

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

**ESTUDIO DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA COMO -EVENTOS
MORFOCLIMÁTICOS- EN EL PERIODO 1900 A 2020 SECTOR NORTE
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA GEÓLOGA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TATIANA CAROLINA ESPINOSA CHILIGUANO

tatiana.espinosa@epn.edu.ec

DIRECTORA: CAROLINA BERNAL C., PhD

isabel.bernal@epn.edu.ec

QUITO, Junio 2022

DECLARACIÓN

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

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

Tatiana Carolina Espinosa Chiliguano

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por TATIANA CAROLINA ESPINOSA CHILIGUANO, bajo mi supervisión.

Carolina Bernal C., PhD
Directora de proyecto

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen de El Quinche por guiarme y permitirme una vez más cumplir una de mis metas y por la bendición de contar con maravillosas personas a lo largo de esta etapa.

Agradezco a mis padres quienes me han formado de una manera responsable y amorosa, inculcándome valores y principios que han hecho de mí la mujer que soy. A mi padre William, por ser un hombre dedicado a su familia, llenarme de fortaleza y calma en los momentos más difíciles, a mi madre Edith, por ser amiga, madre, y esposa ejemplar, por transmitirme todo su amor y sabiduría en cada etapa de mi vida, sin duda los mejores padres que Dios me pudo dar; agradezco a mi hermana Iveth, que ha crecido junto a mí, por todas las risas y experiencias juntas.

Agradezco a mi directora PhD. Carolina Bernal, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, por el apoyo recibido, su tiempo, conocimiento e ideas para escribir este texto.

Quiero agradecer en especial a la MSc. Eliana Jiménez, quien me brindo apoyo desde el primer día en la realización del presente trabajo, y que junto a su conocimiento me ha permitido culminarlo.

Agradezco al proyecto Tomorrow's Cities, en especial a la MSc. María Isabel Cupuerán y MSc. Camilo Zapata, por su apoyo en la salida de campo, tiempo y conocimiento brindado a lo largo de la realización del trabajo.

Gracias a la carrera de Ingeniería Geológica de la Escuela Politécnica Nacional por la formación y con ello a los profesores que con su conocimiento me ayudaron a comprender que la geología es más que una carrera.

Quiero agradecer especialmente a Cristhian Chamba, por todo el amor, el tiempo y conocimiento compartido durante toda mi carrera universitaria; que siempre será una persona importante en mi vida.

Finalmente agradecer a mis amigos de la facultad Diego H., Anita Ch., Paola P., Leidy Z., Carlos Q., Bryan G. y Wilder M. por el tiempo, risas, consejos y experiencias compartidas a lo largo de este camino universitario, que sin ustedes no hubiera sido el mismo.

DEDICATORIA

*A Dios,
a mis amados padres Edith y William
que son la mayor bendición que he recibido*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPITULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Problemática.....	2
1.3. Justificativos.....	4
1.3.2. Justificación Metodológica.....	5
1.3.3. Justificación Práctica.....	6
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
CAPÍTULO 2.....	8
2. MARCO GEOLÓGICO.....	8
2.1. Geología Regional.....	8
2.1.1. Subcuencas Quito - San Antonio - Guayllabamba.....	12
2.2. Geología Local.....	13
2.2.1. Subcuencas Quito – San Antonio de Pichincha.....	13
2.2.2. Volcanes que afectan a la zona de estudio.....	15
2.2.3. Estratigrafía.....	17
2.2.4. Geomorfología.....	20
2.2.5. Tectónica Local.....	21
2.3. Caracterización de la zona de estudio.....	23
2.3.1. Localización.....	23
2.3.2. Población/Crecimiento.....	23

2.3.3.	Clima	24
2.3.4.	Precipitaciones	25
2.3.5.	Hidrología.....	25
2.4.	Marco Conceptual.....	26
2.4.1.	Movimientos en Masa	26
2.4.2.	Tipos de Movimientos en Masa como Evento Morfoclimático	29
2.4.3.	Factores Condicionantes	32
2.4.4.	Factores Desencadenantes.....	32
CAPÍTULO 3		38
3.	ASPECTOS METODOLÓGICOS	38
3.1.	Investigación Preliminar.....	39
3.1.1.	Recolección y revisión de la información existente	39
3.1.2.	Modelo Digital de Elevación (MDE).....	39
3.2.	Elaboración de Cartografía Temática	40
3.2.1.	Mapa de unidades geomorfológicas y estructuras geológicas	40
3.2.2.	Mapa restitución de la red de drenaje.....	42
3.2.3.	Mapa crecimiento mancha urbana.....	43
3.2.4.	Mapa inventario de eventos morfoclimáticos	45
3.3.	Análisis Estadístico.....	46
3.3.1.	Conteo de MMEM en relación a las precipitaciones medias mensuales	46
3.3.2.	Clasificación de los MMEM en base al tipo de drenaje.....	47
3.4.	Trabajo de Campo	47
3.5.	Mapa de Zonas Críticas	48
CAPÍTULO 4		50
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50

4.1.	Inventario Movimientos en Masa como Eventos Morfoclimáticos (MMEM).....	50
4.1.1.	Grupo I: Aluviones y Flujos.....	52
4.1.2.	Grupo II: Derrumbes y Deslizamientos	52
4.1.3.	Grupo III: Hundimientos	53
4.2.	Cartografía Geológica.....	53
4.2.1.	Mapa Geomorfológico	53
4.2.2.	Mapa Restitución de la Red de Drenaje.....	56
4.2.3.	Mapa Crecimiento Mancha Urbana	58
4.3.	Análisis Estadístico.....	60
4.3.1.	Precipitación Media Mensual.....	60
4.3.2.	Conteo de MMEM por unidad geomorfológica.....	62
4.3.3.	Clasificación de los MMEM en base al tipo de drenaje.....	63
4.4.	Mapa Zonas Críticas.....	64
4.4.1.	Zona A.....	64
4.4.2.	Zona B.....	64
4.4.3.	Zona C.....	65
4.4.4.	Zona D.....	65
4.5.	Discusión	69
CAPÍTULO 5		75
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1.	Conclusiones.....	75
5.2.	Recomendaciones	77
REFERENCIAS		78
ANEXOS.....		83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Consolidación de la mancha urbana aguas arriba de la Hacienda Marquesa de Solanda (Bernal, 2021).....	3
Figura 1.2: Ubicación de la zona inestable en el río Monjas (Jiménez, 2017).	4
Figura 2.1: Mapa de regiones morfotectónicas del Ecuador (Bès de Berc et al., 2005).....	9
Figura 2.2: Depresión Interandina Central. Modificado de Villagómez (2003).....	11
Figura 2.3: Columnas estratigráficas de las cuencas de la Depresión Interandina (Winkler et al., 2005).....	12
Figura 2.4: Mapa de ubicación subcuencas Quito – San Antonio de Pichincha y sistema fluvial de la zona.....	14
Figura 2.5: Disposición de los principales complejos volcánicos cerca de la zona de estudio (Tomado y modificado de Pacheco y Andrade, 2014).....	16
Figura 2.6: Estratigrafía propuesta para la cuenca San Antonio de Pichincha (Pacheco, 2013). .	17
Figura 2.7: Vista tridimensional de la cuenca de Quito (Alvarado et al., 2014).	21
Figura 2.8: Esquema geomorfológico del Sistema de Fallas de Quito (Modificado de Alvarado et al., 2014).....	22
Figura 2.9: Mapa de ubicación zona de estudio, microcuenca hidrográfica del río Monjas.	23
Figura 2.10: a) Desarrollo de un MMEM en pendiente pronunciada con áreas pobladas. b) Influencia de la lluvia y erosión en pendientes que detona en un MMEM.	34
Figura 2.11: Construcción de viviendas informales en pendientes pronunciadas sobre laderas de la MHRMo, sector Atucucho (El Comercio, 2021).	35
Figura 3.1: Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio de investigación.....	38
Figura 3.2: Figura de la base de datos de MMEM de la zona de estudio (Proyecto Tomorrow's Cities, 2020).	39
Figura 3.3: Modelo Digital de Elevación 4m de la zona norte, microcuenca del río Monjas, DMQ.....	40
Figura 3.4: Hojas cartográficas 1:25 000. a) Chaupicruz b) El Condado c) Quito d) San Antonio de Pichincha (SSG-MDMQ, 2017).	41
Figura 3.5: Obtención de la red de drenaje a partir del MDE usando SAGA GIS.	43
Figura 3.6: Crecimiento Urbano en el período 1921 a 2015 (Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad, 2018).....	44

Figura 3.7: Mapa Inventario de eventos morfoclimáticos.	46
Figura 3.8: Zonas de mayor ocurrencia de movimientos en masa visitadas en la salida de campo. Pomasqui (A), Carapungo (B), Atucucho-Cotocollao (C), El Condado (D).	48
Figura 3.9: Clases tomadas para la categorización de las áreas críticas a desencadenar un MMEM.	49
Figura 4.1: Mapa inventario de movimientos en masa como MMEM.	51
Figura 4.2: a) Lodo y escombros que arrastró el aluvión en el sector de Pomasqui, b) Arrastre de vehículos producto de la fuerza del aluvión (Fotografías tomadas de El Comercio sobre las afectaciones ocurridas en el aluvión del 16 de septiembre del 2020).	52
Figura 4.3: a) Deslizamiento disparado por fuerte precipitaciones en el barrio San José de Monjas (Tomado de El Comercio), b) Derrumbes en el sector de La Pampa (Tomado de diario El Universo).	53
Figura 4.4: Fotografía sobre las afectaciones ocurridas a causa del hundimiento en el sector de Pomasqui del 22 de abril del 2011, proporcionada por EPMAPS (Tomado de diario El Comercio).	53
Figura 4.5: Mapa Geomorfológico de la zona de estudio, microcuenca del río Monjas, en donde se muestra principalmente las diferentes unidades geomorfológicas que lo constituyen, (Tomado y modificado de SSG-MDMQ, 2017 y SIGTIERRAS, 1995).	55
Figura 4.6: Mapa de Restitución de la red de drenaje de la zona de estudio (MHRMo), se muestra los 3 tipos de drenaje (Libre, Relleno y Entubado) y al río Monjas como drenaje principal.	57
Figura 4.7: Mapa de Crecimiento Urbano desde el año 1790 hasta 2020 (Modificado de la Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad, 2018).	59
Figura 4.8: Representación estadística del número de MMEM por período de tiempo.	60
Figura 4.9: Distribución de la precipitación media mensual multianual, período 2000-2019 (mm) de las estaciones San Antonio (C07), Calderón (P20), Carapungo y Cotocollao (Tomado de EPMAPS, 2019).	61
Figura 4.10: Comparación del número de eventos en relación con la distribución de precipitación media mensual en el período 2000-2019.	62
Figura 4.11: Número de eventos morfoclimáticos por grupos y por unidad geomorfológica.	63
Figura 4.12: Representación estadística de MMEM por condición de drenaje.	63

Figura 4.13: Mapa de zonas críticas a MMEM de la microcuenca del río Monjas y unidades geomorfológicas	67
Figura 4.14: Mapa de zonas críticas a MMEM de la microcuenca del río Monjas.	68
Figura 4.15: a) Viviendas en situación de riesgo ubicadas en Laderas del Cisne, sector Atucucho, b) Cortes antitécnicos en los taludes y vulnerabilidad estructural de las viviendas.	70
Figura 4.16: a) Escarpe de deslizamiento en la quebrada del río Monjas, sector Ciudad Bicentenario UTM 0783404 / 9992778, b) Escarpe de deslizamiento quebrada El Colegio, sector El Condado. UTM 0779692 / 9989042 (Tomadas por Zapata, 2022)..	71
Figura 4.17: a) Sistema de drenaje artesanal de las viviendas informales en el talud de la quebrada El Colegio que descragan sus aguas residuales, b) Vivienda al borde del colpaso. UTM 0779692 / 9989042.....	71
Figura 4.18: a) Escarpe de deslizamiento en el sector La Pampa UTM 0783797 / 9995510, b) Escarpe de múltiples deslizamientos a lo largo de la quebrada Carretas UTM 0783296 / 9990244 (Tomada por Zapata, 2022).....	72
Figura 4.19: a) Colector El Colegio (Tomado de Teleamazonas, 2022), b) y c) Daños en la infraestructura de la hacienda en el sector “La Esperanza” a causa del movimiento progresivo hacia abajo del talud de la quebrada El Colegio. UTM 0779692 / 9989042.	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Descripción características principales de los tipos de Movimientos en masa (Landslide Handbook, USGS; Santillán y Vite, 2011).	31
Tabla 2.2: Descripción de los Factores Condicionantes de un movimiento en masa (Bisbal et al., 2011).	32
Tabla 3.1: Agrupación de unidades geomorfológicas de acuerdo con su génesis y sus características geomorfológicas (Tomado y modificado de SSG-MDMQ, 2017).	42
Tabla 4.1: Número de movimientos en masa como eventos morfoclimáticos con la ubicación dentro la microcuenca del río Monjas	50
Tabla 4.2: Nivel de gravedad de MMEM según la gravedad de daños reportados (Tomado como referencia la escala usada por Peltre, 1989).	52
Tabla 4.3: Unidades geomorfológicas agrupadas de acuerdo con su génesis, características y litología (Tomado y modificado de SSG-MDMQ, 2017)	54
Tabla 4.4: Número de MMEM por unidad geomorfológica.	56
Tabla 4.5: Condición del drenaje con el porcentaje que representa en la microcuenca del río Monjas.	58
Tabla 4.6: Número de MMEM reportados por tipo de drenaje de la MHRMo.	58

RESUMEN

Los movimientos en masa han sido en los últimos años una de las amenazas más recurrentes dentro del Distrito Metropolitano de Quito DMQ, afectando principalmente a las zonas de altas pendientes y quebradas donde la población ha ido asentándose como consecuencia del crecimiento de la ciudad. Esta investigación se desarrolla en la microcuenca hidrográfica del río Monjas MHRMo, ubicada al norte del DMQ, la cual está compuesta principalmente por depósitos aluviales de relleno, flujos piroclásticos y flujos de lava indiferenciados de los volcanes Pululahua, Casitagua y Complejo volcánico Pichincha; el río Monjas es el afluente principal con un cauce de aproximadamente 23 km de longitud que drena la microcuenca en sentido Sur-Norte. En el período de 1900 a 2020 han ocurrido en esta zona 86 movimientos en masa caracterizados dentro de una base de datos que recoge los eventos morfoclimáticos para Quito en ese período y que ha sido levantada dentro del proyecto internacional Tomorrow's Cities, PIE-DG-IG-UEDINBURGH-2020. Estos 86 movimientos en masa como eventos morfoclimáticos MMEM, se han agrupado en tres tipos: flujos - aluviones, deslizamientos - derrumbes y hundimientos. Este estudio muestra la relación entre la ocurrencia de estos eventos con los datos pluviométricos, la geomorfología, el tipo de drenaje y el crecimiento de la mancha urbana en el período de 1900 a 2020, mediante el uso de herramientas del sistema de información geográfica. Para establecer las relaciones de ocurrencia se ha realizado la restitución del drenaje con el modelo digital de elevación, de resolución 4m que permite identificar el tipo de drenaje: Libre, Relleno y Entubado; también se compara el mapa geomorfológico de SIGTIERRAS, 1995 con las hojas cartográficas de la SSG-MDMQ, 2017 con el fin de obtener un mapa de unidades geomorfológicas dentro de la microcuenca, además se actualiza el mapa de mancha urbana hasta el año 2020. A través de la conjugación de todos estos factores se generó un mapa de densidad que permite obtener 4 zonas críticas ubicadas en Carapungo, Atucucho/Cotocollao, Pomasqui y El Condado, en donde la ocurrencia de MMEM ha afectado a la población situada en los márgenes de las quebradas del río Monjas. Del análisis de los datos obtenidos se puede determinar que la MHRMo es afectada por los MMEM cuando se incrementan los valores de precipitación en los meses de abril, septiembre y octubre, estos eventos se desencadenan en mayor proporción sobre los drenajes de tipo Relleno y zonas donde las pendientes superan los 35°; además se observa que los MMEM predominan en zonas de flujos piroclásticos y flujos de lava indiferenciados de los volcanes Pululahua, Casitagua y Pichincha; esto en conjunto con el crecimiento de la mancha urbana en los últimos años hacen de la microcuenca un lugar favorable para la generación de MMEM.

ABSTRACT

The mass movements have been one of the most recurrent threats in the Distrito Metropolitano de Quito DMQ, mainly affecting areas with high slopes and ravines where the population has been settling because of the growth of the city. This research is carried out in the hydrographic micro-basin of the Monjas river (MHRMo), located north of the DMQ, which is mainly composed of alluvial fill deposits, pyroclastic flows and undifferentiated lava flows from the Pululahua, Casitagua volcanoes, and Pichincha volcanic complex; the Monjas river is North Quito's main stream with a channel of approximately 23 km in length that drains the micro-basin in a South-North direction. In the period from 1900 to 2020, 86 mass movements have occurred in this area, characterized by a database that collects the morphoclimatic events for Quito in that period and that has been raised in the international project Tomorrow's Cities, PIE-DG -IG-UEDINBURGH-2020. These 86 mass movements as morphoclimatic events MMME have been grouped into three types: flows-alluvium, landslides-collapses, and subsidence. This study shows the relationship between the occurrence of these events with rainfall data, geomorphology, the type of drainage, and the growth of the urban area in the period from 1900 to 2020, using geographic information system tools. In order to establish the occurrence relationships, the restitution of the drainage has been carried out with the digital elevation model, with a 4m resolution that allows identifying the type of drainage: Free, Filled, and Tubed; The geomorphological map of SIGTIERRAS, 1995, is also compared with the cartographic sheets of the SSG-MDMQ, 2017 in order to obtain a map of geomorphological units within the micro-basin, in addition, the urban area map is updated until the year 2020. Through the combination of all these factors, a density map was generated that allows obtaining 4 critical zones located in Carapungo, Atucucho/Cotocollao, Pomasqui, and El Condado, where the occurrence of MMME have affected the population located in the margins of the Monjas river ravines. From the analysis of the data obtained, it can be determined that the MHRMo is affected by the MMME when the precipitation values increase in the months of April, September, and October, these events are triggered in a more significant proportion on the Filled drainages and areas where slopes exceed 35°; it is also observed that the MMME predominate in areas of pyroclastic flows and undifferentiated lava flows of the Pululahua, Casitagua and Pichincha volcanoes; This, together with the growth of the urban sprawl in last years, makes the micro-basin a favorable place for the generation of MMME.

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La Microcuenca Hidrográfica del río Monjas, MHRMo, está ubicada al norte del Distrito Metropolitano de Quito, DMQ, que se encuentra a 2800 metros de altura sobre el nivel del mar (msnm) en un espacio físico de sismicidad y volcanismo activo dentro de la cuenca intramontañosa Quito – Guayllabamba, la cual es parte de la Depresión Interandina (DI) (Alvarado et al., 2014). Esta región interandina está definida como una depresión topográfica de dirección Norte - Sur, delimitada al Este por la Cordillera Real y al Oeste por la Cordillera Occidental y se extiende a lo largo de 300 km con un ancho entre 20 y 30 km (Hall et al., 2008).

La cuenca donde se encuentra asentada la ciudad de Quito está formada por un relleno volcanoclástico de edad Plio-Cuaternaria y es la zona de mayor densidad urbana del DMQ, la cual se ubica en un banco estructural, a lo largo del borde occidental de la DI, está formada por tres subcuencas colgantes, las cuencas: Machángara, El Batán y San Antonio. La DI cerca de Quito está bordeada por múltiples complejos volcánicos, entre ellos el Complejo Volcánico Pichincha al oeste y el Volcán Cotopaxi al SE, los cuales representan tanto una amenaza sísmica como volcánica en esta región; además está bordeada por una serie de colinas segmentadas onduladas con tendencia N20°E al Este que se extienden a lo largo de 60 km de la DI en el norte de Ecuador y se encuentran levantadas y deformadas por consecuencia de la actividad tectónica cuaternaria relacionada con la cinemática del Sistema de Fallas de Quito ubicado al este de la ciudad, marcando una diferencia de altura de aproximadamente 500 metros respecto a la DI (Alvarado et al., 2014).

La región andina, donde se ubica el DMQ recibe la influencia alternada de masas de aire oceánico y amazónico, de allí se deriva un régimen pluviométrico con dos estaciones lluviosas, de febrero a mayo y de octubre a noviembre. La primera estación seca, situada entre junio y septiembre es muy marcada, mientras que la segunda generalmente tiene lugar en diciembre y es mucho menos acentuada (Pourrut, 1995). La precipitación juega un rol importante en el desencadenamiento de movimientos en masa, la acción que ejerce la precipitación sobre los factores físicos (geodinámica de la tierra) y antrópicos (generados por actividades de la población) es determinante o no para la

ocurrencia de dichos movimientos, por ejemplo, cada año en época invernal la lluvia tiene un diferente comportamiento, la presencia de lluvia en zonas de fuerte pendiente y con poca capacidad de drenaje y erosionadas por las acciones humanas constituye una combinación de factores para la generación de movimientos en masa (Estacio y Rodríguez, 2012).

La ocurrencia de los movimientos en masa en zonas urbanas está directamente relacionada con el reemplazo del sistema natural de drenaje de las quebradas por una red de alcantarillas que no puede ser técnicamente dimensionada para evacuar las crecidas brutales y violentas de los torrentes que dan lugar a las precipitaciones más intensas del clima ecuatorial de altura (Peltre, 1989).

En el presente trabajo, se realizará un estudio espacio temporal de los movimientos en masa disparados por lluvias en un período de 120 años y su relación con los aspectos geomorfológicos y factores antrópicos relacionados al crecimiento urbano en la microcuenca del río Monjas al norte de la ciudad de Quito.

1.2. Problemática

Se ha observado que los movimientos en masa como eventos morfoclimáticos (MMEM) son más recurrentes con el pasar del tiempo justamente la acción humana, la lluvia y las características geodinámicas del espacio físico del DMQ son los principales factores que agravan el escenario, pues si bien existen áreas con pendientes abruptas estas cada vez son más antropizadas (Estacio y Rodríguez, 2012), por ello, es importante determinar las zonas donde los eventos han sido más recurrentes con el fin de emprender futuras acciones de monitoreo.

Dentro de la microcuenca del río Monjas se han recopilado 86 MMEM que han sido reportados, los cuales son disparados por fuertes lluvias combinadas con prácticas antrópicas inadecuadas como el mal manejo del sistema de alcantarillado, relleno de quebradas y el asentamiento de la población en zonas de riesgo. Dentro de los cuales se pueden mencionar dos grandes problemas que están afectando a viviendas aledañas al cauce del Río Monjas entre ellas la zona de La Pampa, quebrada El Colegio y Carretas.

Existen condiciones de alto riesgo por movimientos en masa y erosión de las márgenes del río Monjas y sus tributarios, ocasionados por incrementos abruptos del caudal durante precipitaciones intensas, concretamente a lo largo del talud de la quebrada El Colegio, colindante con el barrio La Esperanza de la parroquia Carcelén, Administración Zonal La Delicia, han ocurrido múltiples

eventos de ese tipo de variada magnitud e intensidad. En los últimos meses las constantes crecidas de caudal y las precipitaciones extraordinarias han profundizado considerablemente el cauce, afectando progresivamente a las viviendas colindantes, parte de la calzada y la infraestructura pública existente en la zona (Secretaría General de Seguridad del DMQ, 2021).

Citando un ejemplo, la Hacienda Marquesa de Solanda se encuentra ubicada a lado de la Quebrada El Colegio, río Monjas, y su jardín se encuentra ya afectado por un deslizamiento activo (Figura 1.1), cuyas huellas de inestabilidad son visibles en imágenes satelitales desde el año 2005. En los últimos 15 años, la erosión al pie del talud ha provocado un retroceso del escarpe de aproximadamente 20 metros, lo que ha dejado expuesta a esta propiedad (Bernal, 2021).

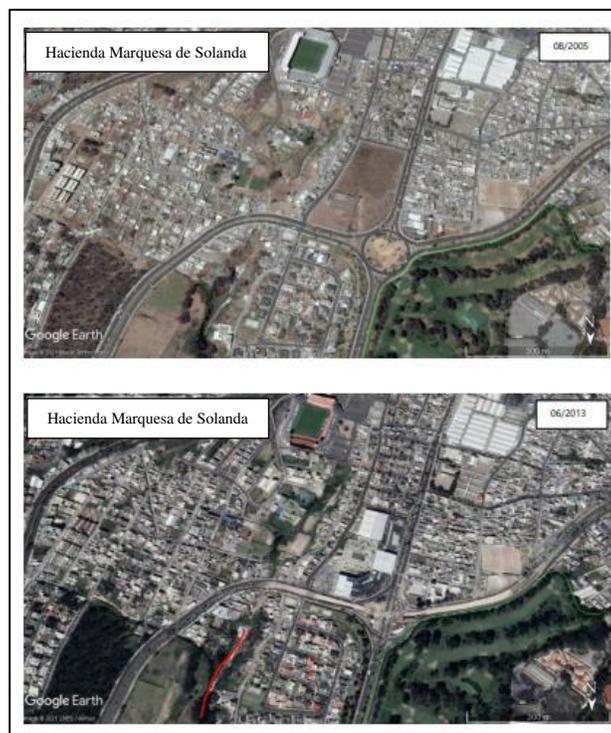


Figura 1.1: Consolidación de la mancha urbana aguas arriba de la Hacienda Marquesa de Solanda (Bernal, 2021).

Algo similar ocurre en la Urbanización La Pampa en el sector de Pomasqui donde se ha generado una zona inestable que está afectando a viviendas y la calle que llega al talud del río Monjas. En esta zona se ha generado un deslizamiento rotacional, cuyas huellas de inestabilidad se reportaron en 2002 y en los últimos 15 años, la erosión al pie del talud ha provocado un retroceso del escarpe de aproximadamente 30 metros, además se señala que a 2 km hacia el sur, existe otro deslizamiento

rotacional que se encuentra a menos de 20 metros de la Av. Simón Bolívar y que presenta el mismo mecanismo de erosión al pie del talud (Jiménez, 2017).

Así mismo, en las últimas dos décadas, las descargas graduales de aguas servidas hacia el sur de la Urbanización La Pampa, han generado procesos continuos de erosión en la base o pie de los taludes lo cual reduce su estabilidad. Cuando el río aumenta su caudal líquido, sea por descargas antrópicas y/o períodos de lluvias intensas, lo procesos naturales se alteran y en zonas de meandros (curvaturas del río), se erosiona la parte lateral y se depositan sedimentos en la curvatura (Figura 1.2) (Jiménez, 2017).

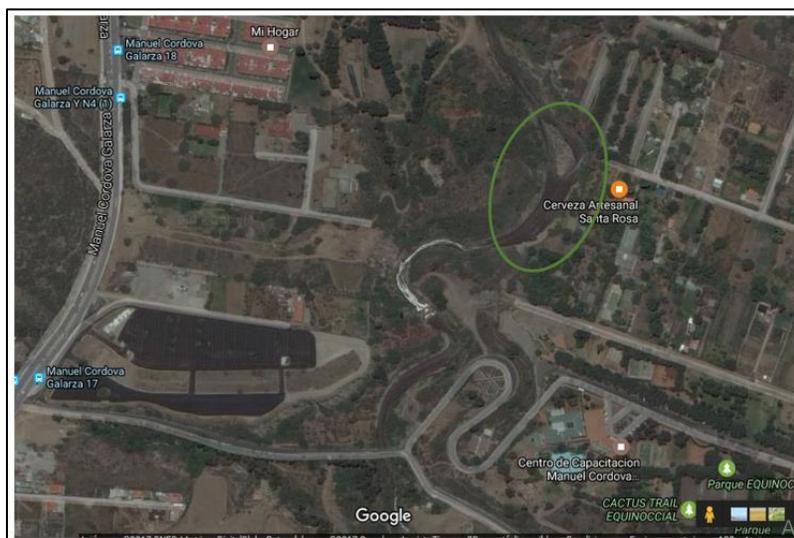


Figura 1.2: Ubicación de la zona inestable en el río Monjas (Jiménez, 2017).

1.3. Justificativos

1.3.1. Justificación Teórica

Los movimientos en masa disparados por lluvias son parte de los eventos morfoclimáticos ya que tienen una relación directa con la geomorfología, geología y el sistema de drenaje de la zona de estudio. En el territorio se combinan estos aspectos geológicos con el crecimiento urbano lo que determina zonas críticas donde estos eventos son más recurrentes y por ende requieren intervenciones futuras que aporten a una mejor planificación de la urbe.

En la ciudad de Quito los eventos recurrentes que más han afectado a la urbe han sido los movimientos en masa, los cuales han sido disparados por fuertes lluvias combinadas con prácticas

antrópicas inadecuadas como el mal manejo del sistema de alcantarillado, relleno de quebradas y el asentamiento de la población en zonas de riesgo.

El entendimiento de estos eventos se define a partir de la interacción de factores de relieve y forma de los suelos con factores causales o disparadores orientados hacia fenómenos exógenos como lluvias o actividades antrópicas que transforman y degradan el suelo y la protección natural de vertientes y laderas. De ahí que los movimientos en masa, inundaciones y hundimientos radican principalmente en el mal manejo de los suelos y del agua, cuyas consecuencias se reflejan en los múltiples rellenos de quebradas, vertientes y cauces naturales de desfogue de agua (Ayabaca, 2002).

1.3.2. Justificación Metodológica

En el estudio se realiza la revisión bibliográfica de los datos geológicos y geomorfológicos disponibles de estudios anteriores. En cuanto a los movimientos en masa asociados al disparador lluvia se parte de la base de datos desarrollada dentro del Proyecto Tomorrow's cities (Ciudades del Mañana) la cual contiene eventos desde el año 1900 a 2020, que fue completada con información de los diferentes tipos de movimientos en masa y su respectiva descripción a partir de fuentes como los periódicos e inventarios en línea como Desinventar, así como datos proporcionados por la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos del Municipio del DMQ.

Se realiza la restitución del mapa geomorfológico del DMQ con nuevos datos que se obtienen a partir de DEM, en donde se observa nuevos rasgos morfológicos, además se realiza la restitución del sistema drenaje con la ubicación de zonas de relleno y se completa las curvas de crecimiento urbano hasta el año 2020.

