

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

EVALUACIÓN TEMPORAL DE MOVIMIENTOS EN MASA ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD FLUVIAL DEL RÍO MONJAS

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
GEOLOGÍA**

MANUEL ALEJANDRO AGUIRRE PALADINES

manuel.aguirre@epn.edu.ec

DIRECTOR: Dra. Carolina Bernal

isabel.bernal@epn.edu.ec

DMQ, agosto 2023.

CERTIFICACIONES

Yo, Manuel Alejandro Aguirre Paladines declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Manuel Alejandro Aguirre Paladine

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Manuel Alejandro Aguirre Paladines, bajo mi supervisión.

Dra. Carolina Bernal

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Manuel Alejandro Aguirre Paladines

Dra. Carolina Bernal

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis abuelos; Manuel Aguirre y Julita Zapata, estoy seguro me bendicen y me cuidan de todo el mal que existen en este mundo. Todo el amor que me dieron en vida me dará fuerza e inteligencia para mejorar como persona y profesional, los extraño mucho.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por la salud y fuerza que me ha dado en toda mi carrera universitaria.

A mi madre, Betty, por todo el amor y comprensión, porque a mi lado ha sufrido cuando me ha visto vencido, agradezco porque eres mi principal motivación; siento que te mereces el mundo y trabajaré duro para dártelo. A mi padre, Franklin, agradezco esa tranquilidad que me brinda su apoyo y sus consejos que puedo seguir ciegamente, sé que todo lo que me aconseja es para verme feliz y por el amor que me tienes.

A mis hermanas, Giuliana y Arianna, el regalo navideño más hermoso que me pudo dar la vida y mis padres. La alegría que me brindan cada día con una conversación, risa o pelea; me hace olvidar cualquier problema. Agradezco por su inteligencia que me motiva y me asegura que los tres somos el mejor equipo que puede existir.

A mi abuelo, Luis Fernando Paladines, agradezco por ser mi mejor amigo y mi colega para hablar de cualquier cosa, sentarnos y ver un partido de fútbol es la mejor pausa para motivarme, pero, sobre todo, agradezco ese ejemplo implacable de cómo debe ser un hombre. A mi abuela, Guillermina Jiménez, por todos los mimos y amor brindado, no hay mejor ejemplo de generosidad, la gratitud que te tengo es inigualable.

A mi Anita Andrade, agradezco por ser esa luz inesperada, que me hizo dar cuenta que no había sido completamente feliz hasta conocerte. Agradezco todos los conocimientos científicos que diste para avanzar en la carrera y sobre todo por presentarme a esa niña tierna que solo yo conozco y me llena de amor. Y Aunque nuestros caminos se bifurquen siempre serás lo más lindo e importante que me dio la universidad.

A mis docentes, en especial a la Dra. Carolina Bernal, por todos los conocimientos brindados y en especial la paciencia en todo este periodo. Y a todos quienes conforman la SEG EPN, sobre todo, al Ing. Bernardo Beate.

A Danny López, por ser ese hermano mayor generoso, que me saca una carcajada y a quién siempre admiro.

Finalmente, a mi Alikan, mi amigo de 4 patas que me acompañó en las madrugadas más difíciles de la carrera y no se iba sin importar la hora. Algún día nos volveremos a ver, mi negro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
1.3 <i>Alcance</i>	2
1.4 <i>Marco teórico</i>	3
1.4.1 Geología Regional	3
1.4.2 Geología Local.....	6
1.4.3 Hidrología, Precipitación y Caudales.....	9
1.4.5 Ocupación Urbana	11
2. METODOLOGÍA.....	12
2.1 <i>Trabajo de Campo</i>	12
2.2 <i>Geología y Cuencas Hidrográficas</i>	19
2.3 <i>Análisis multitemporal deslizamiento del Río Monjas</i>	21
2.3.1 Modelamiento tridimensional de los deslizamientos.....	22
2.3.2 Análisis de la sinuosidad del Río Monjas	24
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
3.2 <i>Resultados</i>	25
3.1.1 Subcuencas sedimentarias.....	25
3.1.2 Deslizamiento Parque Lineal – Ciudad Bicentenario	26
3.1.3 Sinuosidad del Río Monjas.....	29
3.2 <i>Conclusiones</i>	33
3.3 <i>Recomendaciones</i>	34
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
5. ANEXOS.....	37

RESUMEN

La ciudad de Quito presenta varias zonas con amenazas geológicas importantes relacionadas con sismos, volcanes y deslizamientos, los cuales han sido estudiados en el transcurso de los años (Secretaría de Seguridad, MDMQ, 2016; Estacio, J. et al., 2013; D'Ercole et al., 2004; Peltre, P., 1989). Sin embargo, los cambios climáticos acompañados del crecimiento poblacional desordenado han provocado una aceleración importante de los eventos morfoclimáticos en los últimos 50 años en la cuenca hidrográfica del río Monjas (Espinoza, 2022), zona sumamente importante de analizar por el gran pico poblacional que existe acompañado de un constante avance de urbanizaciones (Secretaría de Seguridad, MDMQ, 2016). En el contexto mencionado, el siguiente trabajo de integración curricular tiene como objetivo estudiar la amenaza fluviomorfológica que traen consigo fenómenos de remoción en masa, para así apoyar a una adecuada gestión de riesgo en la zona.

El siguiente trabajo complementará estudios realizados anteriormente en la zona (Chamba, 2022; Espinoza, 2022; Altamirano, 2022; Secretaría de Seguridad, MDMQ, 2016) los cuales muestran la urgencia de comprender los deslizamientos asociados a la actividad fluvial del Río Monjas. En este sentido se ha realizado un análisis multitemporal de la zona que muestra la relación entre la variación morfológica del río, la ocurrencia de deslizamientos y el crecimiento urbanístico del DMQ el transcurso de los años.

PALABRAS CLAVE: Río Monjas, amenaza geológica, deslizamientos, cambios climáticos, crecimiento poblacional, morfoclimático, fluviomorfolología y gestión de riesgos.

ABSTRACT

The city of Quito presents several areas with significant geological hazards related to earthquakes, volcanoes and landslides, which have been studied over the years (Secretaría de Seguridad, MDMQ, 2016; Estacio, J. et al., 2013; D'Ercole et al., 2004; Peltre, P., 1989). However, climatic changes accompanied by disorderly population growth have caused a significant acceleration of morphoclimatic events in the last 50 years in the Monjas River watershed (Espinoza, 2022), an extremely important area to analyze due to the large population peak that exists accompanied by a constant advance of urbanizations (Secretaría de Seguridad, MDMQ, 2016). In the aforementioned context, the following curricular integration work aims to study the fluviomorphological threat brought by mass landslide phenomena, in order to support adequate risk management in the area.

The following work will complement studies previously conducted in the area (Chamba, 2022; Espinoza, 2022; Altamirano, 2022; Secretaría de Seguridad, MDMQ, 2016) which show the urgency of understanding landslides associated with the fluvial activity of the Monjas River. In this sense, a multitemporal analysis of the area has been carried out to show the relationship between the morphological variation of the river, the occurrence of landslides and the urban growth of the DMQ over the years.

KEYWORDS: Monjas River, geological hazard, landslides, climate change, population growth, morphoclimatic, fluviomorphology and risk management.

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Previo a cualquier trabajo geológico es importante tener en claro los conceptos teóricos para luego aplicarlos en la zona donde tenemos una problemática y desarrollar un análisis adecuado. El Ecuador tiene una gran influencia tectónica, sísmica y volcánica, por lo que, requiere un análisis teórico para entender su geodinámica y los diferentes procesos que afectan a la geomorfología de las diferentes regiones geológicas. En este contexto, se realizó un análisis teórico en la zona de estudio de las amenazas geológicas que la afectan y su relación con el acelerado crecimiento poblacional de esta cuenca. El análisis fluviomorfológico muestra la afectación en el equilibrio entre los caudales líquidos y sólidos del río Monjas que da como resultado la alteración de las geoformas fluviales, provocando así una erosión agresiva que pone en riesgo la infraestructura urbana.

El siguiente trabajo se ha desarrollado en un inicio con la recopilación bibliográfica de varios reportes técnico-científicos que han estudiado por años la cuenca sedimentaria del Río Monja. Estos estudios toman en consideración la geología, los fenómenos de remoción en masa, la hidrogeología y geomorfología es fundamental para realizar este estudio, por este motivo se tiene como referencia reportes técnicos, publicaciones científicas y tesis que han analizado por años la cuenca sedimentaria del Río Monjas y con esto complementar los datos que hacen falta para un mejor entendimiento de la zona.

El uso de los sistemas de información geográfica (GIS) fue fundamental para el desarrollo del siguiente trabajo, los mapas geológicos, topográficos, geomorfológicos y las imágenes satelitales recopiladas para el análisis multitemporal de la zona, se realizaron mediante el software ArcGis Pro, lo que dio un plus al trabajo y la certeza algorítmica que brinda la tecnología, las zonas analizadas mediante el software fueron las más relevantes y las que requieren una solución inmediata, las mismas que fueron seleccionadas en base a sus características geológicas por el autor y la directora del proyecto.

Adicionalmente, se realizó un estudio de campo de la zona hidrográfica del Río Monjas, se recorrió los afloramientos más importantes de la cuenca y se verificó las zonas en las que existe mayor susceptibilidad a ser afectada por los deslizamientos, se observó las características de las diferentes formaciones geológicas y su susceptibilidad a ser erosionada por el agua, aire y sismicidad. Se observó también de forma directa la interacción del ser humano con el medio; la construcción de carreteras, zonas residenciales y minería de áridos y pétreos, cambia los procesos geológicos normales de la zona, por lo que se evidenció los diferentes sucesos históricos que han afectado a las comunidades

1.1 Objetivo general

El siguiente trabajo complementa los estudios realizados en años anteriores en la cuenca hidrográfica del Río Monjas, se analizará las amenazas fluviomorfológicas en la zona de estudio mencionada y su evolución temporal.

1.2 Objetivos específicos

1. Analizar las tesis existentes y reportes técnicos de entidades municipales como la Secretaría del Riesgos y la EMAPS.
2. Caracterizar las distintas formaciones geológicas en función a su tendencia a erosionarse por los diferentes agentes de la zona.
3. Ubicar puntos de control en la cuenca hidrográfica del río Monjas, a través de la visita de campo y el análisis del riesgo de los deslizamientos.
4. Determinar si el “Equilibrio Dinámico” del río Monjas ha sufrido alguna alteración debido al crecimiento urbanístico de la zona.
5. Realizar un análisis multitemporal de imágenes satelitales a fin de monitorear parámetros morfológicos; como la sinuosidad del río Monjas y la longitud de la corona de deslizamiento.

1.3 Alcance

El presente trabajo se desarrolla en la subcuenca sedimentaria del río Mojas. El análisis geológico se realiza desde su nacimiento en las Quebradas de Carretas y El Colegio hasta su desembocadura en el Río Guayllabamba. La zona presenta una gran tendencia a la generación de fenómenos de remoción en masa, se ha escogido los deslizamientos asociados a la actividad fluvial, a través del uso de sensores remotos y comprobación con trabajo de campo; a partir de la información con la que ya se cuenta de trabajos anteriores (Proyecto Tomorrow Cities, Trabajos de Titulación y Reportes técnicos de trabajos en la zona).

1.4 Marco teórico

1.4.1 Geología Regional

El Ecuador es atravesado por la Cordillera de los Andes, de aproximadamente 9000km de longitud, la cual se originó por la convergencia tectónica de la placa de Nazca, con respecto a la placa continental de Sudamérica. Este proceso generó el levantamiento orogénico de los Andes, el volcanismo, su alta sismicidad y acreciones importantes en toda la zona cercana a la subducción. Este evento tectónico ha sido el protagonista desde el Triásico Superior en el noroeste sudamericano (Spikings R. R., 2019).

La geodinámica del Ecuador continental ha sido marcada por levantamientos geológicos regionales. Los principales periodos registrados son: Triásico, Jurásico, Cretácico inferior, Campaniano y Eoceno superior – Oligoceno (Egüez, 1993). Si analizamos el Ecuador continental de este a oeste podemos observar: la Cuenca Oriente, la Zona Subandina, la Cordillera Real u Oriental, el Valle Interandino, la Cordillera Occidental y la Costa ecuatoriana, como se muestra en la figura 1 (Be`s de Berc, 2005). Específicamente, nuestra zona de estudio está ubicada al norte del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en el valle interandino al pie de la Cordillera Occidental ecuatoriana. Su ubicación en el contexto geológico regional, hace de esta zona susceptible a amenazas geológicas como volcanismo, sismicidad y fenómenos de remoción en masa.

