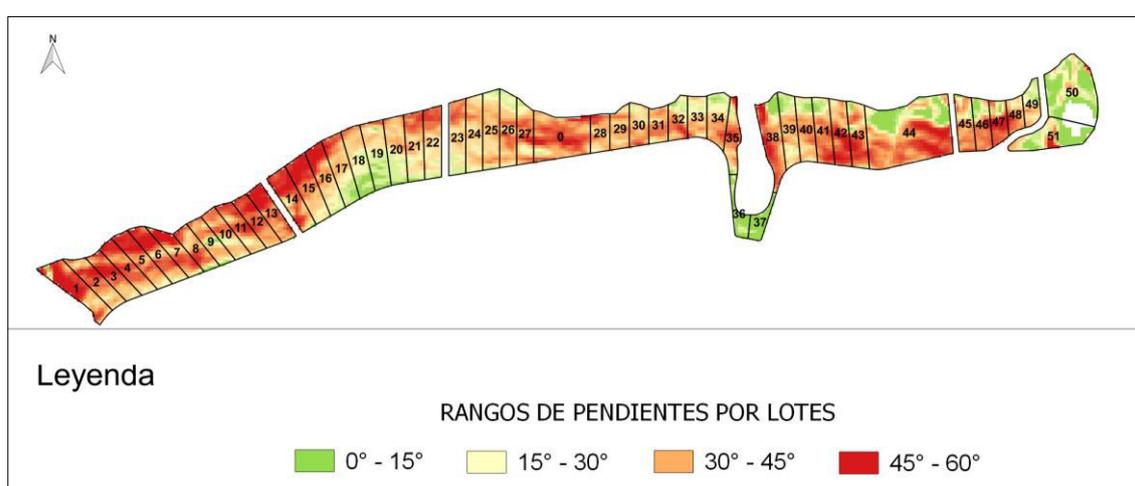


Figura 5.2 Mapa de Pendientes por lotes en el área del Barrio Atacaba.

Factor de Seguridad: los valores del FS varían en función a los esfuerzos analizados anteriormente. A continuación una comparación de los valores de FS (Tabla 5.4), muestra que los FS en condición seca son más altos que los FS en condición saturada.

	FS EN CONDICIÓN SECA	FS EN CONDICIÓN SATURADA
VALOR MÁXIMO	0.27	0.22
VALOR MÍNIMO	15.02	13.16

Tabla 5.4 Comparación de los valores máximos y mínimos del FS.

En la figura 5.3, se marca las áreas de incremento en zonas de inestabilidad. En el Mapa de FS en condición saturada las zonas de Muy Alta inestabilidad incrementan en 20%, las zona de inestabilidad Alta aumentan en un 5% y las zonas de inestabilidad Moderada disminuyen en un 15%, en comparación al Mapa de FS en condición seca.

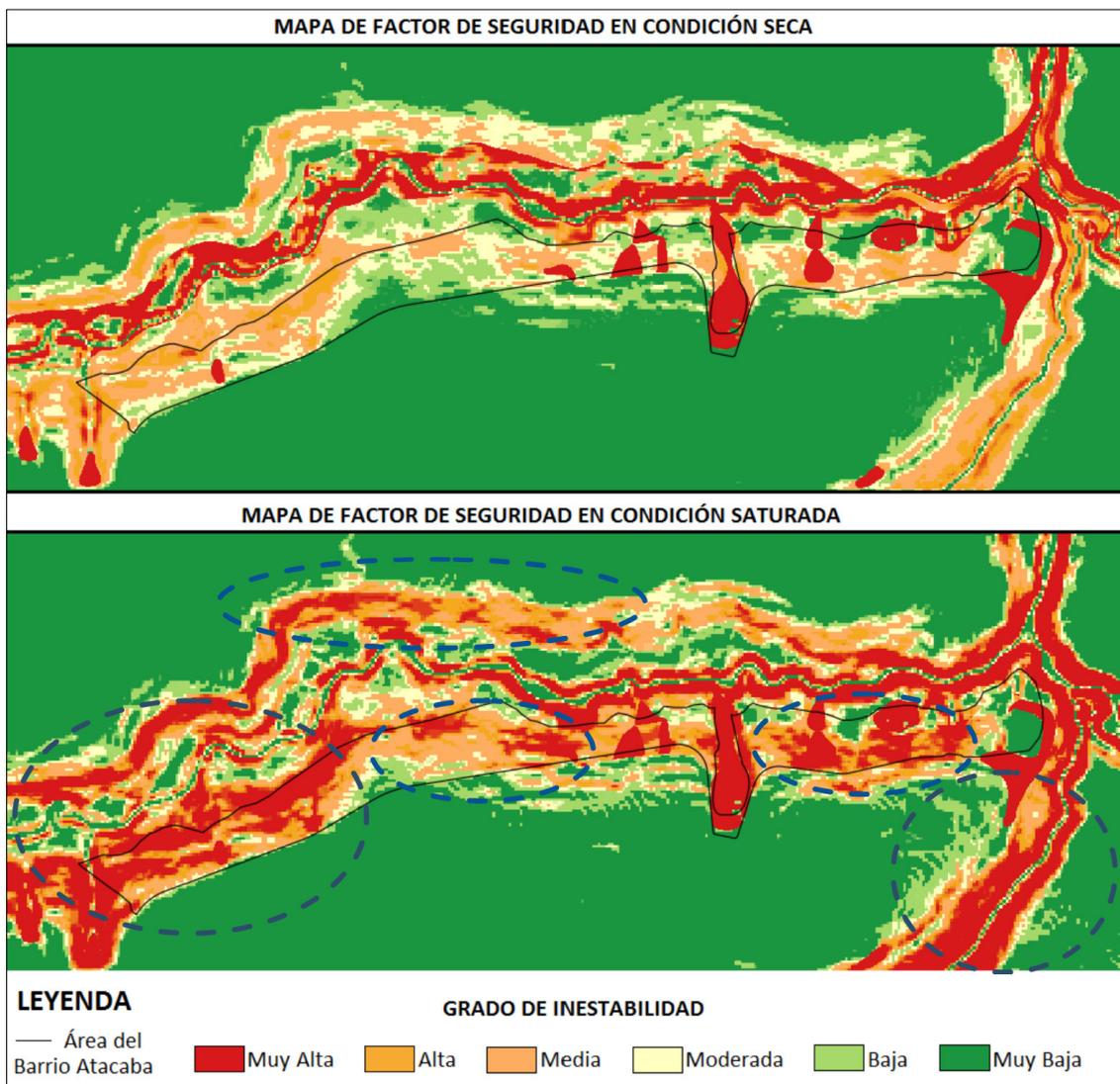


Figura 5.3 Esquema comparativo de los mapas de FS en condición seca y saturada.

De acuerdo a la comparación entre los mapas de FS, en el escenario más crítico en condición saturada los lotes más afectados que presentan FS menores a 1 son: desde el lote número 1 al 15, del lote 21 al 32, del lote 35 al 48 y el lote 59 (Figura 5.4)

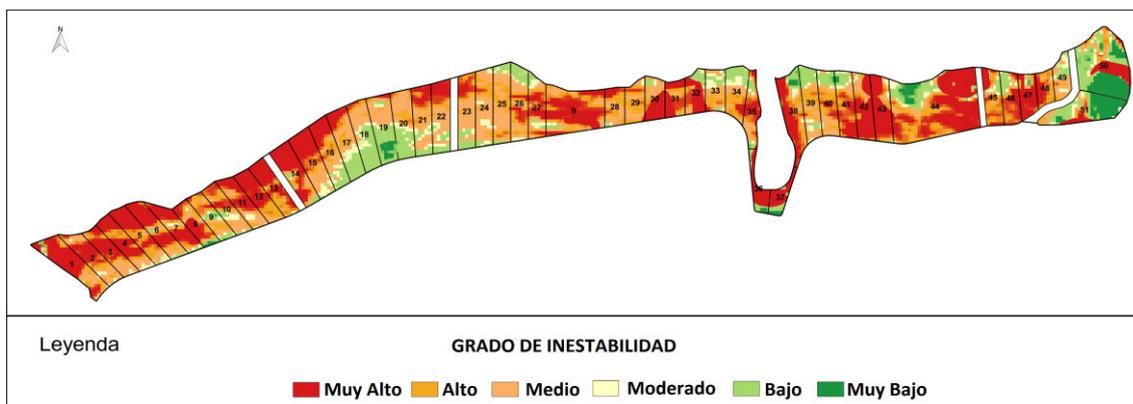


Figura 5.4 Lotes de terreno que presentan los valores de FS más bajos.

5.2. Análisis de la Aceleración Crítica

La aceleración crítica es la mínima aceleración que requiere el suelo para la máxima resistencia del talud deslizante ($FS=1$), por lo tanto el Mapa de Aceleraciones Críticas representa una susceptibilidad a deslizamientos por FRM.

En el cálculo de la aceleración crítica se obtuvieron valores negativos, debido a que hay valores de FS menores a 1, los valores de aceleración negativa representan zonas más propensas a deslizarse, mientras que las zonas con mayor aceleración presentan menor susceptibilidad a deslizarse. Debido a que el modelo numérico no permite valores negativos, los valores negativos fueron reemplazados por el valor de cero, mediante la herramienta de geo-procesos. Al realizar este cambio se obtienen los valores de aceleración en un intervalo de 0 a 1 (g).

A continuación en la figura 5.5, se marcan áreas de incremento en zonas de Muy Alta susceptibilidad. En el Mapa de Aceleración Crítica en condición saturada, las zonas de Muy Alta inestabilidad incrementan en 50% en relación al Mapa de Aceleración Crítica en condición seca.

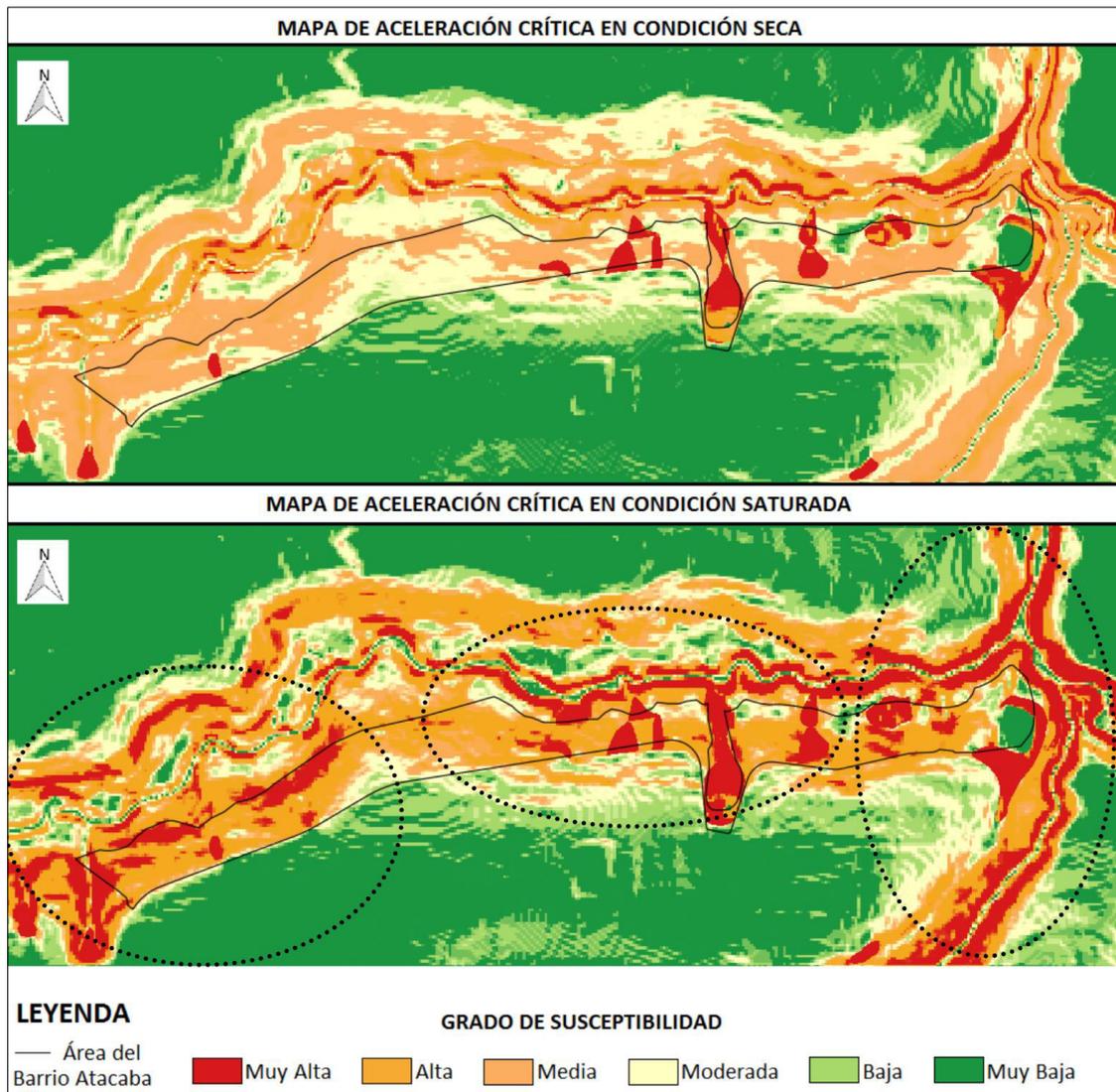


Figura 5.5 Esquema comparativo de los Mapas de Aceleraciones Críticas en condición seca y saturada.

A nivel de país no se cuenta con mapas de aceleraciones críticas, de tal forma que no se pueden comparar los valores de esta aceleración. Sin embargo en términos de aceleración sísmica esperada, de acuerdo al Mapa de máximas aceleraciones sísmicas NEC, (2015), en el DMQ se espera una aceleración de 0.4 en proporción de (g), en correlación a los Mapas de Aceleración Crítica indicaría que las zonas más susceptibles a deslizarse son aquellas con valores menores a 0,4 (g) que muestran los tonos rojo y naranja.

5.3. Análisis de la Intensidad de Arias

El análisis probabilístico de la intensidad de Arias simplifica el cálculo de los Desplazamientos de Newmark, debido a que reemplaza en un valor único la aceleración de respuesta para los diferentes periodos de retorno, siendo esta velocidad un parámetro disparador o detonante de los eventos sísmicos. Los valores de intensidad de Arias obtenidos representan la energía disipada para dos posibles escenarios sísmicos esperados en la Ciudad de Quito; Sismo Coalinga (1983) de magnitud Mw 5.7 e intensidad de Arias 0.10370 m/s y Sismo Loma Prieta (1988) de magnitud Mw 6.9 e intensidad de Arias 1.30018 m/s

Un evento similar al Sismo de Coalinga (1983), es el sismo del 12 de Agosto del 2014 de magnitud Mw 5.1, epicentro a 2 km de Calderón y Pomasqui, originado en el Sistema de Fallas de Quito, causó daños en viviendas, deslave de taludes, cuatro fallecidos, nubes de polvo en toda la ciudad y se cerraron vías por varios días, seguido a este sismo hubo una réplica del sismo el 16 de Agosto del 2017 en la Vía Oyacoto – Guayllabamba con una magnitud de Mw de 4.7, que generó deslizamientos de taludes y reportó 12 heridos (Cañizares, 2017). Los registros de aceleraciones de las diferentes estaciones registraron los valores de aceleraciones para ese evento sísmico (Figura 5.5) Es decir que si comparamos el sismo de Mw 5.1 con el Sismo Coalinga (1983) el escenario de daños sería más crítico.

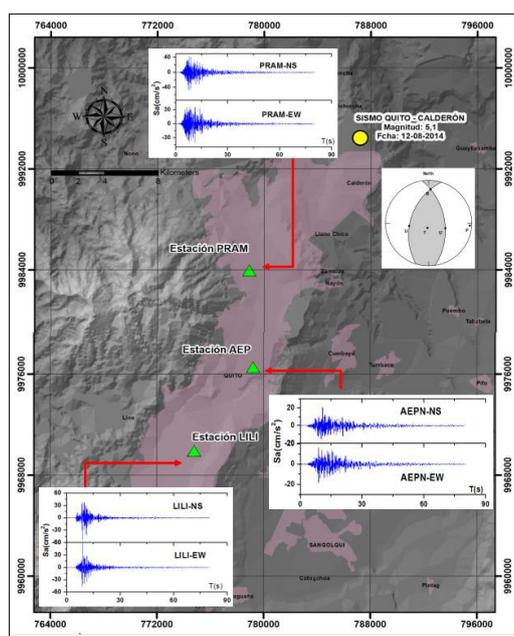


Figura 5.6 Registro de las aceleraciones sísmicas y el mecanismo de fallamiento para el Sismo Calderón 12 de agosto del 2016. Fuente: Cañizares, (2017),

5.4. Análisis de los Desplazamientos de Newmark

Mapas de Desplazamientos de Newmark Sismo Coalinga (1983): Los D_N en la figura 5.7.a varían en un intervalo de (0.1 - 5.16) cm, mientras en la figura 5.7.b los D_N varían de (0.1 – 9) cm, es decir que hay un incremento de peligro. Es decir que existe un incremento del 30% en zonas de Muy Alto peligro en un escenario saturado (Figura 5.7.b).