Finalmente, para el análisis de los movimientos en masa como eventos morfoclimáticos, con el mapa geológico existente, el mapa geomorfológico, el sistema de drenaje y las curvas de crecimiento de la mancha urbana se utiliza una herramienta SIG, por medio del cual se obtuvieron datos estadísticos necesarios para la interpretación espacio temporal y determinación de zonas críticas de mayor ocurrencia de eventos desencadenados por las precipitaciones, las cuales se determinaron a través de un proceso geoestadístico donde los factores que determinan los movimientos en masa como evento morfoclimático y se cruzaron con el mapa de restitución de drenaje y con el mapa geomorfológico de la zona norte del DMQ.

1.3.3. Justificación Práctica

El presente estudio a partir de la base de datos disponible de eventos morfoclimáticos del período de 1900 a 2020 del proyecto Tomorrow's cities (Ciudades del Mañana), cartografía temática que incluye a los factores geológicos, geomorfológicos y de crecimiento urbano de la ciudad acompañado de un análisis estadístico proporcionará información relevante relacionada con la determinación de zonas críticas de mayor ocurrencia de movimientos en masa, que permita entender de mejor manera como se conjugan el aspecto climático con el antrópico en un medio físico para la generación de movimientos en masa, y con ello este estudio constituirá un punto de partida para el análisis y posterior.

Implementación de sistemas de alerta temprana SAT de proyectos futuros, con herramientas que faciliten la gestión del riesgo en el DMQ.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Establecer la relación entre la ocurrencia espacio temporal de los movimientos en masa a partir de la interacción de factores geomorfológicos, climáticos y antrópicos, en un período de 120 años de la zona norte del Distrito Metropolitano de Quito.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Completar la base de datos de eventos morfoclimáticos del proyecto Tomorrow's cities (Ciudades del Mañana), enfocándose en los movimientos en masa disparados por lluvias a través de datos obtenidos entre el periodo de 1900-2020.
- Sistematizar la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio, sus principales unidades, sistemas hidrológicos y obtener la representación cartográfica respectiva.
- Identificar las zonas de mayor ocurrencia a través de la correlación de los movimientos en masa y sus características con las unidades geomorfológicas, mediante su ubicación y representación cartográfica.

- Analizar los movimientos en masa desde 1900 a 2020 en relación con el crecimiento de la mancha urbana por períodos de tiempo, así como la interacción con el sistema de drenaje de la zona.
- Realizar un análisis estadístico de la información en conjunto con la tendencia de precipitación media mensual de los eventos.
- Representar cartográficamente los resultados obtenidos para determinar zonas críticas de mayor recurrencia de movimientos en masa para recomendaciones de monitoreo.

CAPÍTULO 2

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Geología Regional

La cadena de los Andes se extiende por más de 9.000 km a lo largo del margen activo de América del Sur, la mayoría de las rocas expuestas en los Andes del norte (al norte 5° S) se formaron como consecuencia de la subducción de la litosfera oceánica del Pacífico (Placa Nazca) debajo de la corteza continental del noroeste de América del Sur (Placa Sudamericana). La subducción ha sido casi continua desde ~209Ma (Spikings et al., 2019 y Lavenu, 2006).

Este proceso de convergencia entre placas, en el Ecuador se ha dado desde el Oligoceno hasta la actualidad, es el generador del volcanismo, levantamiento y deformación existente en el margen occidental del continente Sudamericano, el cual ha dado lugar a un sistema orogénico en Ecuador, que está compuesto de dos cadenas montañosas sub-lineares, de dirección aproximada N-S, referidas como Cordillera Real ubicada al Este y Cordillera Occidental al Oeste, separadas por la Depresión Interandina (DI) (Figura 2.1) (Villagómez, 2003).

La Cordillera Occidental consta de rocas máficas e intermedias extrusivas e intrusivas yuxtapuestas tectónicamente con depósitos sedimentarios de la edad del Cretácico Superior al Mioceno (Jaillard et al., 2004 y Vallejo et al., 2019), la Cordillera Real consiste en cinturones sublineares alargados compuestos por rocas metamórficas paleozoicas, granitoides mesozoicos y rocas meta sedimentarias (Litherland et al., 1994 y Spikings et al., 2015).

La Depresión Interandina en la región ecuatoriana se extiende desde los ~ 2°30' en el sur del país hasta la frontera con Colombia (Winkler et al., 2005), se encuentra limitada al este por la Cordillera Real y al oeste por la Cordillera Occidental, constituye una depresión topográfica con dirección N-S a NNE- SSW. Sus dimensiones son ~25 km de ancho, 300 km de largo, y está limitada hacia el oriente por la falla Peltetec que puede representar una estructura del Jurásico tardío que se formó durante la acumulación de los terrenos que constituyen la Cordillera Real (Litherland et al., 1994). La falla Pallatanga - Pujilí - Calacalí, que se formó durante el Cretácico tardío de la acreción del terreno Pallatanga, define el borde occidental de la DI. Paralelamente con la falla de Pallatanga –

Pujilí - Calacalí, la DI gira al oeste hacia el Golfo de Guayaquil, y disecciona la topografía de la Cordillera Occidental (Lavenu, 2006). La cordillera Occidental y Real forman una sola cadena, al sur de los 2°30'S, sin una depresión central dominante y exenta de actividad volcánica cuaternaria (Hall et al., 2008).

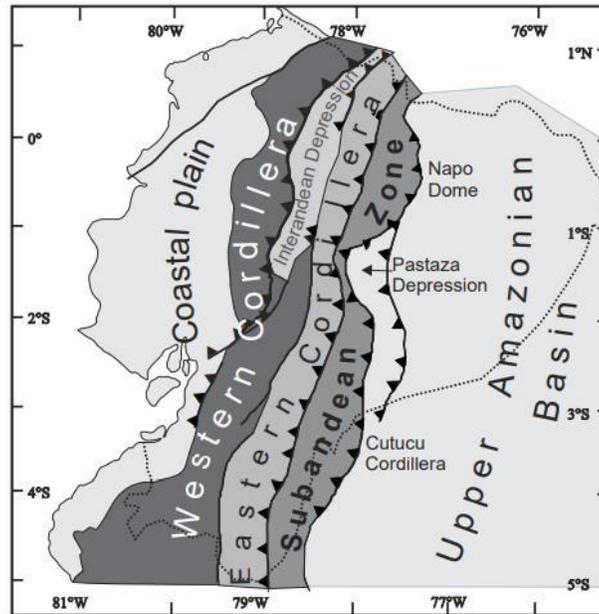


Figura 2.1: Mapa de regiones morfotectónicas del Ecuador (Bès de Berc et al., 2005).

La DI empezó a formarse en el Mioceno Tardío – Plioceno (Winkler et al., 2002), se caracteriza por una cuenca de edad pliocena terminal a cuaternaria ubicada entre fallas inversas. Los depósitos de esta cuenca plio-cuaternaria descansan sobre los depósitos de una proto-cuenca de edad miocena superior a pliocena cuyos sedimentos afloran en el sur de la depresión. Así, la formación de la Depresión Interandina habría empezado en el Mioceno superior (Lavenu, 2006).

Aunque existen varias incertidumbres en cuanto a la formación de la DI, se han planteado varios modelos acerca de su evolución entre los cuales tres de ellos se basan en eventos extensivos, uno que genero una depresión tectónica que es interpretada como un graben en el Mio-Plioceno (Hall.M., Yepes. H. 1980; Winter,1990; Villagómez, 2003) y el otro que la etapa inicial de las cuencas en el interior de la DI fue de extensión con una inversión tectónica posterior a los 0.78 Ma. (Pleistoceno medio) en dirección E-W (Villagómez, 2003). Además otro modelo basado en la neotectónica, el cual afirma que la DI es una cuenca transportada por fallas inversas de bajo ángulo

“Cuenca Piggy Back” (Tibaldi A. y Ferrari L. 1992). Por otra parte, al contrario nuevos datos de edades sugieren que la zona de la DI es formada en una zona compresiva generando una cuenca desde hace unos 6 Ma. por acoplamiento de la cordillera de Carnegie en la cual hubo una apertura y cierre de la cuenca como consecuencia del aumento o disminución en la tasa de convergencia (Villagómez, 2003; Spikings et al., 2005).

Otros modelos de la evolución de la DI es que esta se generó dentro de un ambiente transpresivo, según Alvarado et al., (2016) la DI se desarrolló en un ambiente strike slip en el noroeste de Sudamérica debido a la migración de lo que ahora se le ha denominado Silver Norandino por poseer deformación interna y no solamente ser un bloque migratorio independiente. Dicho Silver Norandino migra a través de un sistema de fallas en un ambiente transpresivo y cuya deformación es evidencia en la falla inversa de Quito y en la DI. Por otra parte se considera que la DI corresponde a una estructura restraining bend y que los Andes septentrionales ecuatorianos corresponden a una zona transpresiva con una dirección de esfuerzos E-W de manera casi constante en el Pleistoceno temprano. La actividad de este acortamiento ha permanecido de manera casi invariable en el segmento sur (Latacunga-Riobamba) más que en el segmento centro (Quito-Guayllabamba) (Ego et al., (1993, 1996)).

En cuanto a la geología del basamento de la DI aún existe cierta incertidumbre, sin embargo, existen algunas hipótesis que sugieren de la existencia de un microcontinente de rocas metamórficas (Chaucha – Arenillas) subyaciendo a la DI Aspden J y Litherland M. (1992). Según Hughes R. y Pilatasig L. (2002) el basamento de la DI estaría formado por las rocas de la Cordillera Real que se encuentran debajo la DI. Por otra parte se dice que la DI contiene un basamento tectónicamente complejo, que involucra a rocas de la Cordillera Real y Occidental en una cuña de acreción producida por el desmembramiento de una parte de la Cordillera Real en el Jurásico Tardío – Cretácico Temprano (Egüez A. y Aspden J. 1993; Villagómez, 2003). Por último se dice que el basamento de la DI corresponde a un plateau oceánico (San Juan) del Cretácico Temprano, acrecionado en el Campaniano Tardío (Jaillard E. et al., 2009 y McCourt W. et al., 1997).

La DI se encuentra dividida en tres segmentos: DI Norte, DI Central (Quito-Guayllabamba) y la DI Sur (Figura 2.2), de estos tres, la zona de estudio se halla en el segundo, la Depresión Interandina Central, la cual está delimitada por los volcanes Mojanda y Cusín al Norte, por

Rumiñahui, Pasochoa e Illiniza al Sur, por los volcanes Casitagua, Atacazo y el complejo Volcánico Pichincha en la Cordillera Occidental al Oeste, y finalmente al Este por el macizo Cotourcu en la Cordillera Real y los volcanes Pambamarca y Puntas. Además la DI Central se divide en tres subcuencas (Quito, San Antonio y Guayllabamba) (Villagómez, 2003), éstas se componen de lavas basales de la Formación Pisque, conformadas por lavas andesíticas y brechas que por su edad posiblemente están relacionadas con los volcanes Pambamarca, Cubilche, Chilcaloma y Casitagua. Estos depósitos están sobre yacidos discordantemente por tobas intercaladas con lahares y con flujos piroclásticos, sedimentos aluviales, fluviales, deltaicos y lacustres correspondientes a las formaciones Pisque y San Miguel (Avilés, 2013).

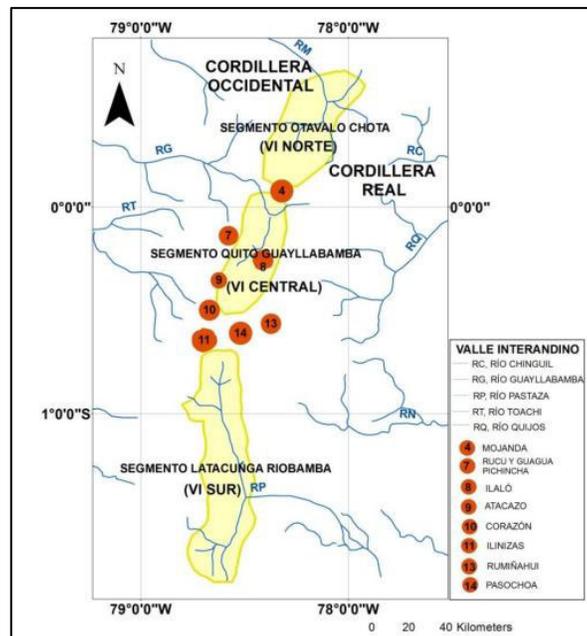


Figura 2.2: Depresión Interandina Central. Modificado de Villagómez (2003).

La interacción entre los procesos tectónicos y el volcanismo constante de la zona ha dado lugar a la formación de cuencas sedimentarias dentro de la Depresión Interandina, las cuáles, han sido rellenas por secuencias de depósitos volcanoclásticos, volcano-sedimentarios, fluvio-lacustres y aluviales (Pacheco et al., 2014).

Estas cuencas se han formado entre el Mioceno - Pleistoceno y se encuentran ubicadas de Norte a Sur. Comenzando al Norte con la Cuenca del Chota, la cual comprende una secuencia sedimentaria entre 1200 a 1400 m de espesor y con depósitos entre 5 Ma y 0.5 Ma (Winkler et al., 2005). Cuenca

Quito - San Antonio - Guayllabamba, consiste en depósitos volcánicos y volcanoclásticos con una secuencia sedimentaria cercana a los 1000 m de espesor y sus depósitos que van desde el Plioceno Tardío al Holoceno, se estima que la secuencia de la cuenca es de 6 a 5 Ma o menos y en la cual se encuentra nuestra zona de estudio (Villagómez,2003 y Winkler et al., 2005). Cuenca Ambato – Latacunga, con depósitos volcanoclásticos que se pincha hacia la Cordillera Occidental y van del Plioceno al Holoceno, y finalmente la Cuenca Alausí – Riobamba, con depósitos que van desde el Mioceno al Pleistoceno (Figura 2.3) (Lavenu et al., 1992).

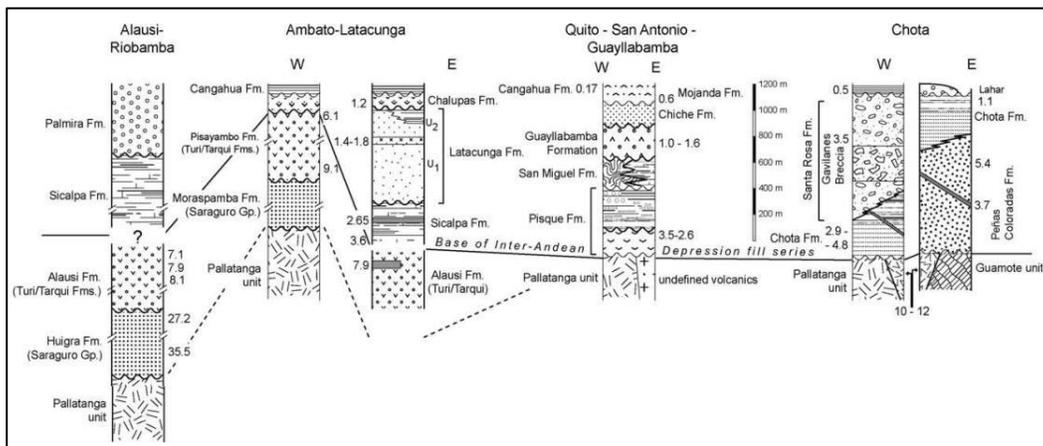


Figura 2.3: Columnas estratigráficas de las cuencas de la Depresión Interandina (Winkler et al., 2005).

2.1.1. Subcuencas Quito - San Antonio - Guayllabamba

Los depósitos de esta cuenca consisten en depósitos volcánicos y volcanoclásticos, los cuales son separados en dos secuencias por una discordancia. La secuencia inferior conformada por lavas, tobas, sedimentos aluviales, fluviales, deltaicos y lacustres correspondientes a las formaciones Pisque y San Miguel que fueron depositadas en un leve régimen extensional en dirección ~E-W, con edades desde los 3 - 0,7 Ma. (Plioceno Tardío al Pleistoceno Temprano). La secuencia superior caracterizada litológicamente por depósitos volcánicos primarios, lahares, flujos hiperconcentrados y depósitos fluviales, que corresponden a las Formaciones Guayllabamba, Chiche, Machángara, Mojanda y Cangahua depositadas en un régimen compresional con dirección ~E-W con edades de 0,78 Ma. hasta la actualidad (Pleistoceno medio al Holoceno)(Villagómez, 2003).

2.2. Geología Local

El área de estudio representa a la microcuenca del río Monjas ubicada en la parte norte del Distrito Metropolitano de Quito, por lo que se establece la geología local, considerando la información disponible para toda la ciudad de Quito.

La zona de estudio tectónicamente se encuentra dentro de la subcuenca Quito – San Antonio, la subcuenca de San Antonio la cual corresponde a la depresión entre el Casitagua y las lomas Calderón Catequilla, que va desde Pomasqui al Sur hasta San Antonio de Pichincha al Norte, están topográficamente a menor altitud que Quito. La subcuenca de Quito, que se encuentra en la depresión formada entre la Cordillera Occidental (Complejo volcánico Pichincha) y las lomas Batán – La Bota e Ilumbisí - Puengasí, es una cuenca de piggy back, sobre un segmento del Sistema de Fallas de Quito (Villagómez, 2003).

La cuenca levantada de la ciudad de Quito, ubicada en el flanco del volcán Pichincha, domina la Depresión Interandina de unos 400 m. Esta estructura fue interpretada por (Soulas et al., 1991) como un escarpe vinculado a una falla inversa ciega de buzamiento oeste. Algunos perfiles permiten constatar que el escarpe está constituido por pliegues y flexuras que afectan los depósitos piroclásticos procedentes de los volcanes de la Cordillera Occidental. La morfología de Quito corresponde a una estructura plegada sobre falla inversa ciega de buzamiento oeste. La cronología entre la formación de la Depresión Interandina, la actividad del volcán Pichincha y la formación de la flexura de Quito resulta idéntica a la formación evidencia más al sur, en la región de Latacunga. La coincidencia entre las fallas de Quito y las fallas de Latacunga hace que se trate de la prolongación hacia el norte del sistema de fallas de Ambato/Latacunga (Lavenu, 2006).

2.2.1. Subcuencas Quito – San Antonio de Pichincha

La cuenca de San Antonio de Pichincha se encuentra limitada por el Volcán Casitagua al occidente y el Complejo Volcánico Pululahua al norte. La Elevación Calderón – Catequilla es el límite oriental de la Cuenca de San Antonio y la separa de la Cuenca de Guayllabamba. Esta elevación es una de las colinas asociadas con el sistema de fallas de Quito, su límite sur no ha sido bien definido pero se encuentra aproximadamente formado por la parte norte de la colina El Inca – Carcelén. Las secuencias dentro de esta cuenca son principalmente volcánicas y volcano-

sedimentarias, depositadas entre el Pleistoceno – Holoceno (Figura 2.4) (Villagómez, 2003 y Pacheco et al., 2014).

Dentro de estas subcuencas tectónicas también existe influencia directa del Sistema del río Monjas el cual pertenece a una cuenca hidrográfica que se halla morfológicamente sobre la Depresión Interandina. Esta estructura geomorfológica involucra la cuenca Quito - San Antonio – Guayllabamba y cuenta con un relleno sedimentario de edad Mioceno Tardío – Holoceno (Villagómez, 2003).

La Microcuenca Hidrográfica del río Monjas, MHRMo, está ubicada al norte de la ciudad de Quito, drena en sentido Sur - Norte y comprende las Administraciones Zonales: Norte, Calderón y la Delicia. La MHRMo varía en altitudes desde aproximadamente los 4.649 msnm, hasta los 1.840 msnm; se halla en una zona montañosa en los flancos de complejos volcánicos del Pichincha, Casitagua y Pululahua, hasta su desembocadura en el Río Guayllabamba (Rivera, 2016).

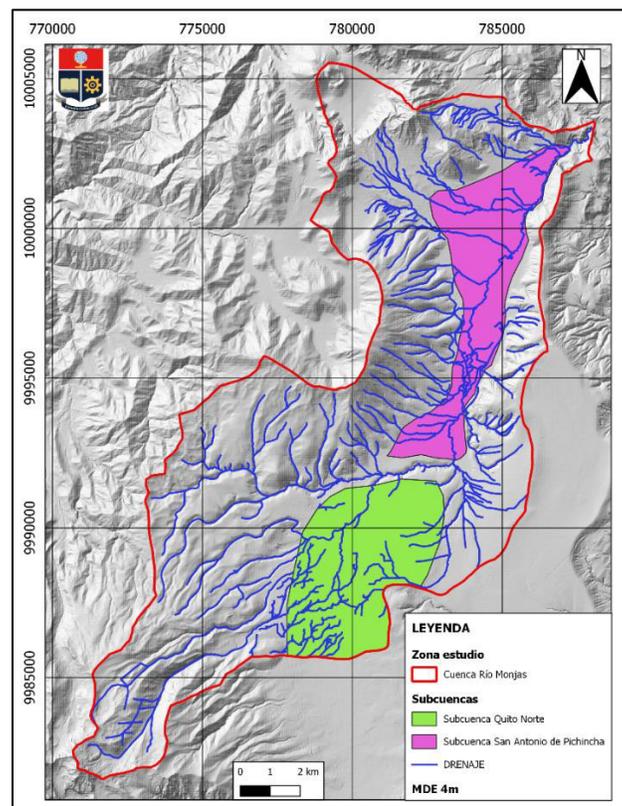


Figura 2.4: Mapa de ubicación subcuencas Quito – San Antonio de Pichincha y sistema fluvial de la zona.

La MHRMo al ser una subcuenca del río Guayllabamba y por su altitud posee tres tipos de climas: Tropical Semiárido Templado en la parte baja; Mesotérmico Semi-Húmedo y Seco en la parte media; y Ecuatorial De Alta Montaña (Pourrut, 1995).

El cauce del río Monjas presenta importantes problemas de inestabilidad en taludes que dan soporte a numerosas viviendas y estructuras construidas a lo largo de sus márgenes, algunas de ellas ya colapsadas o en proceso de colapsar, afloramientos de agua al pie del talud (vertientes de agua subterránea) y signos de inestabilidad como fisuras de tracción y zonas de socavamiento (Rivera, 2016).

2.2.2. Volcanes que afectan a la zona de estudio

Los complejos volcánicos que afectan en parte a la zona de Quito son los volcanes: Casitagua, Complejo Volcánico Pichincha, Complejo Volcánico Pululahua y Complejo Volcánico Mojanda – Fuya Fuya, a continuación una breve síntesis de cada uno (Figura 2.5).

Volcán Casitagua (VC)

El Volcán Casitagua se encuentra en el límite occidental de la cuenca San Antonio de Pichincha y por ende de la zona de estudio, se presenta como un volcán andesítico, erosionado y cubierto completamente por la Cangahua datado en 2.25 +/- 0,25 Ma. (Barberi et al., 1998) sin que existan estudios a detalle del tipo de actividad o de su historia eruptiva.

Complejo Volcánico Pichincha (CVP)

El Complejo Volcánico Pichincha se ubica al Oeste de la ciudad de Quito que por su cercanía, pudo haber aportado productos volcánicos a la zona de estudio. Las lavas más antiguas de este complejo se encuentran en el sur y en su extremo noroeste. Se ha establecido una edad de 1.1 a 0.90 Ma para las lavas basales (Jaya, 2009 y Robin et al., 2010).

Complejo Volcánico Pululahua (CVPL)

El Complejo Volcánico Pululahua se ubica al NNW de la subcuenca San Antonio de Pichincha, este complejo se caracteriza por presentar una composición mayormente dacítica y se ha

desarrollado en tres períodos, con una historia eruptiva que inicia en el Pleistoceno Superior y se extiende hasta el Holoceno (Andrade, 2002).

Complejo Volcánico Mojanda – Fuya Fuya (CVM)

El Complejo Volcánico Mojanda – Fuya Fuya se encuentra ubicado al NE de la subcuenca Quito – San Antonio de Pichincha el cual consta de dos volcanes cercanos, Mojanda y Fuya Fuya. El volcán Mojanda se encuentra a 4.260 m y consta de dos sucesivos conos, identificados como Bajo Mojanda y Alto Mojanda formados generalmente por andesitas. Por otra parte el Volcán Fuya Fuya se encuentra a 4.263 m y consta de tres edificios, edificio basal o Bajo Fuya Fuya, el cono intermedio de San Bartolo, que sufrió un gran colapso y Alto Fuya Fuya, un complejo de cumbres de lavas y cúpulas, de 5 km de ancho y ~ 1,000 m de alto y principalmente de composición andesítica (Robin et al., 2009).

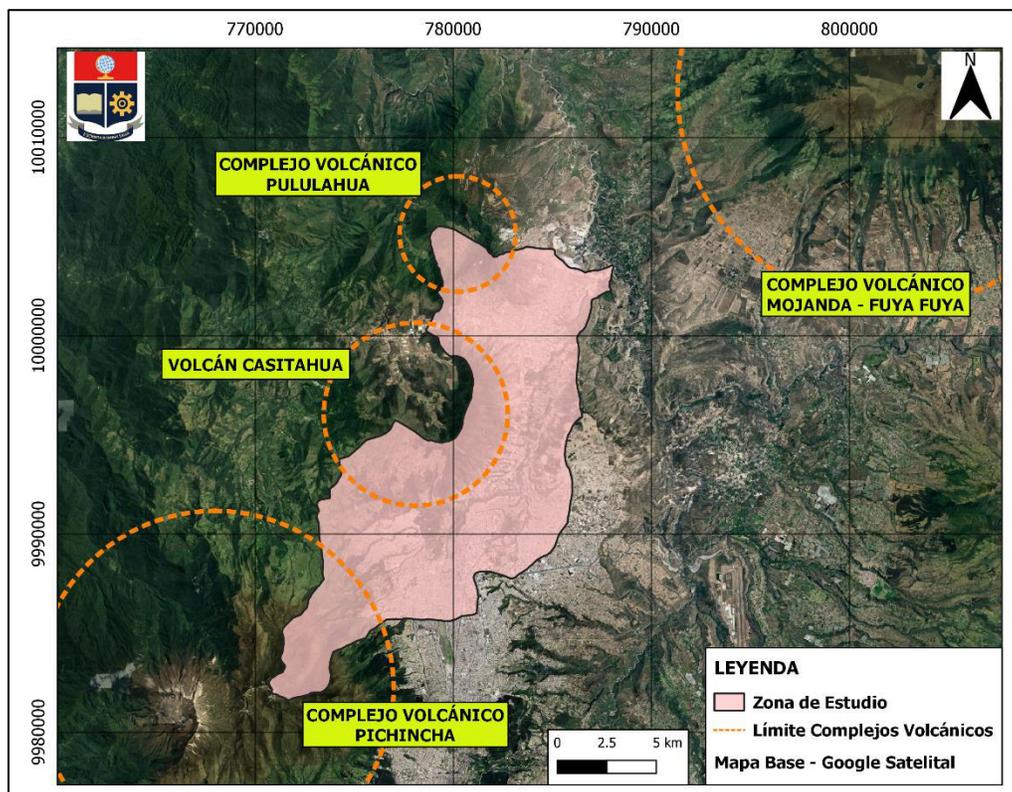


Figura 2.5: Disposición de los principales complejos volcánicos cerca de la zona de estudio (Tomado y modificado de Pacheco y Andrade, 2014).

2.2.3. Estratigrafía

La estratigrafía de la zona de estudio corresponde a las formaciones de la Subcuenca Quito – San Antonio de Pichincha las que han sido identificadas en trabajos previos como es el de (Villagómez, 2003), pero a la luz de nuevos datos cronológicos químicos y observaciones de campo se añadieron y redefinieron algunas formaciones y miembros en el estudio de (Pacheco, 2013) (Figura 2.6), a continuación se definirá brevemente cada formación.

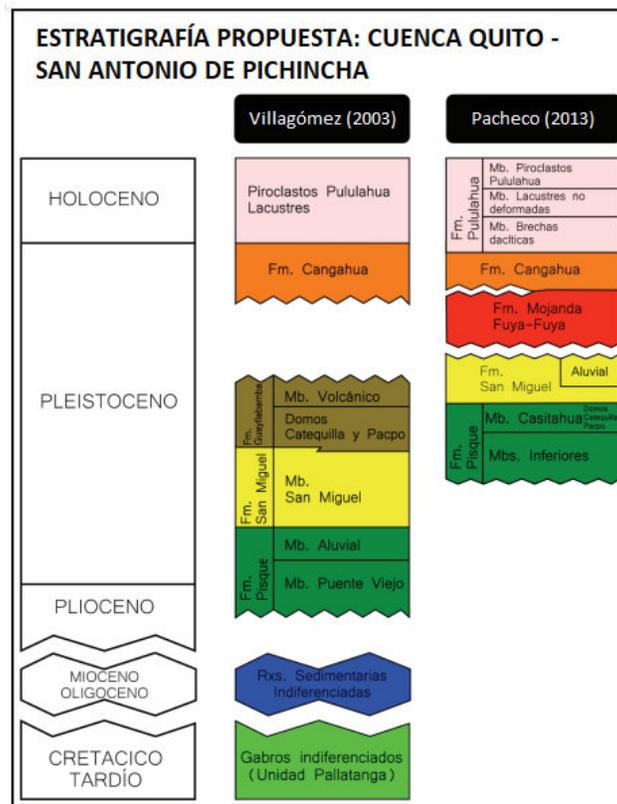


Figura 2.6: Estratigrafía propuesta para la cuenca San Antonio de Pichincha (Pacheco, 2013).

Formación Pisque

La Formación Pisque se ubica a la base de la secuencia estratigráfica de las subcuencas Quito y San Antonio de Pichincha, en la parte media y basal de esta formación se encuentran los Miembros Inferiores, los cuáles son depósitos compuestos por volcano-clastos, flujos de lodo, aluviales y sedimentos volcánicos, bien compactados y retrabajados, cuya fuente pudo estar localizada, tanto en la Cordillera Real (CR) como en la Cordillera Occidental (CO); al tope de la Formación Pisque

se encuentra en aparente concordancia con los Miembros Inferiores, el llamado Miembro Casitagua en el cual se encuentran los Domos Pacpo y Catequilla, las secuencias de brechas volcánicas proximales y flujos de lava que afloran en la Elevación Calderón Catequilla (Pacheco et al., 2014).