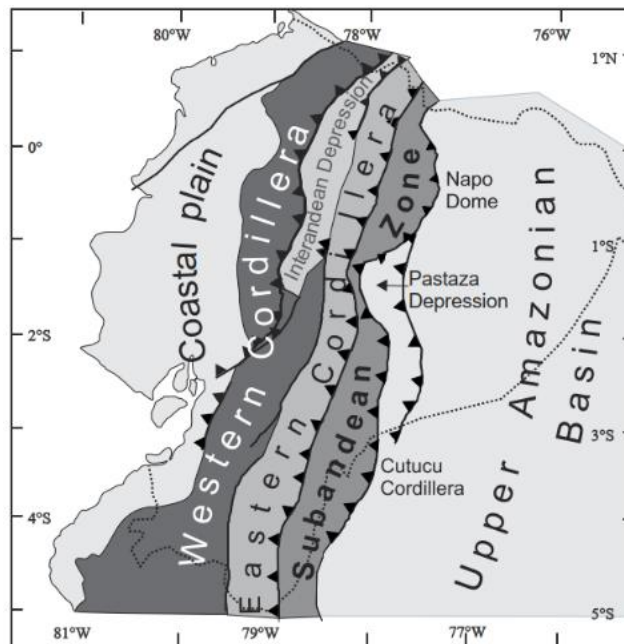


Figura 1: Mapa de las regiones geológicas del Ecuador, tomado de (Be`s de Berc, 2005).

Es importante destacar las características geológicas generales de las dos regiones con las que tiene influencia la zona de estudio. La cordillera Occidental ecuatoriana se ha construido en base a terrenos alóctonos que ahora se encuentran en la zona por acreción. Hasta la actualidad existe un debate importante con respecto al tema, pero varios trabajos indican que los eventos de acreción más importantes se dieron durante el Cretácico Medio a Tardío y en el Terciario (Spikings R. W., 2005). Litológicamente, las rocas que afloran en la Cordillera Occidental son: rocas de corteza oceánica, rocas máficas-intermedias (las cuales pueden ser intrusivas o extrusivas) y depósitos volcano-sedimentarios (Vallejo, 2019).

La zona del valle interandino, región geológica en la que se encuentra la cuenca sedimentaria del Río Monjas, es una depresión topográfica regional, se encuentra delimitada por la cordillera Oriental y la cordillera Occidental. Estudios sedimentológicos han dividido al valle interandino ecuatoriano en cuatro cuencas sedimentarias:

1. Cuenca del Chota; ubicada en la zona más septentrional del valle interandino,
2. Cuenca Quito – San Antonio Guayllabamba; sub cuenca en la que se encuentra el río Monjas,
3. Cuenca Ambato – Latacunga; ubicada al centro de la depresión topográfica,
4. Cuenca Riobamba – Alausí; la cual limita el valle interandino al sur

Las cuales pueden ser identificadas en la figura 2.

Las cuencas sedimentarias del valle interandino se han formado desde el Neógeno; específicamente en el Mioceno tardío - Plioceno y varios aspectos geológicos; como la sismicidad, levantamiento orogénico y movimientos regionales, han definido la formación del valle interandino hasta la actualidad (Winkler, 2005). El valle interandino se encuentra desde los 2°30' en el sur del país hasta la frontera con Colombia al norte y sus dimensiones aproximadas son 25km de ancho y 300km de largo, cabe resaltar que al sur oriente el valle

interandino limita con la falla de Peltetec; la misma que se formó en el Jurásico tardío producto de varios terrenos con diferentes historias geológicas (Litherland, 1994).

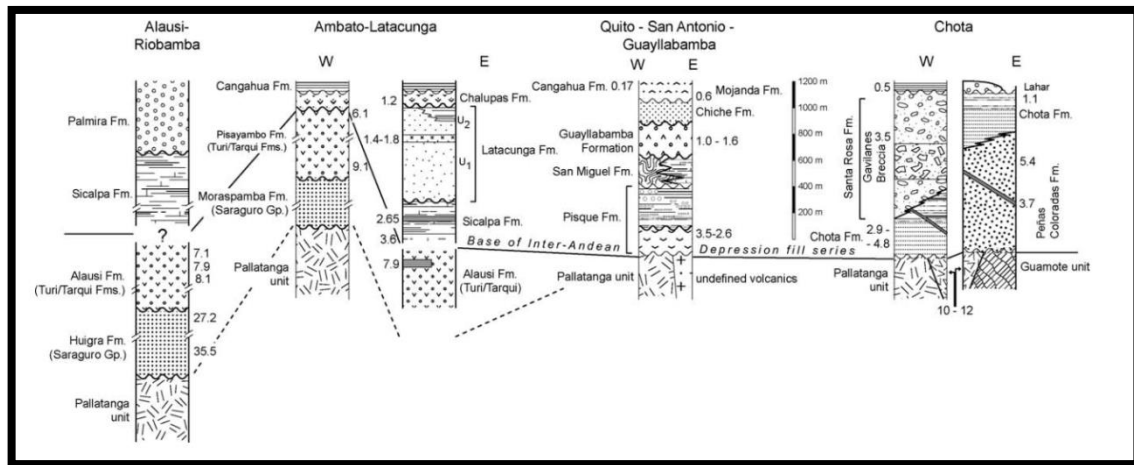


Figura 2: Estratigrafía de las cuencas sedimentarias del IAV, tomado de (Villagómez, 2003).

Los eventos tectónicos en la zona del valle interandino tienen un gran impacto en los cambios geomorfológicos. Los esfuerzos compresivos juegan un papel muy importante, los cuales se dieron en la inversión syndeposicional de las cuencas del valle interandino; estos eventos se encuentran relacionados al movimiento transpresional dextral de la Cordillera Occidental con respecto a la cordillera Real y se suma a esto los sistemas de falla Pallatanga – Pujilí – Calacalí al sur y la falla Chingual – La Sofía al norte (Ego, 1996). Finalmente, el basamento de la zona del valle interandino hasta la fecha ha sido muy debatido y no se conoce a ciencia cierta las rocas que lo conforman, sin embargo, se cree que es una zona de acreción de los terrenos de la Cordillera Real y la Cordillera Occidental (Egüez, 1993).

1.4.2 Geología Local

La Cuenca Hidrográfica del río Monjas pertenece a la cuenca sedimentaria de Quito – San Antonio – Guayllabamba, la cual ha tenido sedimentación desde el Mioceno tardío – Holoceno. Específicamente nuestra zona de estudio se encuentra en la subcuenca de San Antonio. Al sur de la cuenca de San Antonio, se encuentra la cuenca de Quito; la cual se encuentra delimitada al occidente por el complejo volcánico Pichincha y al oriente por las lomas: Batán – La Bota e Ilumbisí – Puengasí (Villagómez, 2003). Adicionalmente, la cuenca de Quito esta influenciada por un sistema de falla inversa con buzamiento oeste, el cual provoca una serie de plegamientos que afectan a la acumulación sedimentaria, lo que provoca que los sedimentos provengan de la cordillera occidental, al igual que su recarga hídrica (Lavenu, 1992)

Por otro lado, la subcuenca de San Antonio, zona de nuestro interés, se ubica al norte de la subcuenca de Quito y está delimitada por el volcán Casitagua al occidente, el complejo volcánico de Pululahua al norte y al oriente por la elevación Calderón – Catequilla; las cuales fueron producto del sistema de fallas de Quito y separan a la subcuenca sedimentaria de Guayllabamba (Espinosa, 2022). Lo mencionado, se puede visualizar en la figura 3, donde se observa el mapa de ubicación de la zona de estudio

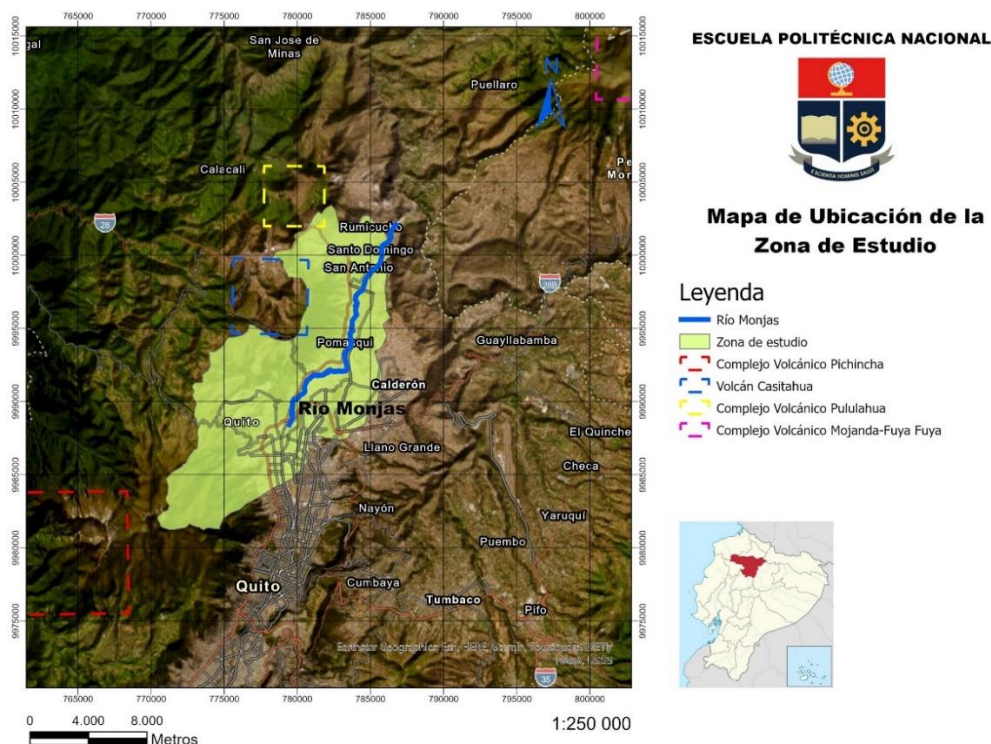


Figura 3: Mapa de Ubicación de la Zona de Estudio.

Formaciones Geológicas

Para entender los fenómenos de remoción en masa que existen en la zona es importante dar una caracterización general de las formaciones sedimentarias que presenta la zona de estudio. Trabajos anteriores han dado una estratigrafía clara, por lo que, se citaran las descripciones geológicas realizadas.

La subcuenca sedimentaria de San Antonio fue caracterizada, entre otros, en el trabajo de (Villagómez, 2003) con tres formaciones que conforman el basamento de la zona.

Unidad Pallatanga

Pertenece al Cretácico Tardío y son rocas ígneas intrusivas. Litológicamente está conformada por gabros porfiríticos y microgabros indiferenciados

Rocas sedimentarias Indiferenciadas,

Asociadas con edades de Mioceno - Oligoceno (Villagómez, 2003). A la base se encuentran areniscas con alto contenido de feldespatos potásicos y cuarzo, mientras que en el techo se observan lutitas y limolitas, las cuales indican ambientes sedimentarios lacustres (Cornejo, 1980).

Formación Pisque Inferior

Se lo define como el basamento volcánico de la depresión interandina. Su petrografía indica a la base lavas y escorias basálticas que han tenido una buena fluidez. En el techo de esta formación se observa rocas sedimentarias tipo brechas. Cronológicamente está asociada al Pleistoceno tardío (Villagómez, 2003).

Por otro lado, relleno sedimentario de las sub cuencas de la zona está conformado por las siguientes formaciones.

Formación San Miguel

Litológicamente está caracterizado por la presencia de areniscas, limolitas y tobas. Se ha llegado a la conclusión que este miembro indica ambientes fluviales, deltaicos y en un porcentaje menor lacustre (Villagómez, 2003).

Formación Mojanda Fuyaya

Esta formación ha sido reconocida en estudios recientes. Litológicamente presenta: arenas y caída de piroclastos. Estos sedimentos han sido datados por método K-Ar y ha arrojado edades de 474ka más-menos 17ka (Pacheco, 2013)

Formación Cangahua,

Esta formación se deposita de forma periclinal en varias zonas del Valle Interandino y hasta el momento existe controversia sobre su origen. Algunos autores la definen como *loees* y otros como un suelo, estratigráficamente se la coloca en a finales del Pleistoceno Medio e inicios del Pleistoceno Superior (Pacheco, 2013),

Formación Pululahua,

Caracterizada con tres miembros: Miembro Brechas dacíticas; ubicado en el pleistoceno superior; Miembro Lacustre no deformado; ubicado en el Holoceno Inferior; y, Miembro Piroclásticos Pululahua; ubicado en el Holoceno Medio (Pacheco, 2013).