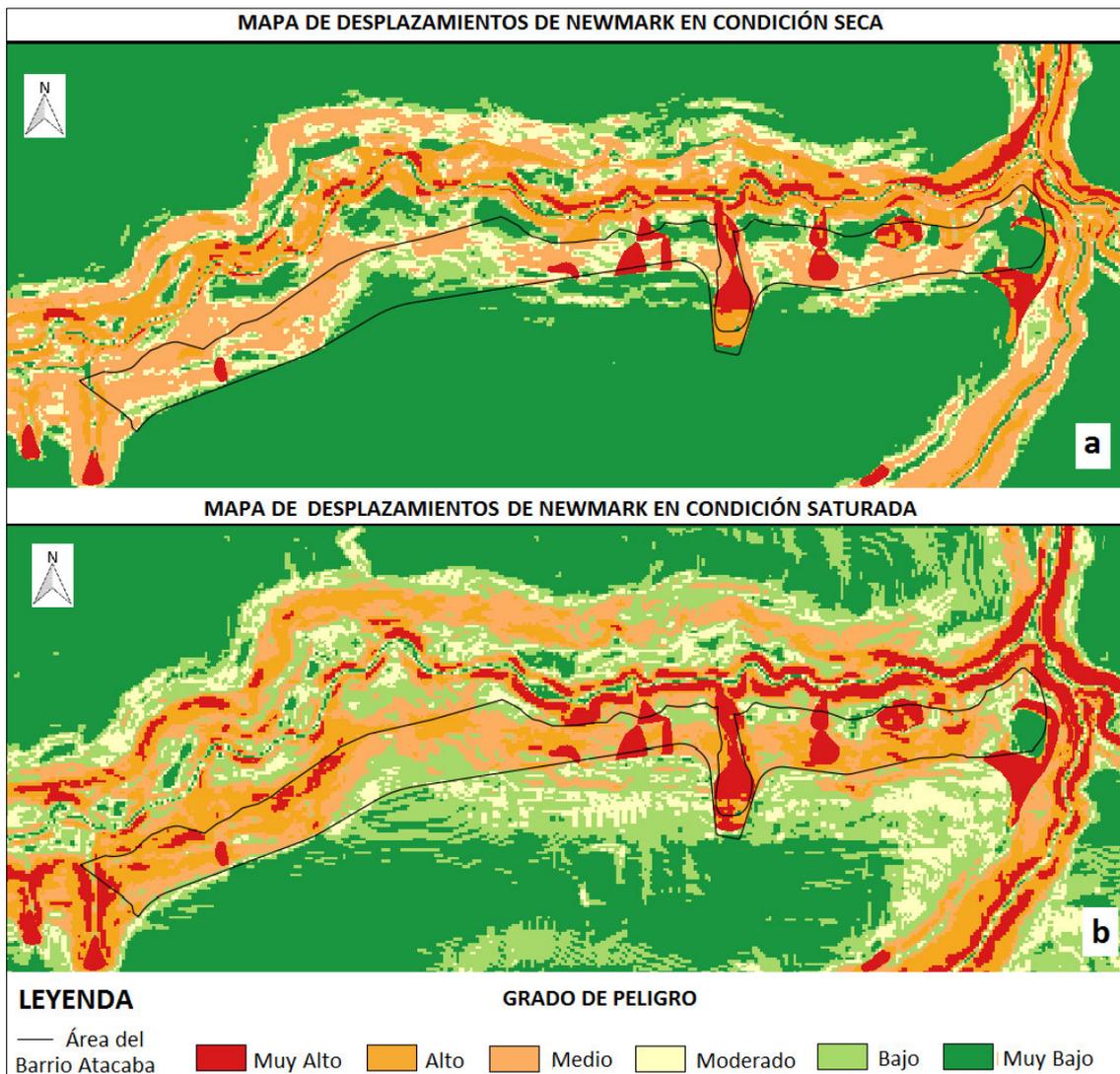


Figura 5.7 Esquema comparativo de los D_N , Sismo Coalinga (1983).

De acuerdo a la comparación entre los mapas de desplazamientos (Figura 5.7) el escenario más crítico con presencia de lluvias y sismos sería el Mapa 5.7.b, en el cual los lotes más afectados en el Barrio Atacaba son: del 1 al 17 y del 22 al 51, la zonificación de la amenaza por lote indica que el 80% de los lotes se encuentra en una zona de Alto peligro y el 31% se encuentran en zonas de Muy Alto peligro.

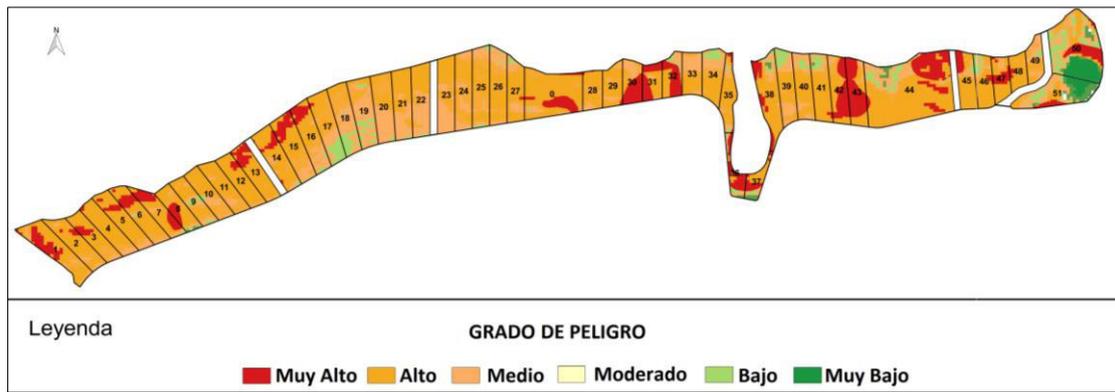


Figura 5.8 Mapa de peligro por lotes en condición saturada Sismo Coalinga (1983).

Mapas de Desplazamientos de Newmark Loma Prieta (1989): en la figura 5.9.a los D_N varían en (0.126 – 4) cm, y en la figura 5.9.b los D_N varían en (0.4 – 12) cm. Las zonas de Muy Alto peligro incrementan el 45% en un escenario saturado (Figura 5.9.b).

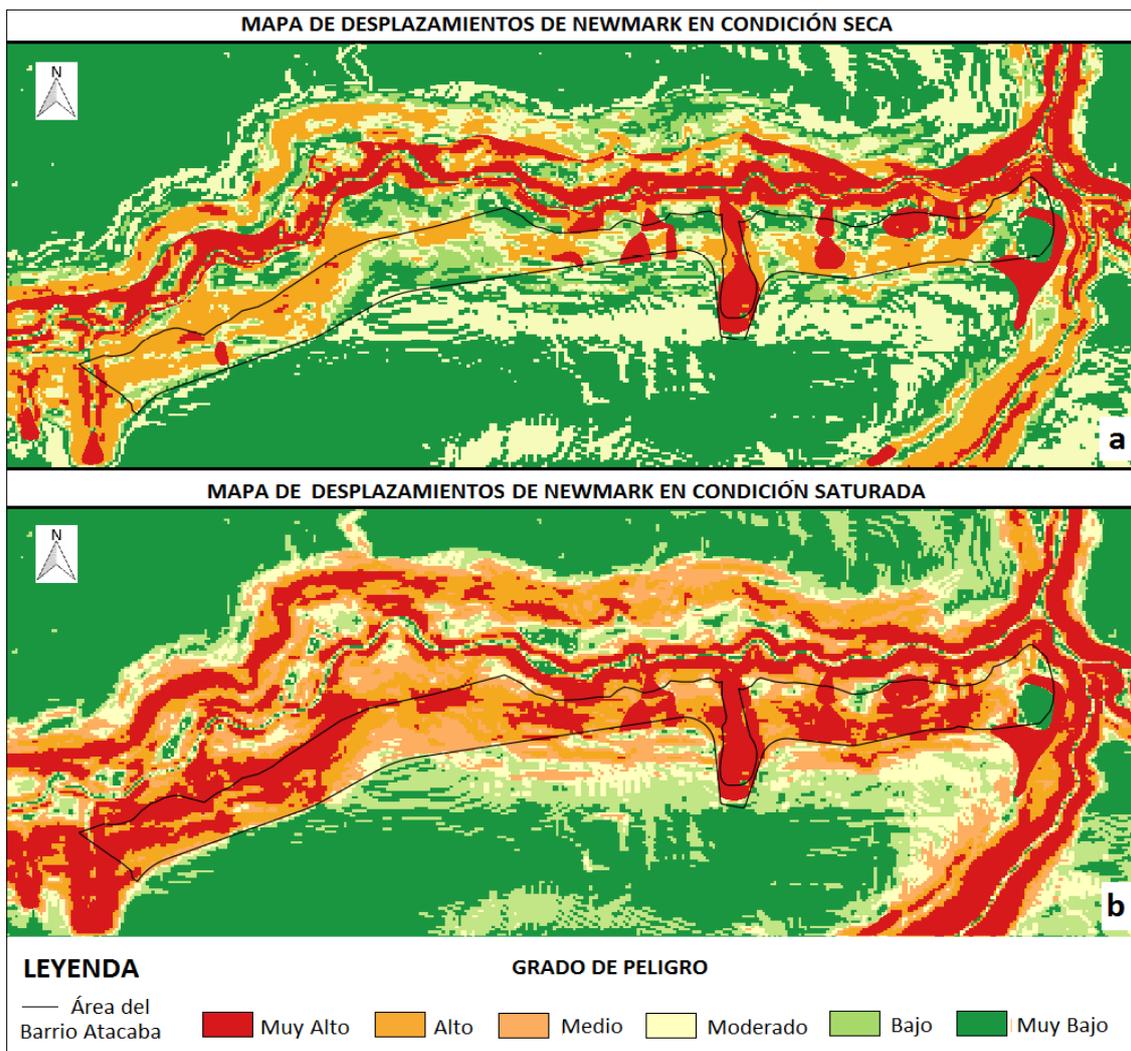


Figura 5.9 Esquema Comparativo de los D_N , Sismo Loma Prieta (1989).

El esquema comparativo de la figura 5.9 indica que el escenario más crítico y de mayor peligro comparado con todos los mapas de desplazamientos sería la figura 5.9.b, es decir que en un escenario como este hay un 13% de zonas de Bajo y Muy Bajo peligro, y el 85% de la ladera es inestable con un 40% de zonas de Muy Alto peligro, 30% de zonas de Alto peligro y 17%. Los lotes más afectados serían los lotes que se encuentran en el 40% de zonas de Muy Alto peligro.

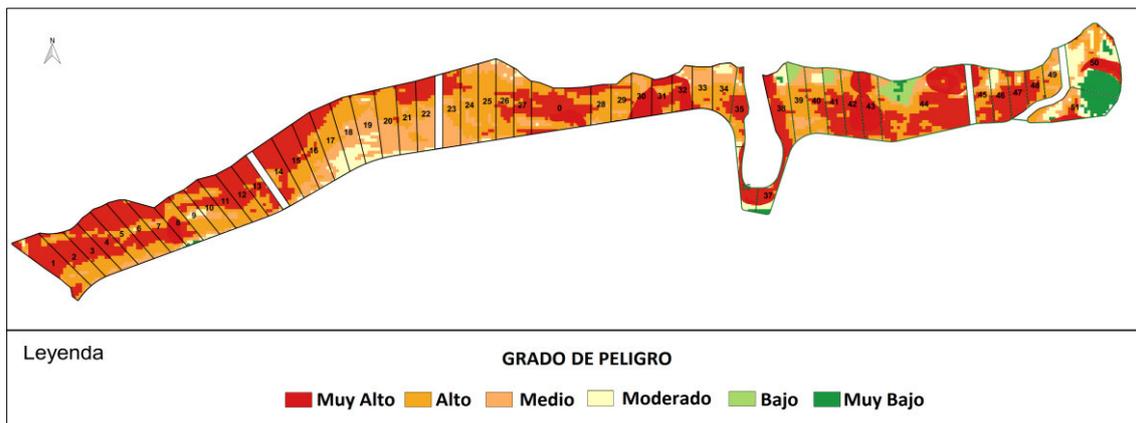


Figura 5.10 Zonificación de la Amenaza por lote del Barrio Atacaba. Mapa de peligro en condición saturada Sismo Loma Prieta (1989).

Los valores de Desplazamientos de Newmark, producidos en la ladera durante un evento sísmico muestran la Zonificación de la Amenaza por FRM de acuerdo a su nivel de peligro. Con el valor de los desplazamientos también es posible calcular probabilidad para que el talud falle mediante una función de probabilística mediante el porcentaje de FRM que se producen por lluvias y sismos, esta función propuesta por Jibson et al., (1998), complementaría la información probabilística del peligro real al que se encuentra expuesta una ladera.

5.5. Calibración de la Metodología

El Mapa de Susceptibilidad a FRM elaborado por Ormaza, (2017) indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones del terreno a la ocurrencia de estos fenómenos en función de factores condicionantes como factores condicionantes la geología, geomorfología, cobertura y uso de suelo y pendientes del terreno (Figura 5.11.a). Al comparar con mapa de Aceleración Crítica en condición seca (Figura 5.11.b) que es un mapa de susceptibilidad sísmica presenta una correspondencia del 70% en la zonificación en las áreas de Muy Alta y Alta susceptibilidad. Existe variación en las áreas señaladas en la figura 5.11 es decir que el rango de susceptibilidad es diferente.

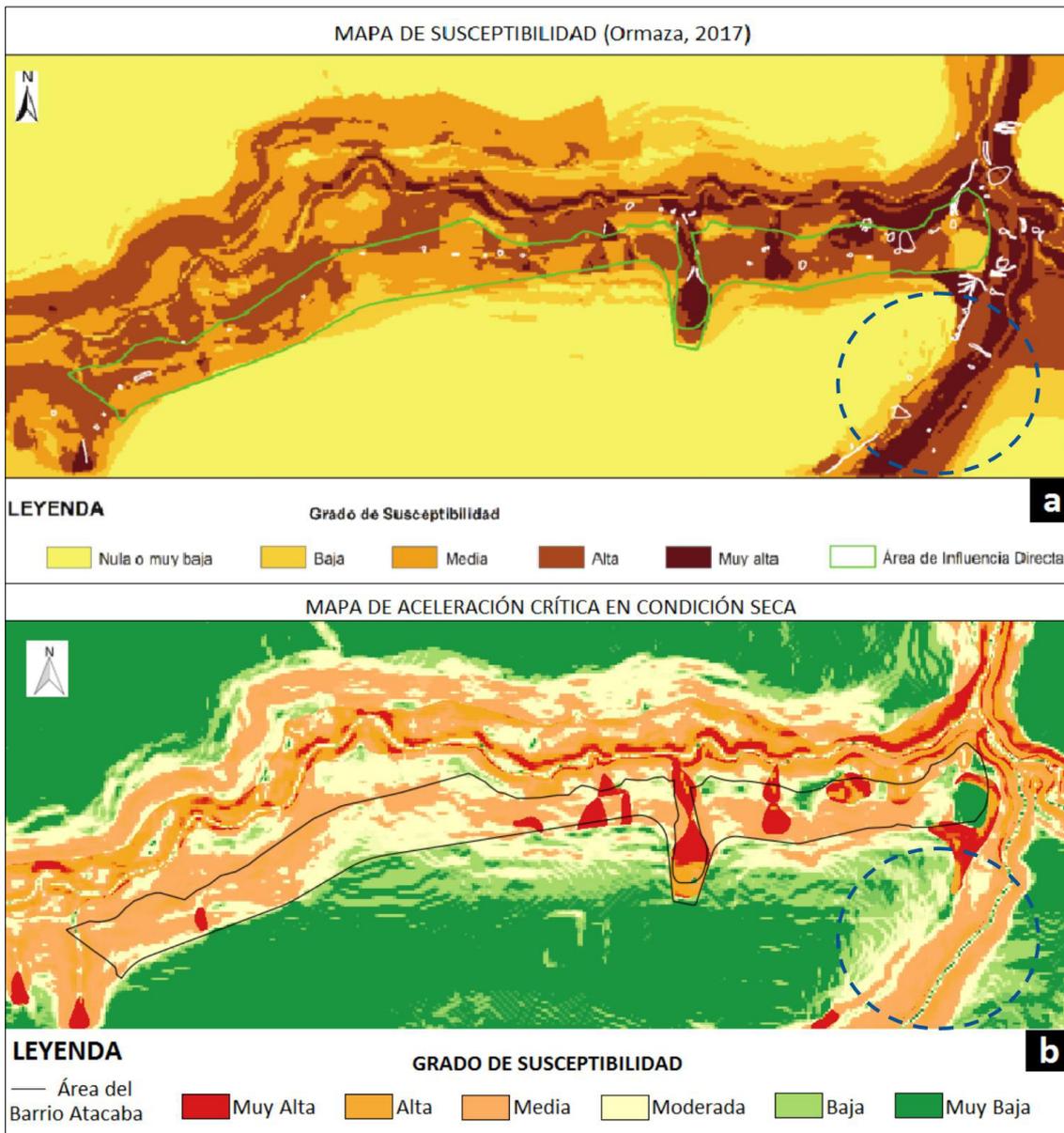


Figura 5.11 Esquema comparativo del Mapa de Susceptibilidad a FRM por Ormazá, (2017), con el Mapa de Aceleración Crítica en Condición Seca o Mapa de Susceptibilidad a FRM Inducidos por Sismos obtenido en el presente trabajo.

En el Mapa de Susceptibilidad por lotes de Ormazá, (2017), las zonas de susceptibilidad presenta un 70% de equivalencia con las zonas de Muy Alta susceptibilidad, 90% en zonas de Baja y Muy Baja Susceptibilidad, respecto al Mapa de Aceleración Crítica en condición seca por lotes (Figura 5.12). Sin embargo, varía el porcentaje de las zonas que presentan susceptibilidad Alta, Media y Moderada, posiblemente ese cambio se produce por el aumento de clases en los grados de peligro en el Mapa de Aceleración crítica o por el peso que Ormazá, (2017) asigna en su metodología a los factores de uso de suelo.