Los depósitos del Miembro Casitagua están caracterizados por lahares, flujos piroclásticos, flujos de lavas, posiblemente avalanchas de escombros y la extrusión de dos domos satélites del Volcán Casitagua, el Domo Catequilla (833 ± 26 ka) y el Domo Pacpo (898 ± 15 ka) datados por el método K/Ar (Pacheco, 2013).

Además se evidencio actividad volcánica cercana, aproximadamente contemporánea con el Miembro Casitagua correspondiente al Complejo Volcánico Atacazo - Ninahuilca (Edificio Carcacha 1029 ± 0.01 ka (Hidalgo, 2006) y el Complejo Volcánico Pichincha (El Cinto y La Esperanza 1100 – 900 ka y Rucu Pichincha Inferior 850 – 600 ka (Robin et al., 2010).

Formación San Miguel

Esta formación se encuentra conformada por una secuencia de arcillolitas, limolitas y areniscas poco compactadas, intercaladas con estratos de arenas tobáceas, caídas de piroclastos y niveles calcáreos; todos ellos asociados con un ambiente lacustre. Este paso transicional entre los depósitos volcano-clásticos del Miembro Casitagua hacia los depósitos lacustres de la Formación San Miguel, da cuenta de que la actividad del Volcán Casitagua fue cesando sincrónicamente con el inicio de la formación del lago San Miguel (Pacheco et al., 2014), cuyo depocentro, según Villagómez (2003) se localizó en la zona de Guayllabamba, aproximadamente 15 km al este de San Antonio.

La formación del supuesto lago San Miguel no ha sido estudiada por completo ni existen datos para corroborar su existencia, sin embargo según Pacheco et al., (2014) la depositación de la Formación San Miguel fue posterior a los 833 ± 26 Ka, ya que esta formación se encuentra sobre los depósitos del Domo Catequilla.

Formación Mojanda - Fuya Fuya

La Formación Mojanda – Fuya Fuya posiblemente se depositó en el Pleistoceno Superior y se encuentra cortando a la Formación San Miguel, además sobre yace a ésta con una discordancia angular, la formación está caracterizada como una secuencia de arenas, caídas de piroclastos y suelos ricos en material volcánico, así como, los productos del retrabajamiento fluvial y eólico (Pacheco et al., 2014). La discordancia entre la Formación San Miguel y la Formación Mojanda - Fuya Fuya representa un periodo de erosión y de no depositación en la secuencia estratigráfica de la subcuenca de San Antonio de Pichincha, ya que trabajos realizados en la subcuenca de Guayllabamba que se encuentra cerca a esta, indican que en este lapso, se depositaron las Formaciones Guayllabamba y Chiche (Villagómez, 2003). El acuñaamiento de los depósitos de la Formación Chiche en dirección a la Elevación Calderón Catequilla, reportado por Samaniego et al., (1994) y Villagómez (2003), sugiere que al momento de la depositación de la Formación Chiche, la Elevación Calderón – Catequilla ya constituía un paleo-relieve, que impidió el paso de los depósitos de la Formación Chiche hacia la subcuenca de San Antonio de Pichincha, por lo tanto esto permite ubicar al inicio de este levantamiento a los 600 ka (Pacheco, 2013).

Según Lavenu et al., (1996) se propone una edad aproximada de 500 ka para el fin de la depositación de la Formación Chiche, lo que está en concordancia con la edad obtenida para la zona basal de la Formación Mojanda Fuya-Fuya 474 ± 17 ka (Pacheco,2013).

Formación Cangahua

La Formación Cangahua (Pleistoceno Ioniano – Superior) se encuentra irregularmente sobre la Formación Mojanda Fuya-Fuya y está conformada por un conjunto de arenas y limolitas tobáceas, endurecidas que han cubierto completamente esta subcuenca. (Pacheco et al, 2014).

Hall y Mothes (2001) proponen para la Formación Cangahua una edad entre 210 ka y 10 ka, que corresponde a finales del Pleistoceno medio hasta finales del Pleistoceno Superior.

Formación Pululahua

La Formación Pululahua se encuentra intercalada y sobre yaciendo concordantemente a la Formación Cangahua (Pleistoceno Superior – Holoceno), la cual está caracterizada como el

conjunto de los depósitos asociados con la actividad volcánica y estilos eruptivos del Complejo Volcánico Pululahua (Pacheco et al, 2014).

A la base de la Formación Pululahua se encuentra el Miembro Brechas Dacíticas que consta esencialmente de depósitos de tipo “bloques y ceniza”, que evidencian un periodo de actividad efusiva en el Complejo Volcánico Pululahua. Sobre yaciendo al Miembro Brechas Dacíticas se observa al Miembro Lacustres no deformados, constituido principalmente por secuencias de cenizas finas, bien sorteadas, intercaladas con lignito y asociadas a un ambiente lacustre. Estos depósitos lacustres pudieron haberse formado debido al represamiento del actual Río Monjas a causa de los depósitos de tipo bloques y ceniza del Pululahua (Pacheco et al, 2014).

Al tope de la Formación Pululahua se encuentra el Miembro Piroclastos Pululahua que se caracteriza por depósitos piroclásticos asociados con la formación de la caldera a causa de la explosión del Pululahua, proceso que involucró cinco etapas explosivas mayores ocurridas entre 2.6 y 2.2 ka (Andrade, 2002) y que cierra la secuencia estratigráfica de la subcuenca San Antonio de Pichincha.

2.2.4. Geomorfología

El área del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) está ubicada sobre tres subcuencas colgantes: las cuencas de Machángara, El Batán y San Antonio, alargada en dirección aproximada N-S, localizada en el piedemonte de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los Andes, tiene una longitud de 3 – 5 km de ancho situada entre los 2.700 – 3.800 msnm, siendo el punto más bajo del valle a 2700 msnm en el sector del Condado mientras que el más alto es la Cima de la Libertad a 3400 msnm (Avilés, 2013 y Alvarado et al., 2014).

Morfológicamente la cuenca de Quito se divide en dos subcuencas: centro-norte y sur, que están separadas por el río Machángara y el domo del Panecillo (Villagómez, 2003), esta cuenca se formó por la actividad del sistema de fallas inversas de Quito, su expresión morfológica son una serie de lomas alargadas con tendencia N-NNE mostradas en la Figura 2.7.

Las geoformas que predominan en la MHRMo provienen de la actividad volcánica de los Complejos volcánicos Pululahua, Pichincha y del volcán Casitagua, que junto con la erosión

provocada por el régimen climático (intensas lluvias) e inestabilidad en la zona ha dado lugar a que se tenga un terreno con pendientes variables.

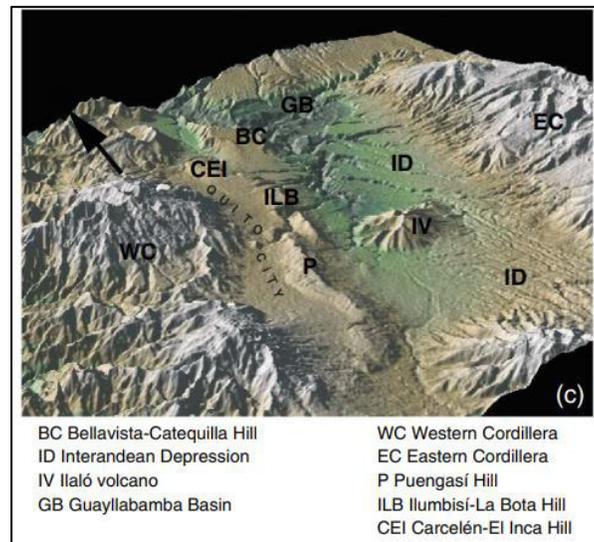


Figura 2.7: Vista tridimensional de la cuenca de Quito (Alvarado et al., 2014).

2.2.5. Tectónica Local

La sismicidad, los mecanismos focales y las medidas de GPS evidencian actualmente la vigencia del acortamiento E-W de la Depresión Interandina donde se encuentra la zona de estudio. Este acortamiento E-W que activa las fallas inversas, está bien evidenciado en el transcurso del Plioceno superior. El acortamiento se da entre 2,6 y 1,4 Ma (Lavenu, 2006).

La DI se interpreta como una cuenca de régimen compresivo de tipo push down, controlada en sus bordes por fallas inversas y deformada en su centro por pliegues y flexuras compresivas activos desde el Mioceno. Así, la zona central de la DI puede ser interpretada como una zona de tipo restraining bend de dirección N-S, zona de transición en compresión en un sistema de grandes estructuras de rumbo dextrales NE a NNE (falla de Pallatanga al sur y falla de La Bonita-Garzón al norte) (Lavenu, 2006).

Así, en la cuenca Quito-Guayllabamba-San Antonio las principales estructuras son; el sistema de Fallas Inversa de Quito, la cual comprende tres segmentos; la Falla de Quito (FQ), la Falla Botadero (FB) y la Falla Catequilla (FC) (Villagómez, 2003).

El sistema de fallas de Quito (SFQ) se localiza al E de la ciudad de Quito, en el interior de DI, extendiéndose entre los 0° y 0.4°S , en una dirección aproximada NNE y con una longitud total cercana a los 60 km, marcando una diferencia de altura de aproximadamente 500 metros respecto a la DI (Figura 2.8) (Alvarado et al., 2014).

La ausencia histórica de grandes terremotos durante los últimos cinco siglos, han permitido definir considerando las características geomorfológicas del SFQ, la ruptura de cinco segmentos para el SFQ que son de sur a norte: Puengasí, Ilumbisí-La Bota, Carcelén-El Inca, Bellavista-Catequilla y Tangahuilla (Alvarado et al., 2014).

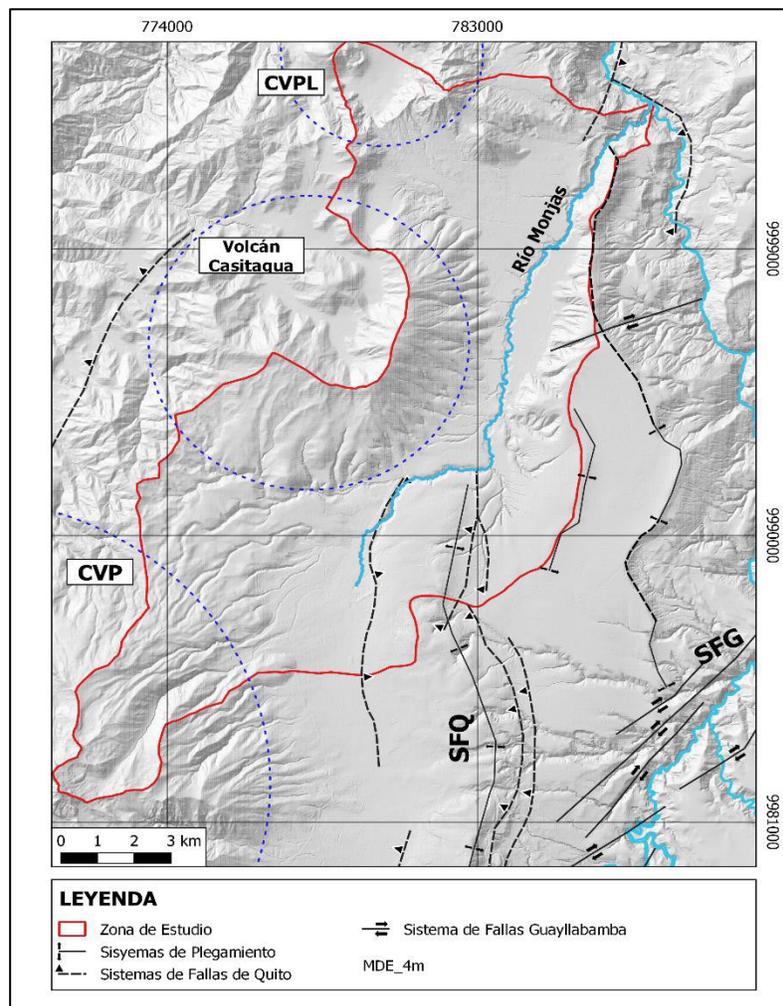


Figura 2.8: Esquema geomorfológico del Sistema de Fallas de Quito (Modificado de Alvarado et al., 2014).

2.3. Caracterización de la zona de estudio

2.3.1. Localización

La zona de estudio, MHRMo, está localizada en la parte Norte del Distrito Metropolitano de Quito DMQ, se encuentra dentro de la cuenca Quito – San Antonio de Pichincha. Está limitada al Norte por el Complejo Volcánico Pululahua, al Oeste por el Volcán Casitagua y el Complejo Volcánico Pichincha, al Este por los levantamientos del Sistema de Fallas de Quito y al Sur limitada por el borde de la microcuenca del río Machángara (Figura 2.9).

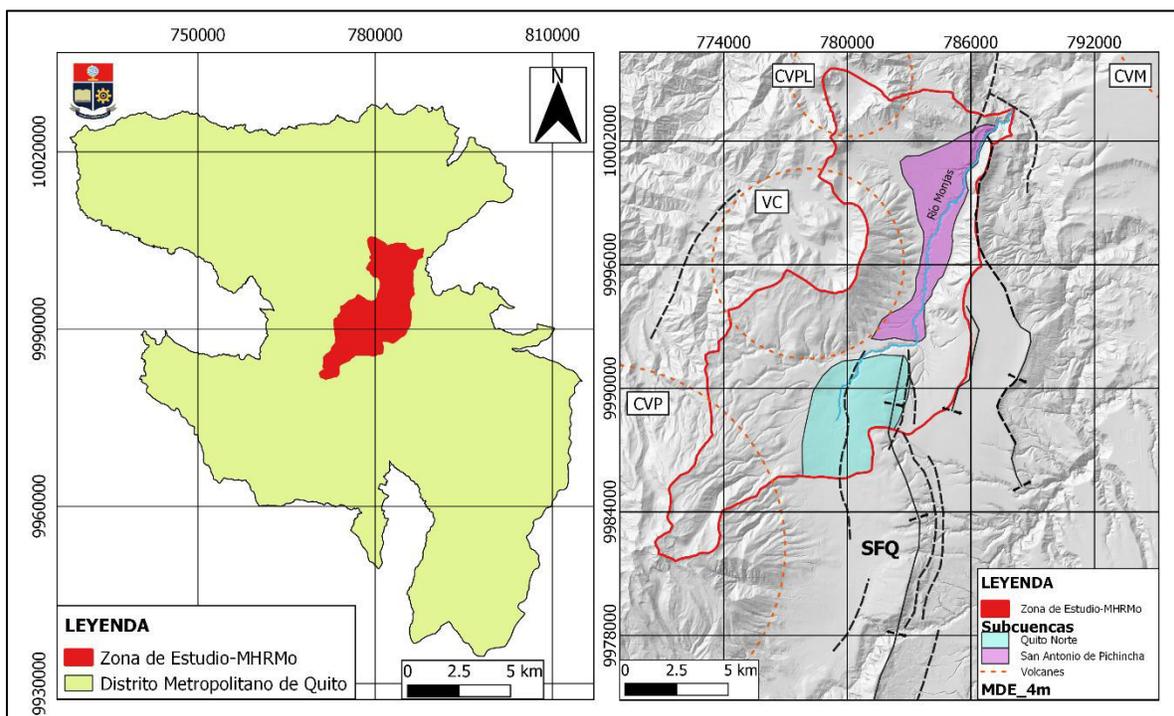


Figura 2.9: Mapa de ubicación zona de estudio, microcuenca hidrográfica del río Monjas.

2.3.2. Población/Crecimiento

Según datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), para el 2018, Quito contaba con más de 2.690.150 millones de habitantes y según proyecciones a 2020 esta cantidad ha aumentado llegando a los 2.781.641 millones de habitantes. Entre 1950 y 1962 la población se incrementó en un promedio anual de 3,9%; entre 1962 y 1974 disminuye al 3,6%; en el siguiente período intercensal (1974 - 1982) asciende a una tasa de crecimiento de 4,5% promedio anual. Las zonas suburbanas del distrito tuvieron, entre 2001 y 2010 según el censo de población, una tasa de

crecimiento tres veces mayor que la del área urbana, lo que prueba una tendencia de migración a espacios suburbanos como los valles por parte de la población del DMQ.

Según proyecciones en el año 2014 del Instituto de la Ciudad de Quito, las parroquias rurales ya albergan el 30% de la población del DMQ. Esto genera una densidad muy baja en las zonas urbanas siendo el principal causante de la expansión física desordenada que desde el siglo XX viene dándose por la llamada “corriente de ciudad jardín”. De ser así, la tendencia de aumento del 4% de cada década se mantendría. En el 2010, la población urbana representaba el 88%, mientras que la población en las áreas rurales era el 22% del total. En los últimos 30 años la población del Distrito se ha duplicado: de 1.083.600 habitantes en 1982 a 2.414.585 en 2014 (Unidad del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del DMQ, 2014).

De acuerdo con el plan de desarrollo del DMQ 2012-2022, se estima que para el año 2022, la población del DMQ, “será de casi 2,8 millones de habitantes de los cuales el 68,7 % residirá en el área urbana” y para el 2040 se esperan el doble de habitantes, llegando aproximadamente a 4,2 millones de habitantes (Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda, 2012), lo que indica un aumento acelerado.

2.3.3. Clima

El DMQ se encuentra mayormente en la sierra ecuatoriana, contando así con valles, elevaciones y planicies que afectan la circulación del viento, generando topo climas y acentuaciones o atenuaciones del clima regional de la zona debido al relieve. Las pendientes de estas elevaciones que apunten al norte o al sur se exponen mayormente a la radiación solar y se mantienen calientes más tiempo (Cornell University, 2009). La topografía variada causa cambios en zonas geográficas vecinas, y aunque una generalización que se puede hacer es que la temperatura es más baja a medida que la altitud aumenta aunque en ciudades como Quito, que se encuentra a 2850 msnm se presentan diferentes climas incluso en el mismo día (Serrano y Basile, 2012).

La MHRMo por su altitud posee tres tipos de climas: Tropical Semiárido Templado en la parte baja; Mesotérmico Semi-Húmedo y Seco en la parte media; y Ecuatorial de Alta Montaña (Pourrut, 1995), la temperatura varía entre 7° y 22°C, con una media anual de 14°C en el centroide de la cuenca de Quito y de 7°C aproximadamente en la cabecera de la cuenca (Rivera, 2016).

Las precipitaciones anuales varían en una forma decreciente con valores de 1800 mm en la parte alta hasta valores de 400 mm en la parte baja, con una clara tendencia al decrecimiento. A partir del sector de Carcelén la precipitación varía entre los 600 mm hasta los 400 mm, constituyéndose en un porcentaje de área muy representativo de la microcuenca, tornándose en un clima semiárido de acuerdo con la clasificación pluviométrica de Naranjo P. “El Clima del Ecuador” y semiárido temperado de acuerdo con (Pourrut, 1995), con precipitaciones diarias máximas en los meses de noviembre y mayo. Los valores máximos medios no superan los 50 mm/24h, en tanto que la máxima registrada se ubica entre los 30 y 50 mm/24h. Las precipitaciones máximas se dan al sur y van decreciendo hacia el norte, siendo su gradiente norte – sur (Rivera, 2016).

En la zona noroccidental del DMQ durante los meses de diciembre y enero existe un periodo lluvioso o invernal, mientras que el resto del distrito se ve “protegido” por el Pichincha, el cual hace de barrera para la formación de nubes. Sin embargo, este comportamiento se mantiene y aumenta gradualmente hasta los meses de marzo y abril en los cuales alcanza su máximo (Serrano et al., 2012).

2.3.4. Precipitaciones

Dentro de la MHRMo las precipitaciones anuales van desde los 1800 mm en la parte alta de la microcuenca hasta valores de 400 mm en la parte baja, con una clara tendencia a decrecer. A partir del sector de Carcelén la precipitación varía entre los 600 mm hasta los 400 mm, estableciéndose en un porcentaje de área muy representativo de la microcuenca, además en los meses de abril, mayo y noviembre se presentan las precipitaciones diarias máximas. Los valores máximos medios no superan los 50 mm/día, en cuanto al valor máximo de precipitación registrado, este se encuentra entre los 30 y 50 mm/día (Rivera, 2016).

2.3.5. Hidrología

El sistema hidrográfico de la MHRMo está compuesto por pequeñas quebradas que descienden por las faldas orientales del volcán Casitagua, en su mayoría secas casi todo el año que corren en dirección W-E alimentando al río Monjas que es el principal drenaje de la zona de estudio, el cual circula longitudinalmente por toda la cuenca hidrográfica, extendiéndose por cerca de 23km aproximadamente hasta desembocar en el río Guayllabamba, al NNE (Pacheco, 2013).

Una quebrada o drenaje es un elemento natural que conforma gran parte de los diferentes ecosistemas que se encuentran dentro de la MHRMo. Las quebradas captan el agua de las áreas de aporte y la descargan en los cauces más grandes, en este caso el río Monjas (Santillán y Vite, 2011).

Los diferentes drenajes de la MHRMo han sido divididos en tres tipos:

Drenaje Libre: Flujo de agua en el suelo que presenta una estructura abierta en la que el agua fluye por acción exclusiva de la gravedad con un mínimo de retención por efecto de la tensión superficial. Los sistemas de drenaje libre incluyen canales colectores y canales de evacuación del agua de exceso. Los canales son diseñados con la capacidad suficiente para remover la escorrentía generada por las lluvias (Torres J., 2014).

Drenaje Relleno: Drenajes libres cubiertos con tierra o material rocoso, dicho material se nivela para que la ciudad pueda crecer. Así, gran parte de la ciudad de Quito se levanta sobre rellenos de quebradas. Donde actualmente hay una planicie de cerca de 5 km de ancho y 16 km de largo, entre Cotocollao y el Centro Histórico, había decenas de barrancos, desniveles, riachuelos y ojos de agua que hoy en día han sido rellenados (Torres J., 2014).

Drenaje Entubado: Corresponden a tubos cortos de arcilla, concreto o asbesto cemento con uniones libres o tuberías de PVC revestidas con filtros de nailon, o PVC corrugado con perforaciones para la entrada del agua. Este tipo de drenajes presentan ventajas, ya que una vez instalados (enterrados) quedan ocultos y no interfieren con las labores que se realizan en la superficie (Torres J., 2014).

2.4. Marco Conceptual

2.4.1. Movimientos en Masa

Los movimientos en masa son procesos que dependen fundamentalmente de la gravedad y su acción se desencadena exclusivamente en pendientes elevadas cuando los materiales de las laderas se desplazan pendiente abajo, pero no solo es la gravedad, sino el tipo de suelo, la cobertura vegetal y la capacidad propia del suelo de absorber agua (Jurado, 2015).

La amenaza geomorfológica y la amenaza hidroclimática pueden combinarse y desembocar en una amenaza morfoclimática que se manifiesta mediante estos movimientos en masa. Estos eventos sobrevienen particularmente con ocasión de lluvias intensas en un contexto de suelos saturados, después de un largo período lluvioso. Los daños que causan son generalmente importantes (destrucción total o parcial de viviendas, vehículos, carreteras, taponamiento de la red de alcantarillado), y en ocasiones graves causan la pérdida de vidas humanas (Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda, 2004).

Dentro de un talud la resistencia al corte está determinada por propiedades del material de la ladera como la cohesión, y su coeficiente de fricción interna, las cuales dependen directamente de propiedades físicas, químicas y mecánicas, como la distribución de partículas, propiedades hidrológicas, volumétricas, plasticidad, estructura, contenido de elementos y contenido de materia orgánica (Medina y Salazar, 2009).

Entre las propiedades principales de una ladera según Suárez (2009) se encuentran:

La pendiente y el relieve: Al aumentar la pendiente, generalmente se aumentan las fuerzas que tratan de desestabilizar el talud y disminuyen los factores de seguridad al deslizamiento. Los materiales granulares poseen un ángulo de reposo por encima del cual el material se desliza. El relieve es un factor determinante en la estabilidad de un talud aunque no necesariamente el talud es más inestable si la pendiente es mayor. Típicamente un talud de alta pendiente puede estar conformado por materiales más resistentes. Sin embargo a pesar de ser más resistentes la pendiente genera susceptibilidad a los desprendimientos de materiales

Litología o formación geológica: Dependiendo el tipo de roca ya pueda ser de material ígneo, sedimentario o metamórfico, pueden ocurrir a diferentes velocidad movimientos en masa y ocasionar más o menos daños en la zona.

Estado de meteorización: muestra la exposición a la intemperie que se encuentra una ladera, la permeabilidad es un factor que puede llegar aumentar la meteorización de un material y la cual facilita la infiltración y la ocurrencia de movimientos y masa en temporadas de fuertes lluvias.

Estructura geológica: es común que ocurran deslizamientos sobre superficies de debilidad existentes en el suelo o la roca, las características y orientación de la estructura son determinantes del mecanismo de falla de los taludes.

Fallas geológicas: es común que los deslizamientos coincidan con la presencia de fallas geológicas

Grado de cementación: la cementación afecta las pendientes y formas de la superficie de fallas en taludes de gran altura. El ángulo de estabilidad y la altura estable dependen del grado de cementación del suelo.

Mientras que el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte debido a sismos, aumento de la presión hidrostática ocasionada por prolongadas precipitaciones, remoción del soporte o sobrecargas (obras civiles, tránsito vehicular, descarga de material), o al disminuir la resistencia al corte por incremento de la presión intersticial, meteorización y procesos de hinchamiento, entre otros (Medina y Salazar, 2009).

Existe una serie de factores condicionantes intrínsecos que inciden en los procesos de inestabilidad de laderas y son propios de las características de la ladera, además para el desarrollo de los eventos que deben ser identificados y estudiados, es esencial identificar la importancia del factor o factores que se encargan de desencadenarlo. Entre los principales factores desencadenantes externos que detonan la inestabilidad de las laderas se encuentran los sismos, causantes principalmente de deslizamientos de suelos y caídas de rocas, otro de los factores detonantes son las lluvias intensas, que generan en su mayoría flujos y deslizamientos, si bien ambos factores son capaces de desencadenar todos los tipos de movimientos en masa, existen otras causas naturales o antrópicas que pueden causar el mismo efecto (Suárez, 2009).

La intensidad, frecuencia y ocurrencia de los movimientos en masa están influenciadas por la intervención antrópica de los terrenos, lo que los convierte en un fenómeno socio natural. Las acciones antrópicas que inducen los movimientos en masa incluyen: cortes para la construcción de carreteras, terraceo (aplanamiento de laderas) para urbanizaciones, instalación de redes de infraestructura, infiltraciones de agua por fugas en los sistemas de acueducto y alcantarillado, ausencia o insuficiencia de sistemas de recolección de aguas lluvias, deforestación y minería subterránea y a cielo abierto (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2009).

2.4.2. Tipos de Movimientos en Masa como Evento Morfoclimático

En la actualidad se cuenta con una serie de clasificaciones para los distintos tipos de eventos de movimiento en masa, los principales estudios que proporcionaron las diversas clasificaciones fueron: Varnes (1978), Hauser (1993) y Cruden y Varnes, (1996). Los movimientos en masa han sido clasificados por estos últimos autores en las siguientes categorías: Desprendimientos o caídas, deslizamientos rotacionales y traslacionales, Flujos, volcamientos y extensiones laterales o reptación.

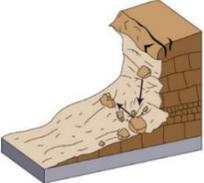
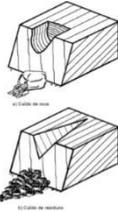
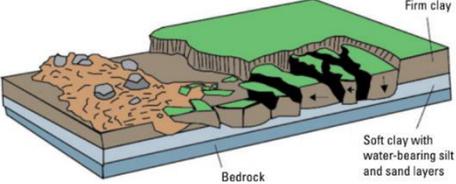
Los movimientos en masa como eventos morfoclimáticos (MMEM) se pueden clasificar en diferentes tipos según el tipo de movimiento y el tipo de material involucrado, en resumen, el material en un evento es roca, suelo o ambos; este último se describe como tierra si está compuesto principalmente por partículas del tamaño de arena o más finas y escombros si está compuesto por fragmentos más gruesos, mientras que el tipo de movimiento describe la mecánica interna real del flujo que desplaza la masa del evento: caída, derrumbe, deslizamiento, propagación o flujo (Hungry et al., 2013). En el caso del presente estudio considerando la recurrencia de eventos dentro de la MHRMo se van a tomar tres grupos de movimientos en masa como eventos morfoclimáticos:

Grupo I: Aluvión (Al) y Flujo (F)

Grupo II: Derrumbe (DR) y Deslizamiento (DS)

Grupo III: Hundimiento (Hd)

A continuación, se describirán todos los tipos de MMEM en el cuadro de resumen Tabla 2.1:

TIPO DE MOVIMIENTO	DEFINICIÓN	VELOCIDAD DE OCCURENCIA	ILUSTRACIÓN
<p>Caída (Fall)</p>	<p>Son movimientos bruscos y descendentes de rocas, tierra o ambos, que se desprenden de pendientes pronunciadas o acantilados. El material que cae generalmente golpea la pendiente inferior en ángulos menores que el ángulo de caída, provocando un rebote.</p>	<p>De caída libre de muy rápida a extremadamente rápida; rebotar y rodar de suelo, rocas y cantos rodados. La velocidad de balanceo depende de la inclinación de la pendiente.</p>	 
<p>Derrumbe (Topple)</p>	<p>Un derrumbe se reconoce como la rotación hacia adelante de una pendiente de una masa de suelo o roca alrededor de un punto o eje por debajo del centro de gravedad de la masa desplazada. Los derrumbes pueden consistir en rocas, escombros (material grueso) o materiales terrestres (material de grano fino).</p>	<p>Extremadamente lento a extremadamente rápido, a veces acelerando durante todo el movimiento dependiendo de la distancia de viaje.</p>	 
<p>Deslizamiento (Slide)</p>	<p>Un deslizamiento es un movimiento cuesta abajo de un suelo o masa rocosa que ocurre en superficies de ruptura o en zonas relativamente delgadas de intensa tensión de cizallamiento.</p>	<p>Extremadamente lento (menos de 0,3m) a moderadamente rápido (1,5m por mes) a rápido.</p>	  <p>Deslizamiento Rotacional Deslizamiento Traslacional</p>
<p>Reptación (Spread)</p>	<p>Las reptaciones generalmente ocurren en pendientes muy suaves o terreno en esencia plano, especialmente donde una capa superior más fuerte de roca o suelo se extiende y se mueve sobre una capa subyacente más suave y débil.</p>	<p>Lento a moderado, en algunas ocasiones rápido después de ciertos mecanismos desencadenantes, como un terremoto. Generalmente ocurre donde hay suelos licuables.</p>	 <p>Firm clay Soft clay with water-bearing silt and sand layers Bedrock</p>

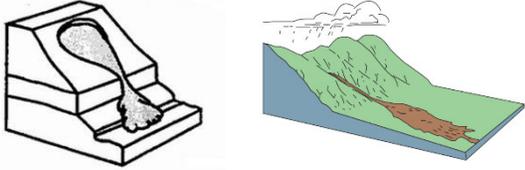
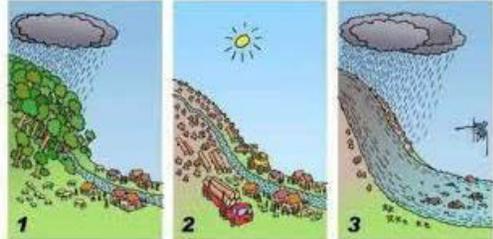
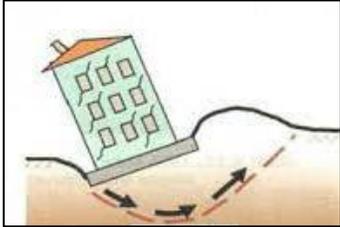
<p>Flujo</p>	<p>Un flujo es un movimiento espacialmente continuo en el que las superficies de cizallamiento son de corta duración, están poco espaciadas y, por lo general, no se conservan.</p>	<p>Puede ser rápido a extremadamente rápido (56 km por hora) dependiendo de la consistencia y el ángulo de pendiente.</p>	
<p>Aluvión</p>	<p>Los aluviones o flujos de lodo se originan en las zonas altas y causan todo tipo de daño, discriminándose cuando la pendiente disminuye, comprenden coladas viscosas por mezcla de agua, suelo, piedras, bloques y troncos.</p>	<p>Puede ser rápido a extremadamente rápido, eso depende de la pendiente.</p>	
<p>Hundimiento</p>	<p>Un hundimiento es la erosión subterránea que debido a las fuertes precipitaciones, éste genera una presión hasta llegar a la ruptura, generando una progresiva cavidad bajo la superficie.</p>	<p>Lento a moderado, depende de la velocidad de erosión.</p>	

Tabla 2.1: Descripción características principales de los tipos de Movimientos en masa (Landslide Handbook, USGS; Santillán y Vite, 2011).