Los estratos sedimentarios mencionados han sido resumidos en el trabajo de (Espinosa, 2022) y se visualizan en la figura 4.

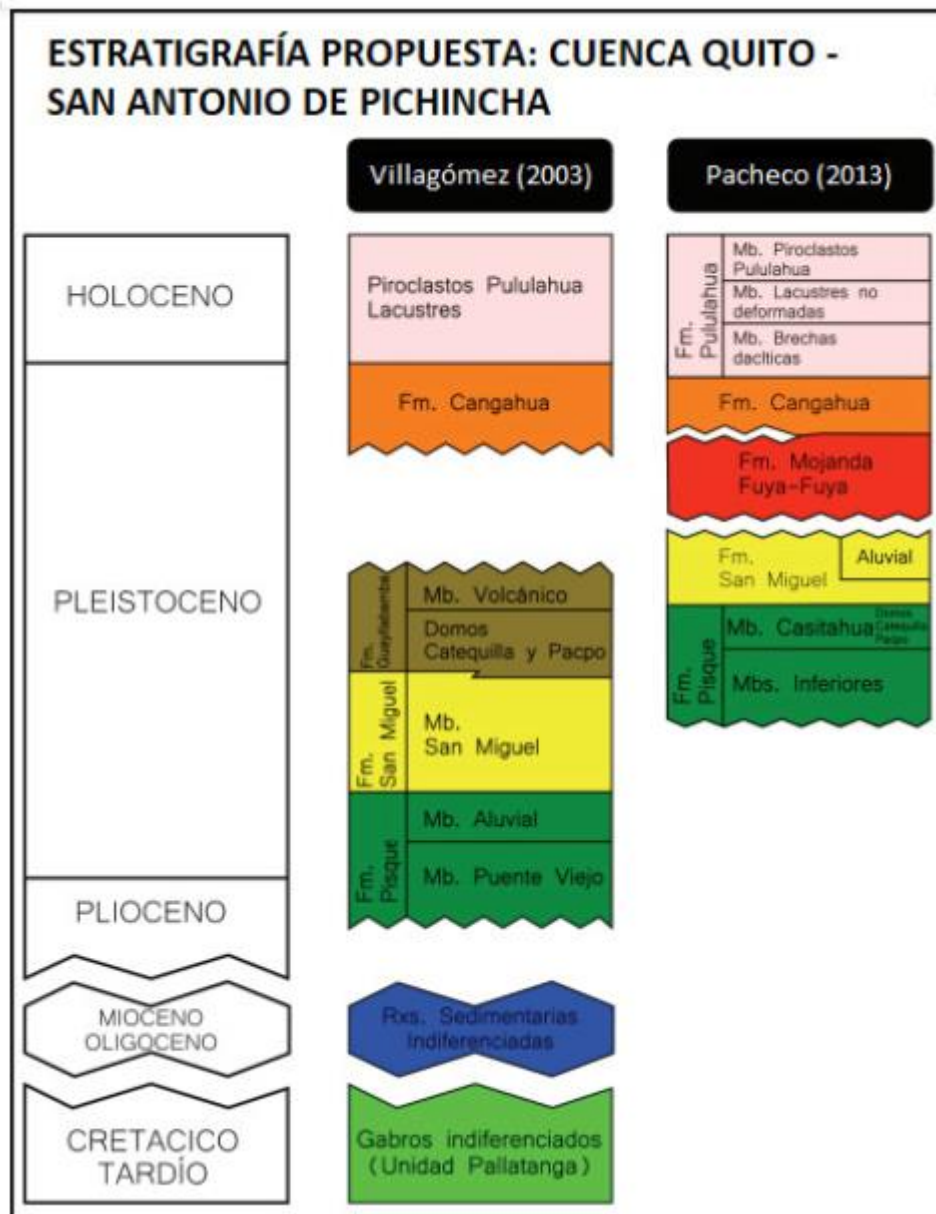


Figura 4: Estratigrafía de la geología local, tomado de (Espinosa, 2022).

1.4.3 Hidrología, Precipitación y Caudales.

Precipitación

La actividad erosiva del río Monjas y el comportamiento de los afluentes secundarios ubicados en las cuencas hidrográficas de su alrededor, están influenciados por la precipitación de la zona. En el trabajo realizado por (EMAPS AGUA DE QUITO, 2022), nos indica la curva de intensidad – duración – frecuencias de la lluvia, tomados en la estación DAC – Aeropuerto en el año 2022, como se muestra en la figura 5. La gráfica nos indica la intensidad máxima de lluvia versus; medida en milímetros sobre hora, versus, el tiempo

de duración; medido en minutos, para diferentes periodos de retorno. Adicionalmente, es importante tener en cuenta que la intensidad máxima, nos permitirá clasificar a la lluvia en: Fuertes (15 y 30 mm/h), Muy fuertes (30 y 60 mm/h) y Torrenciales (más de 60 mm/h) (Dirección General de Protección Civil y Emergencias., 2020)

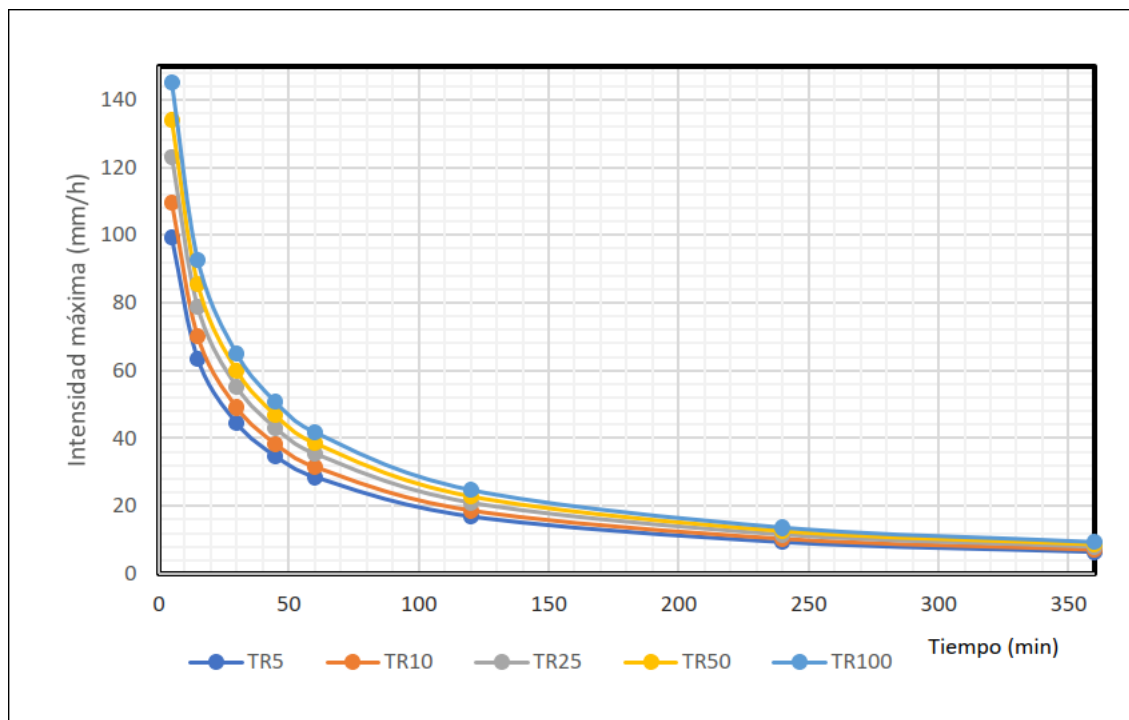


Figura 5: Curva de intensidad - duración - frecuencia de lluvia, de la estación DAC - Aeropuerto, tomado de (EMAPS AGUA DE QUITO, 2022)

Caudales

Otro parámetro importante que deber ser tomado en cuenta para entender el comportamiento hídrico, es el caudal. La precipitación de cada año altera los afluentes de la cuenca hidrográfica, por esta razón, en el trabajo realizado por (EMAPS AGUA DE QUITO, 2022), proponen un valor de caudal para las diferentes sub cuencas del río Monjas, en base al periodo de retorno. Cada cuenca hidrográfica tiene áreas y caudales diferentes, por lo que, deben ser analizadas puntualmente para futuros proyectos, como se indica en la figura 6.

Cuenca	Área (km ²)	TR2 Caudal (m ³ /s)	TR5 Caudal (m ³ /s)	TR10 Caudal (m ³ /s)	TR25 Caudal (m ³ /s)	TR50 Caudal (m ³ /s)	TR100 Caudal (m ³ /s)
El Colegio	32.84	38.3	54.5	81.9	147.2	204.4	262.9
g1B	2.12	21.7	30.1	35.4	43.7	50.2	56.5
g1A	0.25	2.6	3.6	4.2	5.2	6	6.7
Rancho Bajo	19.72	25.7	56.2	82.7	128.4	166.6	205.6
g2B	1.74	12.2	18	21.8	27.8	32.6	37.4
g2A	1.18	2.4	5.1	6.9	10	12.5	15.1
Pusuqui	33.61	39.2	46.5	51.2	77.2	117.3	167.7
g3A	1.33	2	4.4	6.3	9.6	12.3	15.1
g3B	0.68	0.8	1.3	1.9	3.3	4.5	5.8
Carretas	14.27	87.8	127	152.5	194.2	227.9	261.7
g4A	0.64	4.5	6.7	8	10.3	12	13.8
g4B	0.44	0.5	0.6	0.8	1.3	2	2.7
Piñán	4.64	5.4	6.4	7	8	8.7	10.3
g5A	0.18	1.8	2.6	3	3.7	4.3	4.8

Cuenca	Área (km ²)	TR2 Caudal (m ³ /s)	TR5 Caudal (m ³ /s)	TR10 Caudal (m ³ /s)	TR25 Caudal (m ³ /s)	TR50 Caudal (m ³ /s)	TR100 Caudal (m ³ /s)
g5B	0.07	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Santa Rosa	6.22	7.3	8.6	9.4	10.7	12.2	16.1
g6B	0.68	0.8	0.9	1	1.2	1.3	1.4
g6A	0.22	2	2.8	3.3	4.2	4.8	5.5
San Rafael	4.19	4.9	5.8	6.4	7.2	7.8	8.4
sn1	2.08	2.4	2.9	3.2	3.6	3.9	4.2
g7A	0.26	0.3	0.5	0.7	1.2	1.7	2.1
g7c	6.88	16.1	19	20.9	23.6	25.7	27.7
g7B	1.25	1.5	1.7	1.9	2.6	3.9	5.7
SN2	2.98	3.5	4.1	4.5	5.1	5.6	6
g8B	1.47	1.7	2	2.2	2.5	2.7	3
g8A	1.24	1.4	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5
SN3	2.5	2.9	3.5	3.8	4.3	4.7	5
g9B	1.49	1.7	2.1	2.3	2.6	2.8	3
g9A	1.08	8.9	12.7	15.2	19.1	22.2	25.2
Caspigasi	12.09	14.1	16.7	18.3	20.8	22.6	24.4
g10B	0.59	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2
g10A	0.45	2	3.3	4.1	5.4	6.5	7.7
Colorada	12.16	14.2	16.8	18.6	28.4	43.2	61.5
g11B	1.21	1.4	1.7	1.8	2.1	2.3	2.4
g11A	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6
SN4	3.83	4.5	5.3	5.8	6.6	7.2	9.1
g12B	0.52	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1
g12A	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
SN5	3.87	4.5	5.4	5.9	6.6	7.2	7.8
g13A	0.46	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9
g13B	0.32	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6

Figura 6: Valores de los caudales en las diferentes cuencas hidrográficas del río Monjas, tomado de (EMAPS AGUA DE QUITO, 2022).