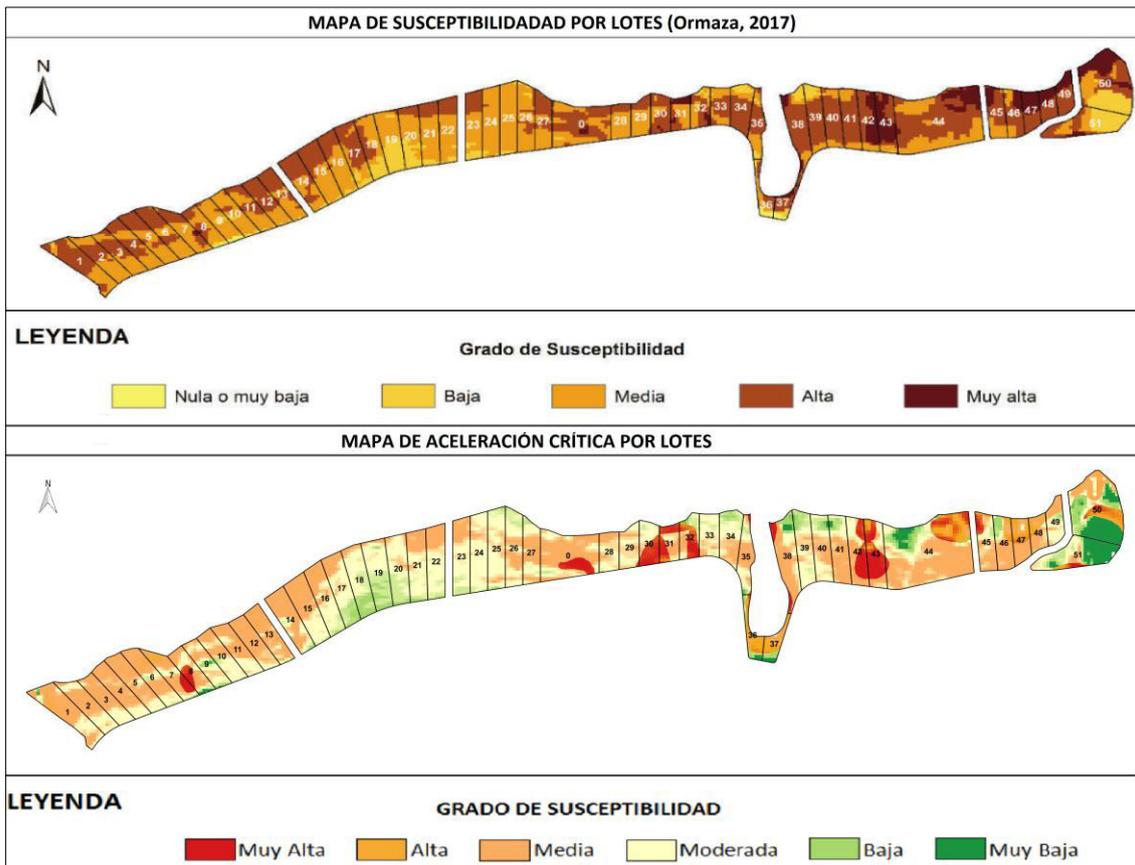


Figura 5.12 Esquema comparativo de la Susceptibilidad por lotes.

La Metodología de Newmark es aplicada al análisis de los deslizamientos de tipo traslacional, en el área de estudio se caracterizaron los movimientos de tipo flujo, caídas y deslizamientos rotacionales. Sin embargo, el análisis comparativo de los desplazamientos de Newmark en función de la distribución de los movimientos en masa es utilizado para la calibración de la metodología de acuerdo al estudio realizado por Jibson et al., (1998), la superposición de los mapas indica la equivalencia de los Movimientos en Masa con las zonas de peligro muy alto.

En las figuras 5.13 y 5.14 está superpuesto el IMM en los Mapas de Zonificación de la Amenaza, se puede apreciar que la distribución de los Movimientos en masa se ajusta a las zonas que indican alto grado de peligro.

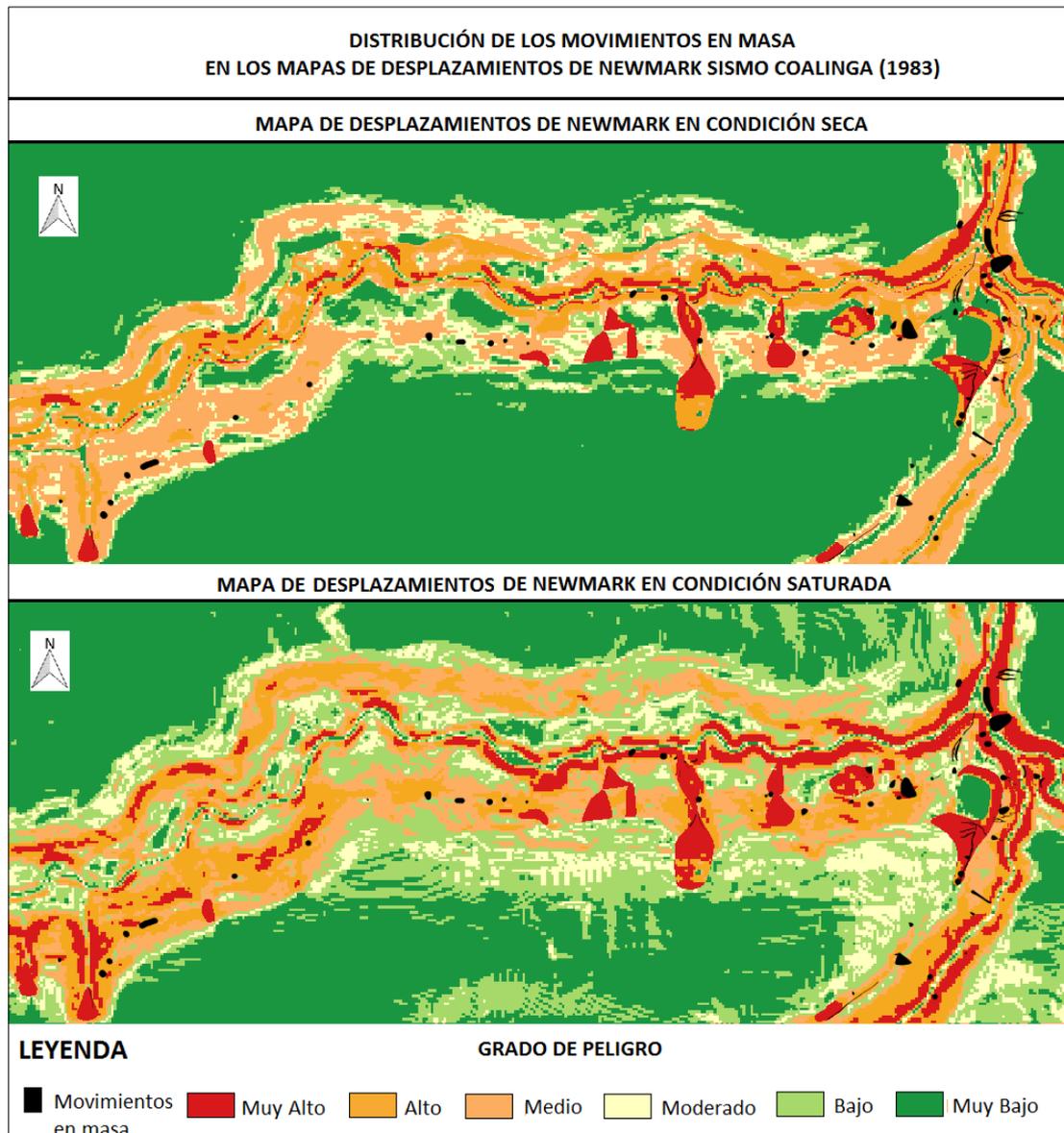


Figura 5.13 Comparación de los Desplazamientos de Newmark del Sismo Coalinga (1983), con la distribución de los movimientos en masa.

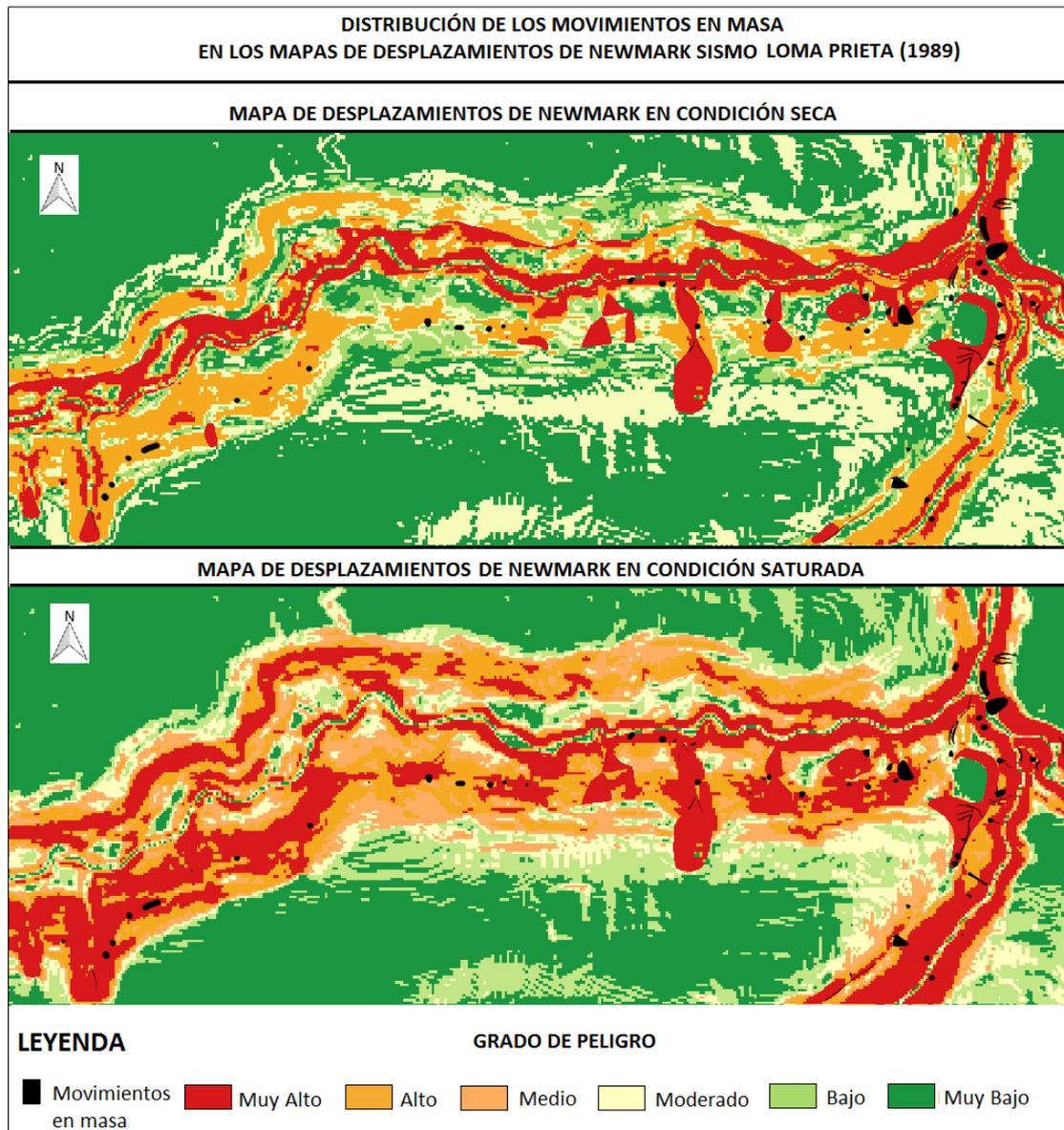


Figura 5.14 Comparación de los Desplazamientos de Newmark del Sismo Loma Prieta (1989) con la distribución de los movimientos en masa.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El Barrio Atacaba ubicado al nor-occidente de Quito, está conformado por un grupo de pobladores migrantes de varias provincias del país (Aguilar, 2001), se encuentra asentado sobre una ladera inestable, debido a sus características geológicas y topográficas desfavorables.
- El área se encuentra expuesta a la presencia de Fenómenos de Remoción en Masa (FRM), los cuales están ubicados a lo largo del corte del alcantarillado, en zonas de relleno y flujos piroclásticos, estos fenómenos son agravados por factores de intervención antrópica, control deficiente en el drenaje y obras de infraestructura que se han realizado en el barrio sin normas que involucren la estabilidad de la ladera.
- Una de las principales obras de infraestructura que ha causado mayor inestabilidad en la ladera, es la construcción de la red de alcantarillado en el año 2011. A lo largo del corte del alcantarillado se identificaron 83 FRM: 26 deslizamientos de tipo rotacional, 21 tipo caída de bloques y 36 de tipo flujo de acuerdo al trabajo IMM (Ormaza, 2017).
- En el área se identificaron cinco unidades litológicas: Zonas de relleno, Flujo piroclástico dacítico, Depósitos Aluviales, Depósito Coluvial y Cangahua siendo ésta, la unidad que cubre la mayor parte de la zona de estudio.
- Las propiedades geotécnicas asignadas a las unidades litológicas identificadas obtuvieron de la recopilación bibliográfica de estudios técnicos existentes, estas propiedades muestran el comportamiento mecánico del terreno en función de los parámetros de cohesión, ángulo de fricción y peso específico.
- La Metodología de Newmark, (1965), se basa en un análisis de tipo cuantitativo intermedio entre determinístico por el cálculo del FS y probabilístico porque determina los desplazamientos permanentes inducidos por sismos. Los parámetros de entrada para la aplicación de la metodología están en función de la geología, geotecnia y el Modelo Digital del Terreno (MDT).

- La Metodología de Newmark ha sido aplicada en estudios de escala regional para analizar la estabilidad de las laderas expuestas a sismos, estudios de caso muestran que los resultados de los desplazamientos de Newmark a regional pueden ser nulos y a escala local los desplazamientos de Newmark son más confiables y presentan un información más detallada (Rodríguez et al., 2009). El presente trabajo fue realizado a escala local 1:5000.
- El Factor de Seguridad (FS) es el parámetro más importante de la metodología, se calcula a partir los factores geotécnicos asignados a las unidades litológicas y de la topografía de la zona, los cuales constituyen los esfuerzos de resistencia al corte y los esfuerzos al cortante.
- Los valores de Aceleración Crítica obtenidos en el área de estudio, muestran la susceptibilidad sísmica del terreno, las aceleraciones críticas condición saturada incrementan en un 50% con respecto a la aceleración crítica en condición seca.
- La Intensidad de Arias es un parámetro sísmico que interviene en el movimiento del suelo, fue calculada mediante la simulación de dos sismos, el Sismo de Coalinga (1983) y el Sismo de Loma Prieta (1989).
- En varios estudios de caso, la Metodología Newmark se aplica en función de la aceleración pico (PGA) para diferentes periodos de retorno mediante ecuaciones de regresión. La falta de información sísmica complican el uso de esta aceleración, de tal forma que en el presente trabajo no se utilizó la aceleración pico ya que el uso de la intensidad de Arias reemplaza en un único valor a la PGA.
- Se obtuvieron cuatro escenarios de Zonificación de la Amenaza para un Sismo de magnitud Mw 5.7 y un sismo Mw 6.9 ambos en condición seca y saturada, estos escenarios muestran el nivel de peligro a FRM.
- La Zonificación de la Amenaza es en condición saturada y con un sismo esperado de magnitud Mw 6.9 presenta el escenario de peligro más crítico, el 85% de la ladera es inestable. El 15% de zonas de Bajo y Muy Bajo peligro, el 15% de zonas de peligro moderado, el 30% de zonas de Alto peligro y 40% de

zonas de Muy Alto peligro. Los lotes más afectados en un escenario con son: (1 – 8), (11 – 15), (26 y 25), (30 – 32), (35 – 38) y (45 – 51).

- La calibración de la metodología se realizó con mapa de Susceptibilidad realizado por Ormaza, (2017), y el Mapa de Aceleración Crítica en condición seca (Mapa de Susceptibilidad Sísmica) los cuales indican un nivel de correspondencia del 70%. Además los Mapas de Zonificación de la Amenaza fueron calibrados con el IMM de Ormaza, (2017), la distribución de los Movimientos en masa presentan un ajuste del 80% en las zonas de peligro Muy Alto como zonas de relleno, flujo piroclástico y bordes de los ríos.
- La Metodología de Newmark generalmente se aplica a movimientos en masa de tipo traslacional, debido que son movimientos más frecuentes y pueden ser estudiados de forma global. Aunque en la zona de estudio no existen este tipo de movimientos en masa, la zonificación de la amenaza por FRM en zona de alto y medio peligro coincide con las zonas inestables mapeadas.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar ensayos geotécnicos en el área de estudio, ya que es de gran importancia conocer las características geomecánicas de los suelos fundamentalmente en la zonificación de amenazas.
- Manejar adecuadamente las fuentes hidrográficas en base a información de caudales ya que la erosión al pie del talud acelera la generación de FRM.
- Es conveniente hacer un monitoreo de las grietas en el flujo piroclástico dacítico, debido que estas grietas presentan profundidades métricas y no existe ningún estudio sobre la fuerte erosión que presenta, se sugiere el monitoreo principalmente porque el flujo abarca zonas pobladas, el borde de la Quebrada Almeida, se extiende a lo largo Río Monjas y en se encuentra en la zona de la torres de alta tensión en el Barrio Atacaba.
- Se recomienda protección de los taludes inestables que se encuentra a lo largo del camino del alcantarillado, contra la erosión, control de drenaje superficial, recubrimiento de vegetación, corte adecuado del talud, muros al pie y cabeza del talud, recolección adecuada de desechos.