2.4.3. Factores Condicionantes

Los Factores Condicionantes son propios del fenómeno o intrínsecos, de acción estática o pasiva, que representa debilidades inherentes en rocas y suelos en las laderas.

GEOLÓGICOS	GEOMORFOLÓGICOS
<p>Litológicos: La litografía interviene en la naturaleza y composición fisicoquímica de las rocas, por cambios de su capacidad portante de acuerdo con el tipo de características de la roca como; dureza, fragilidad, adherencia, consolidación, compactación, meteorización.</p> <p>Meteorización Física: Dependen de la naturaleza de la roca y sus propiedades, además de las condiciones externas como el clima, humedad, vegetales, animales.</p> <p>Meteorización Química: Descomposición de algunas rocas por efecto de los factores externos como infiltraciones de lluvias, intemperismo, acción eólica etc.</p>	<p>Geometría de taludes, topografía irregular, pendientes pronunciadas: Al aumentar la pendiente, generalmente se aumentan las fuerzas que tratan de desestabilizar el talud y disminuyen los factores de seguridad al deslizamiento.</p> <p>Típicamente un talud de alta pendiente puede estar conformado por materiales más resistentes. Sin embargo a pesar de ser más resistentes la pendiente genera susceptibilidad a los desprendimientos de materiales.</p>
<p>Estratigrafía: Disposición de las rocas (orientación y ángulo de inclinación), espesor y composición de los estratos, lo que determina el grado de estabilidad o inestabilidad.</p>	<p>La cercanía a fallas o fisuras progresivas, por lo que es común que los movimientos en masa coincidan con la presencia de fallas geológicas</p>
<p>Comportamiento Geodinámica: Compresibilidad, cohesión, deformabilidad etc.</p>	

Tabla 2.2: Descripción de los Factores Condicionantes de un movimiento en masa (Bisbal et al., 2011).

2.4.4. Factores Desencadenantes

La generación de MEM dentro de la MHRM se han visto agravados principalmente por fenómenos de origen natural (intensas precipitaciones en la zona, filtración de aguas pluviales, variación de temperatura, acciones erosiva de los vientos, acción de la gravedad y sismos); y los fenómenos inducidos por el ser humano dentro del área urbana en la zona (antropización). En la MHRM principalmente la generación de MEM han sido ocasionados por las precipitaciones

intensas y actividades antrópicas, es por eso que a continuación se describirán solo dichos factores agravantes para la zona de estudio.

Precipitación en la zona

La precipitación es cualquier forma de agua que cae del cielo, esto incluye lluvia, nieve, neblina y rocío. La precipitación ha sido considerada como un factor detonante para los movimientos en masa ya que los suelos presentan ciertas limitaciones con respecto al drenaje y filtración del agua. El principio radica en la permeabilidad relacionada con las intensidades y duraciones de lluvia y del régimen de los periodos lluviosos. Existe un valor crítico de lluvia que activa un deslizamiento pero su cuantificación previa es muy difícil. Generalmente los valores por encima del promedio de lluvias son los que generan la mayoría de los problemas de morfoclimáticos (Estacio y Rodríguez, 2012). Mientras la lluvia es más lenta existe mayor infiltración y menos escorrentía, ocasionando escenarios favorables para deslizamientos.

La proporción escorrentía-infiltración depende de la intensidad de la lluvia, la pendiente, la cobertura vegetal y la permeabilidad del suelo subsuperficial (Suárez, 2009). Los suelos con diferentes propiedades hidráulicas tales como la permeabilidad muestran comportamientos diferentes en respuesta al proceso de lluvias. Los suelos muy permeables requieren de intensidades grandes de precipitación para su activación y en los suelos poco permeables (arcillosos) la duración de la lluvia es más determinante que la intensidad (Jurado, 2015).

La lluvia como principal detonante en la ocurrencia de MMEM en la MHRMo está estrechamente relacionada con las condiciones geomorfológicas del terreno, se considera que la lluvia puede actuar de dos formas diferentes en la estabilidad de las laderas, la primera cuando los eventos de lluvia muy intensos causan una reducción de la resistencia al cortante por reducción de la cohesión aparente generando movimientos inicialmente superficiales (Figura 2.10) y el otro caso cuando los eventos de lluvia de larga duración causan el incremento en la presión de poros sobre una superficie de falla potencial generando movimientos de masa mucho más profundos y frecuentemente a lo largo de superficies de cizalla preexistentes (Gostelow, 1991 y Iiritano et al., 1998). Ya que la proporción escorrentía-infiltración depende de la intensidad de la lluvia, la pendiente, la cobertura vegetal y la permeabilidad del suelo subsuperficial (Suárez, 1998).

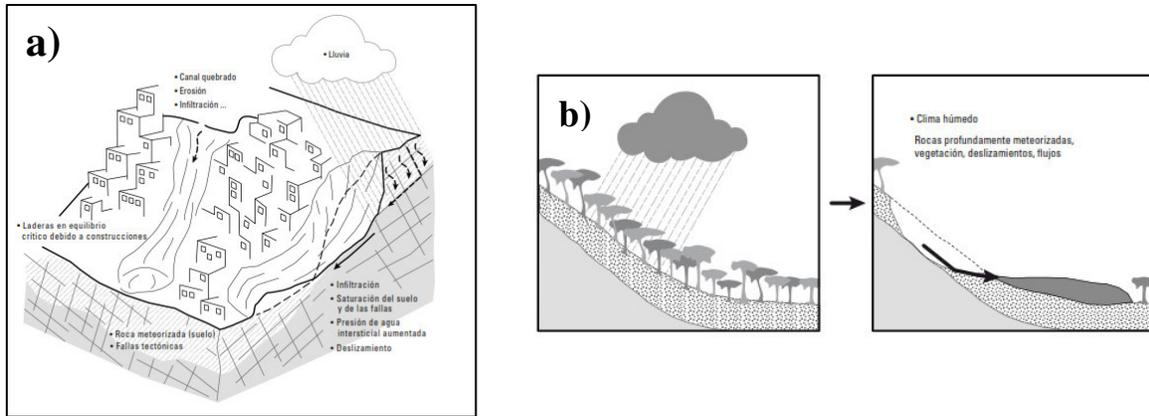


Figura 2.10: a) Desarrollo de un MMEM en pendiente pronunciada con áreas pobladas. b) Influencia de la lluvia y erosión en pendientes que detonan en un MMEM.

Factores Antrópicos

Las amenazas antrópicas son aquellas causadas por el ser humano, ya que el mismo puede intencional o accidentalmente provocar daños en su entorno (Cardona, 2003). Las amenazas naturales pueden antropizarse convirtiéndose en amenazas socio naturales y de este modo causar graves daños sobre los elementos expuestos, población, vías, infraestructura esencial, etc.

Procesos de urbanización

Los procesos de urbanización aumentan la susceptibilidad de las laderas urbanas a deslizamientos; igualmente, muchas zonas se encuentran en el recorrido de flujos potenciales de detritos. Las zonas urbanas son las áreas que mayores riesgos han presentado, relacionados con los MMEM. Los deslizamientos de tierra son un problema muy común en las ciudades construidas en áreas de montaña. Como resultado de las presiones poblacionales, se ha acelerado el desarrollo en las laderas susceptibles a deslizamientos en las zonas urbanas, además de darse un proceso de ocupación desordenada en estas áreas también tienen importancia directa sobre la ocurrencia de movimientos en masa (Suárez, 2009).

Para la construcción de carreteras y obras de infraestructura, se realiza gran cantidad de cortes y terraplenes, los cuales modifican los estados de esfuerzos y disminuyen los factores de seguridad al deslizamiento. Por esta razón, son muy comunes los deslizamientos en taludes de carreteras y vías férreas. Los ductos frecuentemente atraviesan zonas susceptibles a los deslizamientos de

tierra. Las excavaciones para la colocación de estos facilitan la infiltración de agua. Igualmente, la deforestación en el derecho de vía afecta la estabilidad de las laderas (Suárez, 2009).

Dentro de la zona de estudio el crecimiento urbano entre los años de 1900 a 2020 es muy notorio, ya que se observa en dichas curvas de crecimiento mayor ocupación de las laderas del volcán Casitagua y del Complejo Volcánico Pichincha, además un asentamiento en los bordes de las quebradas y en algunos casos asentamiento en quebradas que han sido rellenadas sin contar con un criterio técnico, las cuales alteran el cauce de las aguas de lluvia. Es por eso que ocurren mayor número de MMEM ya que las zonas son muy inestables y con pendientes pronunciadas lo cual se nota que no ha sido un limitante para que la población siga habitando la zona en esas condiciones, es por eso que la acción del ser humano está construyendo su propia amenaza y poniendo en riesgo a toda la zona (Figura 2.11).



Figura 2.11: Construcción de viviendas informales en pendientes pronunciadas sobre laderas de la MHRMo, sector Atucucho (El Comercio, 2021).

Los sistemas de alcantarillado

El manejo inadecuado de aguas lluvias y residuales provocan que la concentración de agua superficial o subsuperficial en un sitio con situación geológica desfavorable es una causa primaria de inestabilidad de taludes. Las entregas puntuales sobre los taludes producen cárcavas que pueden representar una amenaza directa para las viviendas que producen el vertimiento. La falta de sistemas de alcantarillado es el caso más grave para la formación de cárcavas de erosión, teniendo en cuenta que las calles actúan como colectores de agua y se pueden producir familias de cárcavas de gran tamaño. Las entregas de los sistemas de aguas de alcantarillado en sitios potencialmente susceptibles geotécnicamente pueden formar grandes cárcavas, las cuales pueden terminar en deslizamientos o derrumbes de tierra (Suárez, 2009).

La falta de sumideros para aguas lluvias o la poca capacidad de éstos. En este caso el sistema de alcantarillado no es eficiente en la recolección de las aguas lluvias y las calles actúan como sistemas alternativos con la consiguiente formación de cárcavas. La falta de sistemas colectores de agua en las coronas de los taludes o en la superficie de las áreas urbanizadas, así como, la falta de sistemas colectores aumenta la recarga hacia los niveles freáticos y es muy importante en los sectores de alta densidad de población. Las aguas lluvias fluyen por la superficie de los taludes formando surcos y cárcavas (Suárez, 2009).

Relleno de quebradas

En la ciudad de Quito, las quebradas son verdaderos barrancos con bordes agudos, que pueden alcanzar de 15 a 20m de profundidad. Son arroyos de montaña de fuerte pendiente, con régimen intermitente, que corren solo algunos días al año en crecidas brutales y violentas durante las precipitaciones más intensas; solo las quebradas más importantes tienen un escurrimiento permanente (Peltre, 1989).

El relleno o cierre de quebradas está directamente relacionada con el proceso de urbanización de la ciudad, este proceso ha sido practicado desde la época colonial, en donde los drenajes naturales han sido rellenos y reemplazados prácticamente por todo lado, por alcantarillas. En un comienzo se retienen todas las quebradas en solamente tres desagües: el río Machángara y las quebradas El Batán al Este y Carcelén (El Colegio) al Norte. El curso inferior de todas estas quebradas ha sido relleno durante la urbanización, y reemplazado por la red de alcantarillas que ahora asume no solamente la evacuación de las aguas servidas sino también la de las aguas lluvias del volcán Pichincha (Peltre, 1989).

Los primeros rellenos se dieron en el centro histórico: donde desaparecen primero los cursos inferiores de las quebradas Manosalvas y La Marín. Luego, a partir de 1914, se cubre la quebrada Jerusalem, que pasa a ser la Av. 24 de Mayo, cuya alcantarilla tiene que evacuar caudales máximos considerables. Como su mantenimiento se ha vuelto totalmente imposible, se está construyendo otra alcantarilla según un trazado paralelo a la antigua, considerada no recuperable. En los años 30, la extensión de la ciudad impone el relleno de las quebradas que atraviesan los barrios nuevos: la Mariscal Sucre al norte, la Magdalena y Chimbacalle al sur del Panecillo. Luego, a partir de los años 50 se rellenan progresivamente las grandes quebradas que bajan del Pichincha en los sectores

de La Carolina y del ex aeropuerto al Norte. Actualmente la tendencia al relleno prosigue activamente tanto en el norte de la ciudad (quebradas El Colegio y Rumihurco) como en el sur (quebradas La Raya, de Los Chochos y proyecto de cobertura del río Machángara) (Peltre,1989).

Finalmente con todos los factores detonantes definidos que son los causantes directos para ocurrir un movimiento en masa, en el presente estudio se han reconocido dos factores agravantes importantes que son las lluvias y el asentamiento de la población en zonas críticas y que además la urbe ha ido relleno los cauces de quebradas que en algún momento fueron salida de estas aguas lluvias por lo que a través del tiempo los movimientos en masa tienden aumentar.

CAPÍTULO 3

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

La metodología utilizada en el presente estudio de investigación parte de la recolección preliminar de toda la información documental, de diarios locales para el inventario de MMEM e información pluviométrica, y la elaboración de cartografía temática que nos permita analizar de mejor manera donde existe mayor ocurrencia de eventos morfoclimáticos, esto acompañado de un análisis estadístico a partir de la información recopilada, para así precisar y ubicar de mejor manera las zonas críticas en donde se desencadena un mayor número de movimientos en masa como eventos morfoclimáticos, MMEM. El mapa final resultado de las zonas críticas de MMEM se desarrolla siguiendo el diagrama metodológico que se muestra a continuación (Figura 3.1).

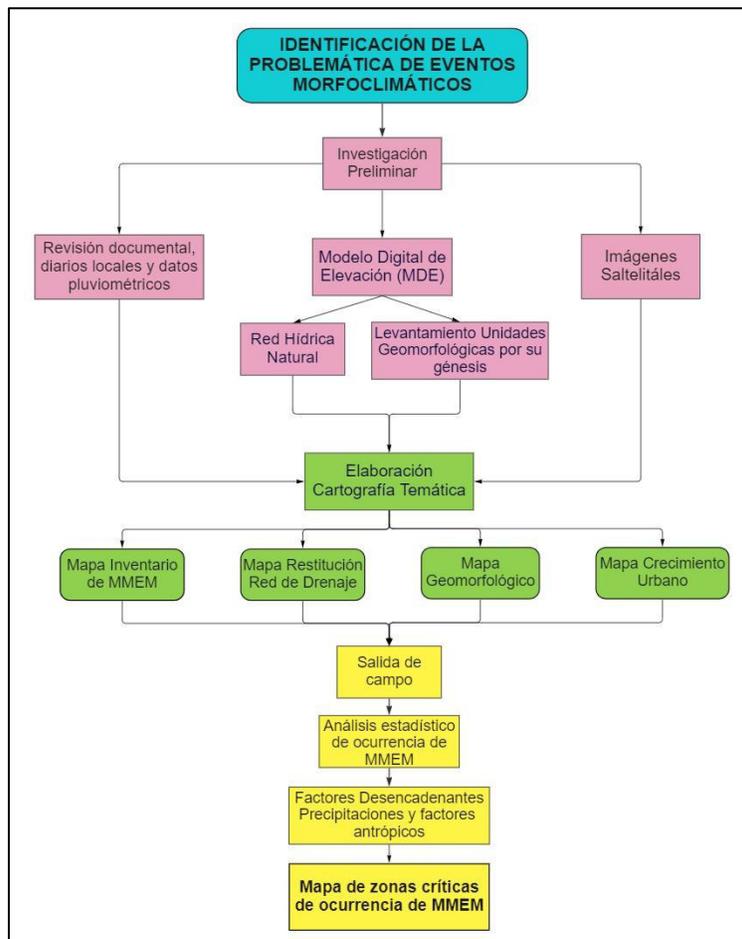


Figura 3.1: Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio de investigación.

3.1. Investigación Preliminar

3.1.1. Recolección y revisión de la información existente

En la recopilación bibliográfica se consideraron trabajos previos relacionados al área de estudio como artículos científicos, enlaces web, trabajos de titulación, reseñas históricas de riesgos naturales, entre los principales trabajos se encuentran (Pourrut, 1995; Estacio y Rodríguez, 2012 y Peltre, 1989). Así como información de los movimientos en masa que se han producido en la MHRMo y datos de mapas geomorfológicos y crecimiento urbano.

Se recopiló todos los MMEM de los diarios nacionales-locales y bases de datos de organizaciones responsables del control de emergencias dentro del DMQ. Se describe claramente el disparador, ubicación, consecuencias y gravedad de estos eventos. Esta información se encuentra detallada en una matriz de Excel (ver Figura 3.2) (Anexo 1) desarrollada previamente por investigadores del proyecto Tomorrow's cities para el período (1900-2020), complementada y depurada a través de este proyecto de titulación con información adicional de los reportes del diario El Comercio y El Universo para el período 2000 a 2020.

No.	AÑO	MES	DIA	EVENTO	DISPARADOR	X	Y	SECTOR / BARRIO	DAÑOS	GRAVEDAD
1	1999	2	22	Deslizamiento	Lluvia	776687	9985757	Atucucho	El mal tiempo	1. existencia d
2	1999	6	17	Deslizamiento	Lluvia	778373	9983834	Tarqui	Deslave cort	2. daños mater
3	2000	4	21	Deslizamiento	Lluvia/Antrópico	777557	9983538	Cochapamba	Por el desliza	1. existencia d
4	2002	4	25	Deslizamiento	Lluvia/Antrópico	783016	9987027	La Bota y Comité de	El aguacero c	1. existencia d
5	2005	7	30	Derrumbe	Lluvia	776687	9985757	Atucucho	El hecho se	1. existencia d
6	2005	8	23	Deslizamiento	Antrópico	783076	9995655	San Juan de Pomasa	Según varios	1. existencia d
7	2006	4	11	Deslizamiento	Lluvia	783732	9989594	Carapungo	Producto del	1. existencia d
8	2006	5	6	Derrumbe	Lluvia	783017	9987027	La Bota	Cierre de vía	3. molestia en
9	2006	11	7	Deslizamiento	Lluvia/Antrópico	775760	9986152	Santa María de Coto	El suelo se s	1. existencia d
10	2006	12	18	Deslizamiento	Lluvia	782146	9986456	Comité del pueblo	Deslizamient	1. existencia d

Figura 3.2: Figura de la base de datos de MMEM de la zona de estudio (Proyecto Tomorrow's Cities, 2020).

Se obtuvieron 86 eventos reportados en la zona de estudio, de los cuales se tiene aluviones, hundimientos, deslizamientos, derrumbes y flujos que han ocurrido a causa de las lluvias y acciones antrópicas como asentamientos urbanos en zonas inestables y relleno de quebradas.

3.1.2. Modelo Digital de Elevación (MDE)

Un modelo digital de elevación es una representación estadística de una superficie continua del terreno mediante un conjunto infinito de puntos cuyos valores en X, Y y Z (altura) son conocidos y están definidos en un sistema de coordenadas arbitrario (Petrie y Kennie, 1990).

El MDE utilizado en el presente trabajo de titulación fue proporcionado por Espín P. (2019), mismo que cuenta con un píxel de resolución de 4x4 metros . Este MDE corresponde a la base cartográfica para la restitución del drenaje y para la verificación de las unidades geomorfológicas que se muestra en la Figura3.3.

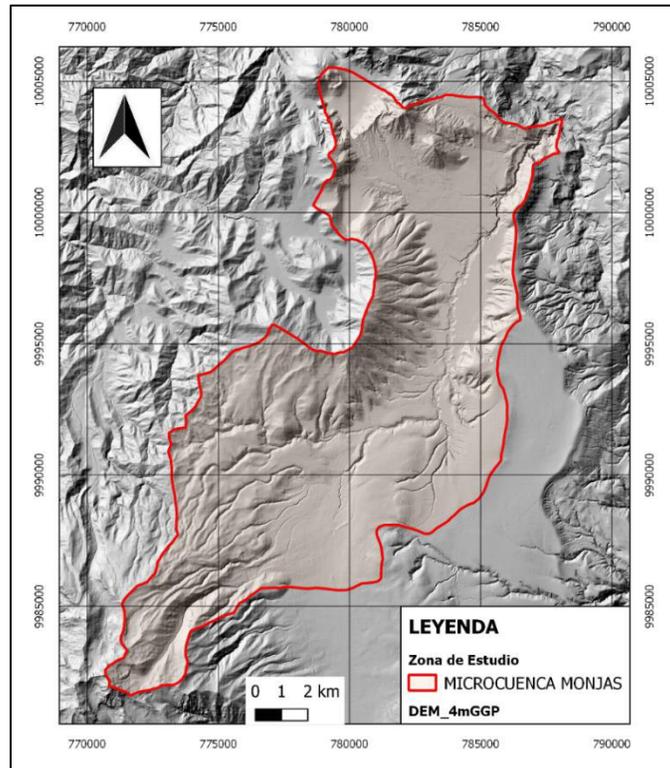


Figura 3.3: Modelo Digital de Elevación 4m de la zona norte, microcuenca del río Monjas, DMQ.

3.2. Elaboración de Cartografía Temática

3.2.1. Mapa de unidades geomorfológicas y estructuras geológicas

Para obtener el mapa de unidades geomorfológicas se utilizó como base los mapas geomorfológicos de SIGTIERRAS, (1995) y los realizados a través de fotointerpretación de las hojas cartográficas, escala 1:25 000 actualizados de : “El Condado”, “San Antonio de Pichincha”, “Chaupicruz” y “Quito” (Figura 3.4) de SSG-MDMQ, (2017). Así, se realizó la digitalización de las hojas cartográficas y se procedió a comparar con el mapa de unidades geomorfológicas SIGTIERRAS del cual se obtenía la información en formato shapefile, toda la información se analizó y procesó a través de un software de licencia libre Quantum GIS 3.6.3 verificándola con la ayuda del MDE.

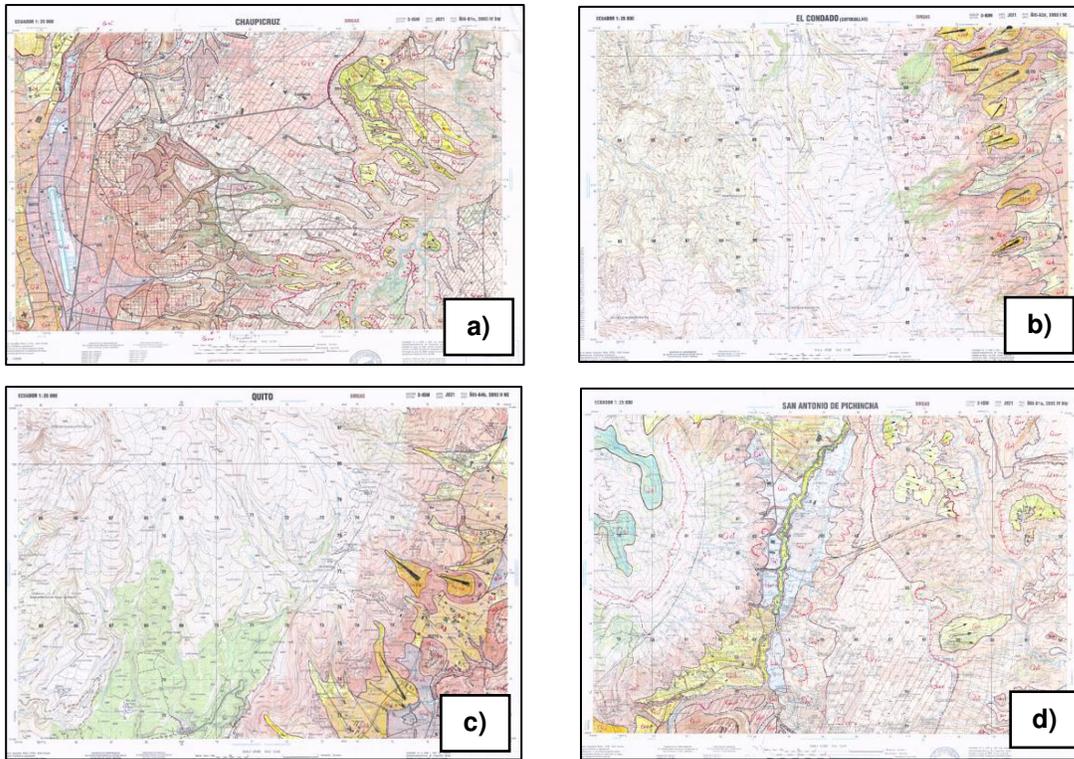


Figura 3.4: Hojas cartográficas 1:25 000. a) Chaupicruz b) El Condado c) Quito d) San Antonio de Pichincha (SSG-MDMQ, 2017).

El estudio estadístico requiere el menor número posible de unidades geomorfológicas ya que al combinar los diferentes criterios para la determinación de zonas críticas arrojan un gran número de datos a interpretar, por dicho motivo se ha elegido agrupar las diferentes litologías de la MHRMo usando una caracterización en función de su génesis que son reconocidas como geoformas.

Se tomó en cuenta solo la zona de estudio y en base al mapa geomorfológico existente y las cartas topográficas se fue actualizando un nuevo mapa, además por falta de información en algunas zonas se realizó a base de criterio propio la caracterización de las unidades geomorfológicas que corresponden, de igual manera guiándose en el MDE y la litología de la zona.

Dentro de las principales unidades geomorfológicas que se puede encontrar en la MHRMo se encuentran las calderas, flancos de volcán y flujos de lava principalmente de los complejos volcánicos aledaños, barrancos, conos de deyección, llanura de depósitos volcánicos y fluviales, valles en “U”, vertientes de flujo de lava, entre otros como se indica en la Tabla 3.1. Esta clasificación se realizó con el fin de ubicar de mejor manera en que escenario es más posible la

ocurrencia de MEM y de alguna manera mostrar la relación de la geomorfología de la zona con los eventos desencadenados por lluvias y aspectos antrópicos.

CÓDIGO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
1-Ab	Abanico de esparcimiento
2-An	Antiguas cuencas lacustres colmatadas
3-Cg	Cañones o gargantas profundas de quebradas y ríos
4-CI	Conos de deyección antiguos, levantados en niveles escalonados
5-Cd	Conos de deyección, conos de derrubios recientes
6-Cr	Cornisas y vertientes abruptas
7-Do	Domo volcánico
8-Ca	Caldera
9-Ra	Rampas de piedemonte, a manera de extensos esparcimientos de cenizas volcánicas
10-Re	Relieves derivados de las rampas de piedemonte, con vestigios de la superficie
11-Ta	Terrazas altas
12-Ti	Terrazas intermedias e indiferenciadas
13-Ve	Vertientes con huellas de antiguos deslizamientos estabilizados

Tabla 3.1: Agrupación de unidades geomorfológicas de acuerdo con su génesis y sus características geomorfológicas (Tomado y modificado de SSG-MDMQ, 2017).

3.2.2. Mapa restitución de la red de drenaje

Se usó el MDE de 4 metros del DMQ junto con la red hídrica natural del DMQ (Secretaría de Ambiente Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2012), y la zona de estudio en formato shape.

Primero se definió la zona de estudio, en este caso la microcuenca del río Monjas, y a partir de ello se recortó a las demás capas el MDE y la red hídrica natural para así obtener las capas correspondientes a la zona de estudio.

Se utilizó la aplicación **SAGA GIS (2.3.2)** para generar la red de drenaje más completa, en la cual se cargó el MDE con sistema de coordenadas UTM, primero se debe corregir hidrológicamente el MDE, rellenando las depresiones que existan utilizando la herramienta “Fill sinks -Wang Liu“, una vez culminado este proceso utilizamos la herramienta “Terrain Analysis” y luego “Channel network and Drainage basins” para generar solamente los ríos de la cuenca; se obtiene un archivo en formato shape donde se encuentra la red de drenaje (Figura 3.5). Posteriormente, usamos solo

la opción “Channels” con el MDE corregido que será el archivo que se carga finalmente en QGIS 3.6.3 para los procesos posteriores.