1.4.5 Ocupación Urbana

Varios de los problemas que reportan los ciudadanos del sector y que se analizan en el trabajo de campo realizado en este proyecto, son asociados al crecimiento urbanístico de la zona y las obras ingenieriles realizadas en la última década. Toda la cuenca hidrográfica ha presentado un crecimiento sin control, sin embargo, existe un punto crítico en las cercanías del cauce del río Monjas, sector denominado Ciudad Bicentenario. El mayor cambio en la zona, producto de la actividad antrópica, es la construcción del conjunto habitacional “Ciudad Bicentenario”; el cual se evidencia en la figura 7, el mismo que empezó en el año 2008 con la delimitación de manzanas y calles, en el año 2010 se puede evidenciar la construcción de varias viviendas y calles; las cuales permeabilizan el sector y aumentan la escorrentía superficial de la zona. Desde el año 2013 hasta el 2018, se dio un crecimiento importante de la zona residencial, donde el proyecto llegó a la cantidad de 2 217 viviendas y alrededor de 10 000 habitantes (Durán, 2020). Adicionalmente, en la zona mencionada, se tiene la extensión de la avenida Simón Bolívar, con una longitud de 2.7 km, proyecto que empezó en el año 2013 y fue entregado en junio del 2018 (El Comercio, 2018).

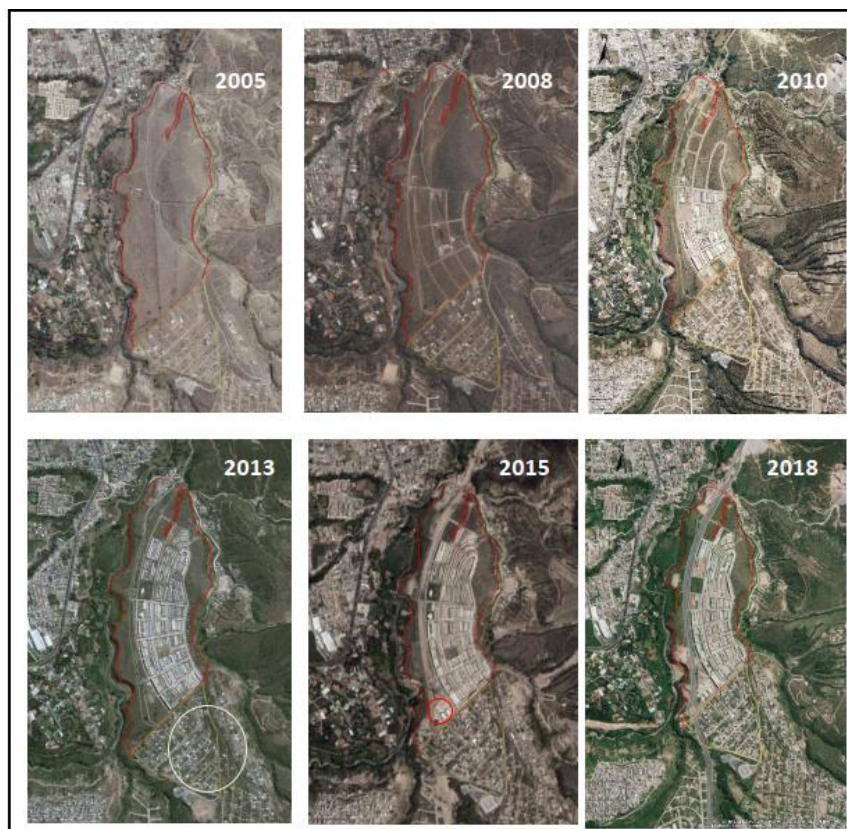


Figura 7: Cambio urbanístico en el sector Ciudad Bicentenario, desde 2005 hasta 2018, tomado de (Durán, 2020).

2. METODOLOGÍA

En base a los diferentes problemas relacionados con la erosión del río Monjas y los fenómenos de remoción en masa que se han reportado, el siguiente trabajo busca caracterizar el área de trabajo mediante: salidas de campo, reportes técnicos previos, mapas en sistemas de información geográfica realizados en la aplicación ArcGis y análisis en software de modelamiento realizados en el software Studio RM – Datamine.

2.1 Trabajo de Campo.

En el siguiente apartado se explica el trabajo de campo realizado, las visitas a la zona de estudio y el entendimiento geológico de la cuenca sedimentaria, adicionalmente, se corroboró las formaciones geológicas mencionadas en el marco teórico de este trabajo. Pese a que este trabajo se enfoca en el cauce y deslizamientos del río Monjas, es importante entender toda la cuenca hidrográfica; la misma que depende de un equilibrio

dinámico del río y cualquier actividad en la hidrología de la cuenca tendrá repercusiones a nivel de los procesos fluviomorfológicos, por esta razón, el trabajo de campo consistió en la visita de diferentes puntos para tener un mejor entendimiento de la zona. Los puntos visitados se encuentran en el ANEXO II.

PUNTO 1.

Ubicado en la zona sur oriental de la cuenca hidrográfica, exactamente en la Quebrada Grande. Lo primero que se observa es el gran nivel de contaminación del río, en los taludes se observan alcantarillas que desembocan y aumentan el aporte de agua; elevando su poder erosivo, adicionalmente, se puede observar una gran cantidad de basura y desechos que afectan el comportamiento y dirección del agua. La zona es de gran importancia, el riesgo a que el talud se desestabilice es muy alto, se observa como el río inciso la base y provoca una gran inestabilidad, cabe destacar que se encuentran pequeños deslizamientos en la zona. Socialmente el riesgo a que los moradores pierdan sus viviendas es elevado, existe una gran cantidad de viviendas en el borde de los deslizamientos, tal como se observa en la figura 8.

En cuanto a la geología se puede observar que a la base son los depósitos volcánicos del Casitagua, le siguen los depósitos volcanosedimentarios de Cangahua y sobre puesto se encuentran los depósitos del Pululahua con tonalidades grises. Se observa también los depósitos coluviales y las terrazas aluviales



Figura 8: Quebrada Grande, Punto 1.

PUNTO2,

Ubicado en una propiedad privada, Urbanización Camino de los Eucaliptos. En esta zona se puede observar la Quebrada Carretas, uno de los afluentes principales del Río Monjas. Aquí el río se encañona abruptamente y los taludes presentan una mayor altitud, de aproximadamente 40 metros, al igual que en el PUNTO1, la contaminación, el agua extra proveniente de las alcantarillas y debido a la escorrentía superficial provocan una gran erosión, se puede observar también una serie de pequeños deslizamientos que evidencia la inestabilidad de la zona. El riesgo a que las edificaciones colapsen es sumamente alto, muchas de ellas se encuentran al pie de la corona del deslizamiento, por lo que, la zona requiere ser estudiada e intervenida lo más rápido posible. Todo esto se puede evidenciar en la figura 9.

En cuanto a la estratigrafía, se puede evidenciar que el talud consta a la base, de un estrato muy potente de aproximadamente 30 metros de color café claro, el cual pertenece a la formación Cangahua, le sigue depósitos del Pululahua y rellenos realizados de manera

antrópica. A la base el río se encuentra erosionando muy rápido a la formación Cangahua, debido a su poca compactación.



Figura 9: Quebrada Carretas, Punto 2.

PUNTO 3,

Es un punto crítico para el estudio de la cuenca hidrográfica del río Monjas y el más relevante en este trabajo; ya que será zona analizada de forma multi temporal, en este se encuentra un deslizamiento de gran magnitud y pone en riesgo a la Avenida Simón Bolívar, al Parque Lineal y a la ciudad Bicentenario, obras ingenieriles sumamente importantes para el distrito metropolitano de Quito.

El PUNTO 3, se encuentra en el río Monjas y se evidencia la misma problemática anterior: agua en exceso de esorrentía superficial por construcciones, la contaminación de basura, el agua proveniente de tuberías de las parroquias Kennedy, Ponciano, Bicentenario, etc.;

la erosión es inminente y se debe analizar cómo ha variado en los últimos años. En este punto desembocan dos quebradas importantes por su longitud e input de sedimentos y agua, Carretas y El Colegio, las cuales dan mayor poder al Río Monjas. Se puede observar también un comportamiento distinto del cauce del río, la dirección es rectilínea y no se evidencian meandros importantes, lo cual es perjudicial ya que el índice erosivo es mayor.

En la figura 10, se observa la corona del deslizamiento y la inestabilidad del mismo, por lo que, se atribuye a una zona de fenómenos de remoción en masa activa. El afloramiento consta de aproximadamente 45 metros de altura y las formaciones que se observan son: a la base la Formación Cangahua, le siguen los depósitos volcánicos Pifo-A; se diferencian por su color blanco, le siguen los depósitos del Pululahua y al tope los depósitos del Pichincha.



Figura 10: Río Monjas, zona de deslizamiento activo Ciudad Bicentenario - Av. Simón Bolívar, Punto 3.

PUNTO 4

El 31 de julio de 2022, se reportó una inundación en la entrada del barrio Santa Clara del Común, al noroccidente de la cuenca sedimentaria, varias personas perdieron electrodomésticos y sus viviendas fueron fuertemente afectadas. Lahares secundarios y caudales de agua fueron los causantes de este evento. (PRIMICIAS, 2022). El evento se dio en la quebrada para ingresar al barrio de principal de la zona, los moradores indicaron

que este evento se dio debido a que obras ingenieriles cortaron el cauce natural de la quebrada, la cual desembocaba en el río Monjas y fue remplazada por una pequeña tubería en el momento de construcción de la avenida Simón Bolívar, tal como lo muestra la figura 11.



Figura 11: Barrio Santa Clara, zona de inundación 2022, tomado de (PRIMICIAS, 2022).

Por el suceso mencionado anteriormente, fue necesario visitar la zona y constatar el evento 6 meses después. Se corroboró el relato de los de los moradores realizado en los medios de comunicación, la quebrada de Santa Clara naturalmente se dirigía hacia el río Monjas y su desembocadura daba en el cauce del río, pero a causa de las obras civiles fue modificada, se puede evidenciar una tubería con un diámetro insuficiente para los sedimentos y aguas que bajan por las laderas. Este punto corrobora la mala planificación ingenieril de la zona, el poco entendimiento de la cuenca hidrográfica y su equilibrio cuando existe una mayor precipitación.

PUNTO 5.

En la cabecera de la microcuenca hidrográfica donde ocurrió este flujo de lodo, se puede evidenciar la presencia de una cantera de áridos y pétreos, la cual se encuentra muy cercana al PUNTO4. Esta circunstancia provoca una gran afluencia de sedimentos ya que la actividad minera maneja inadecuadamente sus escombreras, generando una gran

cantidad de sedimentos. A fin de evitar futuras inundaciones que afecten a la población se requiere un control inmediato de estas actividades extractivas.

En la figura 12, se observa la quebrada y la geología que la representa. Se puede observar a la base la formación Cangahua intercalada por los depósitos Pifo-A; estratos blancos, le siguen más estratos de Cangahua intercalada con depósitos Pifo-B; estratos negros. En la figura 13, se observa la cantera mencionada y la avalancha que provoca el aumento desmesurado de rocas y sedimentos.



Figura 12: Geología del sector de Santa Clara, Punto 4.



Figura 13: Canteras que aumentan los sedimentos en la zona de Santa Clara, Punto 5.

Los puntos mencionados anteriormente, pueden ser visualizados en la figura 14, la cual nos indica su ubicación exacta y el tramo que se realizó para entender a la cuenca hidrográfica.



Figura 14: Mapa de Ubicación de los Puntos de Control.

2.2 Geología y Cuencas Hidrográficas.

En base a la metodología realizada en el trabajo de campo, explicado en el apartado anterior, se ha definido puntos de control de las zonas críticas del Río Monjas, se ha entendido el comportamiento de la cuenca sedimentaria y la influencia que la actividad antrópica tiene en la zona, por lo que, en esta sección se explica a detalle el trabajo realizado con ayuda de softwares geológicos.

En base a los trabajos realizados por: (Espinosa, 2022), (Pacheco, 2013), (Villagómez, 2003) y el trabajo de campo realizado en este estudio, se propone un mapa geológico modificado, el cual fue realizado mediante la creación de un *shapefile* con diferentes polígonos que el software de información geográfica ArcGis. La figura 15, nos indica el Mapa Geológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Monjas. En el mapa se puede observar las diferentes formaciones geológicas que rodean al afluente del Río Monjas, se corrobora las formaciones ya explicadas en el marco teórico y se puede observar que todas ellas son

depósitos sedimentarios geológicamente jóvenes, poco consolidados, fácil de erosionar y afectados por la actividad sísmica de la zona. Las formaciones que se indican son: Depósitos Volcánicos del Pichincha, Depósitos Volcánicos del Casitagua, Terrazas Aluviales, Formaciones Guayllabamba – San Miguel y Pisque; todas ellas incorporadas en un solo polígono, Formación Cangahua; acoplada topográficamente en la cuenca, Depósitos y Flujos Piroclásticos del Pululahua, Domos Pululahua, Depósitos Lagunares y Coluviales. Adicionalmente, se puede observar las redes hídricas de la zona, como principal afluente se tiene al río Monjas coloreado en azul oscuro y de color celeste se observa a los sistemas hídricos secundarios que aportan al afluente principal y forman las subcuencas sedimentarias de la zona según la geomorfología de la zona. Finalmente, se observa en el mapa las fallas que se encuentran en la zona, se puede observar que una de ellas atraviesa una sección del río; lo cual nos indica que el comportamiento de los fenómenos de remoción en masa está ligados también a la actividad sísmica y no solo a la erosión de los diferentes agentes.