- Se sugiere una evaluación de vulnerabilidad física en las estructuras de los predios que se encuentran en zonas de Muy Alto y Alto peligro, para determinar los niveles de exposición – riesgo por la presencia de FRM.
- Se recomienda sociabilizar los resultados de Zonificación de la Amenaza con las autoridades del Barrio Atacaba en conjunto con las autoridades del DMGR, para impulsar acciones de mitigación y prevención.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar Vallejo, C. (2011). "Entre imágenes, testimonios y miradas" aproximación a las identidades de Carcelén Bajo. *Facultad de Ciencias Humanas, PUCE. Quito.*
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(1), 21-44.
- Alvarado, A. (2012). Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur, *Thèse de doctorat (Ph.D.), Université de Grenoble, France, 259 pp.*
- Andrade, D. (2002). Estudio geovolcanológico del complejo volcánico Pululahua. *Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.*
- Arias, A. (1970). *MEASURE OF EARTHQUAKE INTENSITY*. Massachusetts Inst. of Tech., Cambridge. Univ. of Chile, Santiago de Chile.
- Barbat Barbat, H. A., Oller Martínez, S. H., & Vielma, J. C. (2005). *Cálculo y diseño sismorresistente de edificios: aplicación de la norma NCSE-02*. Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE).
- Beauval, C., Yepes, H., Palacios, P., Segovia, M., Alvarado, A., Font, Y., Aguilar, J., Troncoso y L., Vaca S. (2013): An Earthquake Catalog for Seismic Hazard Assessment in Ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103, 2a, 773-786, doi: 10.1785/0120120270
- Beauval, C., Yepes, H., Bakun, W. H., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J. C. (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587–1996). *Geophysical Journal International*, 181(3), 1613-1633.
- Caizaluisa, P., & Jesseña, N. (2015). *Caracterización de cangahuas mediante ensayos triaxiales no consolidados-no drenados (UU) y consolidado no drenado (CU) aplicación a la estabilidad de taludes*. Carrera de Ingeniería Civil, ESPE. Quito.
- Cañizares Ortega, F. F. (2017). *Selección de ecuaciones de atenuación (GMPE's) compatibles con el sistema de fallas de Quito. Proyecto previo a la obtención*

del Título de Magíster en Estructuras. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

- Cardona, O. D. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. *En: A. Maskrey (ed.) Los desastres no son naturales*, 51-74.
- Carlosama, J.,J & Carrera, S. (2017). Análisis y Evaluación del Peligro por Fenómenos de Remoción en Masa. *Proyecto previo a la obtención del Título de Ingenieros Civiles. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.*
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., & Reichenbach, P. (1990). Geographical information systems and multivariate models in landslide hazard evaluation. *Alps*, 90, 17-28.
- Carrión, F., & Erazo Espinosa, J. (2012). La forma urbana de Quito: una historia de centros y periferias. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, (41 (3)), 503-522.
- Cascini, L., Bonnard, C., Corominas, J., Jibson, R., & Montero-Olarte, J. (2005). Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. *Landslide Risk Management. Taylor and Francis, London*, 199-235.
- Chousianitis, K., Del Gaudio, V., Sabatakakis, N., Kavoura, K., Drakatos, G., Bathrellos, G. D., & Skilodimou, H. D. (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*, 106(1), 174-188.
- Corominas, J. (2004). Tipos de rotura en laderas y taludes. *Ingeniería del Terreno Ingeoter4. Ed: López Jimeno, Carlos. Universidad Politécnica de Madrid*, 191-213.
- Ego, F., Sébrier, M., Lavenu, A., Yepes, H., & Egues, A. (1996). Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, 259(1-3), 101-116.
- Egüez, A., and J. A. Aspden. (1993). The mesozoic-cenozoic evolution of the Ecuadorian Andes. *Andean Geodynamics. Extended Abstract. ORSTOM*, 179-181.

- Ellis de Luca, J. H. (2012). Deslizamientos: efectos, evaluación y gestión de riesgo; lecciones aprendidas de América Latina y el Caribe. *UNESCO*.
- EMAPS, (2014). *Alcantarillado Combinado, Descontaminación del Río Monjas, Interceptor Oriental, Etapa I. Acta de Recepción definitiva, Proyecto 7616.0, Contrato LI-CO-EMAAPQ-023-2010. Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, 1-8.*
- Eras Galarza, M. L. (2014). Determinación de zonas susceptibles a movimientos en masa en el Ecuador, a escala 1:1'000.000, utilizando el método de ponderación de parámetros (s/f). Proyecto de titulación, Ingeniería en Geología.- EPN.
- Figueras, S., Macau, A., Goula, X., & González, M. (2005, June). Aplicación del método de Newmark para el estudio de los movimientos de ladera activados por terremotos en Andorra. In VI Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables (Vol. 3, p. 12).
- GEA. G. (2008). Gestión para la Educación Ambiental Más de 12 años contribuyendo a la Educación Ambiental. *Boletín Electrónico*, 6(21).
- Guerrón Andrade, A. M., & Tacuri Silva, L. J. (2013). *Análisis de la influencia del porcentaje de finos en la capacidad de carga admisible de la cangahua en la ciudad de Quito, Proyecto previo a la obtención del Título de Ingenieros Civiles. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.*
- Hernández, J., Jiménez, E., Osorio, I., Parra, J., Singer, A., Rodríguez, L., Marrero J., (2017 *in press*). *Peligro de Deslizamientos en Portoviejo*. Unpublished
- Hernández, W. (2004). *Características geomecánica y vulcanológicas de las tefras de Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango. El Salvador. Tesis de Maestría en Tecnologías Geológicas. Universidad Politécnica de Madrid.*
- Hsieh, S. Y., & Lee, C. T. (2011). Empirical estimation of the Newmark displacement from the Arias intensity and critical acceleration. *Engineering Geology*, 122(1-2), 34-42.
- Jibson, R. W., Harp, E. L., & Michael, J. A. (1998). *A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps: an example from the Los Angeles, California, area*. US Department of the Interior, US Geological Survey.

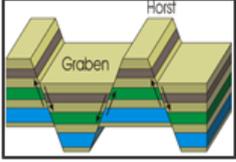
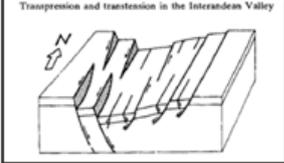
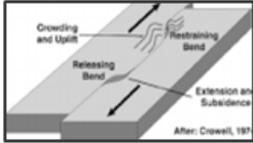
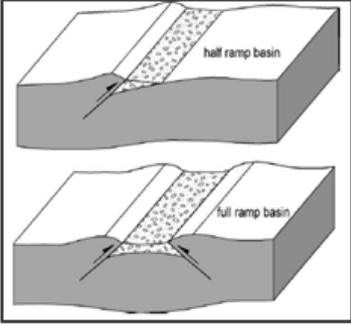
- Jibson, R.W. *Predicting Earthquake-Induced Landslides Displacements Using Newmark's Sliding Block Analysis*: Transportation Research Record 1411. 1993. 9 – 17 p.
- Jibson, R.W. y Keefer, D.K. *Analysis of the Origin of Landslides in the New Madrid Seismic Zone, U. S. Geological Survey, 1994*. Professional Paper 1534-D.
- Keefer, D. K. Landslides Caused by Earthquakes: *Geological Society of America Bulletin*, v.95, april 1984. 406 – 421 p.
- Lavenu, A., Baudino, R., & Égo, F. (1996). Stratigraphie des dépôts tertiaires et quaternaires de la dépression interandine d'Équateur (entre 0 et 2 15'S). *Bulletin de l'Institut français d'Etudes Andines*, 25, 1-15.
- Levantamiento Planimétrico – Arq. Iván Romero. (2017). Lotización Asociación Atacaba. Secretaría de Territorio Habitación y Vivienda Del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 1A2.*
- Litherland, M., Aspend, J.A., & Jemielita, R. A. (1994). The metamorphic belts of Ecuador (Vol.11). British Geological Survey. 147 pp.
- Luzi, L., Pergalani, F., Terlien, M.T.J., 2000. Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems. *Engineering Geology* No. 58, Elsevier, p. 313-336.
- Merino, L., & Ormaza, W. (2017 *in press*). Proyectos Geológicos. Unpublished, 1-18.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2015). "Atlas de Amenazas Naturales y Exposición de Infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito", Segunda Edición. EXCO-Excelencia Corporativa. Quito
- Newmark, N. M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. *Geotechnique*, 15(2). 139-160
- NEC (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico Diseño Sismoresistente Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda 2014, código NEC-SE-DS.
- Nocquet, J. M., Mothes, P., & Alvarado, A. (2009). Geodesia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador. *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador*. Edited by JY Collot et al, 83-95.

- Procel Guerra, S. T. (2008). Modelación del acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha. Proyecto de titulación, Ingeniería en Geología.- EPN.
- Proyecto Multinacional Andino - Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA). 2007. Movimientos en masa en la región andina, una guía para la evaluación de amenazas. 432 p.
- Ordoñez, P. (2014). Caracterización de la amenaza sísmica en el Distrito Metropolitano de Quito. *Municipio del Distrito Metropolitano de Quito Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad. Centro de Operaciones de Emergencia Metropolitano.*
- Ormaza N, W. P. (2017). Zonificación de la Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa en el Barrio Atacaba, Noroccidente de Quito. *Proyecto de titulación, Ingeniería en Geología.- EPN.*
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. *Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador Google Scholar.*
- Salazar Hernández, J. D. *Zonificación de amenaza por deslizamientos inducidos por sismo.* Tesis de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Colombia.
- SAMBITO S.A, (2016). Estudio complementario de la variante Quitumbe de 2.6 Km de la primera línea del Metro de Quito. Empresa Pública Metropolitana de Quito. PRO-DEA-112.
- Sauer, W. (1965). Geología del Ecuador. Edit. Min. Educación, 385.
- Smiles, S.B. and Keefer, D.K. Comparación of Seismic Slope-Performance Models – Case Study of the Oakland East Quadrangle, California, U.S. Geological Survey: Open-File Report 99-137. 1999.
- Suarez, J. (2009). Deslizamientos: Análisis Geotécnico Tomo I. Obtenido de www.erosion.com.co
- Tibaldi, A., & Ferrari, L. (1992). Latest Pleistocene-Holocene tectonics of the Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, 205(1-3), 109-125.
- Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T., & Mora, H. P. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2), 157-171.

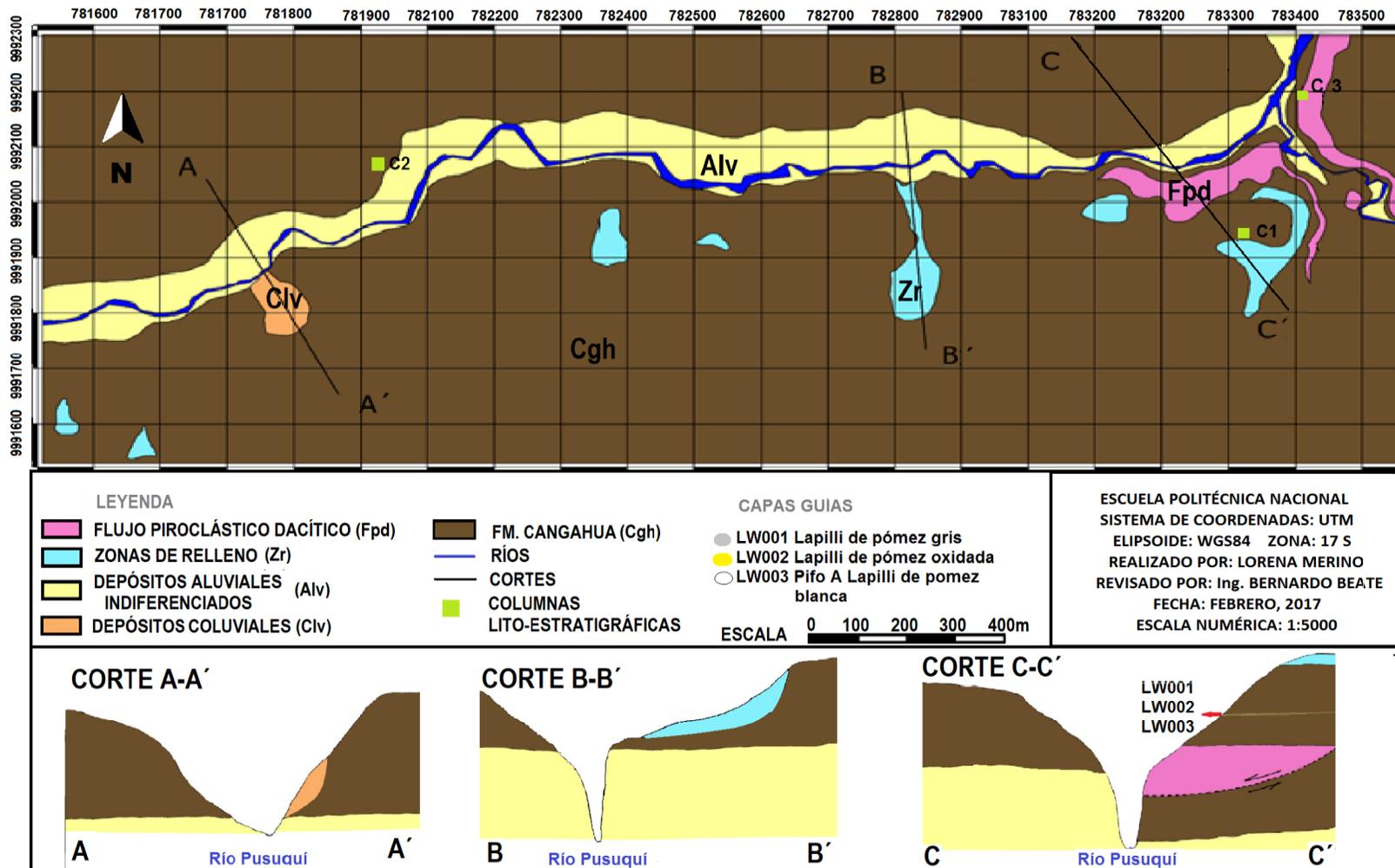
- Villagómez, D. (2003). Evolución Plio-cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador (zona Quito-Guayllabamba-San Antonio de Pichincha) Proyecto de titulación, Ingeniería en Geología.- EPN
- Valdivieso, J. M. (2005). Propuesta para la gestión integral del suelo no urbanizable del Distrito Metropolitano de Quito. *Programa de saneamiento ambiental para el Distrito Metropolitano de Quito (PSA). PRÉSTAMO BID 1424 / OC-EC.*
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R. A., Luzieux, L., Heller, F., & Bussy, F. (2009). Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador. *Geological Society of America Memoirs*, 204, 197-216.
- Varnes, D.J. 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. *Natural Hazards*, 3: 63. UNESCO, Paris.
- Vásconez Paredes, F. J. (2015). *Estimación de la masa de magma contenida en los depósitos del Complejo Volcánico Pululahua (CVP). Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.*
- Winkler, W., Villagomez, D., Spikings, R., Abegglen, P., & Egüez, A. (2005). The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(1), 5-19.
- Yepes, V. (2014). *Equipos de compactación superficial*. Apuntes de la Universitat Politècnica de València, Ref. 187. Valencia, 113 pp.

ANEXOS

Anexo I. Resumen de modelos de evolución tectónica del Valle Interandino propuesta por diferentes autores.

Autor	Descripción del modelo de evolución del VI	Representación gráfica del modelo
Sauer, (1965).	Sintetiza la tectónica de la zona con un modelo de 'horst-graben', en el que se afirma que los bloques levantados son las Cordilleras Occidental y Real y el Valle interandino el bloque hundido.	 <p>Diagrama de bloque para un modelor tipo horst-graben</p>
Tibaldi & Ferrary, (1992).	Estos autores concluyen un modelo de cuenca tipo 'piggyback' para el Valle Interandino, originada por movimientos de las Cordilleras Occidental y Real bajo un régimen de transpresión y transtensión.	 <p>Estructura tipo demi-graben con un anticlinal roll-over</p>
Ego & Sebrier, (1996).	Consideran al Valle Interandino como una cuenca producto de un movimiento tipo 'restraining-bend' con una compresión en sentido E-O, que seguramente inicio con una falla normal o transcurrente en dirección NNO-SSE bajo un régimen transpresivo dextral.	 <p>Diagrama de bloque que representa un movimiento tipo 'restraining-bend'.</p>
Winkler et al., (2005).	Indican que Valle Interandino es una depresión entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Real, limitado por estructuras en sentido N-S con un movimiento dextral y componente inverso. El límite Este es la sutura de Peltetec y el límite en el borde Oeste se encuentra limitado por la falla Calacalí-Pujilí-Pallatanga. Los límites estructurales son fallas reactivadas durante eventos acrecionales con una edad de 140Ma. Además, señalan que la cuenca del Valle Interandino se formó como resultado de desplazamiento a lo largo del 'restraining-bend' formando una cuenca de tipo 'spindle shaped', que se abrió y cerró con un movimiento 'tipo tijeras' entre las dos cordilleras.	 <p>Modelo de evolución del Valle Interandino. Fuente: Winkler. (2005)</p>

Anexo II. Mapa Geológico Preliminar del Barrio Atacaba.