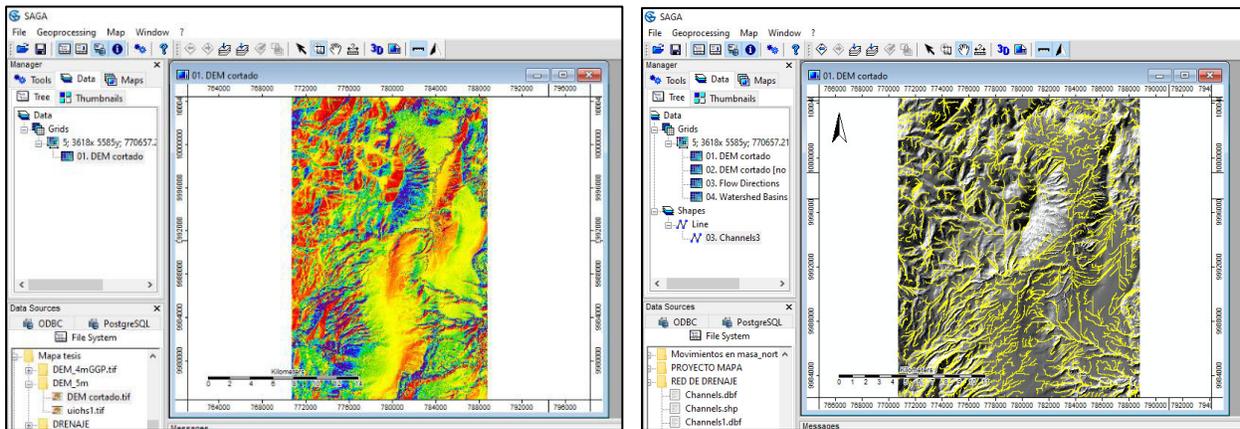


Figura 3.5: Obtención de la red de drenaje a partir del MDE usando SAGA GIS.

Una vez obtenida la red de drenaje completa usando mapas como Open Street Map y Google Hybrid se realizó una categorización añadiendo una columna en la tabla de atributos en el shapefile para obtener un mejor reconocimiento del tipo de drenaje, las categorías usadas se incluyen a continuación:

- 1 = Drenaje Natural
- 2 = Drenaje Relleno
- 3 = Drenaje Entubado

3.2.3. Mapa crecimiento mancha urbana

Para la generación del mapa que nos muestre el progreso del asentamiento urbano en el DMQ a través de los años, se utilizó el shapefile de crecimiento de la mancha urbana proporcionado por la Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad (2018), dicho shape contiene polígonos con la mancha urbana desde el año 1760 al 2015 (Figura 3.6), para complementar el período faltante es decir 2015 a 2020 se utilizó imágenes satelitales tomadas de Google Earth para obtener los polígonos de crecimiento faltantes.

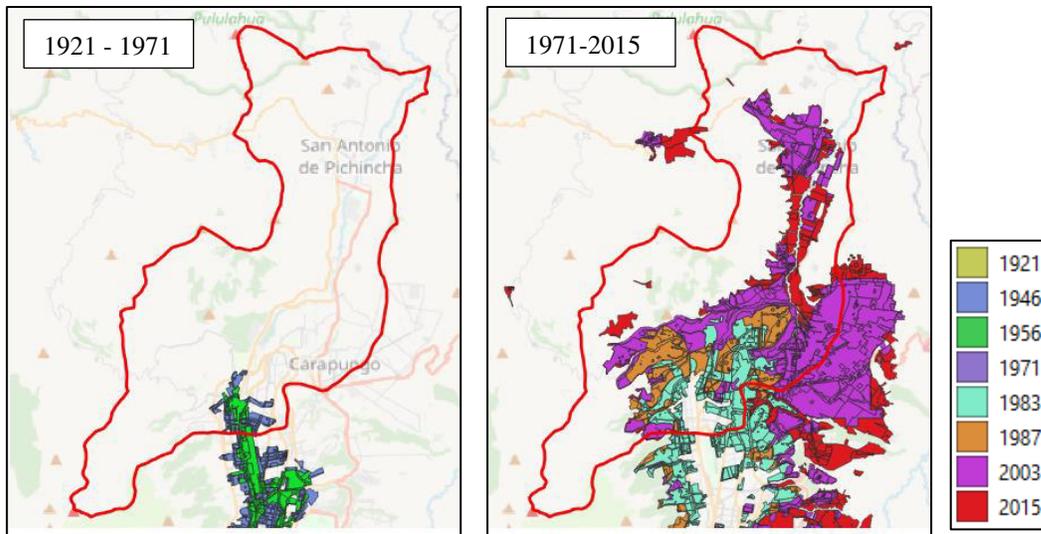


Figura 3.6: Crecimiento Urbano en el período 1921 a 2015 (Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad, 2018).

Para el análisis de la mancha urbana en la MHRMo se escogen 4 períodos (1534-1797) (1797-1930) (1930-1970) y (1970-2020). Dichos periodos han sido escogidos en base a momentos históricos que marcaron cambios y principalmente el crecimiento en la ciudad.

El 6 de Diciembre de 1534, se instaló el primer cabildo Quiteño en el cual se inscriben 203 hombres que se reparten las tierras de acuerdo con su calidad social, durante el periodo de 1534-1797 se levantaron los Conventos y las Iglesias que darían renombre a la ciudad y que se construyeron aprovechando la mano de obra indígena. En torno a estos bloques conventuales se fueron edificando las casas de administración y de vivienda, formando barrios con tendencia a homogenizarse por la predominancia de determinadas actividades laborales.

La crisis de la economía nacional, vinculada directamente con la gran depresión del capitalismo de los años treinta, condujo a un momentáneo y relativo estancamiento económico en perjuicio de las fracciones de la clase dominante asentadas en la costa y en la sierra; ante lo cual, trataron, por todos los medios, de revertir las pérdidas sobre los sectores dominados y explotados del país mediante la devaluación monetaria y la explotación desenfrenada de la mano de obra en las diferentes actividades productivas. Además, estos hechos repercutieron directamente en la política urbana de Quito por acción de la clase: dominante local que, sirviéndose del organismo rector del crecimiento de la ciudad, como es el Cabildo, logró manipular la política Municipal a favor de sus intereses de clase (Achig, 1983).

El problema urbano que empieza a tomar cuerpo en este período constituye el crecimiento desbordado de la ciudad hacia sitios inaccesibles, laderas o colinas donde es difícil llevar los servicios urbanos. Además, estos lugares constituyen el único refugio del subproletariado urbano. En este sentido, se podría señalar que ciertos efectos de la segregación socioeconómica, tienden a desplazarse hacia estos sectores (Achig, 1983).

En el DMQ ocurrió un fenómeno migratorio del campo hacia la ciudad que se ha agudizado, llevando a una concentración urbana, en mayor proporción hacia las ciudades de Quito y Guayaquil que absorben más del 50 % de la población urbana del país. La geografía de los lugares de acogida de los migrantes en 1982, los habitantes nacidos fuera de Quito aparecen relativamente más numerosos en los barrios periféricos del norte en el barrio Comité del Pueblo y del sur-este de Guajaló. En 1990 se observa una geografía similar a pesar de que los migrantes, globalmente, han disminuido (Achig, 1983).

La comercialización petrolera en 1972 o boom petrolero tuvo una influencia que se hizo notoria en el desarrollo de la división social y técnica del trabajo y en las comunicaciones en general medios de comunicación, información y transportación, al punto que tendieron a reducir el obstáculo que significó el territorio esta vez como distancia y no como elemento de la producción para el capital, mediante los procesos interrelacionados de integración de nuevos ámbitos territoriales y de dispersión de ciertas funciones principales como la industria (Carrión F. y Erazo J., 2012).

El origen de cada período lo definimos como “crisis urbana” y su desarrollo como de transición-estabilización. En suma, Quito, es un proceso cíclico de evolución, que estaría en consonancia con los cambios provocados en la articulación de las relaciones de producción y la socialización (Carrión F. y Erazo J., 2012).

3.2.4. Mapa inventario de eventos morfoclimáticos

Se realizó por medio de QGIS 3.6.3 un mapa en donde se ubican todos los MMEM dentro del estudio que son deslizamientos, derrumbes, hundimientos, aluviones y flujos; dicho mapa permitirá observar cuantos eventos han ocurrido en cada año del período en estudio, que tipo de movimiento es y el factor desencadenante que influyó ya sea por lluvia o aspecto antrópico, obteniendo estos datos se puede estadísticamente determinar cuál fue el período de tiempo con más eventos ocurridos y que zonas son las más susceptibles a desencadenar en dichos eventos.

Una vez que se ha depurado la matriz de Excel con la base de datos de los MMEM correspondiente a la zona de estudio, microcuenca del río Monjas se procedió a crear una capa de puntos en formato shapefile en donde se especifica la ubicación de los MMEM (aluviones, hundimientos, deslizamientos, flujos y derrumbes) que se localizaron en la zona (Figura 3.7).

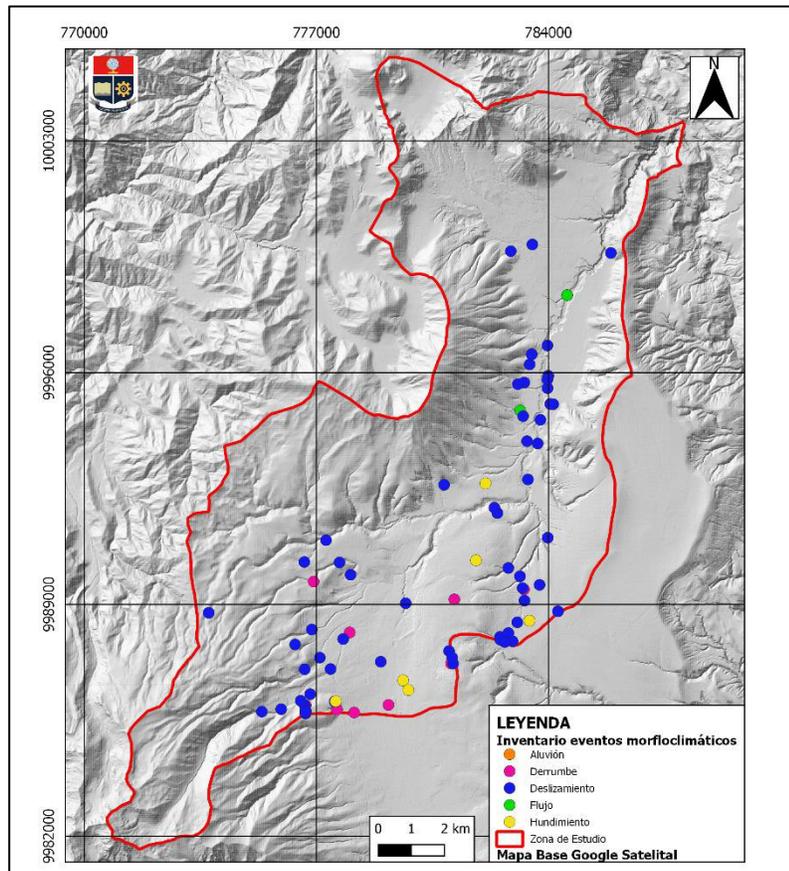


Figura 3.7: Mapa Inventario de eventos morfoclimáticos.

3.3. Análisis Estadístico

Con la obtención del mapa geomorfológico, red de drenaje, crecimiento urbano y el inventario de los movimientos en masa se realiza un análisis estadístico, en donde principalmente se utilizó las herramientas de Excel y la caja de herramientas de QGIS 3.6.3.

3.3.1. Cuento de MMEM en relación a las precipitaciones medias mensuales

Para el conteo de los MMEM se usa la versión QGIS 3.6.3, en el shape de unidades geomorfológicas se usa la herramienta “contar puntos por polígono”, el cual nos da en una tabla

el número de MMEM por cada polígono en este caso por cada unidad geomorfológica y de los cuales agrupamos en 3 clases los MMEM de esta manera:

Grupo I: Aluviones y Flujos

Grupo II: Deslizamientos y derrumbes

Grupo III: Hundimientos

Se usa las herramientas de Excel para los gráficos estadísticos en donde se espera mostrar la relación de las unidades geomorfológicas con los diferentes eventos que se registran, además de relacionar con los valores de precipitaciones medias mensuales, esto permitirá un mejor análisis para determinar en qué tipo de material litológico se desencadena comúnmente un MMEM.

3.3.2. Clasificación de los MMEM en base al tipo de drenaje

La relación entre los tipos de drenaje clasificados por su exposición física actual y la cantidad de MMEM que se presentan, mostrarán en qué tipo de drenaje ocurren estos eventos con más frecuencia, para ello se va a comparar el shape de la red de drenaje anteriormente categorizada (Libre, Rellena y Entubada) y el shape de los MMEM, categorizando cada evento de acuerdo con el drenaje en el que se encuentre ya sea este Libre, Relleno, Entubado y Sin cauce.

3.4. Trabajo de Campo

Dentro del trabajo en campo se levantó información que permitió verificar los datos recopilados anteriormente de los MMEM. Para realizar la verificación en campo se seleccionaron zonas específicas donde previamente se analizó en la etapa de gabinete que había mayor ocurrencia de MMEM, así se visitaron las siguientes zonas: Pomasqui (A), Carapungo (B), Atucucho-Cotocollao (C) y El Condado (Quebrada El Colegio) (D) (ver Figura 3.8).

En la salida de campo los datos de ubicación se registraron a través de un GPS, se realizó registro fotográfico, levantamiento de columnas litoestratigráficas y levantamiento de datos geomorfológicos. Toda esta información permitió tener un panorama más claro de la problemática y también evidenciar la influencia del factor antrópico.

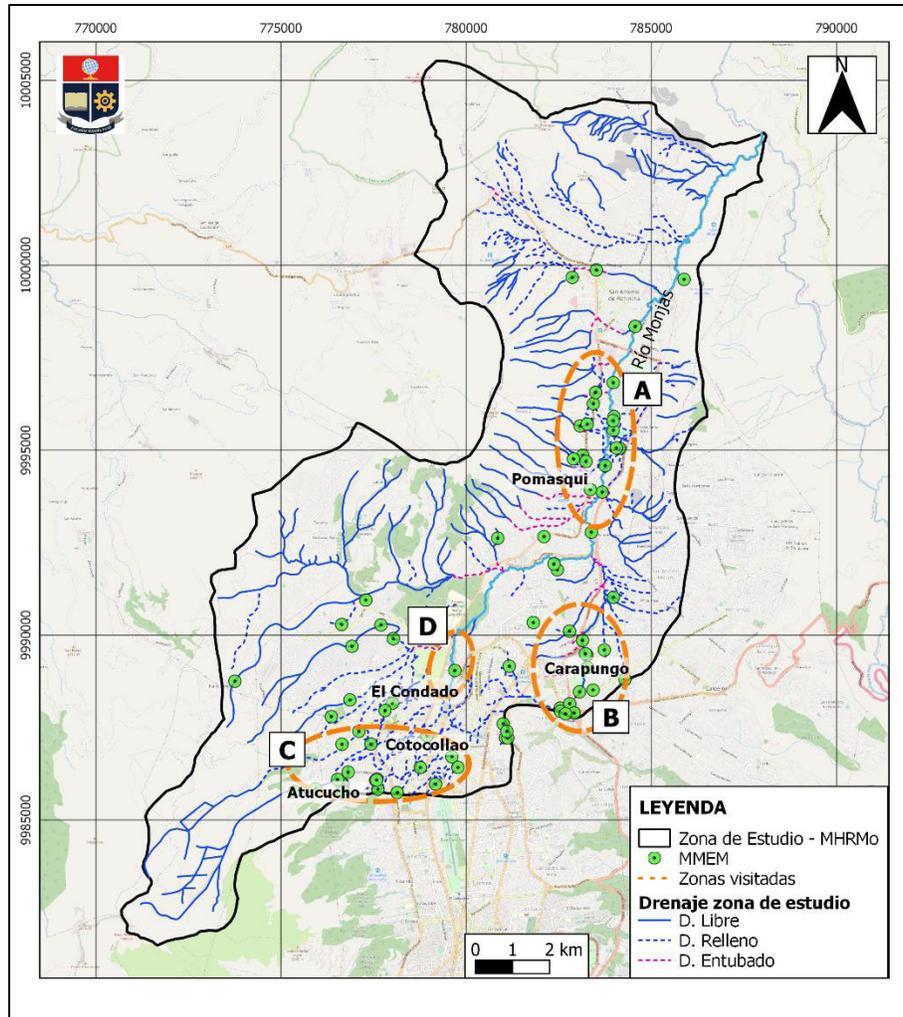


Figura 3.8: Zonas de mayor ocurrencia de movimientos en masa visitadas en la salida de campo. Pomasqui (A), Carapungo (B), Atucucho-Cotocollao (C), El Condado (D).

3.5. Mapa de Zonas Críticas

Para la obtención del mapa en donde han ocurrido mayor número de MEM se utilizaron las herramientas de QGIS 3.6.3 con el fin de obtener un mapa de densidades, este mapa se encarga de mostrar en que zonas hay mayor densidad de elementos, para ellos se utiliza la herramienta “heat map” y el shapefile los MEM.

Una vez que obtenemos el ráster de densidad, se categoriza la capa de acuerdo con el número de clases que permitan representar mejor la distribución de los datos, en este caso se tomaron 5 clases (Figura 3.9).

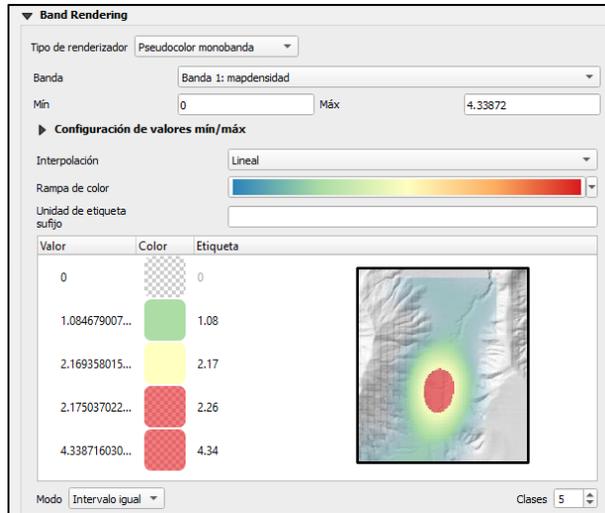


Figura 3.9: Clases tomadas para la categorización de las áreas críticas a desencadenar un MMEM.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Inventario Movimientos en Masa como Eventos Morfoclimáticos (MMEM)

Los 86 MMEM de la base de datos del proyecto Tomorrow's Cities, ubicados a lo largo de la zona de estudio, Microcuenca Hidrográfica del río Monjas, MHRMo, que han sido analizados en esta investigación se han dividido en 3 grupos en función de las características de los eventos: Grupo I (Aluviones y Flujos), Grupo II (Deslizamientos y Derrumbes) y Grupo III (Hundimientos), que se muestran en la Tabla 4.1.

Tipo de MMEM		N° de MMEM	Porcentaje %
GRUPO I	Aluvión	3	3,49 %
	Flujo	2	2,33 %
GRUPO II	Derrumbe	10	11,63 %
	Deslizamiento	65	75,58 %
GRUPO III	Hundimiento	6	6,98 %
Total		86	100 %

Tabla 4.1: Número de movimientos en masa como eventos morfoclimáticos con la ubicación dentro la microcuenca del río Monjas.

Los MMEM se distribuyen principalmente a lo largo del eje principal del río Monjas, en la parte baja de las laderas del Volcán Pichincha, Casitagua y hacia la zona sureste de la microcuenca en los sectores de Carcelén Bajo, Carapungo y El Condado donde existen una serie de quebradas que se conectan al sur con el río principal (Figura 4.1). Por otra parte, una gran cantidad de estos eventos se producen en las quebradas que se conectan a lo largo de la MHRMo, algunas libres y otras que han sido rellenadas a lo largo del tiempo en función de los asentamientos de la población.

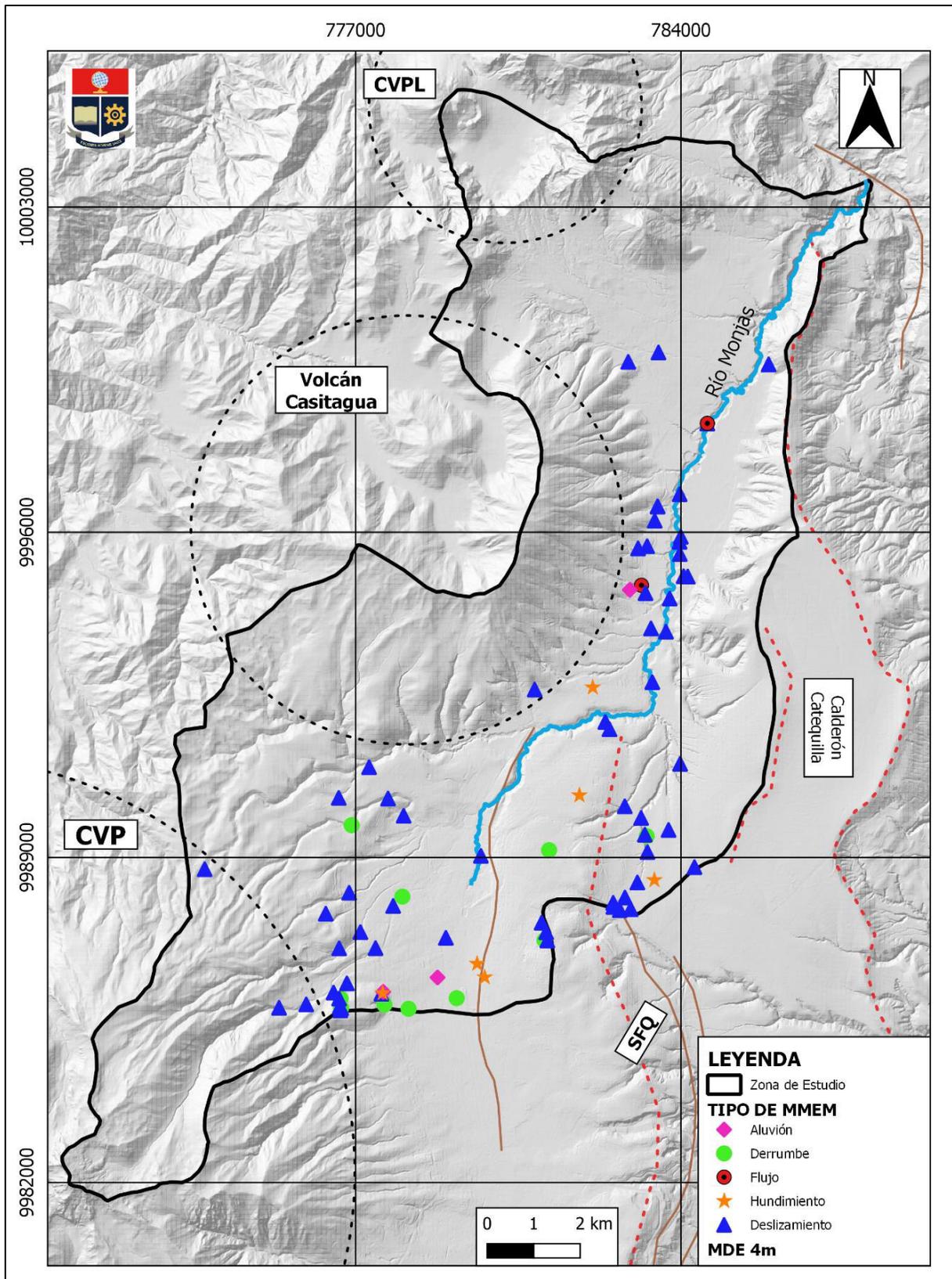


Figura 4.1: Mapa inventario de movimientos en masa como MMEM.

La gravedad de los MMEM fue analizada según los grados definidos en el estudio de Peltre, (1989). Como se puede observar en la Tabla 4.2, la mayor parte de MMEM, 52 de los 86 eventos, han provocado daños materiales y molestia grave en el tráfico, mientras que 11 de los 86 MMEM han sido reportados en el primer nivel de gravedad en los cuales ha existido la presencia de muertos y heridos, así como daños materiales importantes.

Nivel de gravedad	Grupo I	Grupo II	Grupo III
1. Existencia de muertos y daños importantes	3	8	0
2. Daños y molestia grave en el tráfico	2	45	5
3. Daños ligeros y molestia en el tráfico	0	22	1

Tabla 4.2: Nivel de gravedad de MMEM según la gravedad de daños reportados (Tomado como referencia la escala usada por Peltre, 1989).

4.1.1. Grupo I: Aluviones y Flujos

Estos eventos muestran un porcentaje de ocurrencia bajo, del 6%, estos han sido sumamente dañinos, que han ocasionado destrucción de viviendas, pérdida de vidas humanas como es el caso de tres grandes eventos ocurridos en el sector de El Condado (1983), San Carlos (1983) y Pomasqui (2020) los cuales han dejado muertos, heridos y grandes daños materiales (Peltre,1989).



Figura 4.2: a) Lodo y escombros que arrastró el aluvión en el sector de Pomasqui, b) Arrastre de vehículos producto de la fuerza del aluvión (Fotografías tomadas de El Comercio sobre las afectaciones ocurridas en el aluvión del 16 de septiembre del 2020).

4.1.2. Grupo II: Derrumbes y Deslizamientos

Este grupo de eventos han sido los más predominantes en la MHRMo con un 87% de ocurrencia. En cuanto a la gravedad, han llegado a ocasionar grandes pérdidas materiales y molestias graves

en el tráfico, los hundimientos de calzadas defectuosas en el material de relleno de las antiguas quebradas han provocado daños materiales y molestias en el tráfico.



Figura 4.3: a) Deslizamiento disparado por fuerte precipitaciones en el barrio San José de Monjas (Tomado de El Comercio, 2020), b) Derrumbes en el sector de La Pampa (Tomado de diario El Universo, 2021).

4.1.3. Grupo III: Hundimientos

Estos eventos ocupan un 7% de ocurrencia dentro de este período de tiempo, al igual que el Grupo I no son muy recurrentes dentro de la MHRMo, en cuanto a la gravedad que estos han provocado se observan principalmente daños y molestias graves en el tráfico.



Figura 4.4: Fotografía sobre las afectaciones ocurridas a causa del hundimiento en el sector de Pomasqui del 22 de abril del 2011, proporcionada por EPMAPS (Tomado de diario El Comercio).

4.2. Cartografía Geológica

4.2.1. Mapa Geomorfológico

La geomorfología de la zona norte de Quito, MHRMo, se encuentra determinada por la dinámica del Sistema de Fallas inversas de Quito al este, la presencia del volcán Casitagua, el Complejo volcánico Pululahua y la zona suroriental del Complejo volcánico Pichincha, que han generado la existencia de 13 unidades geomorfológicas descritas en la Tabla 4.3 y mostradas en la Figura 4.5.

En general, la zona de estudio presenta unidades geomorfológicas relacionadas a depósitos aluviales de relleno, flujos piroclásticos y flujos de lava indiferenciados de los volcanes de la zona.

Código	Unidad Geomorfológica	Características y Ubicación	Litología
1-Ab	Abanico de esparcimiento	Superficies planas cortadas por los drenajes recientes, con pendiente moderada entre 7° a 14, descende desde el borde de la caldera y se ubica en la parte norte de la zona de estudio	Conglomerados aluviales meteorizados, lahares y flujos de lodo indiferenciados
2-An	Antiguas cuencas lacustres colmatadas	Superficies planas, ocasionalmente cortadas por los drenajes recientes, ligeramente inclinadas entre 5 a 12° por la tectónica local, ubicada en la parte noreste de las faldas del Casitagua	Aluviones limo - arcillosos a limo-arenosos, depósitos de ceniza y lapilli
3-Cg	Cañones o gargantas profundas de quebradas y ríos	Vertientes rectilíneas de pendiente fuerte >35°, ubicada a lo largo de las faldas del volcán Casitagua y río Monjas con pendientes entre 25° a 40°	Flujos piroclásticos, flujos de lava indiferenciados de los volcanes Pululahua, Casitagua y Rucu Pichincha
4-CI	Conos de deyección antiguos, levantados en niveles escalonados	Superficies fuertemente disectadas, en colinas con desniveles <25m, pendientes entre 14° a 22° y ubicada en las faldas del CVP	Conglomerados aluviales meteorizados, lahares y flujos de lodo indiferenciados
5-Cd	Conos de deyección, conos de derrubios recientes	Superficies onduladas casi horizontales con pendientes entre 3° a 14° y ubicada en la parte casi plana sur-centro de la zona	Conglomerados aluviales meteorizados, lahares y flujos de lodo indiferenciados
6-Cr	Cornisas y vertientes abruptas	Superficies de fuerte pendiente >35° ya que están ubicadas en las faldas del VC y el CVP, además la parte este por la tectónica local	Flujos piroclásticos, flujos de lava indiferenciados de los volcanes Pululahua, Casitagua y Rucu Pichincha
7-Do	Domo volcánico	Superficie de pendiente muy fuerte >60° ubicada en el CV Pululahua	Andesitas, piroclastos de pómez y aglomerados
8-Ca	Caldera	Superficie de pendiente suave <5° cerca al domo volcánico y de pendiente fuerte >60° hacia el este	Andesitas, piroclastos de pómez y aglomerados indiferenciados del volcán Pululahua
9-Ra	Rampas de piedemonte, a manera de extensos esparcimientos de cenizas volcánicas	Superficies estructurales de disección plana a moderada, localmente como niveles escalonados por la tectónica local, ubicada en la parte sur este de la zona abarcando parte de las falla de Quito	Flujos piroclásticos, flujos de lava indiferenciados de los volcanes Pululahua, Casitagua y Rucu Pichincha.
10-Re	Relieves derivados de las rampas de piedemonte, con vestigios de la superficie	Superficies completamente destruidas, fuertemente disectadas en colinas con cimas redondeadas, vertientes abruptas, desniveles entre 50-100 m y pendientes entre 22° y 35°	Flujos piroclásticos, flujos de lava indiferenciados.
11-Ta	Terrazas altas	Superficies ligeramente onduladas, no inundables, con pendientes < 3°, se muestra solo en la parte noreste de la zona	Depósitos aluviales de textura variable arenas y gravas.
12-Ti	Terrazas intermedias e indiferenciadas	Superficies planas, ocasionalmente cortadas por los drenajes recientes, ligeramente inclinadas, ubicadas a lo largo de la parte central del río Monjas.	Depósitos aluviales de textura variable arenas y gravas.
13-Ve	Vertientes con huellas de antiguos deslizamientos estabilizados	Superficie disectada del tipo “aborregado”, con pendiente entre 7° a 14° ubicada en la parte sur de la zona	Depósitos coluvio - aluviales de textura variable, cubiertos con cenizas volcánicas recientes.