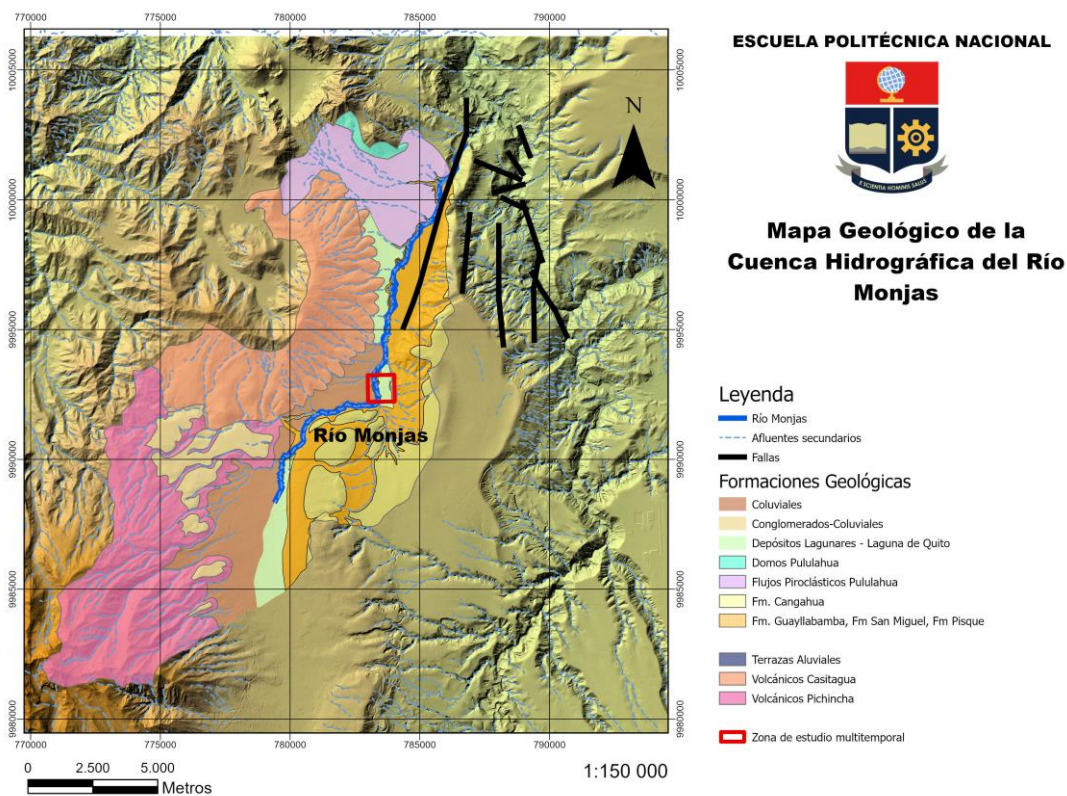


Figura 15: Mapa Geológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Monjas, modificado de (Espinosa, 2022).

En el mapa geológico se indican los diferentes afluentes de la cuenca sedimentaria y según la zona topográfica en la que se encuentren formarán subcuencas y microcuencas sedimentarias. Conocer la cantidad de estas es fundamental para futuros trabajos ingenieriles y entendimiento a gran o pequeña escala del sistema sedimentario del Río Monjas. Por este motivo, nació la necesidad de modificar el mapa que delimita las subcuencas sedimentarias de la zona en base al reporte técnico realizado por (EMAPS AGUA DE QUITO, 2022), el reporte mencionado realiza una excelente delimitación de la cuenca sedimentaria, sin embargo, hay zonas en las que se subdivide en dos o tres partes a las subcuencas sedimentarias, por este motivo, se propone un mapa modificado con las diferentes cuencas en base a la topografía de la zona, a los afluentes secundarios y al algoritmo que propone el software ArcGis Pro para delimitar cuencas sedimentarias. Al igual que el mapa realizado para la geología de la zona se creó un archivo tipo *shapfile* y se delimitó los polígonos para las diferentes cuencas hidrográficas, adicionalmente, se utilizó la herramienta de delimitación de cuencas que cuenta ArcGis Pro. Como se aprecia en la imagen se puede cuantificar a 32 subcuencas y microcuencas hidrográficas, siendo las cuencas: SN5, SN4, SN3, SN2, SN1, Colorada, Caspigasi, San Rafael, Piñan, Santa Rosa, Pusuquí, Rancho B, El Colegio y Carretas, las que mayor área tienen, por otro lado, las cuencas hidrográficas restantes se catalogan como micro cuencas por su menor extensión en cuanto a su área, el mapa de las cuencas hidrográficas se puede visualizar en el apartado de resultados.

2.3 Análisis multitemporal deslizamiento del Río Monjas.

Otro de los objetivos es analizar el cambio de los deslizamientos asociados a las amenazas fluviomorfológicas del río Monjas en el transcurso de los años. El primer paso fue seleccionar el punto de control, para lo cual fue básico la información obtenida en campo que determinó el PUNTO3, porque representaba mayor riesgo para la población y contiene infraestructuras estratégicas para el DMQ. El análisis de este deslizamiento se lo realizó con una herramienta que permite el modelamiento tridimensional de las coronas del deslizamiento, en este sentido la mejor opción fue la utilización del software de modelamiento Studio Rm – Datamine. En el siguiente apartado se explica la metodología utilizada para determinar el cambio de la corona de uno de los deslizamientos más importantes del río Monjas, el deslizamiento se encuentra ubicado en el borde del río Monjas al occidente del parque Lineal y del conjunto habitacional Ciudad Bicentenario, se puede observar los puntos exactos en el ANEXO I.

Los pasos que se mencionan a continuación, se encuentran en el ANEXO III, a mayor detalle. El primer paso para realizar este monitoreo tridimensional fue delimitar el polígono que abarca todo el afluente del río Monjas, tal como se indica en la figura 20, con esto se conoce la extensión del río y se obtendrá las curvas de nivel cercanas a la zona para posterior realizar el modelo tridimensional de la topografía de la cuenca. El segundo paso que se realizó fue pasar el polígono del río Monjas, al software Global Mapper con el fin de georreferenciarlo y obtener la topografía de la zona, tal como se indica en la figura 21. Luego de obtener la topografía tal y como se muestra en la figura 22, se procede a obtener la escala y la leyenda en la que nos indican las diferentes cotas de la zona delimitada. Finalmente, se utiliza las herramientas y algoritmos para determinar las curvas de nivel de la zona, es importante destacar que en este paso se realizó con curvas mayor cada 10 metros y menores cada 5 metros para mayor precisión, como se indica en la figura 22. Finalmente, se obtuvo las curvas y se las paso al software AutoCad, como se observa en la figura 23, las curvas de nivel fueron definidas como un archivo CAD de curvas de nivel mayores y menores, datos que son fundamentales para pasar al software Studio Rm – Datamine y poder realizar el modelamiento tridimensional.

2.3.1 Modelamiento tridimensional de los deslizamientos

Los pasos del modelamiento se visualizan en el grupo de ANEXO IV. El primer paso que se realizó en el software Studio Rm – Datamine, fue la exportación de data externa, en este caso las curvas de nivel que se obtuvieron en software AutoCad. Aquí se puede visualizar en tres dimensiones las curvas de nivel, lo que permite tener una idea de la geomorfología de la zona. En la figura 24, se observa el modelamiento de las curvas de nivel y los colores que nos indican las diferentes altitudes sobre el nivel del mar. Se puede observar que el valor menor se encuentra a 2240 metros sobre el nivel del mar y está representado por líneas azules, mientras que los valores con tonalidades rojas nos indican las cotas más altas con un máximo de 3342 metros sobre el nivel del mar.

El siguiente paso fue realizar un modelo digital tridimensional del terreno en base a las curvas de nivel, es importante destacar que el software de modelamiento consta con algoritmos muy exactos que permiten obtener un wireframe sumamente preciso. La figura 25, nos indica el DEM tridimensional, el cual va a ser utilizado para el traslape de las imágenes a lo largo de los años del deslizamiento Parque Lineal – Ciudad Bicentenario

El siguiente paso que se realizó fue draprear las imágenes satelitales de la zona del deslizamiento en el Parque lineal – Ciudad Bicentenario, las fotografías fueron obtenidas

del software Google Earth Pro. Las imágenes satelitales mencionadas pertenecen a los años 2003, 2005, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2017, 2018, 2020, 2021 y 2022. En todos estos años se analizó como varió la corona del deslizamiento y se visualizó el cambio geomorfológico de la cuenca, adicionalmente, se comprueba la gran actividad antrópica en la zona y como ha ido impermeabilizando la cuenca hidrográfica en el transcurso de los años, lo que permite entender la afectación al equilibrio de los sedimentos y de los caudales de los afluentes.

Para realizar el drapeo correspondiente de cada imagen, lo primero fue obtener los UTM de tres puntos de control que se sepa que no van a variar en el transcurso de los años, en este caso se utilizó casas como puntos de referencia, posteriormente se georreferenció las imágenes sobre el DEM tridimensional y mediante los algoritmos del programa se ajustó para que las fotografías se adapten a la geomorfología. En la figura 26, se observa el momento exacto en el que se añaden a las imágenes satelitales al software de modelamiento.

Una vez cargadas las imágenes de los diferentes años mencionados se procede a realizar el modelamiento tridimensional de la corona del deslizamiento, es muy relevante destacar que gracias a estas herramientas el cálculo longitudinal será sumamente preciso debido al método de modelamiento utilizado.

En Studio Rm – Pro se tiene la opción de visualizar en diferentes perspectivas a la zona de estudio, observar los 360° de forma tridimensional al proyecto, permiten tener una gran exactitud para el estudio planteado, adicionalmente, el programa permite utilizar un sistema de secciones para delimitar la zona de interés; en este caso la corona del deslizamiento, luego mediante la opción de desplazar la sección se puede seguir el avance de la corona según como varía cada año.

En la figura 27, se puede observar la vista sur del proyecto y como la grilla delimita la altitud en la que queremos trabajar y colocar los puntos de interés.

En base a la herramienta de la sección, se utilizó la opción de visualizar la zona que se encuentra por encima de la sección, lo cual evita que se coloquen puntos erróneos y la corona del deslizamiento sea mejor delimitada y el avance de la misma sea seguido con exactitud en cuanto esta sube de posición en el eje z. Como se observa en la figura 28.

El siguiente paso que se realizó fue graficar los puntos de diferentes zonas del deslizamiento, con ayuda de las herramientas mencionadas anteriormente, cada punto se

colocó en el límite del deslizamiento. Tal como lo indica la figura 29, con los puntos en tonalidades verdes.

Finalmente, mediante la creación de polilíneas se unió a los puntos graficados y obtuvo la corona del deslizamiento según el año que se esté modelando en el programa, luego mediante la herramienta del software se obtuvo la longitud del escarpe de la zona. Tal como se indica en la figura 30.

Todo el proceso mencionado se repitió con una gran precisión para las imágenes drapeadas en los años mencionados anteriormente, lo que permitió conocer el cambio longitudinal de la corona del deslizamiento y la relación que esta tiene con la erosión del río Monjas, tal como se muestra en las siguientes ilustraciones. Las medidas multitemporales pueden visualizarse en el ANEXO IV; desde la figura 31 hasta la figura 42.

2.3.2 Análisis de la sinuosidad del Río Monjas

La erosión del río Monjas juega un papel sumamente importante en la activación de fenómenos remoción en masa y estabilidad de taludes, un dato relevante es conocer la sinuosidad del mismo, por lo que, tomar la medida longitudinal; la cual será constante entre dos puntos a lo largo de los años y la medida del cauce del río; la cual varía cada año, nos permitirá conocer el cambio en la morfología del río. Si el cauce pierde meandros, se comportará de forma más erosiva.

Para este cálculo se utilizó el software Studio Rm – Datamine, se graficó el caudal del río Monjas en la misma zona del deslizamiento del Parque Lineal – Ciudad Bicentenario y se obtuvo las medidas del río en los diferentes años, tal y como se indica en los ANEXO V; desde la figura 43 hasta la figura 45.