**Anexo III. Fichas de Descripción Litológica de las Columnas Estratigráficas 1, 2, 3 y
Columna Estratigráfica Generalizada.**

ESPESOR	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA COLUMNA 1
0.15 m	Suelo: material conformado por elementos orgánicos, minerales y biológicos.
0.10 m	Ceniza blanca: muy fina <0.1mm
0.10 m	Ceniza crema: muy fina <0.1mm, poco consolidada.
0.40 m	LW001 Caída de lapilli de pómez gris: tamaño de grano medio entre 1cm-2,5cm, líticos de andesita, promedio de diámetros máximos de pómez 1,03cm, matriz de grano fino ceniza gris, 35% de vesículas redondeadas. Composición mineralógica de pómez: Piroxenos 12%, Biotita 6%, Magnetita 15%, Plagioclasas 8%, Cuarzo 5% y matriz poco fibrosa.
2.5 m	Cangahua amarillenta - marrón: ceniza retrabajada tamaño de grano fino < 0.5mm
1.40 m	LW002 Caída de Lapilli de pómez gris oxidada: tamaño de grano medio a grueso entre 1cm-3.5cm, líticos de dacitas y andesitas oxidadas principalmente en la parte superior, promedio de diámetros máximos de pómez 1,8 cm, matriz de grano fino a medio, 25% de vesículas con forma alargada. Composición mineralógica de pómez: Plagioclasa10%, Cuarzo 5%, Vidrio 5%, Biotita 10%, Piroxenos 8%, Magnetita 10% Matriz poco fibrosa.
2.5 m	Cangahua amarillenta - marrón: ceniza retrabajada tamaño de grano fino < 0.5mm
0.90 m	LW003 Caída de pómez blanca Pifo A: tamaño de grano fino a medio entre 0.3cm-1.5cm, sobre paleosuelo, diámetros máximos de pómez 1cm, las pómez son de forma aplanada, 5% de vesículas, Biotita dorada10%, Vidrio 5%, Cuarzo5%, Magnetita 7%.
0.15 m	Cangahua amarillenta – marrón: ceniza retrabajada
0.35 m	LW004 Ceniza blanca grisácea coignimbrítica: grano fino<0.5mm y 15% de magnetita
5 m	Cangahua retrabajada color marrón: tamaño de grano gruesa medio desde 0.5mm hasta 2mm intercalada con cenizas grises, posible mezcla con un flujo piroclástico.
0.80 m	LW005 ceniza gris: poco compactada de grano fino < 0.5mm en la base bien compactada, se observa Magnetita 5%. Sobre una capa de ceniza rojiza.
0.20 m	Ceniza rojiza: compactada, grano muy fino < 0.1mm, Magnetita 5% y Biotita 8%.
1.5 m	Cangahua retrabajada color marrón: tamaño de grano grueso medio desde 0.5mm hasta 2mm, intercalada con cenizas grises, posible mezcla con flujo piroclástico.
> 2 m	LW006: Ceniza a color crema: tamaño de grano fino a grueso desde 0.5mm hasta 2mm, presenta fragmentos de pómez con un promedio de diámetros máximos con un valor de 1.8 cm, Biotita dorada10%, Magnetita 5%. No se encontró el límite base de este material.
Hasta 10 m ?	

ESPESOR	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA COLUMNA 2
0.15 m	Suelo: material conformado por elementos orgánicos, minerales y biológicos.
0.10 m	Ceniza blanca: muy fina <0.1mm
0.10 m	Ceniza crema: muy fina <0.1mm, poco consolidada.

0.25 m	LW001 Caída de lapilli de pómez gris: tamaño de grano medio entre 1cm-2.5cm, líticos de andesita, promedio de diámetros máximos de pómez 1,03cm, matriz de grano fino ceniza gris, 35% de vesículas redondeadas. Composición mineralógica de pómez: Piroxenos 12%, Biotita 6%, Magnetita 15%, Plagioclasas 8%, Cuarzo 5% Matriz poco fibrosa.
2.5 m	Cangahua amarillenta - marrón ceniza re trabajada tamaño de grano fino < 0.5mm
1 m	LW002 Caída de Lapilli de pómez gris oxidada: tamaño de grano medio a grueso desde 1cm hasta 3.5cm, presenta líticos de dacitas y andesitas oxidadas principalmente en la parte superior, promedio de diámetros máximos de pómez 1,8 cm, matriz de grano fino a medio, 25% de vesículas con forma alargada. Composición mineralógica de pómez: Plagioclasa 10%, Cuarzo 5%, Vidrio 5%, Biotita 10%, Piroxenos 8%, Magnetita 10% Matriz poco fibrosa. Componente juvenil.
> 2 m ?	Cangahua amarillenta - marrón ceniza re trabajada (muy perturbada) de tamaño de grano fino a medio no se observa el límite inferior de la Cangahua. Debajo de la cancha se puede observar un deslizamiento provocado posiblemente por la presencia de fallas lítricas normales, el material del deslizamiento es correlacionado con el Flujo Piroclástico del Pondoña (Columna 3) mucho más joven que la Fm. Cangahua.

ESPEJOR	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA COLUMNA 3
12 m ?	Flujo piroclástico dacítico: de tipo block and ash, matriz de arena volcánica gris, contiene pómez redondeada 25%, líticos de andesitas 3%, líticos de dacitas 10%, horblenda 30%. (Posiblemente flujo del Domo Pondoña, flujo más joven del volcán Pululahua). Flujo fuertemente erosionado, con grietas de tamaño métrico.
0.10 m	Flujos de arenas: arenas con material orgánico
1.5 m	Cangahua crema: poco consolidada
0.10 m	Flujos de arenas: arenas con material orgánico
> 3 m	Cangahua crema amarillenta: poco consolidada, muy agrietada, presenta intercalaciones de pómez poco oxidado. Es una capa muy perturbada.

ESPEJOR	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA GENERALIZADA
0.15 m	Suelo: material conformado por elementos orgánicos, minerales y biológicos
10 m	Relleno: Material antrópico
5 m	Flujo piroclástico: de tipo block and ash, matriz de arena volcánica gris, contiene pómez redondeada 25% andesitas 3% y dacitas 10%. (Domo Pondoña)
7 m	Depósitos Aluviales indiferenciados: con intercalaciones de Cangahua muy compactada color amarillento, presenta clastos de dacitas y andesitas redondeadas y subangulares, en la base de los depósitos en la unión del Río Pusuquí con el Monjas se encuentran bloques de andesitas con tamaños que varían desde 1m hasta 2m.
0.20 m	Ceniza blanca: muy fina <0.1mm - Ceniza crema muy fina <0.1mm, poco consolidada
0.40 m	LW001 Caída de lapilli de pómez gris: tamaño de grano medio desde 1cm hasta 2.5, presenta líticos de andesita, promedio de diámetros máximos de pómez 1,03cm, matriz de grano fino ceniza gris, 35% de vesículas redondeadas. Composición mineralógica de pómez: Piroxenos 12%, Biotita 6%, Magnetita 15%, Plagioclasas 8%, Cuarzo 5% Matriz poco fibrosa.
2.5 m	Cangahua amarillenta - marrón ceniza re trabajada tamaño de grano fino < 0.5mm

1.4 m	LW002 Caída de Lapilli de pómez gris oxidada: tamaño de grano medio a grueso desde 1cm hasta 3.5cm, presenta líticos de dacitas y andesitas oxidadas principalmente en la parte superior, promedio de diámetros máximos de pómez 1,8 cm, matriz de grano fino a medio, 25% de vesículas con forma alargada. Composición mineralógica de pómez: Plagioclasa10%, Cuarzo 5%, Vidrio 5%, Biotita 10%, Piroxenos 8%, Magnetita 10% Matriz poco fibrosa
2.5 m	Cangahua amarillenta - marrón ceniza re trabajada tamaño de grano fino < 0.5mm
0.90 m	LW003 Caída de pómez blanca Pifo A: tamaño de grano fino a medio desde 0.3cm hasta 1.5cm, se encuentra sobre paleosuelo, diámetros máximos de pómez 1cm, las pómez son de forma aplanada, 5% de vesículas, Biotita dorada10%, Vidrio 5%, Cuarzo5%, Magnetita 7%.
0.15 m	Cangahua color café amarillento: ceniza re trabajada tamaño de grano fino < 0.5mm
0.35 m	LW004 Ceniza blanca grisácea coignimbrítica: grano fino<0.5mm y 15% de magnetita
5 m	Cangahua re trabajada color marrón tamaño de grano gruesa medio desde 0.5mm hasta 2mm intercalada con cenizas grises, posible mezcla con un flujo piroclástico.
0.80 m	LW005 ceniza gris: poco compactada de grano fino < 0.5mm en la base bien compactada, se observa Magnetita 5%. Sobre una capa de ceniza rojiza.
0.20 m	Ceniza rojiza: compactada, grano muy fino < 0.1mm, Magnetita 5% y Biotita 8%.
1.5 m	Cangahua re trabajada color marrón: tamaño de grano gruesa medio desde 0.5mm hasta 2mm intercalada con cenizas grises, posible mezcla con un flujo piroclástico.
> 2 m ?	LW006: Ceniza a color crema: tamaño de grano fino a grueso desde 0.5mm hasta 2mm, presenta fragmentos de pómez con un promedio de diámetros máximos con un valor de 1.8 cm, Biotita dorada10%, Magnetita 5%. No se encontró el límite base de este material.
12 m ?	Cangahua crema amarillenta: grano fino a medio desde 0.5mm hasta 1mm, muy consolidado, agrietado en la parte superior.

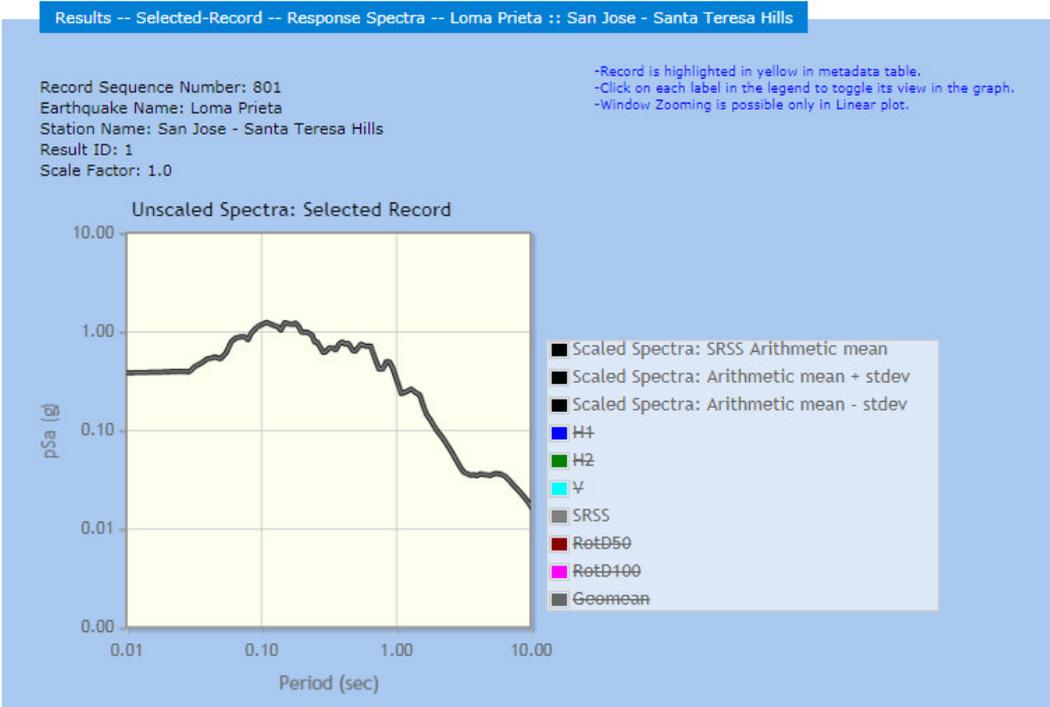
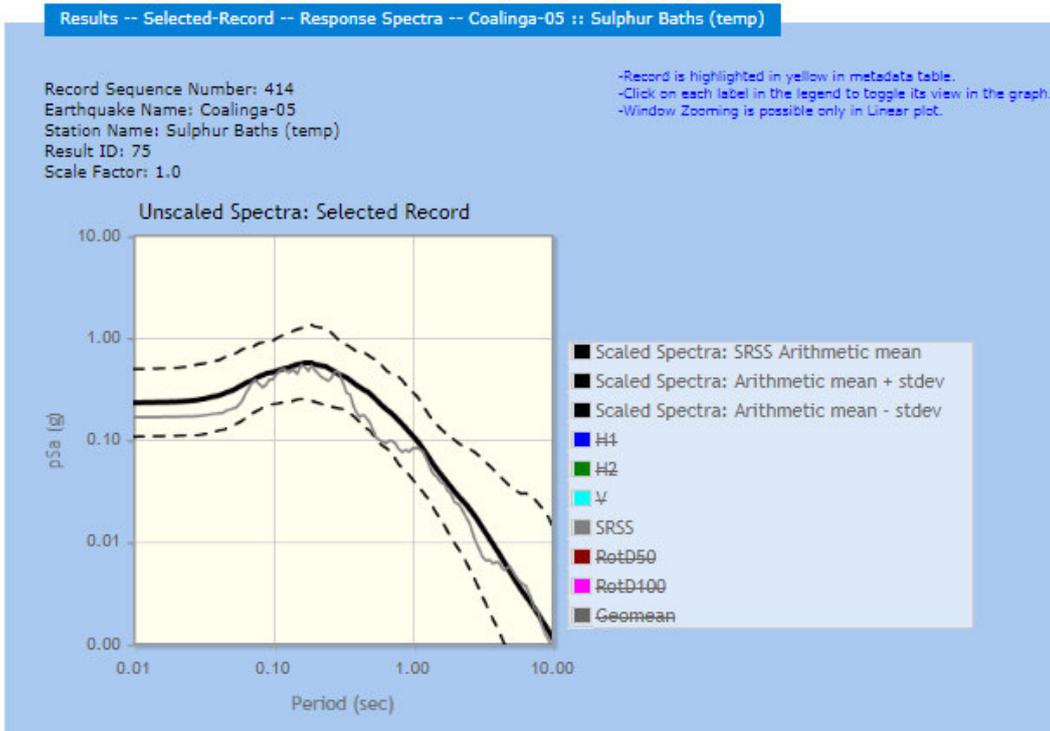
Anexo IV. Resumen de los eventos sísmicos históricos en el Ecuador. Fuente:

Resumen tomado de los trabajos de Ordoñez, (2014) y Cañizares, (2017).

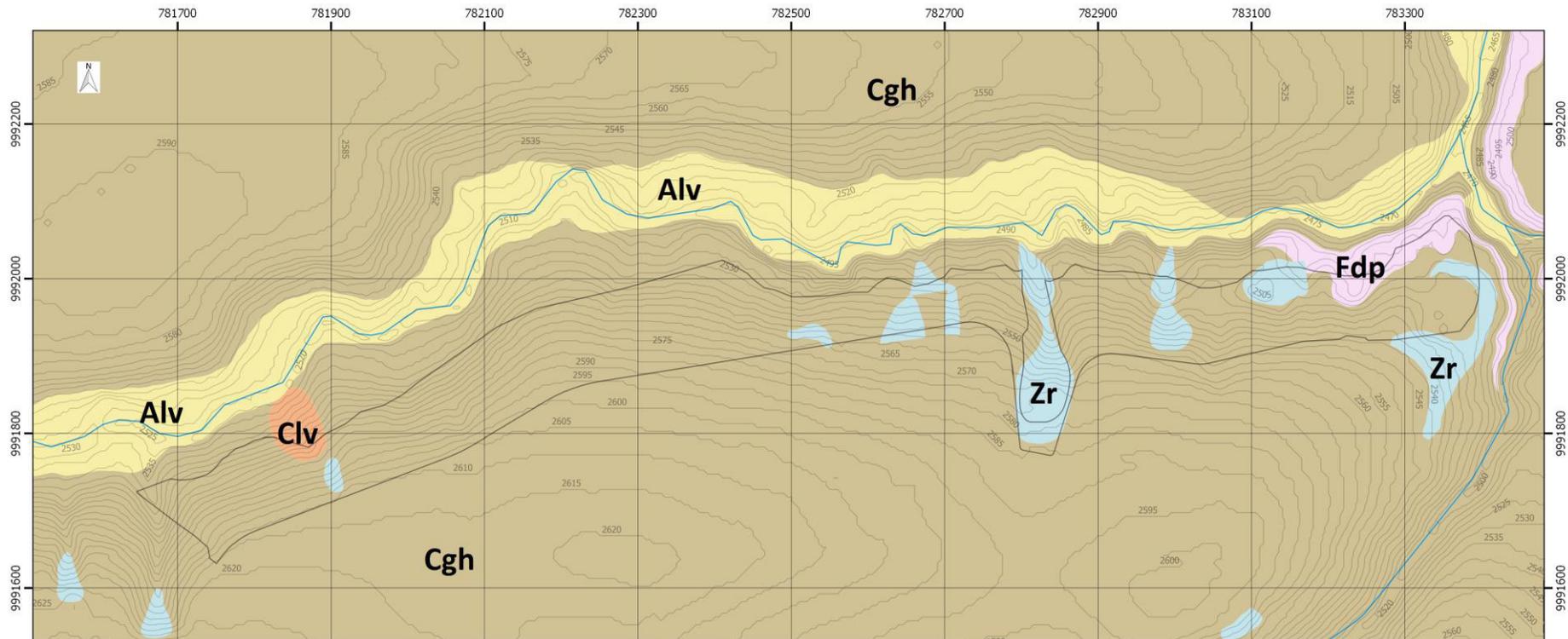
Lugar	Fecha	Magnitud	Características del sismo
Sismo de Guayllabamba	31 de Agosto de 1587	Mw = 6,3 - 6,5	El epicentro probablemente estuvo ubicado al norte de Quito. El sismo estuvo asociado al uno de los segmento de Fallas activas de Quito, posiblemente a las fallas Catequilla, San Juan de Calderón o algún segmento desconocido. Según relatos históricos revelaron que Quito sufrió daños muy importantes, sobretodo en poblaciones como Guayllabamba, Pomasqui y Otavalo.
Sismo de Quito	22 de Marzo de 1859	Mw = 7,2	El epicentro fue estimado con un nivel de confianza del 50% debido a que la distribución de la intensidad fue muy extensa. Es sismo estaría posiblemente asociado a un segmento del Sistema de Fallas de Quito al occidente. La destrucción fue muy intensa afectando principalmente a las Provincias de Imbabura, Pichincha y Cotopaxi.
Sismo de Ibarra	16 de Agosto de 1968	Mw = 7,1 - 7,7	El epicentro fue localizado 20 km al nor-occidente de Otavalo. Estuvo asociado a las fallas Apuela, Huayrapungo u Otavalo. Históricamente este sismo es considerado como uno de los eventos más destructivos, en la Ciudad de Quito se registraron graves daños en casas y caminos debido a la presencia de deslizamientos.
Sismo Antisana	31 de Mayo de 1914	MIC = 6,4	Su ubicación fue cerca del volcán Antisana. El sismo estuvo posiblemente asociado a un segmento del lineamiento en sentido SO-NE presente en el flanco NO del volcán. Ocasionó varios deslizamientos en los flancos del volcán
Sismo de Murco	25 de Julio de 1929	MIC = 5,8	Este sismo posiblemente estuvo relacionado con un segmento al sur del Segmento de Fallas de Quito o con la prolongación al norte de la falla de Machachi. Este terremoto afectó a la provincia de Cotopaxi y el sur de la provincia de Pichincha (Sangolquí y sur de Quito).
Sismo de Sangolquí	10 de Agosto de 1938	MIC = 5,8	Según Beuval (2010), este sismo está asociado a la falla de Píntag. Sus efectos fueron sentidos fuertemente en Quito, sobretodo en el Valle de Los Chillos, donde colapsaron muchas casas.
Sismo de Atahualpa	20 de Julio de 1955	MIC = 6,1	Este sismo posiblemente está asociado a alguna de las fallas de la zona (fallas de Apuela, Nanegalito, Huayrapungo u Otavalo. este evento causó grandes daños en Ibarra, pero también en las provincias de Carchi y