Tabla 4.3: Unidades geomorfológicas agrupadas de acuerdo con su génesis, características y litología (Tomado y modificado de SSG-MDMQ, 2017).

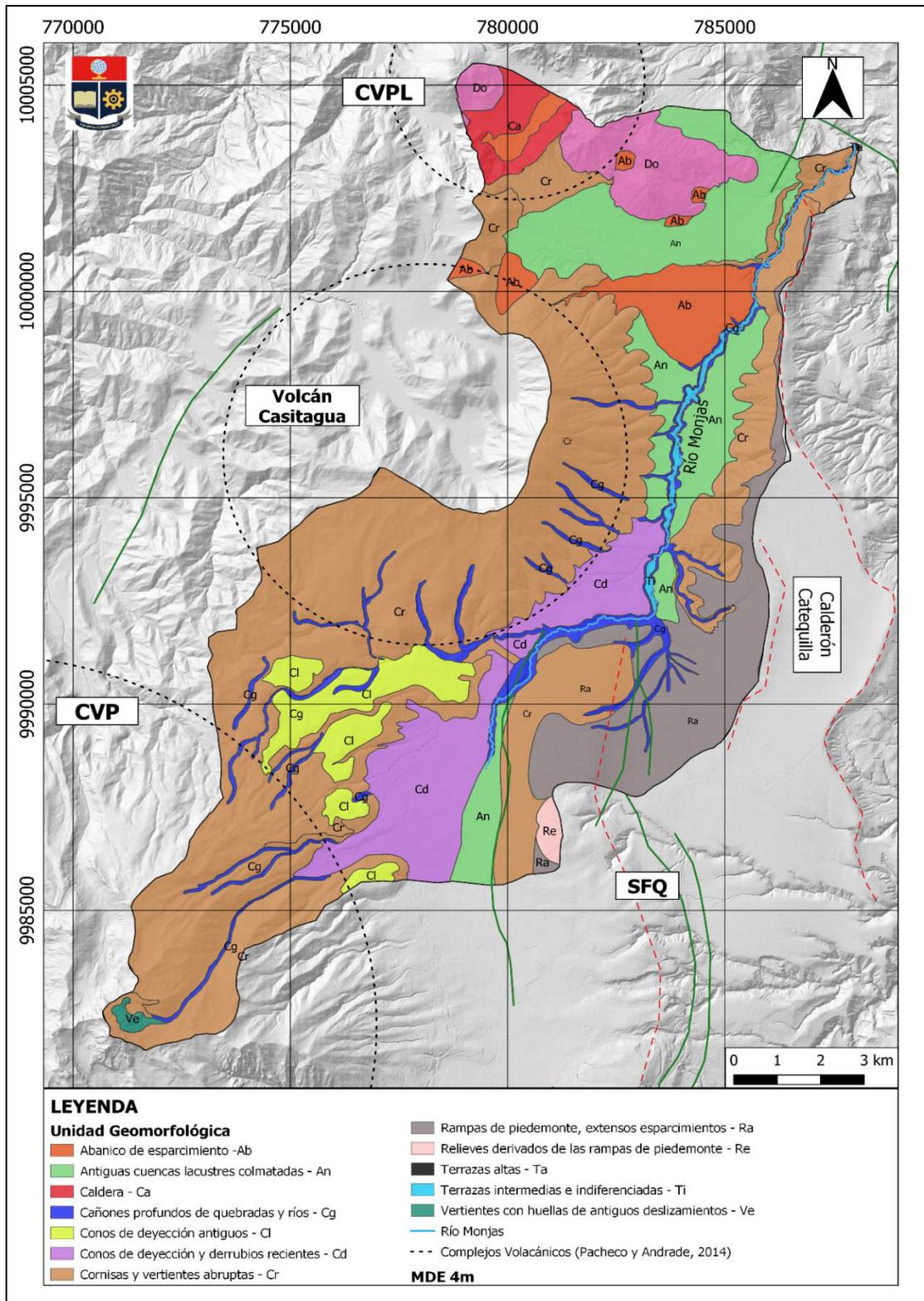


Figura 4.5: Mapa Geomorfológico de la zona de estudio, microcuenca del río Monjas, en donde se muestra principalmente las diferentes unidades geomorfológicas que lo constituyen, (Tomado y modificado de SSG-MDMQ, 2017 y SIGTIERRAS, 1995).

Del análisis del número de MMEM que ocurren en cada unidad geomorfológica, se ve que la mayor cantidad de eventos morfoclimáticos se encuentran en las unidades “**6-Cr**,Cornisas y vertientes abruptas”, 16 MMEM; “**9-Ra**, Rampas de piedemonte a manera de extensos esparcimientos de cenizas volcánicas”, 16 MMEM y “**4-CI**, Conos de deyección antiguos”, 13 MMEM (Tabla 4.4). Estas unidades están caracterizadas por sus fuertes pendientes $>35^\circ$ y el material de formación principalmente flujos piroclásticos, flujos de lava indiferenciados de los volcanes aledaños.

Unidad Geomorfológica	1- Ab	2- An	3- Cg	4- CI	5- Cd	6- Cr	7- Do	8- Ca	9- Ra	10- Re	11- Ta	12- Ti	13- Ve
GI: Aluvión y Flujo	-	-	-	-	1	3	-	-	-	-	-	1	-
GII: Deslizamiento y Derrumbe	2	7	11	13	9	10	-	-	14	4	-	4	-
GIII: Hundimiento	-	1	-	-	1	3	-	-	2	-	-	-	-
Total MMEM	2	8	11	13	11	16	0	0	16	4	0	5	0

Tabla 4.4: Número de MMEM por unidad geomorfológica.

4.2.2. Mapa Restitución de la Red de Drenaje

La MHRMo tiene una dirección SSO-NNE con una longitud aproximada de 23 km, siendo el río Monjas el eje que articula el drenaje de la cuenca hidrográfica. Tomando en consideración que la ciudad de Quito creció rellenando sus drenajes, el mapa de restitución del drenaje se realizó clasificando los drenajes en 3 tipos: Libre, Relleno y Entubado (Figura 4.6).

Según lo observado en el mapa de restitución de drenajes, la mayor parte del drenaje se encuentra Libre con un 45% (Tabla 4.5), debido a que se encuentran en las faldas de los volcanes caracterizadas por tener una pendiente $> 35^\circ$ que hace difícil su relleno y posterior reutilización de las áreas.

La condición de drenaje Relleno y Entubado coincide con las zonas de mayor porcentaje de deslizamientos, donde predominan pendientes suaves a fuertes, moldeadas por la actividad del sistema del Sistema de Fallas de Quito y la presencia de los edificios volcánicos de: Casitagua, Pululahua y Rucu Pichincha.

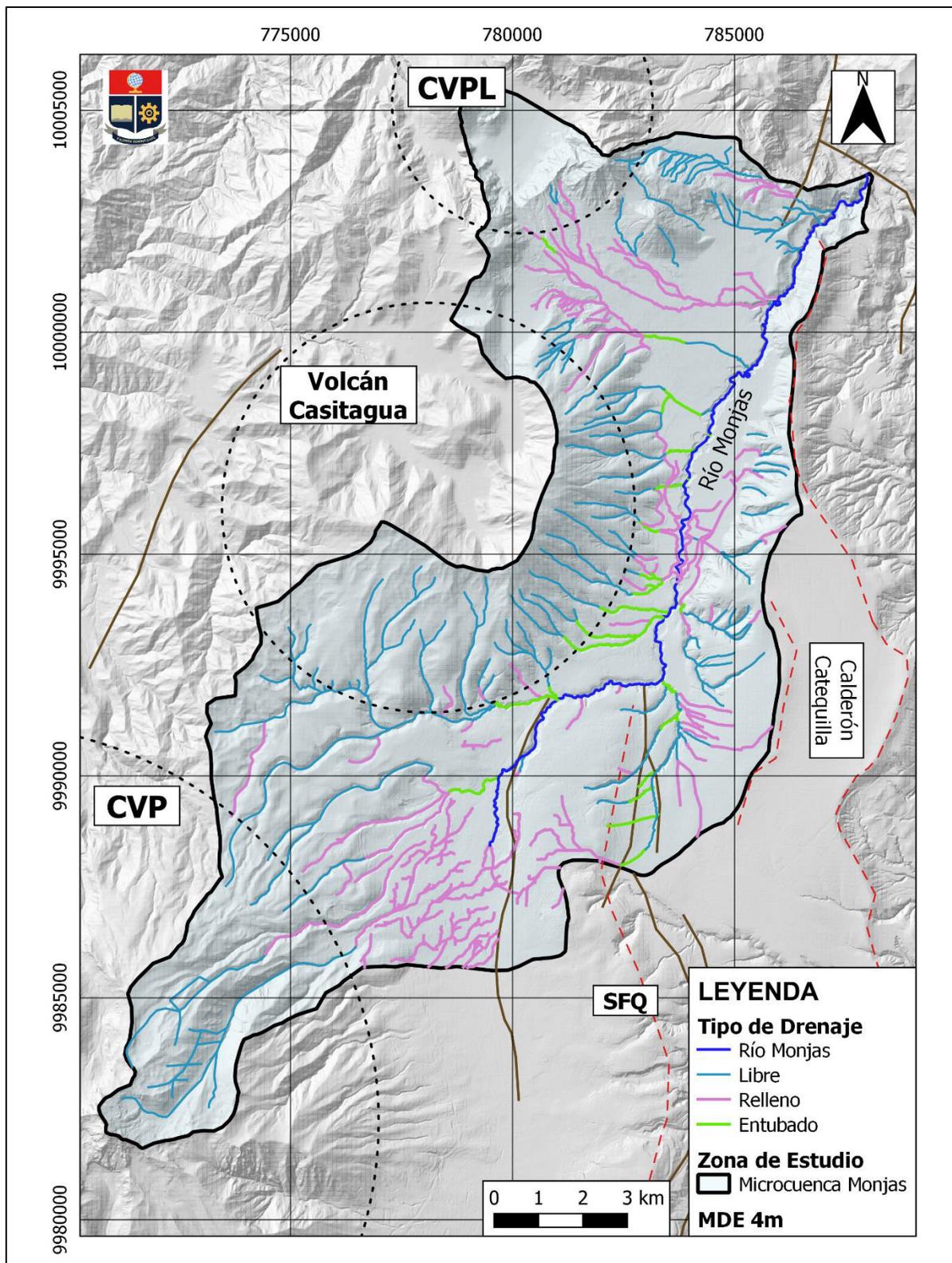


Figura 4.6: Mapa de Restitución de la red de drenaje de la zona de estudio (MHRMo), se muestra los 3 tipos de drenaje (Libre, Relleno y Entubado) y al río Monjas como drenaje principal.

El drenaje Relleno representa un 41% y se ubica en las pendientes suaves y zonas planas de la microcuenca, por la que esta es la principal razón para que estos drenajes se hayan rellenado y sobre estos se consolide la mancha urbana en la microcuenca. Finalmente el drenaje Entubado representa el 6% y se encuentra debajo de puentes o calles cortas que intersecan al drenaje Libre.

Tipo de Drenaje	Longitud (km)	Porcentaje (%)
Río Monjas	23,256	6,66
Libre	160,119	45,84
Relleno	144,191	41,28
Entubado	21,717	6,22
Total	349,283 km	100 %

Tabla 4.5: Condición del drenaje con el porcentaje que representa en la microcuenca del río Monjas.

Al relacionar el número de MMEM en relación con la condición de los diferentes tipos de drenaje en la Tabla 4.6, se obtuvo que la mayor ocurrencia de MMEM se encuentran sobre drenajes Rellenos con 46 eventos, lo que corresponde al 53% del total de MMEM, le sigue los 21 eventos que han ocurrido en los drenajes Libres y con 16 eventos reportados cuya ocurrencia no está relacionada al sistema de drenaje sino a los taludes de los cortes de las vías según muestra la ubicación de estos eventos.

Tipo de Drenaje	Nº de MMEM	Porcentaje (%)
Libre	21	25
Relleno	46	53
Entubado	3	3
Sin cauce	16	19
TOTAL	86	100 %

Tabla 4.6: Número de MMEM reportados por tipo de drenaje de la MHRMo.

4.2.3. Mapa Crecimiento Mancha Urbana

En el mapa de crecimiento de la mancha urbana se toman en cuenta 4 periodos (1534-1797), (1797-1930),(1930-1970) y (1970-2020) claramente se muestra que antes de 1930 únicamente se tenía una mancha consolidada en la zona sur de la cuenca. Pero a partir del año 1970 la ciudad presenta un acelerado desarrollo de forma radial hacia el norte extendiéndose hasta cubrir la mayor parte de la microcuenca del río Monjas, principalmente en las faldas de los volcanes Casitagua,

Pululahua y Rucu Pichincha (Figura 4.7). Además se observa que la población se asienta cerca de las quebradas y en zonas de relleno como es el caso de asentamientos ilegales (Galárraga et al., 2012).

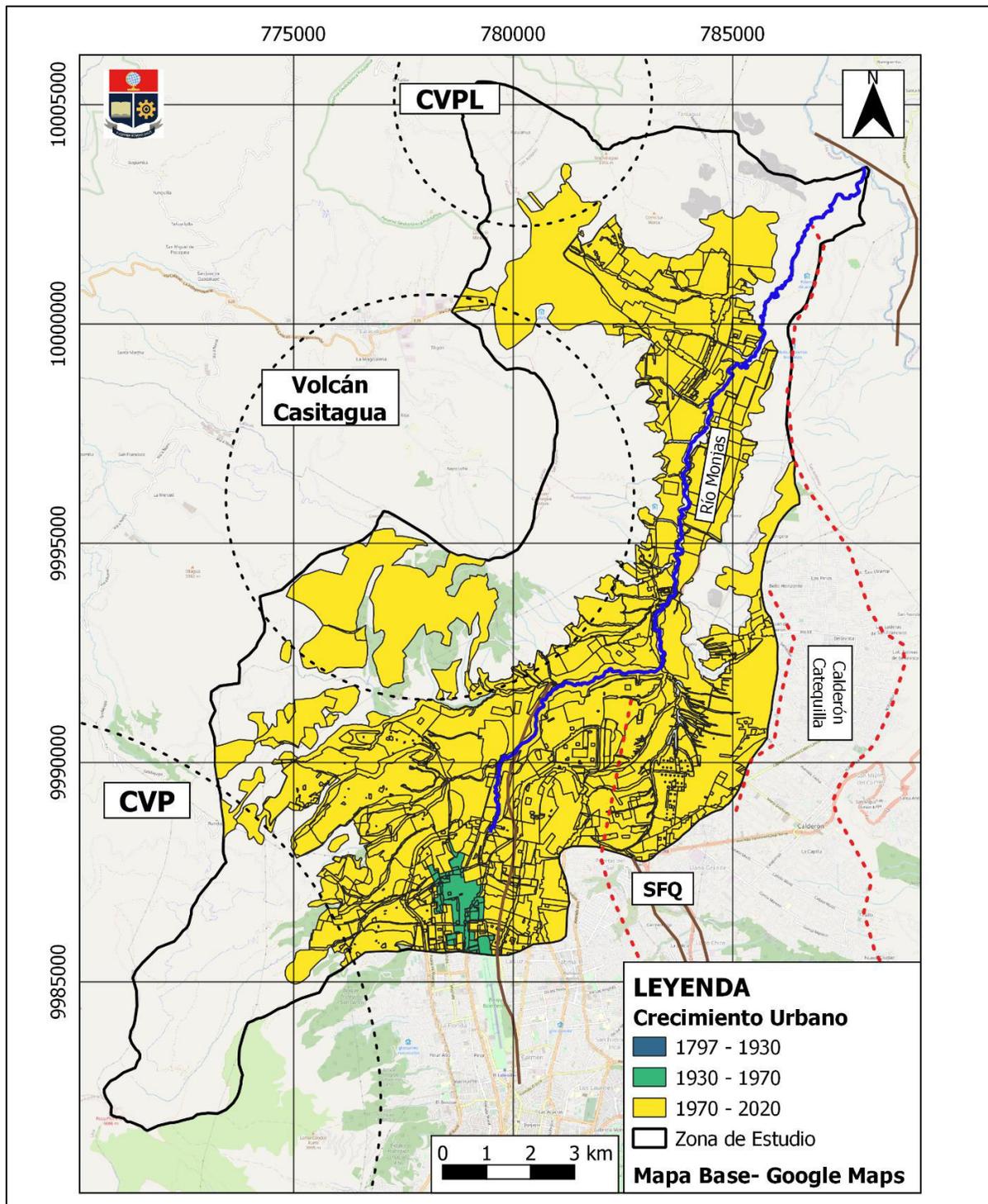


Figura 4.7: Mapa de Crecimiento Urbano desde el año 1790 hasta 2020 (Modificado de la Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad, 2018).

Si bien a partir de 1956, la mancha urbana era ya parte del paisaje de la MHRMo, en el 2020 se nota que se ha consolidado el crecimiento urbano, que se muestra en los siguientes datos: En el período de 1930 a 1970, la ciudad ocupaba un área de 1.59 km² dentro de la microcuenca, mientras que para el período a partir de 1970 hasta 2020 la ciudad ocupó un área de 94 km², que nos muestra que la mancha urbana en la MHRMo creció en un 159%. El extremo norte de la ciudad se ha expandido rápidamente y con ello los problemas donde la ciudadanía se ha asentado.

Por otra parte, la relación que existe entre la ocurrencia de MMEM con el crecimiento de la mancha urbana se puede evidenciar en la Figura 4.8. En el primer período (1534 – 1797) no existen MMEM, esto puede deberse a la falta de registros de los eventos para esa época ya que aún no existía población asentada en la cuenca. Para los próximos períodos comprendidos entre (1797-1930 y 1930-1970) se registran solamente 3 eventos y en el último período (1970 – 2020), existe una tendencia ascendente en el número de MMEM 83, lo cual coincide con el crecimiento de la ciudad hacia esta zona.

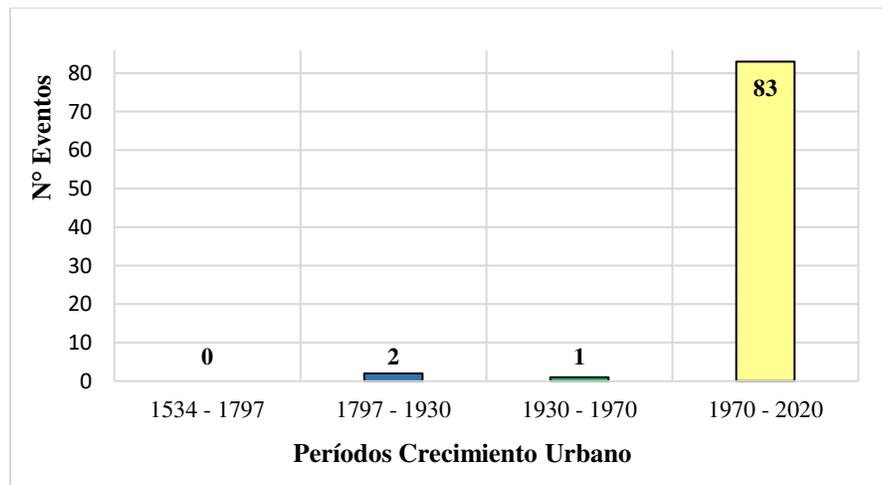


Figura 4.8: Representación estadística del número de MMEM por período de tiempo.

4.3. Análisis Estadístico

4.3.1. Precipitación Media Mensual

Para observar de mejor manera la influencia de las lluvias en la MHRMo se ha tomado los valores de precipitación media mensual que arrojan las estaciones de San Antonio (C07), Calderón (P20), Carapungo y Cotocollao (2010-2020), cuyos valores se muestran en la Figura 4.9.

La Figura 4.9 muestra una distribución bimodal a lo largo del año, con un primer período de alta pluviosidad en los meses de marzo, abril y mayo, alcanzando los 100 mm, 126 mm y 80 mm respectivamente; mientras que el segundo período corresponde a los meses de septiembre, octubre y noviembre, alcanzando los 60 mm, 70 mm y 62 mm, respectivamente, aunque existe una ligera disminución en la cantidad de precipitación con respecto al primer período. En el período comprendido entre junio hasta mediados de septiembre se presenta la menor pluviosidad en la zona, 20 mm.

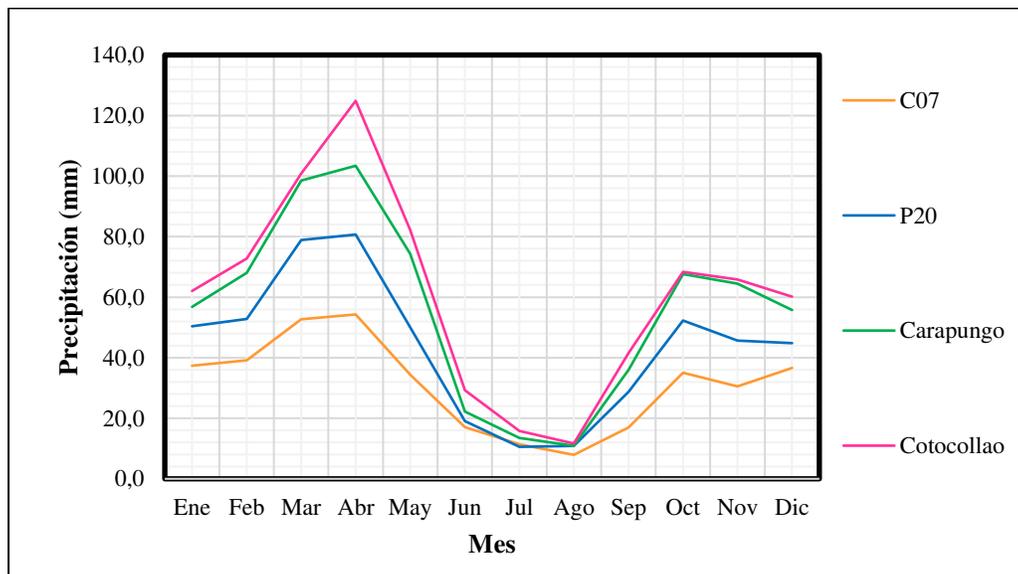


Figura 4.9: Distribución de la precipitación media mensual multianual, período 2000-2019 (mm) de las estaciones San Antonio (C07), Calderón (P20), Carapungo y Cotocollao (Tomado de EPMAPS, 2019).

Los resultados presentados en la Figura 4.10 muestran una relación directa entre la ocurrencia de MMEM y la presencia de lluvias, de hecho el mayor número MMEM se da en los meses de abril y septiembre-octubre en el período de 1900 a 2020. Un ejemplo de este comportamiento lo constituye la quebrada El Colegio en donde a causa de las fuertes precipitaciones el cauce del río Monjas ha crecido, socavando la parte inferior del talud y dando lugar a varios deslizamientos en los márgenes y la quebrada Carretas en donde sucede algo similar, ya que al ocurrir una alta pluviosidad dan lugar a que ocurran mayor número de MMEM afectando en este caso a los moradores que habitan en la zona. Es de destacar que abril es el mes del año con mayores precipitaciones dentro del DMQ (~475mm) y donde se registra el mayor número de MMEM (INAMHI, 2021).

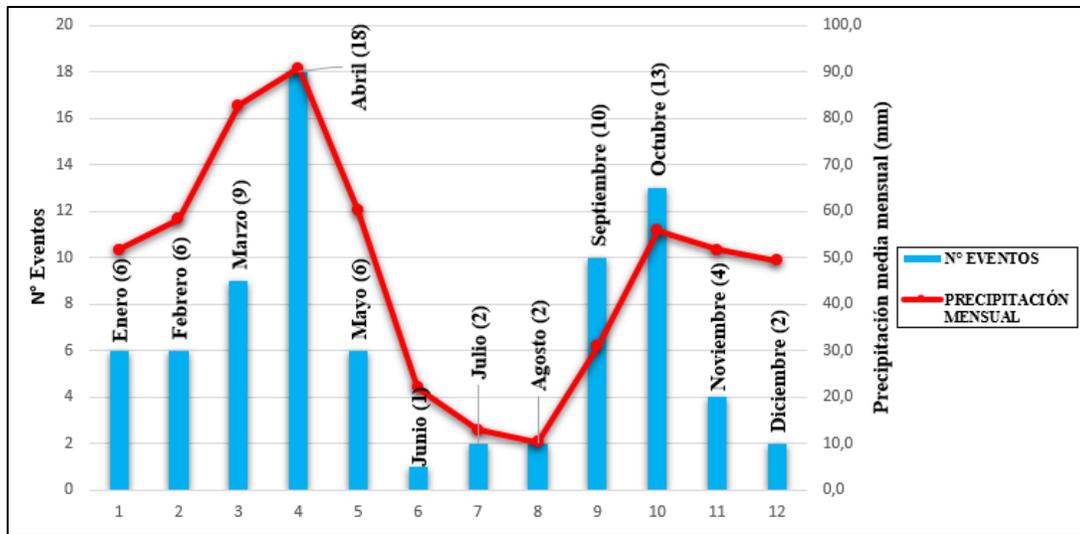


Figura 4.10: Comparación del número de eventos en relación con la distribución de precipitación media mensual en el período 2000-2019.

4.3.2. Cuento de MMEM por unidad geomorfológica

Otro análisis estadístico importante para definir las zonas críticas de ocurrencia de MMEM, es tomar en cuenta en la unidad geomorfológica en que se dan estos eventos, (Figura 4.11). Se observa que la mayor parte de MMEM que han ocurrido durante el periodo 1900- 2020 se encuentran relacionados con las unidades **6-Cr**, Cornisas y vertientes abruptas, 16 MMEM; **4-CI**, Conos de deyección antiguos, 13 MMEM; y, **9-Ra** Rampas de piedemonte, 16 MMEM. Estas unidades están formadas principalmente de flujos piroclástico y de lava de los volcanes aledaños a la zona de estudio; este material se caracteriza por ser suave y de buena porosidad es por eso que el agua de lluvias se infiltra fácilmente e inestabilizan el terreno, provocando que se desencadenen estos eventos. Estas unidades geomorfológicas se caracterizan por tener pendientes fuertes a moderadas, característica que hace que el material deslice pendiente abajo con una velocidad mayor.

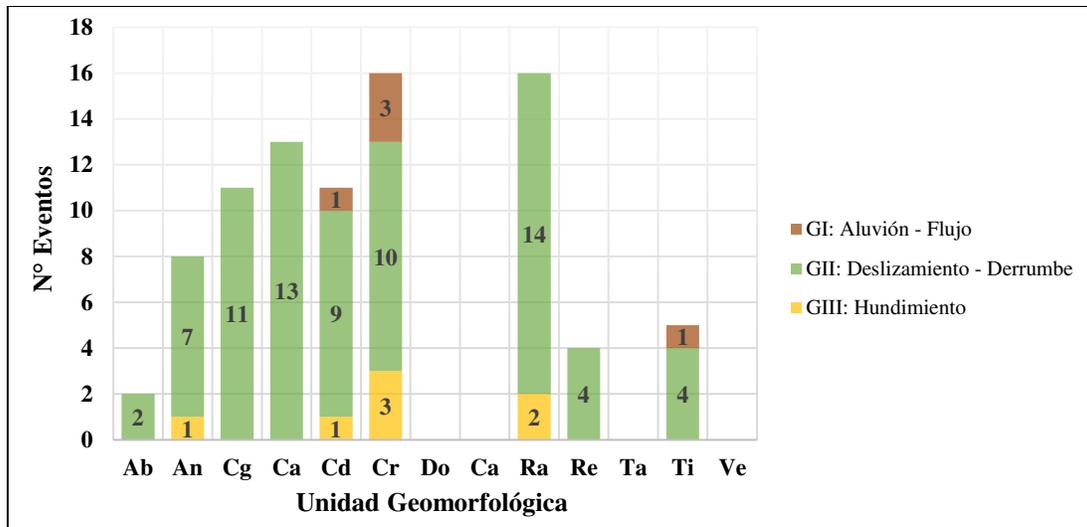


Figura 4.11: Número de eventos morfoclimáticos por grupos y por unidad geomorfológica.

4.3.3. Clasificación de los MMEM en base al tipo de drenaje

La Figura 4.12 muestra que la mayor parte de los MMEM reportados en la MHRMo ocurren sobre los drenajes Rellenos, con un total de 46 eventos y ocupando el 41% de todo el drenaje de la MHRMo. Mientras que los eventos relacionados con los drenajes Libres dependen directamente de la impermeabilización de los suelos y alteración de drenajes por el crecimiento urbano, circunstancia que provoca el aumento del caudal de los ríos, debido a la llegada súbita de las aguas lluvias, dando como resultado que el río Monjas empiece a socavar el lecho y desestabilice los taludes de sus orillas (com.per.Bernal, 2022).

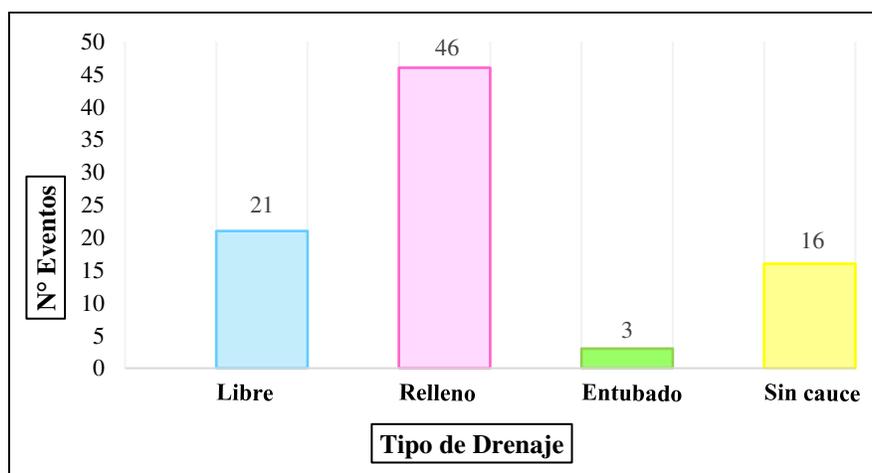


Figura 4.12: Representación estadística de MMEM por condición de drenaje.