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.2 Resultados

3.1.1 Subcuencas sedimentarias

En base al *shapfile* creado y a sus diferentes polígonos se definió varias cuencas sedimentarias las cuales se pueden evidenciar a continuación. Como se muestra en la figura 16.

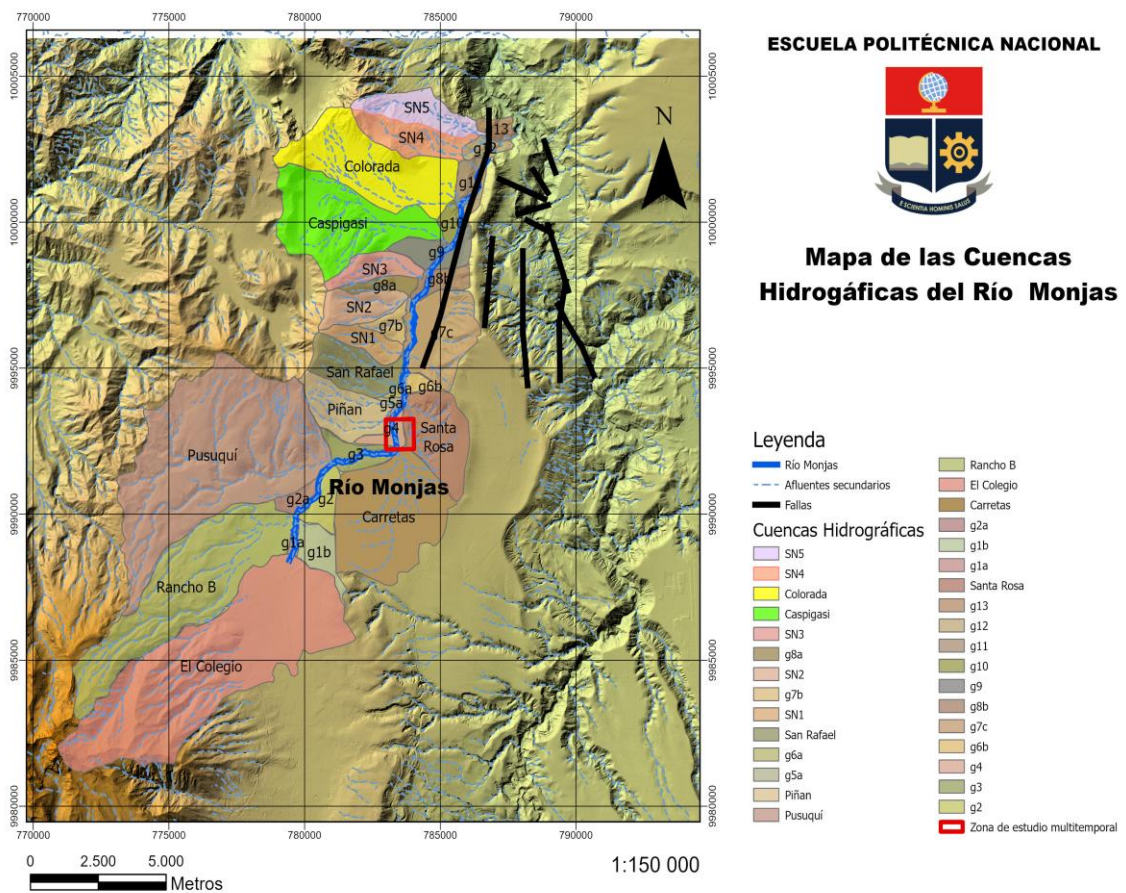


Figura 16: Mapa de las Cuencas Hidrográficas del río Monjas.

3.1.2 Deslizamiento Parque Lineal – Ciudad Bicentenario

En el siguiente capítulo se presentan los datos obtenidos en los diferentes años que se analizó el deslizamiento Parque Lineal – Ciudad Bicentenario. Gracias al software Studio Rm – Datamine, se pudo calcular de forma tridimensional el avance del deslizamiento, cada año la longitud varió y se evidencia en las tablas que se muestran a continuación, junto a la cantidad de puntos utilizados para graficar la línea del escarpe.

Cálculo de la corona del deslizamiento 2003

Longitud (metros)	159.7883
Número de Puntos	16
Min. Dip	-5.8102
Max. Dip	15.3987

Cálculo de la corona del deslizamiento 2005

Longitud (metros)	168.1691
Número de Puntos	25
Min. Dip	-12.9311
Max. Dip	8.2937

Cálculo de la corona del deslizamiento 2008

Longitud (metros)	180.6641
Número de Puntos	24
Min. Dip	-31.1226
Max. Dip	32.8625

Cálculo de la corona del deslizamiento 2011

Longitud (metros)	187.0839
Número de Puntos	27
Min. Dip	-11.0340

Max. Dip	5.4829
-----------------	--------

Cálculo de la corona del deslizamiento 2012

Longitud (metros)	188.7048
Número de Puntos	65
Min. Dip	-13.1171
Max. Dip	10.7249

Cálculo de la corona del deslizamiento 2013

Longitud (metros)	192.9734
Número de Puntos	93
Min. Dip	-13.5434
Max. Dip	7.6711

Cálculo de la corona del deslizamiento 2014

Longitud (metros)	198.3155
Número de Puntos	121
Min. Dip	-12.7492
Max. Dip	14.1438

Cálculo de la corona del deslizamiento 2017

Longitud (metros)	212.8043
Número de Puntos	29
Min. Dip	-13.9851
Max. Dip	10.0515

Cálculo de la corona del deslizamiento 2018

Longitud (metros)	217.8779
Número de Puntos	153

Min. Dip	-15.6078
Max. Dip	8.8926

Cálculo de la corona del deslizamiento 2020

Longitud (metros)	239.3105
Número de Puntos	91
Min. Dip	-15.9791
Max. Dip	9.3955

Cálculo de la corona del deslizamiento 2021

Longitud (metros)	248.7155
Número de Puntos	257
Min. Dip	-22.8701
Max. Dip	9.7486

Cálculo de la corona del deslizamiento 2022

Longitud (metros)	260.9326
Número de Puntos	206
Min. Dip	-14.0716
Max. Dip	13.2000

Los datos obtenidos permitieron calcular la gráfica de la longitud de la corona del deslizamiento versus los diferentes años analizados, tal y como se indica en la figura 17.

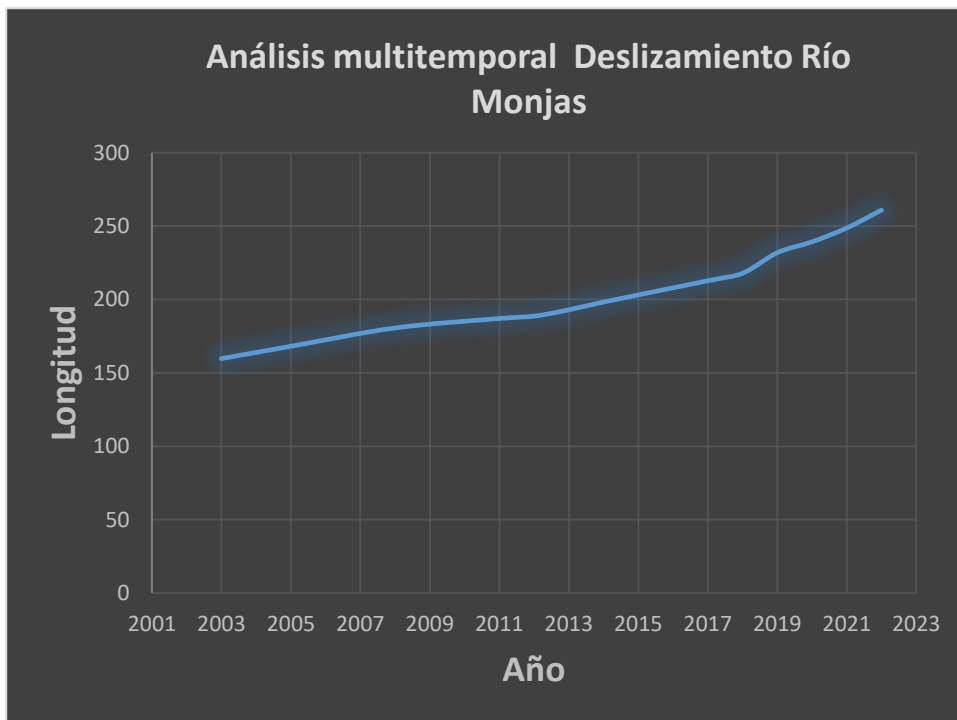


Figura 17: Análisis Multitemporal deslizamiento del río Monjas.

3.1.3 Sinuosidad del Río Monjas

Al igual que el apartado anterior, se presentará los datos obtenidos en el software Studio RM – Datamine, para la sinuosidad del río Monjas en el tramo escogido en la salida de campo, lo cual permitirá evidenciar su poder erosivo, como ha cambiado morfológicamente el río y su efecto en el deslizamiento de la zona.

Sinuosidad del río 2003

Longitud (metros)	704.5765
Número de Puntos	409

Sinuosidad del río 2005

Longitud (metros)	658.8877
Número de Puntos	481

Sinuosidad del río 2008

Longitud (metros)	664.7548
Número de Puntos	737

Sinuosidad del río 2011

Longitud (metros)	635.0992
Número de Puntos	465

Sinuosidad del río 2012

Longitud (metros)	644.8591
Número de Puntos	49

Sinuosidad del río 2013

Longitud (metros)	637.4146
Número de Puntos	26

Sinuosidad del río 2014

Longitud (metros)	365.1059
Número de Puntos	25

Sinuosidad del río 2017

Longitud (metros)	587.4627
Número de Puntos	45

Sinuosidad del río 2018

Longitud (metros)	585.7029
Número de Puntos	80

Sinuosidad del río 2020

Longitud (metros)	582.5002
Número de Puntos	25

Sinuosidad del río 2021

Longitud (metros)	557.8056
Número de Puntos	16

Sinuosidad del río 2022

Longitud (metros)	552.4364
Número de Puntos	22

En base a los datos obtenidos se realizó el cálculo de la sinuosidad, para esto se siguió la fórmula y el concepto del trabajo publicado por (Wolman, 1957). En la figura 18, se indica claramente el concepto, y propone tres rangos numéricos para clasificar la sinuosidad: mayor a 2; una sinuosidad alta, entre 1.3 – 2; una sinuosidad moderada y menores a 1.3; una sinuosidad baja. Para obtener estos valores, relaciona la longitud de todo el cauce del río con respecto a la longitud lineal del punto inicial y final.

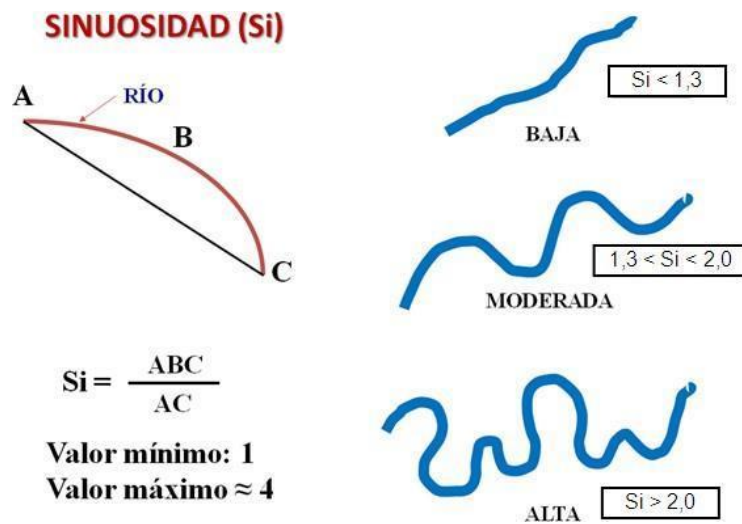


Figura 18: Cálculo de sinuosidad, tomado de (Wolman, 1957)

Es sumamente importante destacar el valor obtenido del tramo AC, de nuestro estudio, el cual corresponde a la longitud entre el inicio y final del cauce; el cual arrojó un valor de 558.97 metros, tal como nos indica el ANEXO V, figura 44.

Finalmente, con los datos obtenidos se pudo obtener la gráfica de sinuosidad versus los últimos años la cual servirá para determinar los momentos en que aumentó la actividad erosiva y la geomorfología del cauce cambió. Como se muestra en la figura 19.