			Pichincha. Muchas edificaciones de adobe colapsaron cerca de la zona epicentral.
Sismo del Salado-Reventador	5 de Marzo de 1987	Mw = 7,0	Según Hall & otros (2000), ocurrieron dos sismos con diferente magnitud, los epicentros de estos sismos fueron localizados en la provincia de Napo, a ~100 km al ENE de Quito y a 20 km al N del volcán Reventador ambos sismos asociado a una reactivación de las fallas Salado o Reventador. Los mayores daños se produjeron en las provincias de Napo y Sucumbíos, aunque también se registraron afectaciones en las provincias de Pichincha, Imbabura y Carchi. Los principales daños consistieron en miles de deslizamientos en la zona aledaña al volcán Reventador, que posteriormente se transformaron en flujos de escombros muy que destruyeron decenas de kilómetros de carreteras y el oleoducto. Alrededor de 1000 personas muertas y cerca de 1000 millones de dólares en daños fue el saldo que dejó este desastre natural.
Sismo de Pomasqui-Pusuquí	11 de Agosto de 1990	Mw = 5,3	Este evento a una de las dos fallas siguientes que forman parte del Segmento de Fallas de Quito: falla Catequilla o falla San Juan de Calderón.
Sismo Bahía de Caráquez	4 de Agosto de 1998	Bahía de Caráquez Ms = 7,1. Intensidad en Quito V	Daños estructurales en edificios modernos.
Sismo Calderón, Pomasqui	12 de Agosto del 2014	Mw V 5,1 Intensidad VI	Causó daños en viviendas, deslave de taludes, 4 fallecidos, nubes de polvo en toda la ciudad, el epicentro fue a 2 km de Calderón y Pomasqui, se originó en el Sistema de Fallas de Quito.

Anexo V. Filtrado de datos y ajuste para los sismos de Coalinga (1983) y Loma Prieta (1989).



Anexo VI. Mapa Geológico del Barrio Atacaba



Leyenda

Unidades Litológicas

- Zonas de Relleno (Zr) :material fino de origen antrópico, heterogéneo mezclado con cenizas finas de color marrón.
- Flujo Piroclástico Dacítico (Fpd) :material limo arenosos de poca consolidación, compuesto de cenizas cremas rosáceas
- Coluvial (Clv) : material heterogéneo compuesto de remanentes de cangahua, matriz limosa y clastos centimétricos.
- Cangahua (Cgh) : material volcánico re TRABAJADO intercalado con de lapilli de pómez y cenizas grises, marrones y cremas.
- Aluvial (Alv) : depósitos indiferenciados, comprende de bloque de tamaños métricos conformados por andesitas y dacitas.
- Drenajes
- Curvas de nivel
- Área del Barrio Atacaba

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

MAPA GEOLÓGICO DEL BARRIO ATACABA

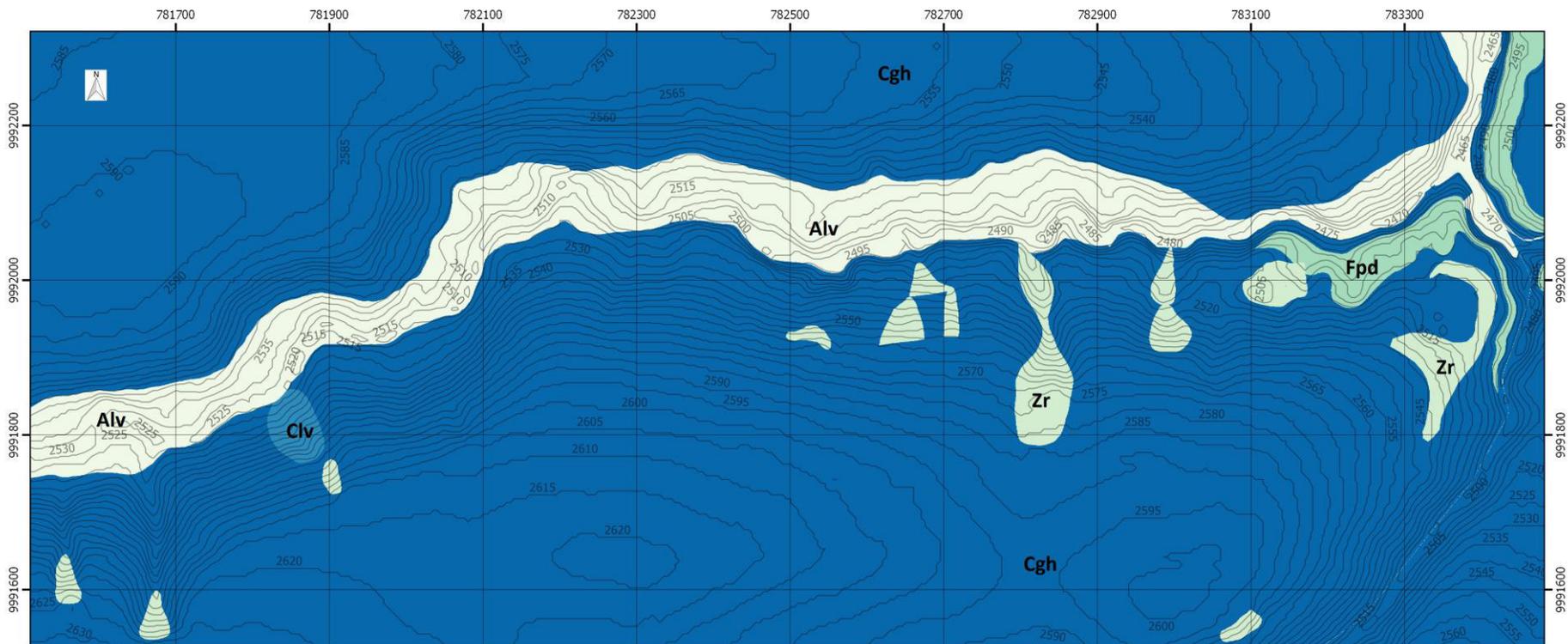
REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000

Anexo VII. Mapas de Unidades Geológicas-Geotécnicas.



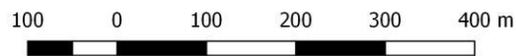
Leyenda

- Drenajes
- Curvas de nivel

RANGOS DE COHESIÓN (KN/m²)

- 0
- 4 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- >30

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

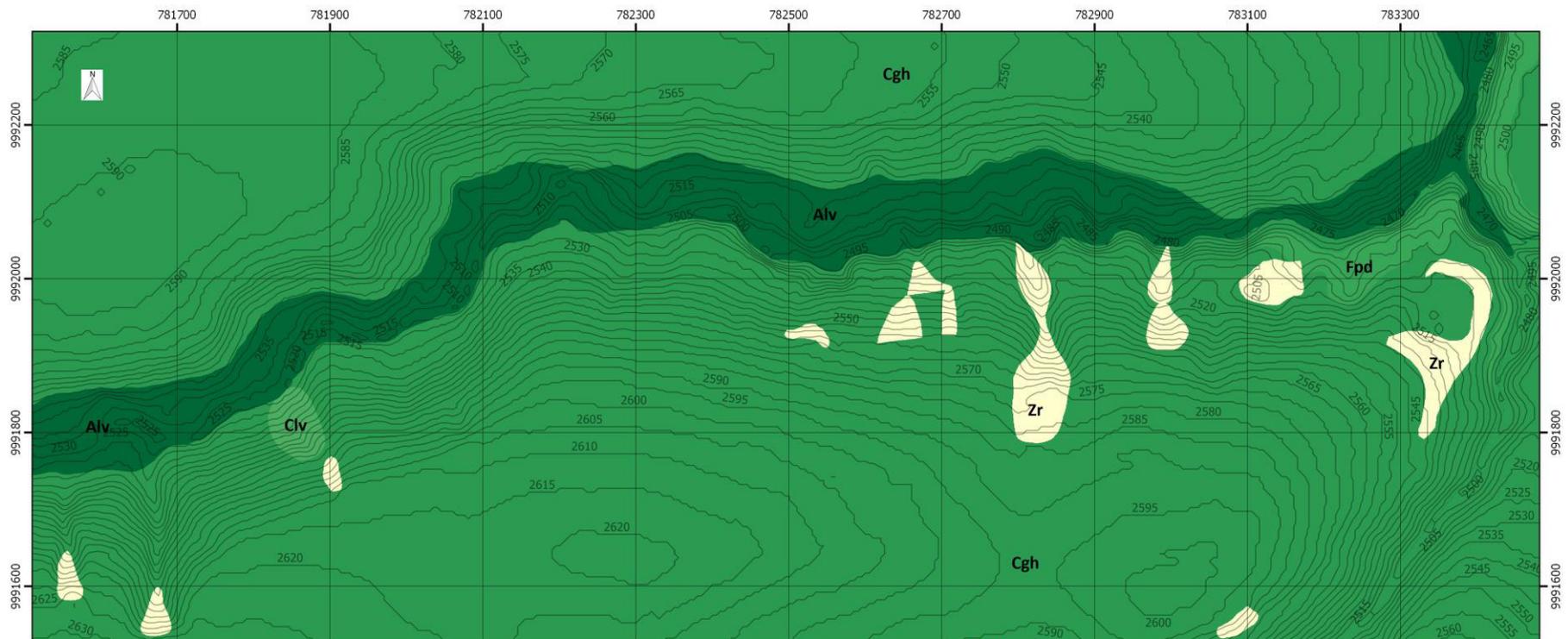
MAPA DE COHESIÓN

REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000



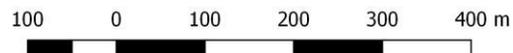
Leyenda

-  Drenajes
-  Curvas de nivel

RANGOS DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN

-  0° - 15°
-  15° - 25°
-  25° - 30°
-  30° - 35°

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

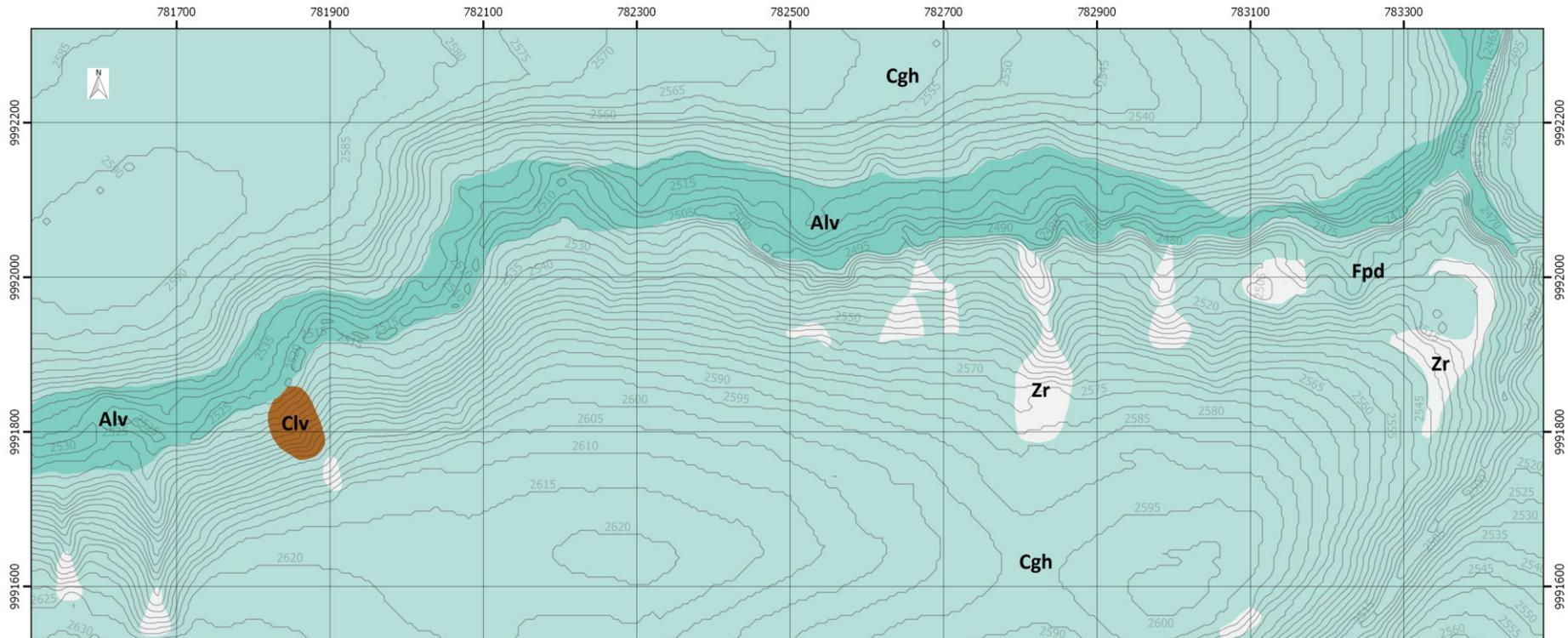
MAPA DE FRICCIÓN

REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000



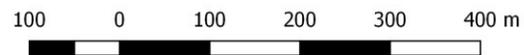
Leyenda

- Drenajes
- Curvas de nivel

RANGOS DE PESO ESPECÍFICO EN CONDICIÓN SECA (KN/m³)