4.4. Mapa Zonas Críticas

Para la zona norte de Quito, MHRMo, se obtuvo 4 zonas críticas para la ocurrencia de MEM. Estas zonas son el resultado de la combinación de tres factores importantes: la condición del drenaje con el que se encuentran relacionados, la unidad geomorfológica sobre la cual se producen y el crecimiento urbano descrito en el apartado 4.2.3. A continuación se describen a detalle cada una de estas zonas que se muestran en la Figuras 4.13 y 4.14.

4.4.1. Zona A

Esta zona está ubicada en la parte centro norte de la MHRMo en la parte baja del volcán Casitagua, sector Pomasqui. Los deslizamientos ocurren sobre las unidades geomorfológicas de **2-An**/Antiguas cuencas lacustres colmatadas y **3-Cg**/Cañones o gargantas profundas de los ríos. Litológicamente, en esta zona predominan depósitos de ceniza, lapilli y material de los volcanes Pululahua y Casitagua que corresponden a flujos piroclásticos y de lava indiferenciados. Los deslizamientos están relacionados con las fuertes pendientes $>25^\circ$ que caracterizan a esta zona.

La zona es relativamente seca según los datos de la precipitación media mensual, con valores máximos de 50 mm, sin embargo, los meses de mayor pluviosidad marzo, abril y octubre coinciden con el aumento en el número de MEM.

Esta zona se caracteriza por un fuerte crecimiento urbano en los últimos años, ya que a partir de 1970 hasta la actualidad se ha convertido en un polo de desarrollo urbano, donde se encuentran urbanizaciones como Jardines de la Pampa y Villas de la Pampa, lo que ha traído consigo la impermeabilización de los suelos (construcción de infraestructura) y el relleno de quebradas. Sin embargo la población sigue ocupando esta zona, sin importar que se encuentre cerca del cauce del río Monjas; además es una zona de quebradas rellenas como por ejemplo la quebrada El Guabo.

4.4.2. Zona B

Zona ubicada al sureste de la MHRMo, en el sector de Carcelén/Carapungo, principalmente a lo largo de la Quebrada Carretas. En esta zona han ocurrido y siguen ocurriendo deslizamientos, hundimientos y derrumbes, los cuales se encuentran sobre las unidades de **9-Ra**/Rampas de piedemonte, **3-Cg**/Cañones y gargantas profundas. Litológicamente, en esta zona predominan flujos piroclásticos, flujos de lava indiferenciados de los volcanes Casitagua y Rucu Pichincha.

Esa zona se caracteriza por superficies moderadamente planas con niveles escalonados por la tectónica local, y las fuertes pendientes de la quebrada por donde pasa el río Monjas $>25^\circ$.

La zona cuenta con una pluviosidad media-alta según los datos de la precipitación media mensual, con valores máximos de 105 mm que muestra el mes de abril y picos más bajos entre septiembre y octubre, es durante estos meses de mayor pluviosidad en donde aumenta la ocurrencia de MMEM.

Es una zona de fuerte crecimiento urbano en los últimos años y donde la mancha urbana se ha consolidado alrededor de importante infraestructura como el paso a desnivel sobre la Panamericana norte intercambiador de Carapungo, centro comercial El Portal y las instalaciones de YANBAL.

4.4.3. Zona C

Zona ubicada en la parte sur de la MHRMo, en el sector de Atucucho y Cotocollao, en esta zona predomina la presencia de deslizamientos, hundimientos y un aluvión histórico del año 1983. Los MMEM han ocurrido sobre las unidades de **4-CI**/Conos de deyección, **6-Cr**/Cornisas y vertientes abruptas. Litológicamente, predominan los flujos piroclásticos y flujos de lava del volcán Rucu Pichincha. Las fuertes pendientes $>35^\circ$ de la zona, hacen que aumente la susceptibilidad a MMEM. Existen reportes recientes que hablan de derrumbes formados de material aluvial meteorizado, lahares y flujos de lodo indiferenciados, los cuales ocurren en pendientes moderadas entre 3° y 14° , por lo que no se han reportado daños de gravedad.

La zona cuenta con una pluviosidad alta según los datos de pluviosidad, con valores máximos de 130 mm que muestra el mes de abril y mínimos entre los 60 y 80 mm en los meses de septiembre y octubre; precisamente durante el mes de abril-mayo aumenta la ocurrencia de MMEM.

En cuanto a la mancha urbana, esta zona es la más antigua de la MHRMo, ya que la población ha ido creciendo desde el año 1930, ocupando las faldas del Rucu Pichincha. En esta zona todas las quebradas están rellenas y se relacionan directamente con la ocurrencia de MMEM.

4.4.4. Zona D

Esta zona se considera crítica, no por la cantidad de MMEM que han ocurrido en la zona en comparación de las otras zonas nombradas, sino más bien por el incremento del cauce en estas

quebradas asociadas al río Monjas y a un drenaje de tipo Libre en donde la amenaza de MEM es cada vez más creciente (deslizamientos, derrumbes, erosión hídrica y eólica, que está poniendo en peligro a la infraestructura pública y privada existente).

Se ubica en la parte suroeste de la MHRMo, a lo largo de las quebradas El Rancho, Cucho Hacienda y El Colegio ubicadas en los sectores de Pisulí y El Condado. En esta zona ocurren deslizamientos a lo largo de las quebradas aledañas al río Monjas, donde litológicamente predominan los flujos piroclásticos y se caracteriza por los taludes prácticamente verticales de los márgenes de la quebrada como es el caso en la quebrada El Colegio, en donde el crecimiento desordenado de la ciudad hacia este sector ha ocasionado que esta quebrada sea receptora de residuos sólidos provenientes del Colector El Colegio y drenajes informales, asimismo que los márgenes sean ocupados por asentamientos humanos como es el caso de la Hacienda Marquesa de Solanda y viviendas aledañas.

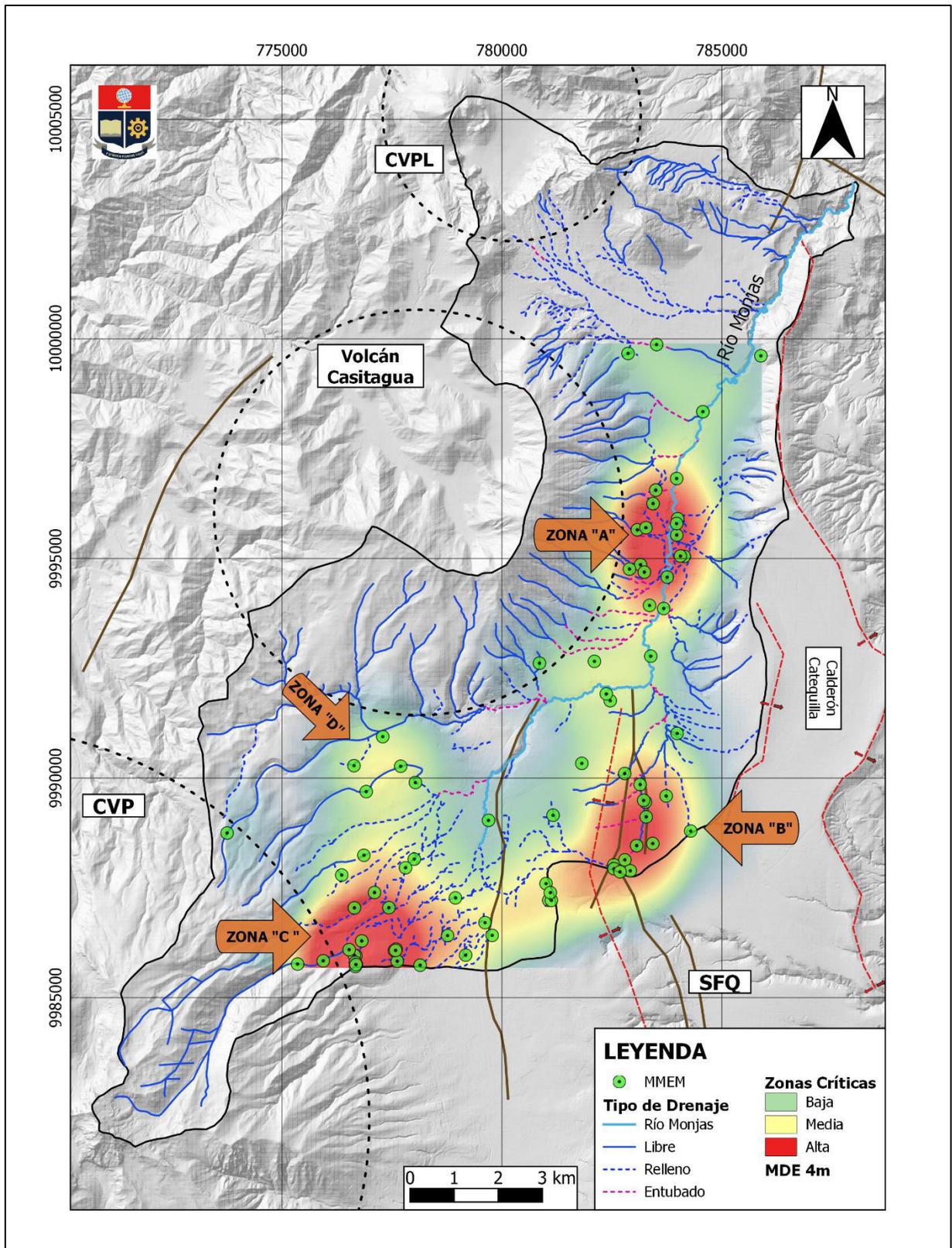


Figura 4.13: Mapa de zonas críticas a MMEM de la microcuenca del río Monjas.

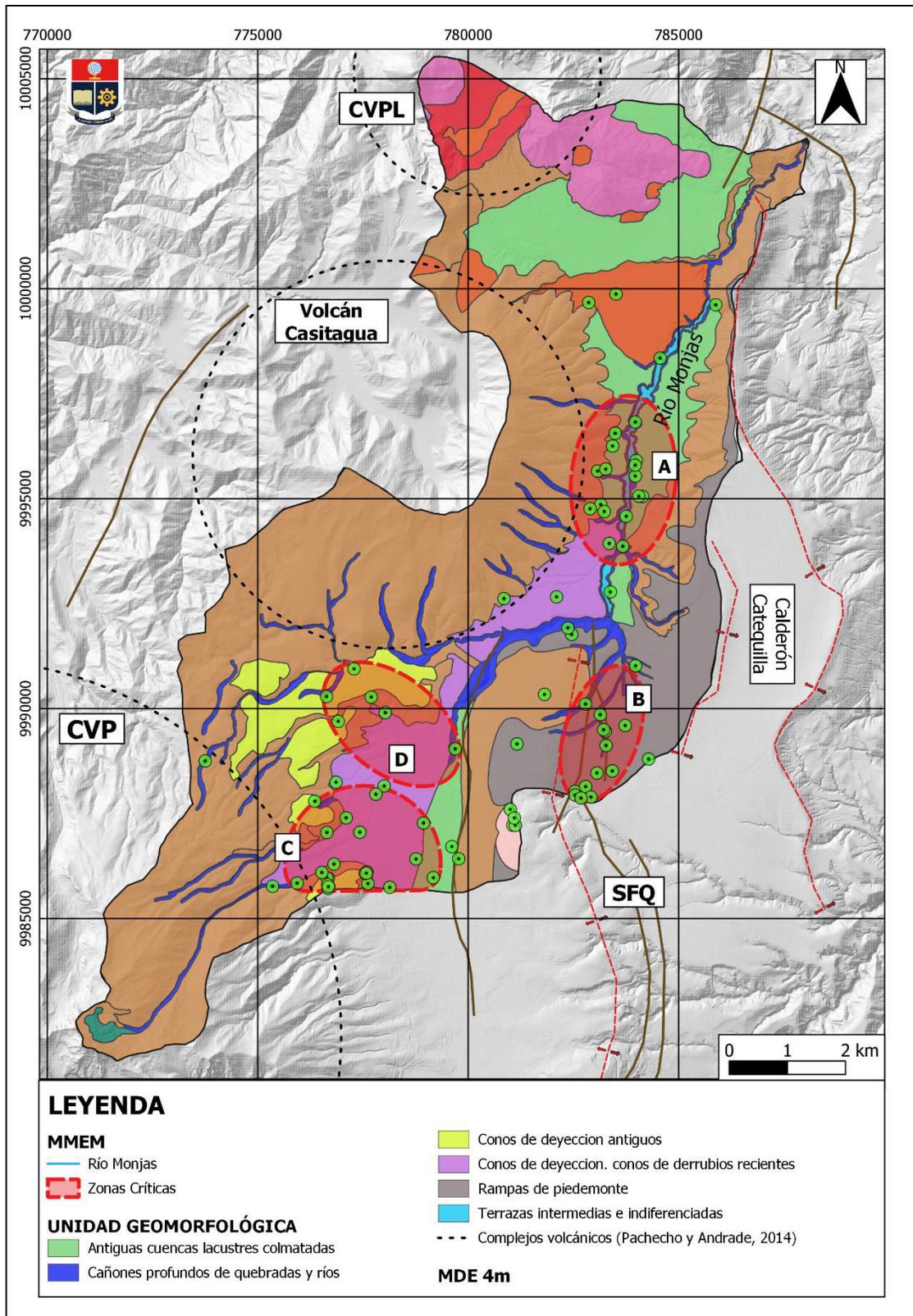


Figura 4.14: Mapa de zonas críticas a MMEM de la microcuenca del río Monjas y unidades geomorfológicas.

4.5. Discusión

La MHRMo se caracteriza por ser una zona de bajas precipitaciones anuales aproximadamente entre 1800 mm en la parte alta de la microcuenca (3000 msnm) hasta valores de 400 mm en la parte baja (1800 msnm) en relación con el territorio del DMQ (Rivera, 2016), las mayores precipitaciones se producen en los meses de abril, mayo y noviembre. A partir del año 1970, la microcuenca se ha convertido en un polo de crecimiento del DMQ, observándose una expansión urbana que en la actualidad ocupa el 54% de la microcuenca. El registro de MMEM en la zona muestra 86 eventos, los cuales son el resultado de la conjugación de factores tanto naturales (geomorfología, litología, lluvias) y antrópicos (crecimiento de la mancha urbana, cambio de uso de suelo, descarga aguas residuales, el relleno y entubado del drenaje natural).

La geomorfología de la zona ha sido modelada por el Sistema de Fallas inversas de Quito y los depósitos que constituyen los edificios volcánicos del Casitagua, Pululahua y Pichincha, que dan lugar a un relieve particular donde se presentan desde pendientes abruptas $>35^\circ$ al este como zonas planas en el centro-oeste. La mayoría de los eventos, 75%, ocurren en las unidades 6-Cr, 9-Ra y 4-Cl, la unidad 6-Cr corresponde a cornisas y vertientes abruptas y allí se han generado los tres grupos de MMEM, la unidad 9-Ra corresponde a rampas de piedemonte a manera de extensos esparcimientos de cenizas volcánicas donde principalmente se han generado deslizamientos y derrumbes seguido de hundimientos, y dentro de la unidad 4-Cl que corresponde a conos de deyección antiguos se han generado deslizamientos y derrumbes; estas unidades se caracterizan por sus fuertes pendientes $>35^\circ$ y una litología donde predominan los flujos piroclásticos y flujos de lava indiferenciados de los volcanes de la zona; este material se caracteriza por ser suave y de buena porosidad es por eso que el agua de lluvias se infiltra fácilmente e inestabilizan el terreno, provocando que se desencadenen estos eventos.

En cuanto al factor pluviométrico, los resultados muestran una relación directa entre la ocurrencia de MMEM y los meses con valores altos de precipitación media mensual, por ejemplo, en el mes de abril se registra alrededor de 122 mm de lluvia y un número de 18 MMEM, lo que señala a la lluvia como uno de los principales factores desencadenantes de MMEM. Luego del análisis de los factores naturales, se concluye que el factor litológico aunado a la presencia de pendientes fuertes a moderadas hace que el material deslice pendiente abajo con una velocidad mayor, dando lugar a MMEM más graves.

En cuanto al factor antrópico, se observa una correlación directa entre el crecimiento de la mancha urbana en el período de 1970 – 2020 y la ocurrencia de 83 de 86 MMEM. Otro aspecto a considerar es que las zonas donde inicia la consolidación urbana presentan pendientes suaves a planas y donde se tiene presencia de drenajes Rellenos, factores que influyen en la ocurrencia de 46 de los 86 MMEM relacionados a la alteración del drenaje natural de transporte y contención de las aguas lluvias, en cambio en la parte alta de la MHRMo, donde tenemos las mayores pendientes y en donde la consolidación urbana de los últimos años alteró la red de drenaje al rellenar las quebradas para la construcción de viviendas, las cuales han sido afectadas por deslizamientos, derrumbes y hundimientos a causa de la compactación del relleno de las quebradas en las partes altas, un ejemplo de esto es lo que ocurre en el sector de Atucucho (Figura 4.15), ya que es una zona con gran parte de construcciones informales ligada a las fuertes precipitaciones, causan en su mayoría deslizamientos.



Figura 4.15: a) Viviendas en situación de riesgo ubicadas en Laderas del Cisne, sector Atucucho, b) Cortes antitécnicos en los taludes y vulnerabilidad estructural de las viviendas (Tomadas por Jiménez, 2017).

Es importante analizar la ocurrencia de 21 eventos relacionados con drenajes Libres, como es el caso de: río Monjas sector Bicentenario, quebrada Carretas y El Colegio, (Figura 4.16), donde la consolidación de la mancha urbana ha ocasionado la impermeabilización de las cuencas y por tanto un mayor flujo de escorrentía que llega a los drenajes en época de lluvia, además la descarga directa de aguas residuales domésticas, 13.2% sin tratamiento previo (Reinoso, 2015); provocando que el flujo de agua en el río Monjas erosione su lecho y provoque la inestabilidad de sus márgenes, como es el caso del sector Bicentenario donde se observan signos de inestabilidad como fisuras. En estos casos, el factor litológico es decisivo porque se trata de flujos piroclásticos fácilmente erodables.



Figura 4.16: a) Escarpe de deslizamiento en la quebrada del río Monjas, sector Ciudad Bicentenario UTM 0783404 / 9992778, b) Escarpe de deslizamiento quebrada El Colegio, sector El Condado. UTM 0779692 / 9989042 (Tomadas por Zapata, 2022).

En la quebrada El Colegio, que se encuentra en la parte media de la MHRMo, existe una grave problemática, ya que parte de la Hacienda en el sector La Esperanza se ha visto comprometida por la alta erosión fluvial en el fondo del lecho del río Monjas. Desde el año 2005, la socavación al pie del talud del río lo ha profundizado hasta llegar a una altura de 15 metros (ver Figura 4.17a) y la ocupación informal del cauce con rellenos en los taludes y las descargas de aguas servidas hacia el talud de la quebrada aumentan la susceptibilidad de la zona a los MMEM, (Figura 4.17b).

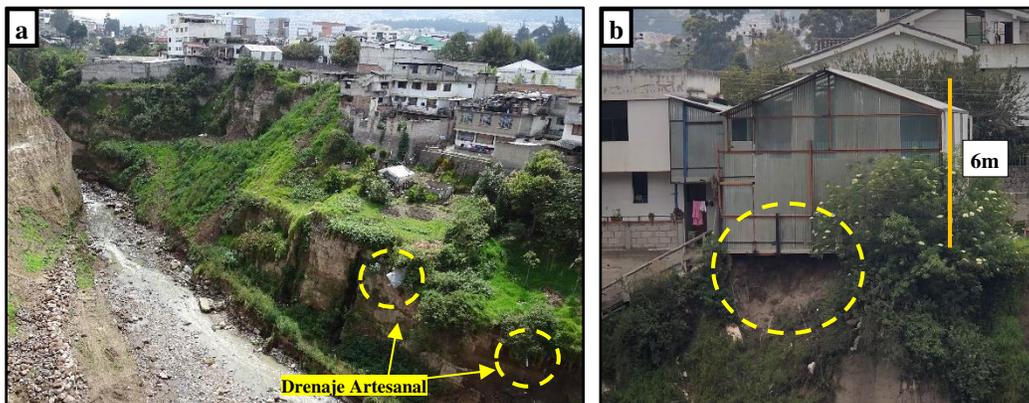


Figura 4.17: a) Sistema de drenaje artesanal de las viviendas informales en el talud de la quebrada El Colegio que descargan sus aguas residuales, b) Vivienda al borde del colapso. UTM 0779692 / 9989042.

En cuanto a la quebrada Carretas y la zona de La Pampa que se encuentran en la parte baja de la MHRMo (Figura 4.18), los movimientos en masa se encuentran relacionados a la socavación que produce el flujo de agua por parte del río, la cual quita el pie de soporte haciendo que colapsen los materiales poco consolidados, ya que se observan asentamientos en zonas de antiguos lechos de

quebradas, sobre las cuales circulan permanentemente aguas residuales y que en temporada de lluvias producen grandes afectaciones a los barrios aledaños a la microcuenca, como es el caso del barrio Puertas del Sol en donde el río ha socavado la parte baja del talud, generando deslizamientos de gran magnitud que abren el lecho de la quebrada hasta 25 m. (El Comercio, 2021), además de viviendas inestables y estructuras en alto riesgo debido a la acción misma del río o por la falta de mantenimiento, como ocurrió en la zona de la Pampa donde ya ha colapsado una vivienda, una cancha y un parque por el aumento del lecho de la quebrada (El Comercio, 2020), afectando cada vez más a la infraestructura y población que se encuentran próximas (< 5m) al borde de la quebrada.

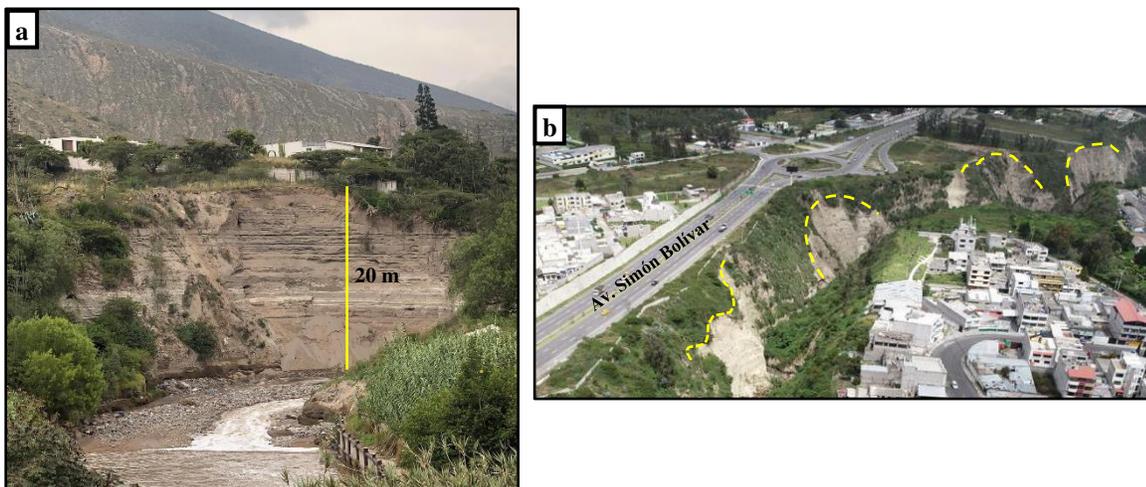


Figura 4.18: a) Escarpe de deslizamiento en el sector La Pampa UTM 0783797 / 9995510, b) Escarpe de múltiples deslizamientos a lo largo de la quebrada Carretas UTM 0783296 / 9990244 (Tomada por Zapata, 2022).

Finalmente, luego de cruzar toda la información cartográfica obtenida, este estudio propone 4 zonas críticas para la ocurrencia de MMEM; Zona A - Sector Pomasqui, donde se desencadenan principalmente MMEM del Grupo I (flujos y aluviones) y Grupo II (deslizamientos) relacionados con la presencia de drenajes Rellenos. La zona es relativamente seca según los datos de la precipitación media mensual, con valores máximos de 50 mm, sin embargo, los meses de mayor pluviosidad se registran en marzo, abril y octubre. En esta zona se registró un gran aluvión en el año 2020 debido a las fuertes lluvias, la alteración de los drenajes por la consolidación de la mancha urbana y al tipo de material poco consolidado que forma la parte norte de la MHRMo, principalmente material piroclástico del volcán Pululahua.

Zona B – Carcelén/Carapungo: Ocupa la parte SSE de la microcuenca, los MMEM ocurren a lo largo de la quebrada Carretas y se relacionan a la dinámica erosiva del río Monjas que socava el cauce y desestabiliza los taludes generando MMEM del Grupo II (deslizamientos y derrumbes) y Grupo III (hundimientos), la zona cuenta con una pluviosidad media-alta con valores máximos de 105 mm que se registra en el mes de abril y picos más bajos entre septiembre y octubre, además de ser una zona de fuerte crecimiento urbano en los últimos años, en donde casas construidas desde 1996 están cada día más cerca de la caída inminente a la quebrada, en total son 98 predios que corren riesgo y 40 casas que se encuentran a uno o dos metros de la quebrada Carretas (El Universo, 2022).

Zona C – Atucucho/Cotocollao: Ocupa la parte sur de la microcuenca, el principal problema son los drenajes Rellenos, las grandes pendientes $>35^\circ$ que se observan en esta zona y los asentamientos ilegales al borde de los taludes y en las partes bajas de las laderas. En esta zona el riesgo aumenta en la época invernal, donde han ocurrido MMEM del Grupo II (deslizamientos y derrumbes) y Grupo III (hundimientos) relacionados a los rellenos de los cauces de las quebradas. La zona cuenta con una pluviosidad alta, con valores máximos de 130 mm que se registran en el mes de abril y mínimos entre los 60 y 80 mm en los meses de septiembre y octubre. En el sector se registró un derrumbe de gran magnitud debido a las fuertes precipitaciones que sobrecargan de agua al talud y a las fuertes pendientes que caracterizan a la zona, removiendo material aluvial meteorizado creando lahares y flujos de lodo indiferenciados que han afectado a varias viviendas (El Comercio, 2022).

Zona D – Sistema de quebradas El Condado: Esta zona puede llegar a ser una de las más críticas debido al aumento del cauce en las quebradas aledañas al río Monjas (Quebrada El Rancho, Cucho Hacienda) en un corto tiempo, además que los MMEM están asociados a drenajes que no están rellenos. Este proceso se ha evidenciado más en la quebrada El Colegio, donde la principal amenaza es la velocidad con que se ha erosionado el cauce del río, ya que en el año 1970 el cauce tenía 6 m, mientras que en la actualidad llega a superar los 15 m, además la constante erosión de la quebrada ha hecho que desde ese año la Hacienda Marquesa de Solanda pierda alrededor de 3,5 hectáreas, actualmente el cauce del río recibe grandes descargas de aguas residuales pero el mayor porcentaje de estas aguas son servidas, las cuales ingresan de diferentes sectores del norte de Quito según su actual propietario José Monge, (2022). El aumento descontrolado del caudal se convierte en un

peligro constante que ha provocado varios MMEM. La consolidación de la mancha urbana y la alteración de los drenajes naturales han provocado que el río socave su cauce y provoque MMEM del Grupo II (deslizamientos y derrumbes) sobre todo en época invernal cuando los caudales crecen por la escorrentía superficial que llega hacia la quebrada. En la zona se ha construido el colector El Colegio como parte de las obras de descarga del DMQ, permitiendo evacuar un caudal de 172 m³/s, además ayuda al colector San Carlos que capta los caudales de las laderas oriental y occidental desde la Av. La Florida hasta la Av. Mariscal Sucre (Figura 4.19) (EPMAPS, 2020), sin embargo, en época invernal el colector no abastece provocando una mayor velocidad del caudal y la erosión en la parte inferior de la quebrada.

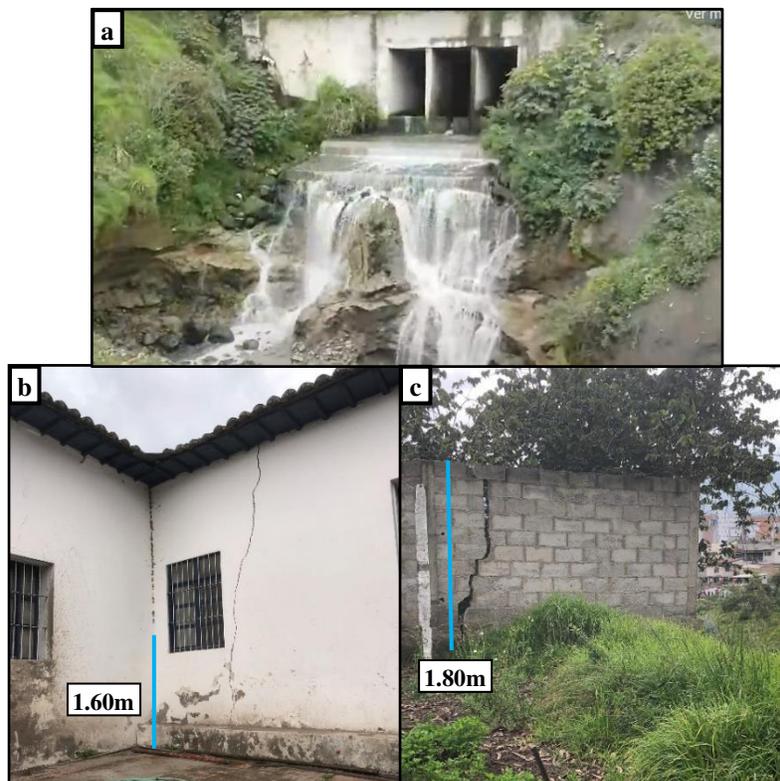


Figura 4.19: a) Colector El Colegio (Tomado de Teleamazonas, 2022), b) y c) Daños en la infraestructura de la hacienda en el sector “La Esperanza” a causa del movimiento progresivo hacia abajo del talud de la quebrada El Colegio. UTM 0779692 / 9989042.