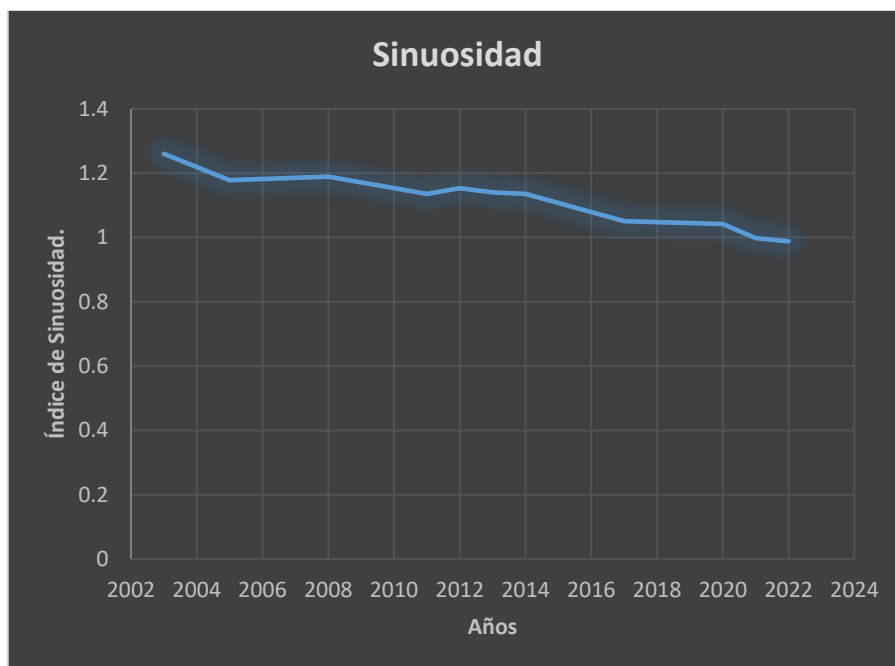


Figura 19: Gráfica multitemporal de sinuosidad.

3.2 Conclusiones

Las formaciones geológicas de la zona indican que gran porcentaje de ella son sedimentos muy poco consolidados, jóvenes, fácil de erosionar y susceptibles al desprendimiento por actividad sísmica; lo que provoca una cuenca sedimentaria inestable.

La geología ha modelado las diferentes subcuencas y microcuencas hidrográficas de la Cuenca Sedimentaria de San Antonio.

En base a los diferentes valores obtenidos de la corona del deslizamiento a lo largo de los últimos 20 años, se obtuvo la gráfica que indica la variación del mismo, con esto se obtiene una idea clara de los años en los que aumentó la actividad erosiva. Los valores obtenidos en el modelamiento desde marzo del 2003 hasta julio de 2008; indican un corto crecimiento de la corona del deslizamiento. Desde el año 2010, momento en el que inicia las construcciones de la “Ciudad Bicentenario”, se puede observar una tendencia creciente agresiva, y más aún en junio del 2011 año en el que se encuentra gran porcentaje de la obra avanzada; en las imágenes satelitales se verifica el aumento poblacional y la construcción del conjunto habitacional ciudad Bicentenario, adicionalmente, en los siguientes años se construyó la avenida Simón Bolívar; proyecto que culminó en junio de 2018, el cual es causante de una mayor impermeabilización, lo que provoca un avance de deslizamiento. Finalmente, en mayo de 2022 se entregó el Parque Lineal a pocos metros del escarpe, proyecto que afectará la actividad erosiva y acelerará la longitud de la corona del deslizamiento.

Gracias a la gráfica de sinuosidad, se observa que, desde marzo del 2003 hasta julio del 2008, los valores de sinuosidad eran muy similares con pequeñas fluctuaciones. Posteriormente, se puede apreciar que el valor de la sinuosidad empezó a disminuir desde junio del 2011 de forma más acelerada, momento que coincide con la edificación del conjunto habitacional al oriente del deslizamiento. Desde el 2011 hasta el 2012, se observa que son los años en que más se perdió meandros en el río y lo convirtió en un afluente con sinuosidad baja y alto poder erosivo. Finalmente, desde febrero de 2020 hasta septiembre de 2022, se puede ver que sigue disminuyendo la sinuosidad del cauce, lo que nos indica que el río seguirá aumentando su erosión y le inestabilidad de la zona.

La actividad humana, ha desequilibrado la relación entre los sedimentos y el agua de la cuenca sedimentaria del río Monjas. La escorrentía superficial causada por la cementación de la zona, las aguas derivadas por tuberías y la basura depositada, provocan que los afluentes se encañonen en la cuenca causando mayor desestabilidad en las bases de los taludes.

3.3 Recomendaciones

Realizar análisis constantes de las precipitaciones de la zona, posteriormente, analizar los caudales de los afluentes que pertenecen a la cuenca hidrográfica del río Monjas. Debido a la gran actividad erosiva; se deben instalar varios puntos de medición, se sugiere implementarlos en los puntos señalados en el trabajo de campo de este estudio.

Tener un plan territorial más completo para todo el distrito metropolitano de Quito, cualquier asentamiento antrópico, se debe realizar en una zona segura y que no presente mayor riesgo para la ciudadanía.

Reubicación territorial de las personas que se encuentran en las zonas con mayor riesgo a colapsar, especialmente las familias que tienen sus viviendas en taludes inestables.

Realizar un monitoreo geotécnico en toda la zona de estudio, sectores que requieren un análisis a detalle de sus taludes.

Se sugiere utilizar el software de Sirovision – Datamine, en el deslizamiento ubicado en las cercanías de Ciudad Bicentenario, el deslizamiento requiere una estabilización inmediata y el software mencionado contiene las herramientas necesarias.

Debido al gran riesgo que existe en la zona, se sugiere utilizar drones profesionales que mejoren el mapeo geológico de la zona y sus características geotécnicas.

Realizar un estudio de geología estructural, para definir a detalle las fallas y los movimientos locales que se producen en la zona de estudio, los cuales desestabilizan las formaciones de la zona de estudio.

Realizar un análisis del equilibrio sedimentario en toda la cuenca hídrica del río Monjas, previo a la construcción de cualquier proyecto ingenieril.

Se recomienda un plan de control para los desechos que son arrojados en los afluentes de la cuenca hidrográfica, los mismos que alteran el cauce de los ríos y afectan el comportamiento erosivo, de la misma forma, los sistemas de drenaje de la ciudadanía deben ser analizados y corregidos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Be`s de Berc, S. S. (2005). *Geomorphic evidence of active deformation and uplift in a modern continental wedge-top–foredeep transition: Example of the eastern Ecuadorian Andes*.
- Carvajal, L. (2006). *Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado* (28 ed.). Santiago de Cali: U.S.C.
- Cornejo, R. (1980). *Estudio de la Geología de la zona entre San Antonio de Pichincha y el Río Guayllabamba*.
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias. (2020). *Dirección General de Protección Civil y Emergencias, España*. Obtenido de Dirección General de Protección Civil y Emergencias, España.: [https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/gestion-de-riesgos/meteorologicos/lluvias-intensas#:~:text=Fuertes%20\(entre%2015%20y%2030,de%2060%20mm%2Fhora\)](https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/gestion-de-riesgos/meteorologicos/lluvias-intensas#:~:text=Fuertes%20(entre%2015%20y%2030,de%2060%20mm%2Fhora))
- Durán, G. B. (2020). *Quito: El tiempo como factor de violencia contra las familias de Ciudad Bicentenario*. FLACSO, ECUADOR, Quito.
- Ego, F. S. (1996). *Quaternary state of stress in the northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes*.
- Egüez, A. A. (1993). *THE MESO-CENOZOIC EVOLUTION OF THE ECUADORIAN ANDES*.
- El Comercio. (14 de JUNIO de 2018). 2.7 km se suman a la nueva avenida Simón Bolívar, en Quito.
- EMAPS AGUA DE QUITO. (2022). *PLAN COMPLEMENTARIO DE LA CUENCA DEL RIO MONJAS EVALUACION PRELIMINAR DE LA AMENAZA DE INUNDACION EN EL CAUCE DEL RIO MONJAS*. Quito.
- Espinosa, T. (2022). *Estudio de los movimientos en masa como eventos morfoclimáticos en el periodo 1900 a 2020 sector norte del distrito metropolitano de Quito*.
- Lavenue, A. N. (1992). *New ⁴⁰Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism, and tectonics*.
- Litherland, M. A. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*.
- Pacheco, D. A. (2013). *Estratigrafía Cuaternaria de la Cuenca San Antonio de Pichincha*.
- PRIMICIAS. (01 de 08 de 2022). Más de 30 damnificados deja desbordamiento de una quebrada en Quito. PRIMICIAS.
- Spikings, R. W. (2019). *Latest Triassic to Early Cretaceous tectonics of the Northern Andes: Geochronology, geochemistry, isotopic tracing and thermochronology*.
- Spikings, R. W. (2005). *Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador*.

- Vallejo, C. S. (2019). *Late cretaceous to mioceno stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment.*
- Villagómez, D. (2003). *Evolución Geológica Plio-cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador (zona de Quito-Guayllabamba-San Antonio de Pichincha).*
- Winkler, W. V. (2005). *The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting.*
- Wolman, L. y. (1957). *River Channel Patterns: braided, meandering and straight.* USGS Professional Paper.

5. ANEXOS

ANEXO I

Puntos de control tomados para la georreferenciación de imágenes

PUNTOS DE CONTROL

N°	ESTE	NORTE
PC1	783118.80	9992750.30
PC2	783140.80	9992438.10
PC3	783884.00	9992604.90

ANEXO II

Puntos tomados en la salida de campo.

PUNTOS SALIDA DE CAMPO

N°	ESTE	NORTE
PUNTO1	783065.00	9988416.00
PUNTO2	783231.00	9989149.00
PUNTO3	783392.00	9992603.00
PUNTO4	783801.00	9993634.00
PUNTO5	783980.00	9993642.00

ANEXOS III

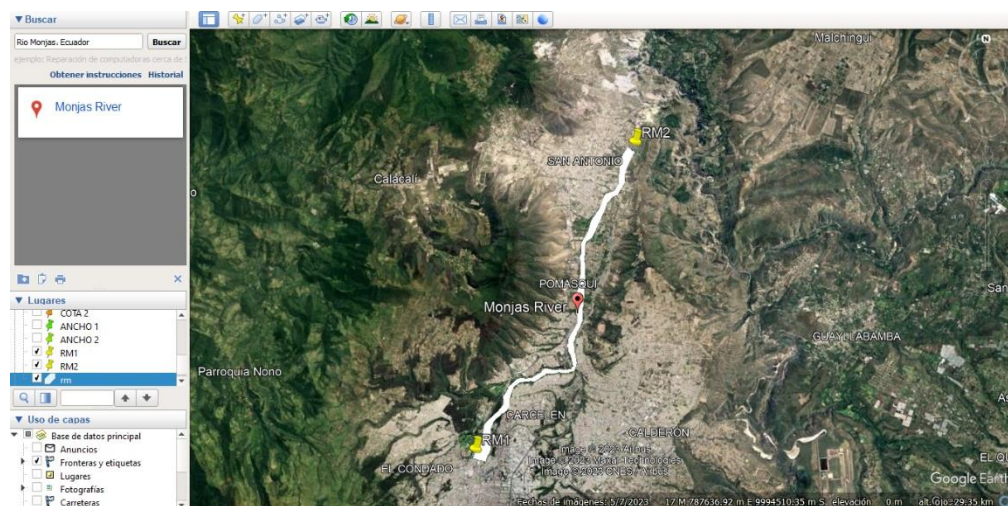


Figura 20: Delimitación del cauce del río Monjas.

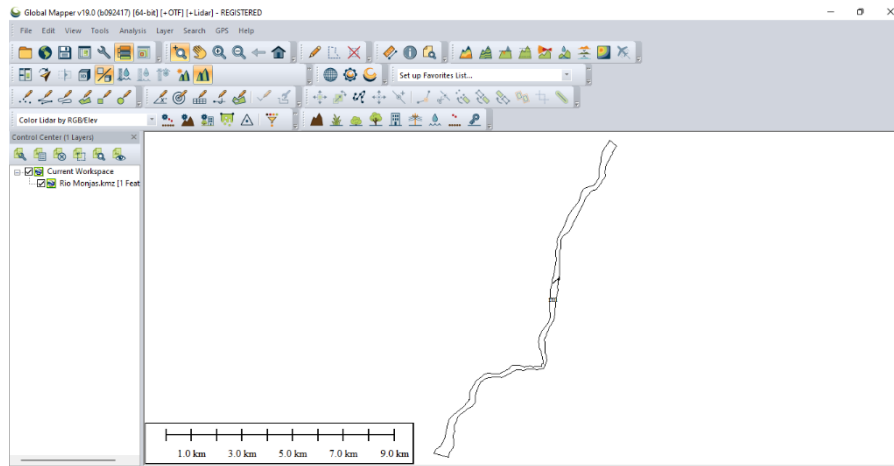


Figura 21: Traspaso del cauce del río Monjas al software Global Mapper.