- 16 - 17
- 17 - 18
- 18 - 19

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

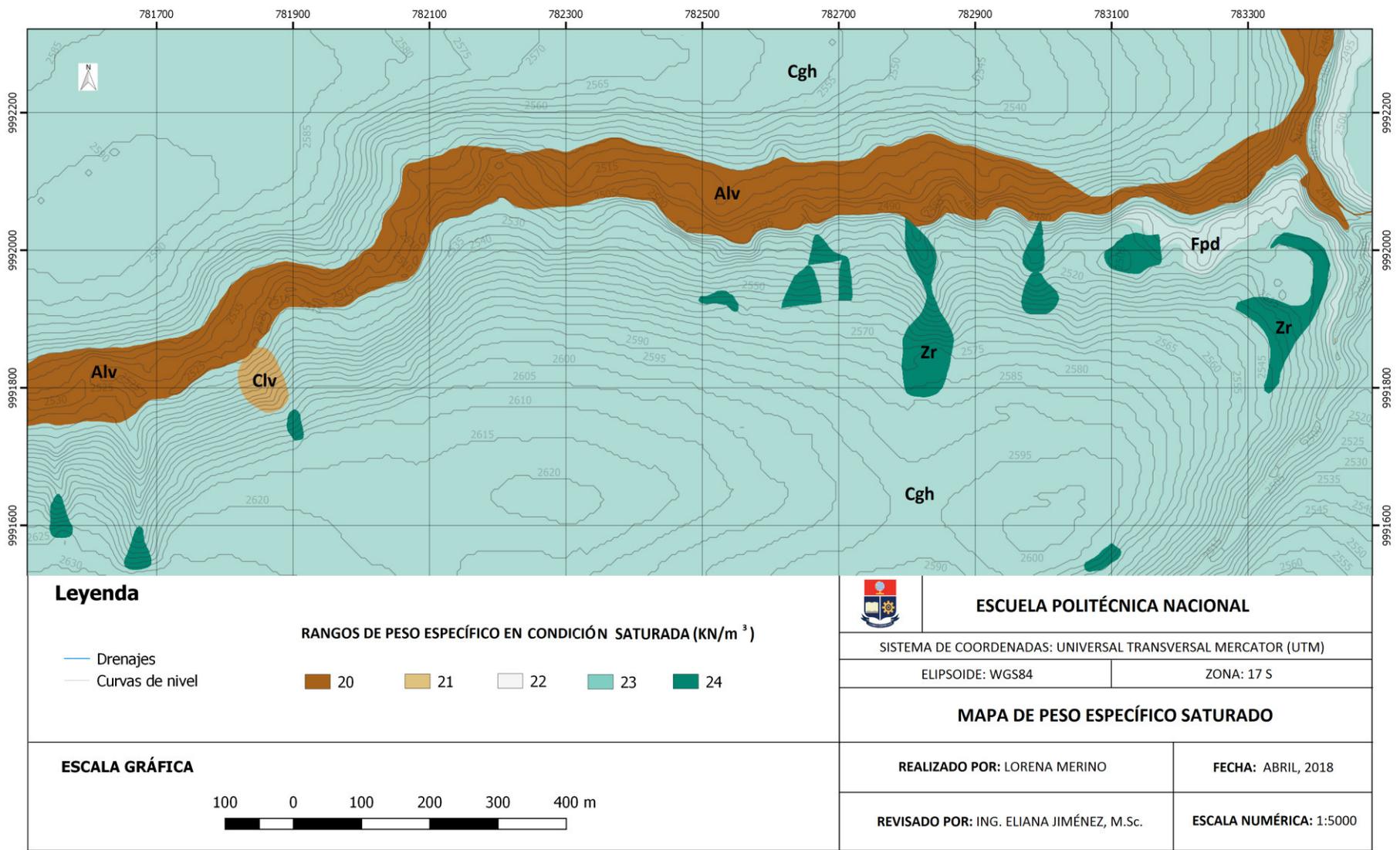
MAPA DE PESO ESPECÍFICO SECO

REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

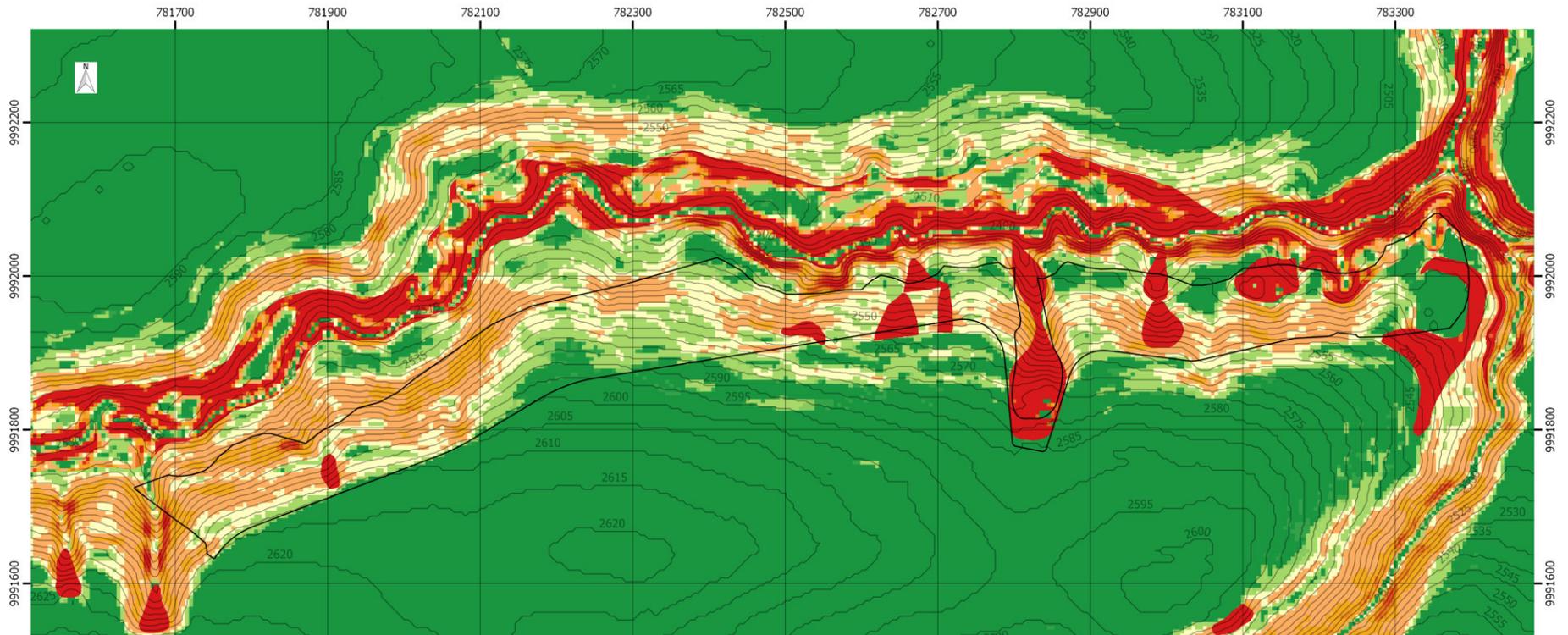
REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000



Anexo VIII. Mapa de Pendientes.

Anexo IX. Mapas de Factor de Seguridad.



Leyenda

RANGOS DE FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIÓN SECA



— Curvas de Nivel
 — Área del Barrio Atacaba

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

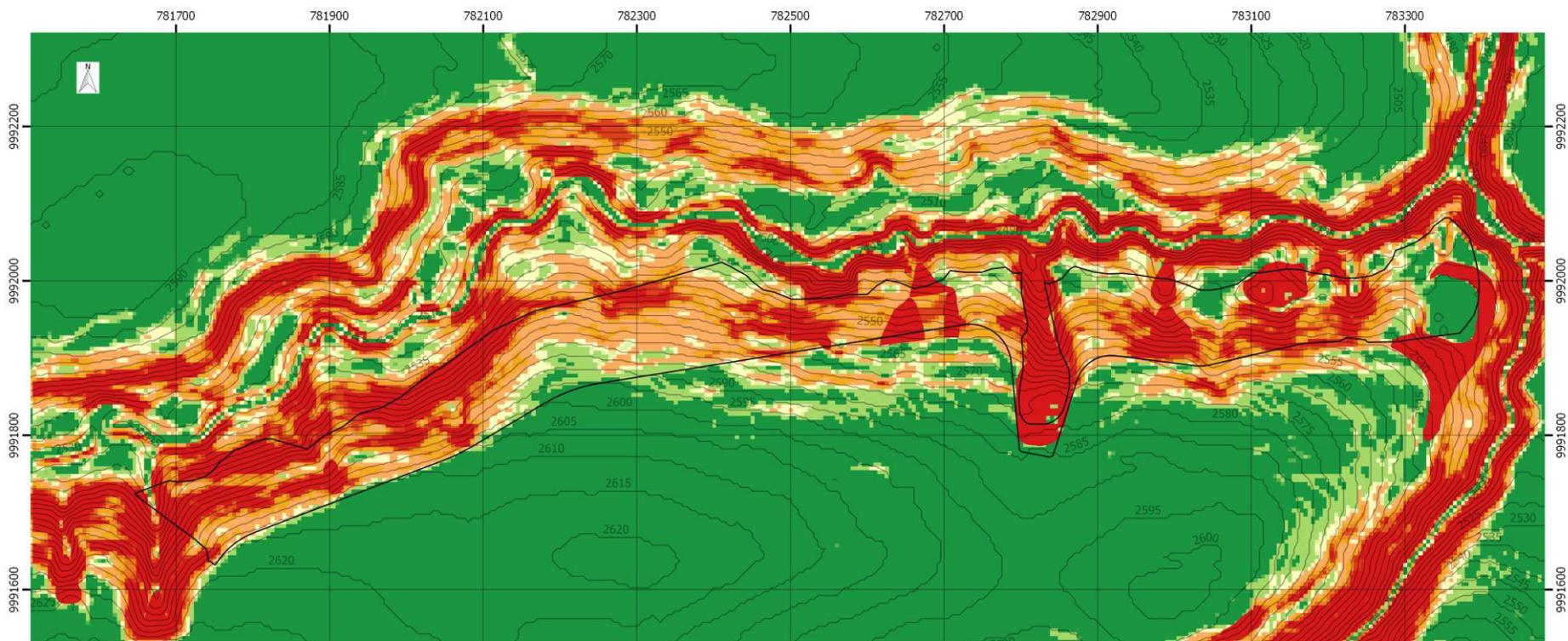
MAPA DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIÓN SECA

REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000



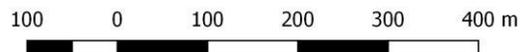
Leyenda

RANGOS DE FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIÓN SATURADA



— Curvas de Nivel
 — Área del Barrio Atacaba

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

MAPA DE FACTOR DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIÓN SATURADA

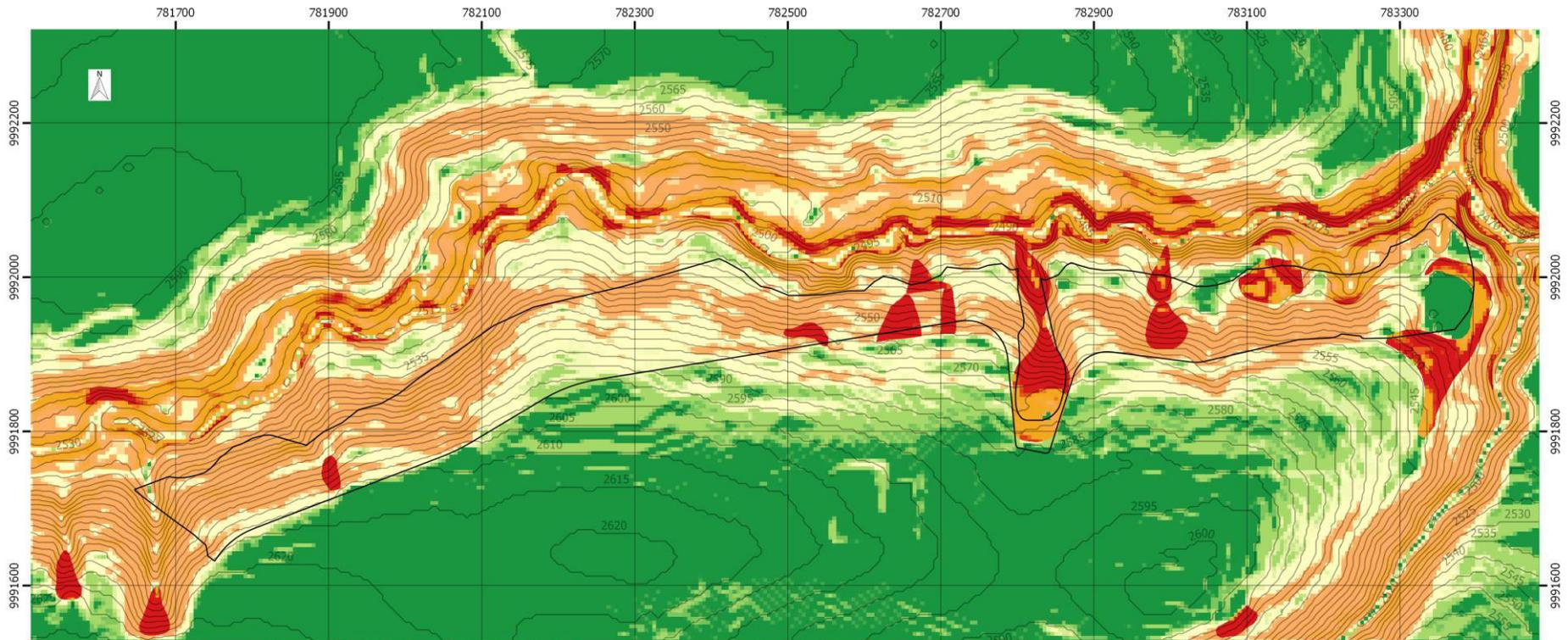
REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000

Anexo X. Mapas de Aceleración Crítica.



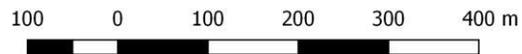
Leyenda

RANGOS DE ACELERACIÓN CRÍTICA EN CONDICIÓN SECA

■ < = 0.2 (g)
 ■ 0.2 - 0.4 (g)
 ■ 0.4 - 0.6 (g)
 ■ 0.6 - 0.8 (g)
 ■ 0.8 - 0.9 (g)
 ■ > 1 (g)

— Curvas de Nivel
 — Área del Barrio Atacaba

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

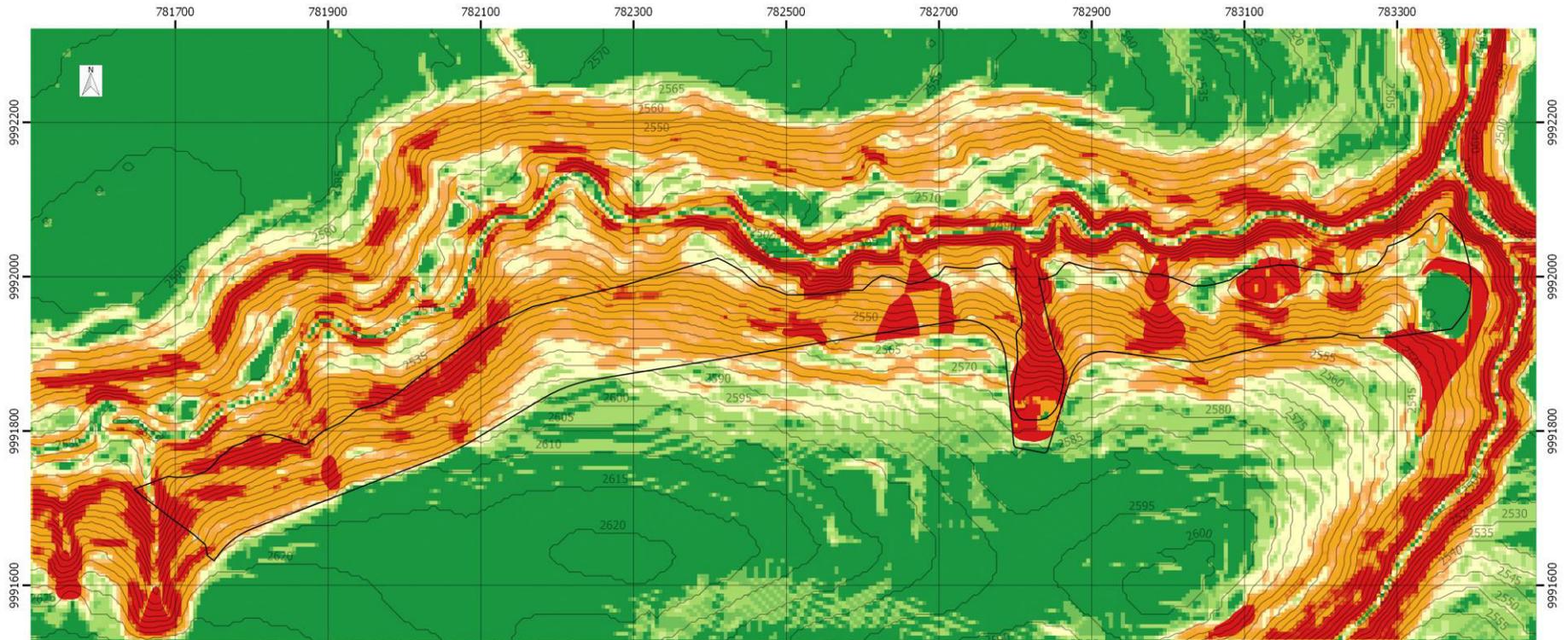
MAPA DE ACELERACIÓN CRÍTICA EN CONDICIÓN SECA

REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000



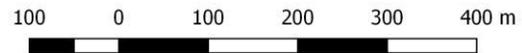
Leyenda

RANGOS DE ACELERACIÓN CRÍTICA EN CONDICIÓN SATURADA

< = 0.2 (g)
 0.2 - 0.4 (g)
 0.4 - 0.6 (g)
 0.6 - 0.8 (g)
 0.8 - 0.9 (g)
 > 1 (g)

— Curvas de Nivel
 — Área del Barrio Atacaba

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

MAPA DE ACELERACIÓN CRÍTICA EN CONDICIÓN SATURADA

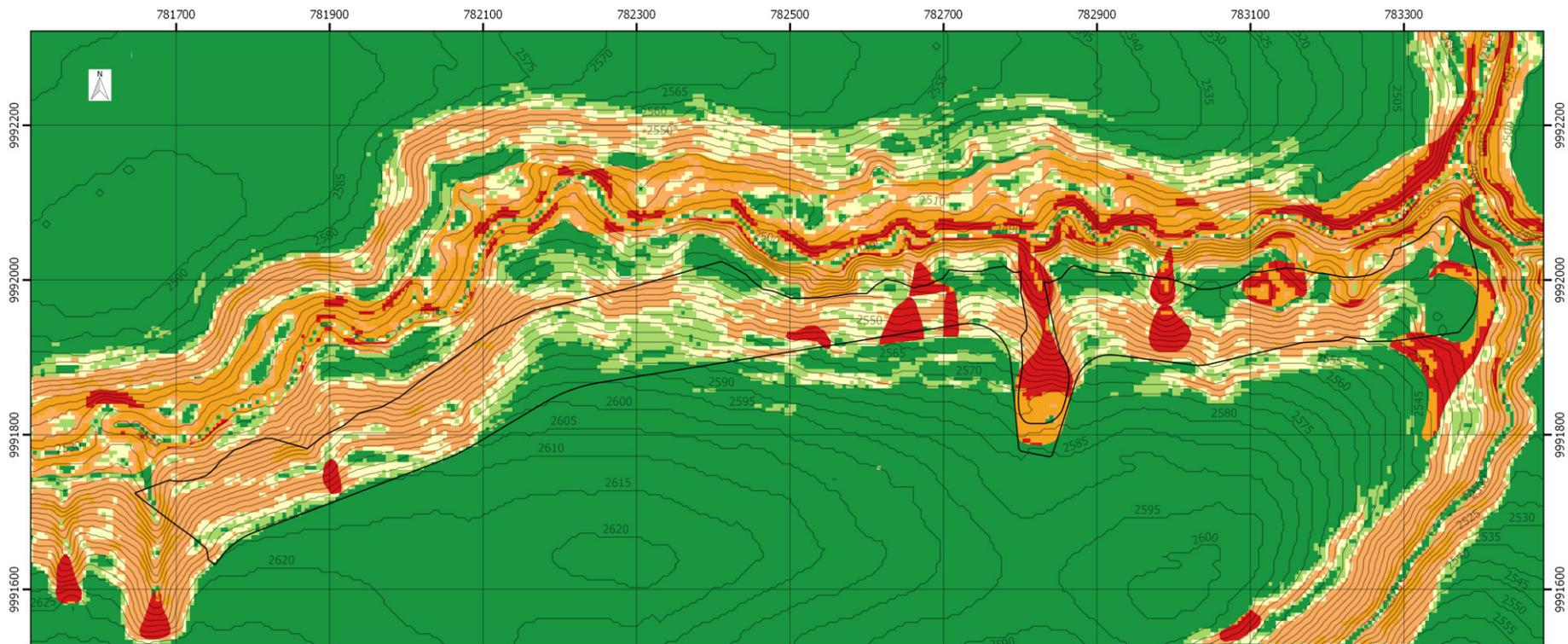
REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000

Anexo XI. Mapas de Desplazamientos de Newmark. Sismo Coalinga (1983).