En conclusión la ocurrencia de estos eventos morfoclimáticos están estrechamente ligados a las precipitaciones sumado el factor antrópico que presenta un gran impacto dentro de la microcuenca, como sus principales detonantes sin olvidar que la menor influencia es la litología.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los movimientos en masa como eventos morfoclimáticos se producen por la interacción de factores como: fuertes precipitaciones, la morfología de la MHRMo y el factor antrópico, generándose 86 eventos en el período de 1900 a 2020, de los cuales el 5.8% corresponde a flujos y aluviones, 87.2% a deslizamientos y derrumbes, y 6.9% a hundimientos.
- El 75% de los MMEM ocurren sobre las unidades geomorfológicas que son cornisas, vertientes abruptas, rampas de piedemonte y conos de deyección antiguos, que se caracterizan por su fuerte pendiente $>35^\circ$ en donde predominan los flujos piroclásticos y flujos de lava indiferenciados de los volcanes Pululahuá, Casitagua y Pichincha compuestos de material suave y de buena porosidad que permite al agua lluvia infiltrarse fácilmente e inestabilizar el terreno.
- En la MHRMo predominan los drenajes de tipo Libre con el 45% ya que la mayoría se encuentra en las laderas de los volcanes Casitagua, Pichincha y que es casi imposible rellenar, mientras que el drenaje Relleno representa el 41%.
- Dentro de la MHRMo, el 53% de los MMEM han ocurrido sobre los drenajes Rellenos, mientras que el 25% de eventos se han generado en los cauces de los drenajes Libres principalmente por el socavamiento del río Monjas.
- Durante el trabajo de campo se pudo observar que el factor antrópico está ligado a la generación de MMEM en la microcuenca del río Monjas a través de acciones en el territorio como el asentamiento de viviendas en zonas de relleno mal compactadas, cerca del borde e incluso dentro del cauce de quebradas, el corte de taludes para la construcción de vías y mala gestión de aguas residuales.
- La población del DMQ se ha asentado en la MHRMo desde 1930 con la ocurrencia de 3 MMEM, a partir del año 1970 donde se produce la mayor expansión de la ciudad hacia el norte de la urbe se presentaron 83 eventos, lo cual guarda relación con la antropización del territorio producto del crecimiento urbano y relleno de cauces de quebrada para dar cabida a nuevos asentamientos humanos.

- Existe una relación directa entre la ocurrencia de MMEM y las precipitaciones, principalmente en los meses de abril y septiembre-octubre con una valor de 122 mm, 60 mm y 70 mm respectivamente dentro del período de 1900 a 2020.
- Dentro de la MHRMo se identificaron 4 zonas críticas que combinan tres factores importantes: la condición del drenaje, las unidades geomorfológicas sobre las cuales se producen los MMEM y el crecimiento urbano. Estas zonas, se ubican en los sectores de Carapungo (Quebrada Carretas), Atucucho/Cotocollao, Pomasqui y El Condado.
- Los primeros asentamientos históricos de la ciudad se ubicaron en el centro de Quito desde 1534, observándose que la expansión de la mancha urbana se consolidó en la microcuenca hidrográfica del río Machángara y en donde la ocurrencia de MMEM es 5 veces mayor que la de la microcuenca hidrográfica del río Monjas.

5.2. Recomendaciones

- Ampliar y mantener actualizada la base de datos del proyecto Tomorrow's Cities y mantener un monitoreo permanente de las zonas críticas identificadas en este estudio.
- Promover una planificación territorial que mantenga el cauce natural de las quebradas que aún no han sido rellenadas y realizando estudios de actualización de la infraestructura sanitaria con el fin de que se atienda la demanda de una población en crecimiento, pero sin generar mayor impacto al sistema de drenaje.
- Se recomienda la actualización de diseños e infraestructuras de protección en la ciudad, como es el sistema de drenaje pluvial de la MHRMo considerando la variable de cambio climático dentro del DMQ.
- Emplear los mapas de identificación de zonas críticas de la MHRMo del DMQ en la planificación urbana con el fin de mejorar los sistemas de alerta temprana locales y disminuir el riesgo de ocurrencia de MMEM en la población.
- Rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales evitando que se descarguen directamente sobre el río Monjas para evitar que el proceso de socavación del cauce se agrave.
- Es recomendable el mantenimiento preventivo de colectores, la construcción, mejoramiento y ampliación de estos sistemas de drenaje para un mejor funcionamiento.
- Se recomienda realizar el monitoreo y diagnóstico de las cuencas hidrográficas del DMQ en conjunto con instituciones públicas, privadas, académicas y la comunidad para una buena planificación territorial.

REFERENCIAS

- Achig, L. (1983). El proceso urbano de Quito. Ensayo de interpretación. Quito, 37-53.
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., Lamarque, G., Yepes, H., Mothes, P., Rolandone, F., Jarrín, P., y Quidelleur, X. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *Tectonics*, 33(2), 67-83.
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., Segovia, M., Rolandone, F., Cisneros D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador, *Tectonics*, 35.
- Andrade, D. (2002). Estudio geovolcanológico del Complejo Volcánico Pululahua. Tesis de Ingeniería. EPN/Quito, 177.
- Aspden J. y Litherland M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real., Ecuador. *Tectonophysics* 205, 187-204.
- Avilés, L. (2013). Repositorio Digital: Caracterización geológica-geotécnica del sur de la ciudad de Quito. Tesis de grado, Universidad Central de Ecuador. Quito, 190.
- Ayabaca, C. (2002). Peligro por flujos de lodo e inundaciones en el Distrito Metropolitano de Quito. *Memorias del Seminario : Gestión de riesgos y prevención de desastres*, 29-39.
- Barberi F., Coltelli M., Ferrara G., Innocenti F., Navarro J., Santacrocce R. (1988). Plio-Quaternary volcanism in Ecuador. *Geol.*, 1-14.
- Bernal, C. (2021). Informe Pericial Quebrada El Colegio. Escuela Politécnica Nacional, 11.
- Bès de Berc, S., Soula, J. C., Baby, P., Souris, M., Christophoul, F. y Rosero, J. (2005). Geomorphic evidence of active deformation and uplift in a modern continental wedge-top-foredeep transition: Example of the eastern Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, 399(1), 351-380.
- Bisbal, A., Masana, M., Rojas, C. (2011). Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas. Cuaderno técnico, 97.
- Bobrowsky, P. y Highland, L. (2012). *The Landslide Handbook-a Guide to Understanding Landslides: A Landmark Publication for Landslide Education and Preparedness*. *Landslides: Global Risk Preparedness*, 75-84.
- Cardona, O. (2003). Teoría del Riesgo y Desastres. Curso de Educación Superior Gestión Integral de Riegos y Desastres. Guía de Estudio.
- Carrión, F. y Erazo, J. (2012). La forma urbana de Quito: una historia de centros y periferias. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 503-522.
- Cornell University (2009). *Microclimates* No. 4, 432.
- Cruden, D. y Varnes, D. (1996). Landslide types and processes. In: A.K. Turner; R.L. Schuster (eds). *Landslides investigation and mitigation*. US National Research Council. Special Report 247, Chapter 3, 36-75.
- Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda. (2004). La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito. Colección Quito Metropolitano, 496.
- Ego F. y Sebrier M. (1996), The Ecuadorian Inter-Andean Valley: a major and complex restraining bend and compressive graben since Late Miocene Time. *Annales Tectonicae*, Vol 12, 31-59.
- Ego F., Sebrier M., Lavenu A., Yepes H., Egüez A. (1993). Quaternary state of stress in the northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes. *Second ISAG*, Oxford (UK), extended abstract, 89-92.

- Egüez A. y Aspden J. (1993). The Meso-Cenozoic Evolution of the Ecuadorian Andes. Mem. Second International Symposium Andean Geodynamics. Ext Abstract. Oxford, UK, 179-181.
- Espín, P. (2019). Surface deformation monitoring from InSAR Sentinel data in Quito-Ecuador.
- Estacio, J. y Rodriguez, G. (2012). Los eventos morfoclimáticos en el DMQ: Una construcción social y recurrente. Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales, 73-99.
- Galárraga, R., Plaza, G. y Jiménez E. (2012). Diagnóstico de amenazas morfoclimáticas. Estudio de vulnerabilidad de Quito Talla-0007, 33.
- Gostelow, P. (1991). Rainfall and landslides en Prevention and Control of landslides and other mass movements, editado por AlmeidaTeixeira, M.; Fantechi, R., Oliveira, R., Gomez Coelho, A. Commis. European Communities, Bruselas, 139-161.
- Hall, M. L., Samaniego, P., Le Pennec, J. L., y Johnson, J. B. (2008). Ecuadorian Andes volcanism: A review of Late Pliocene to present activity. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 176(1), 1-6.
- Hall, M. y Mothes, P. (2001). La Caldera Chacana, el centro riolítico más grande de los Andes Septentrionales. Cuartas Jornadas en Ciencias de la Tierra. EPN/Quito, 57-59.
- Hall, M. y Yepes, H. (1980). Fallamiento y actividad microsísmica en el Valle Interandino-Ecuador. Revista Geofísica, IPGH México, 36-44.
- Hughes, R. y Pilatasig, L. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Ecuador Andes. Tectonophysics 345, 29-48.
- Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L. (2013). Varnes classification of landslide types, an update. Landslides 11, 167-194.
- Iiritano, G., Versace, P., Sirangelo, B. (1998). Real-time estimation of hazard for landslides triggered by rainfall. Environmental Geology 35 (2-3), 175-183.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2021) Datos pluviométricos mes de abril.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República del Ecuador (2010). Censo de población y vivienda 2010. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-población-y-vivienda/>.
- Jaillard, E., Lapierre, H., Ordóñez, M., Toro, J., Amortegui, A., Vanmelle, J. (2009). Accreted oceanic terranes in Ecuador: southern edge of Caribbean Plate? Geol SocLondon. Special Pub 328, 469-485.
- Jaillard, E., Ordoñez, M., Suárez, J., Toro, J., Iza, D., y Lugo, W. (2004). Stratigraphy of the late Cretaceous–Paleogene deposits of the cordillera occidental of central ecuador: Geodynamic implications—ScienceDirect. Journal of South American Earth Sciences, 49-58.
- Jaya, D. (2009). Origen de los depósitos volcánicos de la cuenca de Quito: Implicación de la evolución del Complejo Volcánico Pichincha y del sistema de fallas de Quito. Université Shopie Antipolis Nice, 81.
- Jiménez, A. (2017). Informe Urbanización la Pampa. Informe Técnico, 4.
- Jurado Pazmiño, D. (2015). Análisis de riesgos a movimientos en masa para la gestión de desastres en la administración zonal Eugenio Espejo, norte del Distrito Metropolitano de Quito [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
- Lavenu, A. (2006). Neotectónica de los andes entre 1°N y 47°S (Ecuador, Bolivia y Chile). *Asociación Geológica Argentina*, 504-524.
- Lavenu, A., Baudino, R., Ego, F. (1996). Stratigraphie des depots Tertiaires et Quaternaires de la Depression Interandine d'Equateur (entre 0° et 2°15S). Bull. Inst. Fr. Etudes Andines 25, 1 - 15.

- Lavenu, A., Noblet, C., Bonhomme, M., Egüez, A., Dugas, F. (1992). New K/Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism and tectonics. *Journal of South American Sciences*, 309 – 320.
- Litherland, M., Aspden, J. y Jemielita, R. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. 11(British Geological Survey, Overseas Memoir), 147.
- McCourt W., Duque P., Pilatasig B. (1997). PRODEMİNCA Report No. 3: the Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 1°S and 2°S.; CODIGEM – British Geological Survey, Quito, 68.
- Medina, S., Salazar, L. (2009). Relación entre la resistencia al corte directo y propiedades físicas y químicas en algunos suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 16.
- Pacheco, D. (2013). Estudio geológico de las formaciones cuaternarias en la zona San Antonio de Pichincha-Pomasqui. Tesis de grado, EPN/Quito, 179.
- Pacheco, D., Andrade, D. y Alvarado, A. (2014). Estratigrafía Cuaternaria de la Cuenca San Antonio de Pichincha. EPN, 9.
- Peltre, P. (1989). Riesgos naturales en Quito: Quebradas y Riesgos Naturales en Quito, período 1900-1988. Corporación Editora Nacional, 45-67.
- Petrie, G. y Kennie, T. (1990). *Engineering Surveying Technology*.
- Pourrut, P. (1995). El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía. Colegio de Geógrafos del Ecuador : Corporación Editora Nacional.
- QGIS.org. (2021). QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Reinoso, I. (2015). Evaluación Ambiental del río Machángara. Tesis de grado, EPN/Quito, 153.
- Rivera, M. (2016). Consultoría para la elaboración del plan de gestión integral de riesgos de la cuenca del río Monjas. Resumen Ejecutivo, Secretaria General de Seguridad y Gobernabilidad del DMQ, 96.
- Robin, C., Eissen, J.P., Samaniego, P., Martin, H., Hall, M., Cotten, J. (2009). Evolution of the late Pleistocene Mojanda-Fuya Fuya volcanic complex (Ecuador), by progressive adakitic involvement in mantle magma sources. *Bull Volcanol* 71, 233 - 258.
- Robin, C., Samaniego, P., Le Pennec, J., Fornari, M., Mothes, P., Van der Plincht, J. (2010). New radiometric and petrological constraints on the evolution of the Pichincha volcanic complex, Ecuador.
- Samaniego, P., Egüez, A., Hibsich, C., Villagómez, R., Segovia, M. (1994). Estratigrafía y tectónica de la Cuenca Guayllabamba. Terceras Jornadas en Ciencias de la Tierra. Escuela Politécnica Nacional-Quito, 49-50.
- Santillán, S. y Vite, P. (2011). Interrelaciones urbanas alrededor de la quebrada La Raya en la ciudad de Quito. Tesis de grado. EPN/Quito.
- Secretaría de Ambiente Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2012). Catálogo ambiental: Red Hídrica_Natural_Artificial_Geo (código FS: 010101, fuente IGM-EPMAPS.SA, escala 25.000).
- Secretaría de General de Seguridad del DMQ. (2021). Informe para intervenciones de Emergencia, tramo de la Quebrada El Colegio, Barrio la Esperanza, Parroquia Carcelén, Administración Zonal la Delicia.
- Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2017). Mapas geomorfológicos con fotointerpretación en hojas cartográficas: Chaupicruz, Chillogallo, El Condado, Quito, San Antonio de Pichincha, Sangolquí y Tumbaco. FUNEPSA. Edición 3-IGM 2008.

- Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2018). MDE Quito 1k_tm (píxel 1m), MDE Quito 5k_tm (píxel 5m), SIREN_DMQ - Proyectoado.
- Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda. (2012). Plan metropolitano de ordenamiento territorial, 59.
- Secretaria General de la Comunidad Andina (2009). Atlas de las Dinámicas del Territorio Andino: población y bienes expuestos a Amenazas Naturales. Lima: Ed. Feriva S.A.
- Serrano, S. y L. Basile. (2012). La precipitación intensa vista desde la criticalidad auto organizanda y las transiciones de fase continuas: un nuevo enfoque de estudio. La Granja, 5– 18.
- Serrano, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E. y Villacís, M. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad y cambio climáticos en el Distrito Metropolitano de Quito. La Granja, 25.
- SIGTIERRAS. (1995). Mapa Geomorfológico SIRGAS/UTM zone 17S-Proyectoado.
- Soulas, J. P. (1991). Proyecto UNDRO-EPN de prevención y de planificación de desastres en el Ecuador y países vecinos. UNDRO, Ginebra. Suiza, 16.
- Spikings, R. A. (2005). Thermochronology of the Cordillera Occidental and the Amotape Complex, Ecuador: unraveling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes
- Spikings, R., Cochrane, R., Vallejo, C., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Paul, A. y Winkler, W. (2019). Latest Triassic to Early Cretaceous tectonics of the Northern Andes: Geochronology, geochemistry, isotopic tracing, and thermochronology: Vol. Chapter 7, 173-208
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W. y Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: From Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75Ma). *Gondwana Research*, 27(1), 95-139.
- Suárez, J. (2009). Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Capítulo 1: Nomenclatura y clasificación. Colombia, 36.
- Suárez, J. (2009). Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Capítulo 8: Deslizamientos en Áreas Urbanas y en Obras de Ingeniería. Colombia, 32.
- Tibaldi A. y Ferrari L. (1992). From latest Miocene thrusting to Quaternary transpression and transtension in the Interandean Valley, Ecuador. *Journal Geodynamics*, Vol 15, No. 1/2, 59-83.
- Torres, J. (2014). Principios básicos para identificar problemas de drenaje en el cultivo de la palma. Boletín técnico. Bogota, 33.
- Unidad del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del DMQ. (2014). Diagnóstico del Territorio del DMQ, 124.
- Vallejo, C., Spikings, R. A., Horton, B. K., Luzieux, L., Romero, C., Winkler, W. y Thomsen, T. B. (2019). Chapter 8 - Late cretaceous to miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment. *Andean Tectonics*, 209-236.
- Varnes, D. (1978). Slope movement types and processes. In: R.L. Schuster; R.J. Krizek (eds). Landslides, analysis and control. Special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, 11-33.
- Villagómez, D. (2003). Evolución Plio-Cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador (zona Quito - Guayllabamba - San Antonio de Pichincha). Tesis de ingeniería. Escuela Politécnica Nacional – Quito, 130.
- Winkler, W., Spikings, R., Villagomez, D., Eguez, A. y Tobler, S. (2002). The Chota Basin and its significance for the formation of the Inter-Andean Valley in Ecuador. *Fourth ISAG*, 705-708.

- Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen, P. y Egüez, A. (2005). The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the interAndean depression in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(1), 5-19.
- Winter, T. (1990). Mécanismes de déformation récentes dans les Andes équatoriennes. These de l'Université d'Orsay, Paris, 180.
- Zapata, C. (2022). Fotografías de movimientos en masa de la microcuenca del río Monjas tomadas por vehículo aéreo no tripulado.

ANEXOS

ANEXO I

No.	Código en Fuente	Fuente Secundaria	Fuente Primaria	AÑO	MES	DIA	EVENTO	CAUSA/DISPARADOR	X	Y	SECTOR / BARRIO	GRAVEDAD
1	Peltre_66	Peltre 1989	El Comercio	1921	2	22	Derrumbe	Lluvia	777619	9985829	Atucucho	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
2		Espinosa, 2021	El Comercio	1921	9		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	777554	9986071	San José	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
3	Peltre_178	Peltre 1989	El Comercio	1949	4	21	Aluvión	Lluvia	777593	9986106	Cotocollao	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
4	Peltre_503	Pullas y Robalino basado en Peltre 1989	El Comercio	1983	1	6	Aluvión	Antrópico	778762	9986414	Pedro Freile y Atucucho	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
5	Peltre_539	Pullas y Robalino basado en Peltre 1989	Diario Hoy	1986	10	6	Hundimiento	Lluvia-antrópico	777581	9986077	San José: San Vicente	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
6	Peltre_543	Pullas y Robalino basado en Peltre 1989	Diario Hoy	1987	1	7	Hundimiento	Lluvia-antrópico	781815	9990336	Carcelén: Antonio Ruiz	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
7	1993-77	DESINVENTAR	El Comercio	1993	4	17	Deslizamiento	Lluvia	776687	9985757	Atucucho	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
8	1999-26	DESINVENTAR	El Universo	1999	2	22	Deslizamiento	Lluvia	776687	9985757	Atucucho	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
9		Espinosa, 2021	ECU 911	2002	10		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	783995	9995907	Pomasqui	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
10	2005-194	DESINVENTAR	El Comercio	2005	7	30	Derrumbe	Lluvia	776687	9985757	Atucucho	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
11		Espinosa, 2021	ECU 911	2005	4		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	779694	9989038	Quebrada El Colegio	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
12	2005-207	DESINVENTAR	El Comercio	2005	8	23	Deslizamiento	Antrópico	783076	9995655	San Juan de Pomasqui	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
13		Espinosa, 2021	ECU 911	2005	4		Deslizamiento	Lluvia	783971	9996823	La Pampa	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
14	1196	Espinosa, 2021	El Universo	2006	4	11	Deslizamiento	Lluvia	783732	9989594	Carapungo	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
15	2006-211	DESINVENTAR	El Comercio	2006	11	7	Deslizamiento	Lluvia	775937	9985839	Julio Alfredo Jaramillo	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
16	PI-0019	DESINVENTAR	Diario Hoy	2007	4	25	Deslizamiento	Lluvia	783980	9991018	La Esperanza	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
17	PI-0011	DESINVENTAR	Diario Hoy	2008	2	29	Deslizamiento	Lluvia	776674	9985761	Atucucho	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
18	PI-1435	DESINVENTAR	Central de Emergencias	2009	4	14	Deslizamiento	Lluvia	784566	9998344	San Antonio de Pichincha	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
19		Espinosa, 2021	ECU 911	2009	4		Deslizamiento	Lluvia	776675	9985743	Atucucho	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
20	1293	Espinosa, 2021	El Comercio	2010	12	18	Derrumbe	Lluvia	778006	9988155	José Miguel Carrión y Av. Mariscal Sucre	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
21	1297	Espinosa, 2021	El Comercio	2010	12	21	Deslizamiento	Lluvia-antrópico	783061	9988463	Carapungo	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
22	2011-00782	DESINVENTAR	SNGR	2011	4	14	Deslizamiento	Lluvia	776357	9987792	Nono	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico

23	2011-00853	DESINVENTAR	SNGR	2011	4	21	Deslizamiento	Lluvia	773752	9988750	Rundupamba	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
24	1310	Espinosa, 2021	El Comercio	2011	4	22	Flujo	Lluvia	784566	9998344	Pomasqui	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
25	2011-00880	DESINVENTAR	SNGR	2011	4	24	Deslizamiento	Lluvia	778941	9987272	Cotocollao	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
26	2011-01729	DESINVENTAR	SNGR	2011	11	24	Derrumbe	Lluvia	781161	9989155	Carcelén:	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
27	2011-00232	DESINVENTAR	SNGR	2011	2	3	Hundimiento	Lluvia-antrópico	779614	9986709	Cotocollao	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
28	2011-00772	DESINVENTAR	SNGR	2011	4	13	Hundimiento	Lluvia-antrópico	782101	9992659	San Antonio de Pichincha	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
29	2013-1485	DESINVENTAR	SNGR	2013	3	29	Deslizamiento	Lluvia-antrópico	781001	9987597	Eloy Alfaro y Arupos	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
30	2013-3209	DESINVENTAR	SNGR	2013	7	15	Derrumbe	Lluvia-antrópico	779174	9985969	Av. Luis Tufiño y Gualaquiza	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
31	2013-5076	DESINVENTAR	ECU 911	2013	10	18	Deslizamiento	Lluvia	784145	9995049	Santa Rosa	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
32		Espinosa, 2021	ECU 911	2013	4		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	784056	9995057	San Antonio de Pichincha	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
33	2014-2051	DESINVENTAR	MIES	2014	3	4	Deslizamiento	Lluvia	776669	9985711	Atucucho	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
34	2014-2551	DESINVENTAR	ECU 911	2014	4	28	Deslizamiento	Lluvia-antrópico	777428	9987051	Julio Cesar Villacrés	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
35	2014-2653	DESINVENTAR	ECU 911	2014	5	3	Deslizamiento	Lluvia-antrópico	776860	9988243	La Planada	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
36	2014-3006	DESINVENTAR	ECU 911	2014	5	12	Deslizamiento	Lluvia-antrópico	782541	9988024	Carapungo	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
37	2014-3095	DESINVENTAR	ECU 911	2014	5	13	Derrumbe	Lluvia-antrópico	778139	9985740	Av. Pedro de Alvarado y Vaca de Castro.	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
38	2014-3387	DESINVENTAR	ECU 911	2014	5	23	Deslizamiento	Lluvia-antrópico	783676	9993863	Pomasqui.	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
39	2014-3644	DESINVENTAR	ECU 911	2014	6	4	Deslizamiento	Lluvia	777102	9987395	Nono	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
40		Taipe,2021	El Comercio	2014	9	20	Flujo	Lluvia	783149	9994858	Pomasqui:	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
41	2014-5646	DESINVENTAR	ECU 911	2014	10	6	Derrumbe	Lluvia-antrópico	776677	9985959	Atucucho	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
42	2014-5764	DESINVENTAR	ECU 911	2014	10	12	Derrumbe	Lluvia	781062	9987218	Av. Eloy Alfaro y De las Avellanas	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
43		Taipe,2021	El Comercio	2014	10	29	Deslizamiento	Antrópico	783236	9994691	Barrio San Agustín, Pomasqui	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
44		Espinosa, 2021	ECU 911	2014	4		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	785885	9999617	San Antonio de Pichincha	1. existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes
45		Espinosa, 2021	ECU 911	2014	9		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	781123	9987215	Av. Eloy Alfaro	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
46		Espinosa, 2021	ECU 911	2014	9		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	777807	9987958	Av. Mariscal Sucre y Rio Peripa	3. molestia en el tráfico, daños ligeros

47		Espinosa, 2021	ECU 911	2014	9		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	776644	9985964	Atucucho:	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
48	2015-308	DESINVENTAR	ECU 911	2015	1	20	Deslizamiento	Lluvia	783497	9996562	Pomasqui:	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
49	2015-394	DESINVENTAR	ECU 911	2015	1	23	Derrumbe	Lluvia	776914	9989693	Colinas del norte	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
50	2015-695	DESINVENTAR	ECU 911	2015	2	8	Deslizamiento	Lluvia	778032	9989900	Condado	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
51		Taipe,2021	El Comercio	2015	2	9	Deslizamiento	Lluvia	777289	9990945	La Roldós	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
52		Espinosa, 2021	ECU 911	2015	9		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	777697	9990271	Colinas del norte	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
53	2016-0142	DESINVENTAR	ECU 911	2016	1	10	Deslizamiento	Lluvia-antrópico	781099	9987392	Eloy Alfaro	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
54	2016-1684	DESINVENTAR	ECU 911	2016	3	12	Deslizamiento	Lluvia	783973	9995535	Equinoccial	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
55		Taipe,2021	El Comercio	2016	4	5	Derrumbe	Lluvia-antrópico	783261	9989457	Carapungo	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
56		Espinosa, 2021	AMT	2016	10		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	783354	9993933	Pomasqui	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
57		Espinosa, 2021	SNGR	2016	10		Deslizamiento	Lluvia	782461	9991763	San Antonio de Pichincha	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
58	161	Taipe,2021	El Universo	2017	3	16	Deslizamiento	Lluvia	783271	9995703	Carapungo	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
59	2017-4006	DESINVENTAR	AMT	2017	4	26	Deslizamiento	Lluvia	783515	9999873	San Antonio	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
60	2017-4910	DESINVENTAR	SNGR	2017	5	17	Deslizamiento	Lluvia	782793	9988139	Carapungo	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
61		Taipe,2021	El Comercio	2017	10	25	Deslizamiento	Lluvia-antrópico	782371	9991920	Carcelén	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
62		Espinosa, 2021	SNGR	2017	10		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	782917	9987890	Carapungo	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
63		Espinosa, 2021	SNGR	2017	10		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	776812	9986292	Atucucho	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
64	2018-0008	DESINVENTAR	COE-DMQ	2018	1	2	Deslizamiento	Lluvia	776666	9985804	Atucucho	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
65	2018-0410	DESINVENTAR	ECU 911	2018	2	6	Deslizamiento	Lluvia	782545	9987938	Panamericana Norte	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
66	2018-1970	DESINVENTAR	SNGR	2018	5	10	Deslizamiento	Lluvia	775353	9985765	Quebrada Cochapamba	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
67	2018-3087	DESINVENTAR	ECU 911	2018	8	5	Deslizamiento	Lluvia	784289	9988795	Capitán Giovanni	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
68		Espinosa, 2021	ECU 911	2018	3		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	782683	9987867	Intercambiador de Carapungo	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
69		Espinosa, 2021	ECU 911	2018	3		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	776680	9985755	Atucucho	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
86		Espinosa, 2021	SNGR	2018	11		Hundimiento	Lluvia-antrópico	783427	9988511	Carapungo	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
83		Espinosa, 2021	ECU 911	2019	10		Deslizamiento	Lluvia	776645	9987045	Ecoruta - Vía Nono	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
84		Espinosa, 2021	El Comercio	2019	10		Deslizamiento	Lluvia	776525	9986093	Atucucho	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
85		Espinosa, 2021	El Comercio	2019	11		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	780852	9992617	Sector Pomasqui	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico

70	2019-6832	DESINVENTAR	ECU 911	2019	1	16	Deslizamiento	Lluvia	783434	9996252	Pomasqui [E28]	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
71	2019-6977	DESINVENTAR	Policía Nacional	2019	1	29	Deslizamiento	Lluvia	783495	9996557	La Pampa	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
72	264	Taipe,2021	El Universo	2019	3	20	Deslizamiento	Sismo	782865	9999671	Sector Mitad del Mundo	3. molestia en el tráfico, daños ligeros
76		Espinosa, 2021	ECU 911	2020	3		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	783969	9995797	Santa Rosa	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
77		Espinosa, 2021	ECU 911	2020	4		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	783756	9994578	San Antonio de Pichincha	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
78		Espinosa, 2021	ECU 911	2020	4		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	783382	9992778	Ciudad Bicentenario	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
79		Espinosa, 2021	ECU 911	2020	9		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	782790	9990104	Javier Espinoza, quebrada	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
80		Espinosa, 2021	ECU 911	2020	9		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	783278	9989118	Quebrada Carretas	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
81		Espinosa, 2021	ECU 911	2020	9		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	783141	9989853	Quebrada Carretas	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
82		Espinosa, 2021	ECU 911	2020	10		Deslizamiento	Lluvia-antrópico	783221	9989494	Quebrada Carretas	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
73		Taipe,2021	El Comercio	2020	2	28	Deslizamiento	Lluvia	776636	9990284	Pisulí	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
74		Taipe,2021	El Comercio	2020	3	6	Hundimiento	Lluvia-antrópico	779777	9986419	Nazareth y De los Cafetos	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico
75	317	Taipe,2021	El Universo	2020	9	16	Aluvión	Lluvia-antrópico	782898	9994760	Pomasqui	2. daños materiales comentados por el periodista, molestia grave en el tráfico