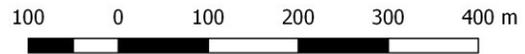
Leyenda

DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK EN CONDICIÓN SECA SISMO COALINGA

< 0.5 (cm)
 0.5 - 1 (cm)
 1 - 1.5 (cm)
 1.5 - 2.5 (cm)
 2.5 - 5 (cm)
 > 5 (cm)

— Curvas de Nivel
 — Área del Barrio Atacaba

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

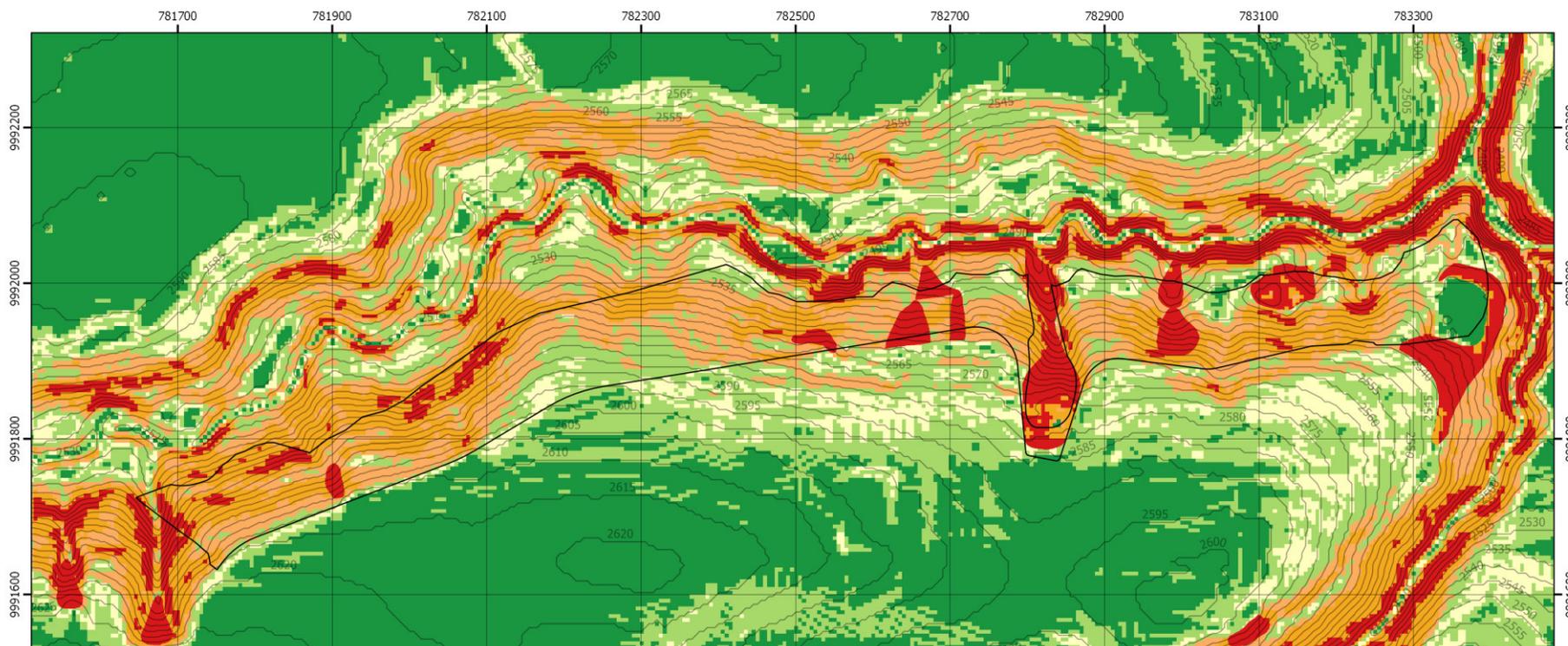
MAPA DE DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK EN CONDICIÓN SECA SISMO COALINGA (1983)

REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000



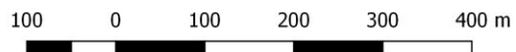
Leyenda

DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK EN CONDICIÓN SATURADA SISMO COALINGA

< 0.5 (cm)
 0.5 - 1 (cm)
 1 - 1.5 (cm)
 1.5 - 2.5 (cm)
 2.5 - 5 (cm)
 > 5 (cm)

— Curvas de Nivel
 — Área del Barrio Atacaba

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

MAPA DE DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK EN CONDICIÓN SATURADA SISMO COALINGA (1983)

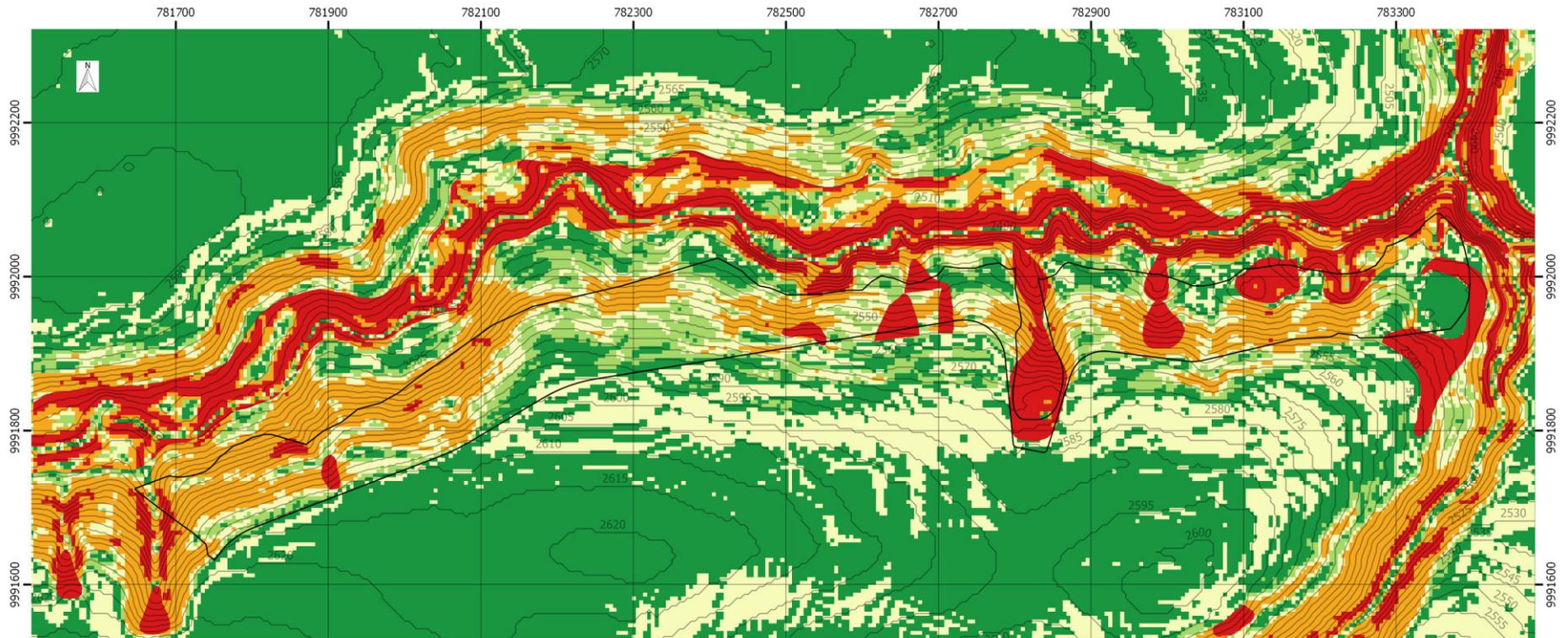
REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000

Anexo XII. Mapas de Desplazamientos de Newmark Sismo Loma Prieta, (1989).



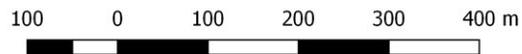
Leyenda

DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK CONDICIÓN SECA SISMO LOMA PRIETA

< 0.5 (cm)
 0.5 - 1 (cm)
 1 - 1.5 (cm)
 1.5 - 2.5 (cm)
 2.5 - 5 (cm)
 > 5 (cm)

— Curvas de Nivel
 — Área del Barrio Atacaba

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

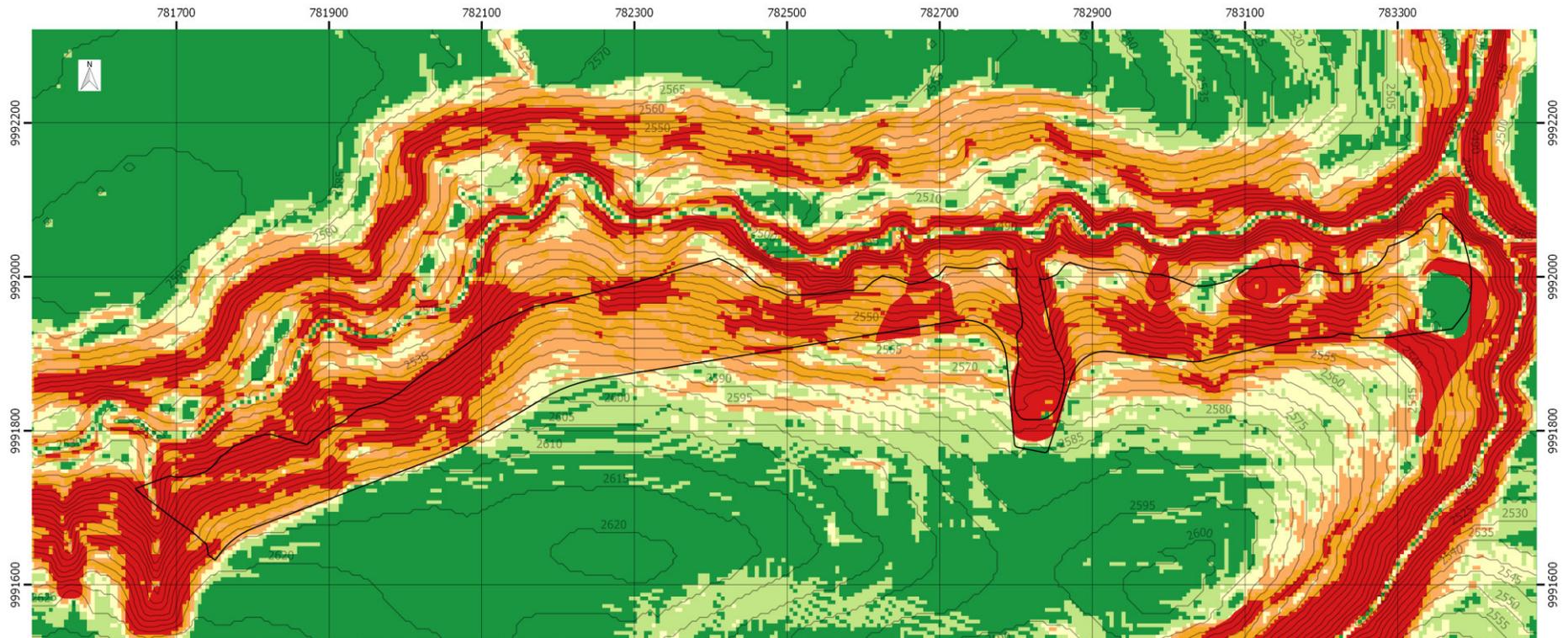
**MAPA DE DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK EN CONDICIÓN SECA
SISMO LOMA PRIETA (1989)**

REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000



Leyenda

DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK EN CONDICIÓN SATURADA SISMO LOMA PRIETA

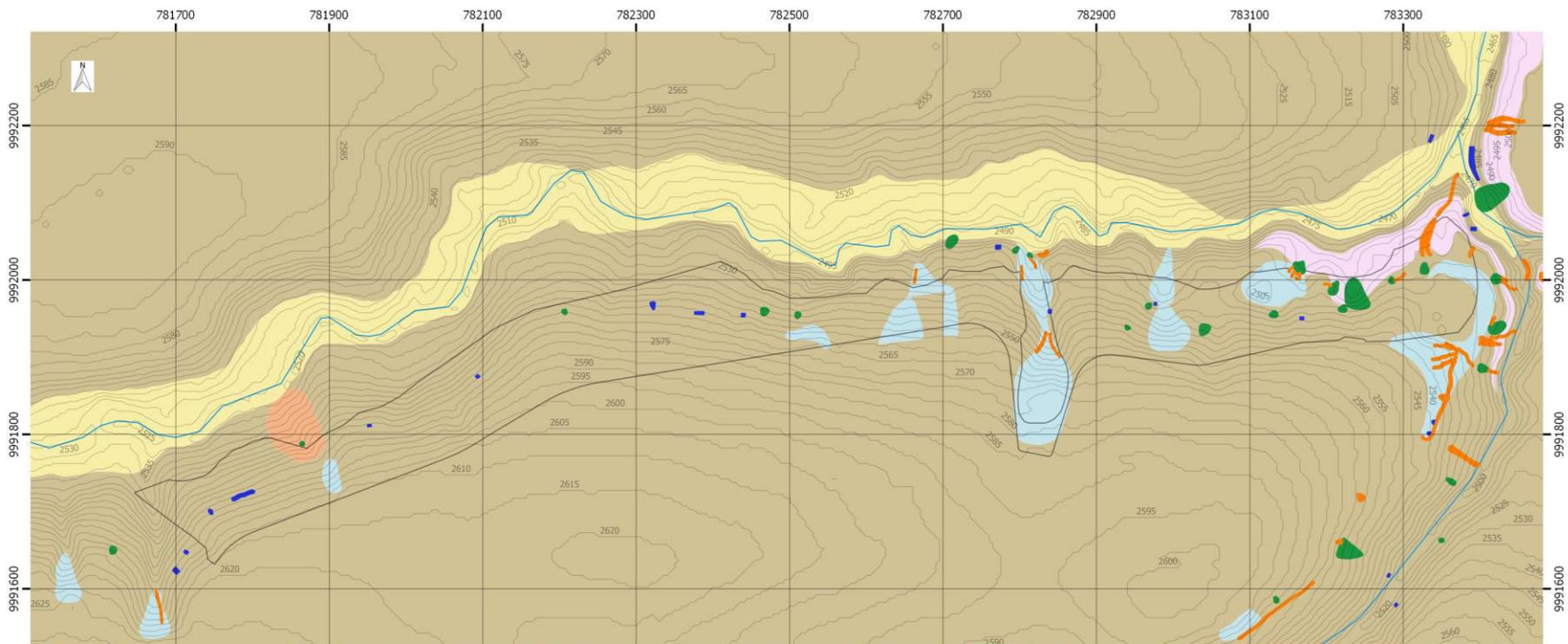
- < 0.5 (cm)
 - 0.5 - 1 (cm)
 - 1 - 1.5 (cm)
 - 1.5 - 2.5 (cm)
 - 2.5 - 5 (cm)
 - > 5 (cm)
- Curvas de Nivel
 — Área del Barrio Atacaba

ESCALA GRÁFICA



	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)		
ELIPSOIDE: WGS84		ZONA: 17 S
MAPA DE DESPLAZAMIENTOS DE NEWMARK EN CONDICIÓN SATURADA SISMO LOMA PRIETA (1989)		
REALIZADO POR: LORENA MERINO		FECHA: ABRIL, 2018
REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.		ESCALA NUMÉRICA: 1:5000

Anexo XIII. Inventario de Movimientos en Masa.



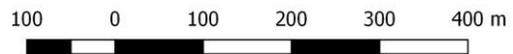
Leyenda

- Curvas de Nivel
- Área del Barrio Atacaba

INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA IMM

- FRM_Flujo
- FRM_DeslizRot
- FRM_Caida

ESCALA GRÁFICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS84

ZONA: 17 S

MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL BARRIO ATACABA

REALIZADO POR: LORENA MERINO

FECHA: ABRIL, 2018

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ, M.Sc.

ESCALA NUMÉRICA: 1:5000