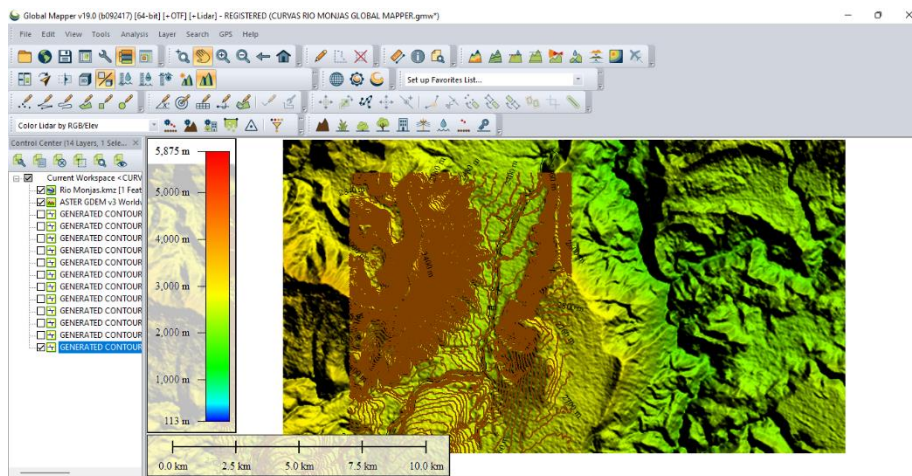


Figura 22: Topografía y curvas de nivel de la cuenca hidrográfica del río Monjas.

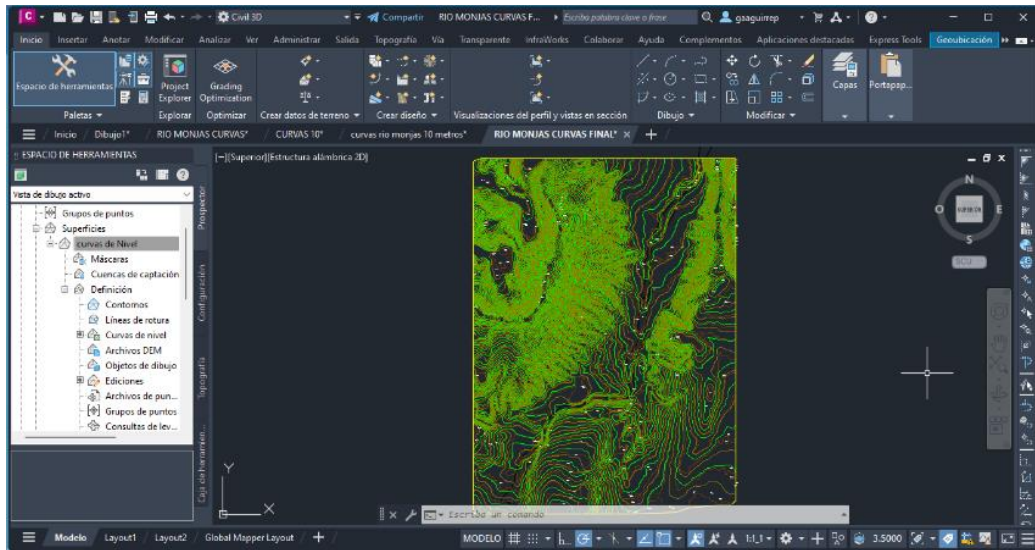


Figura 23: Traspaso de las curvas de nivel al programa AutoCad.

ANEXO IV

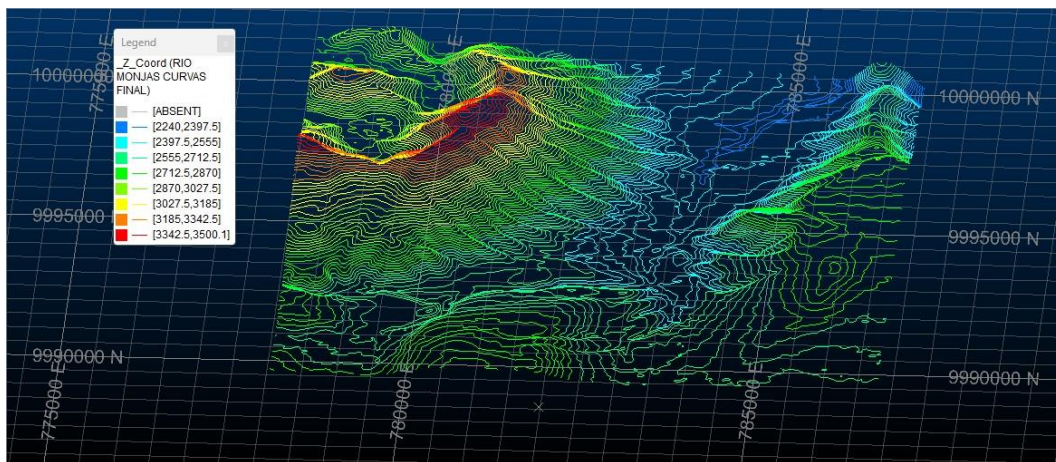


Figura 24: Curvas de nivel en Studio RM - Datamine.

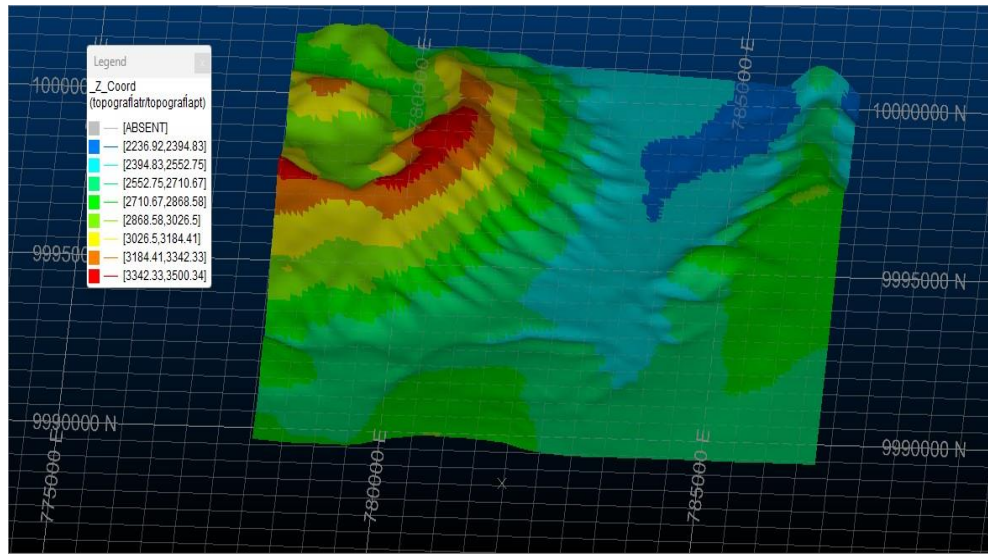


Figura 25: Topografía tridimensional de la cuenca hidrográfica del río Monjas.

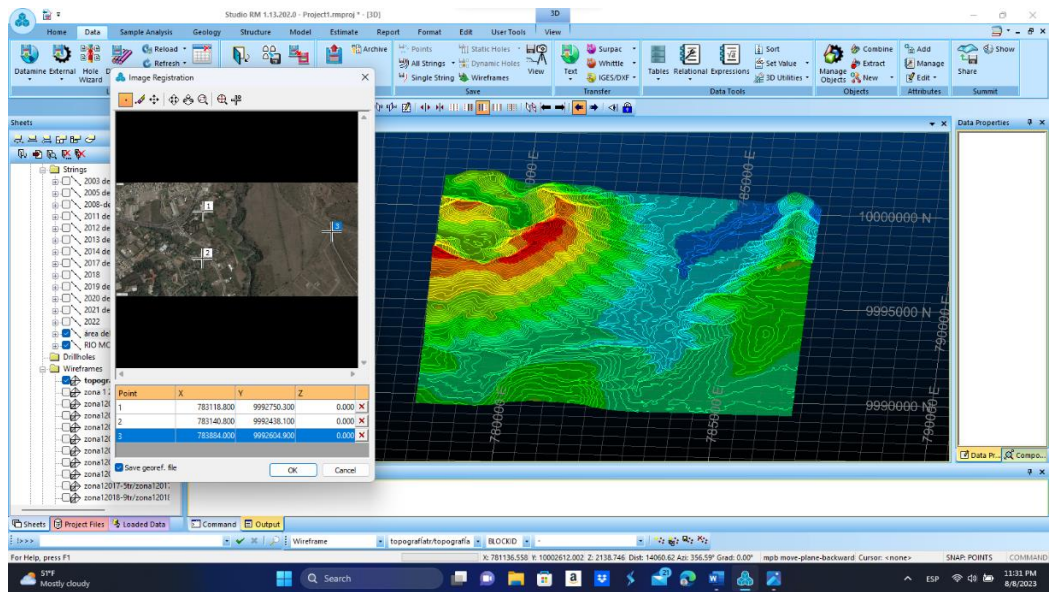


Figura 26: Georreferenciación de imágenes.

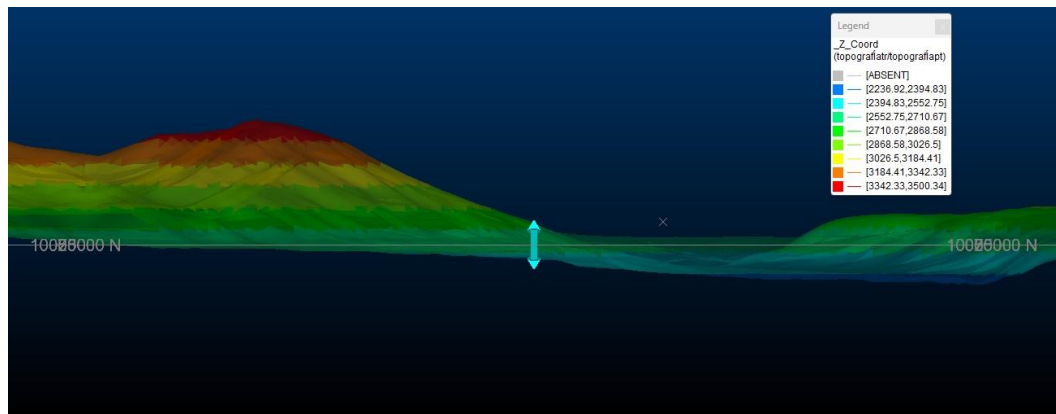


Figura 27: Vista sur de la cuenca hidrográfica.

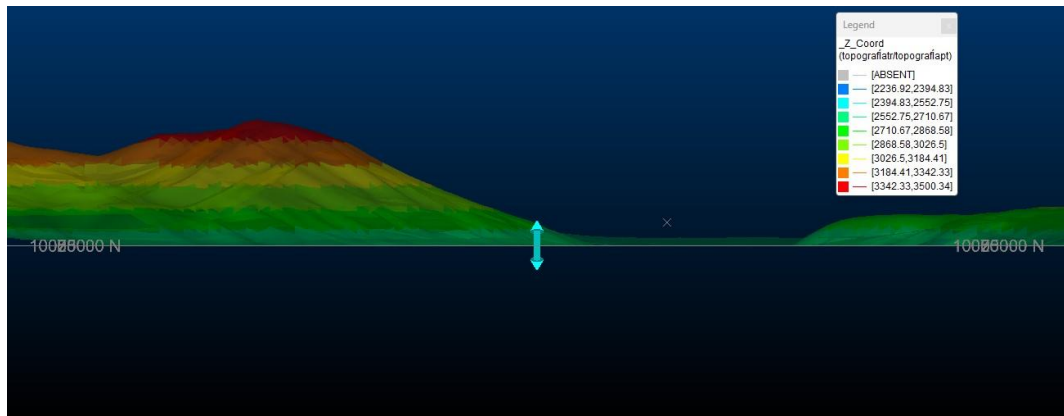


Figura 28: Delimitación de las cotas utilizando la herramienta de sección.

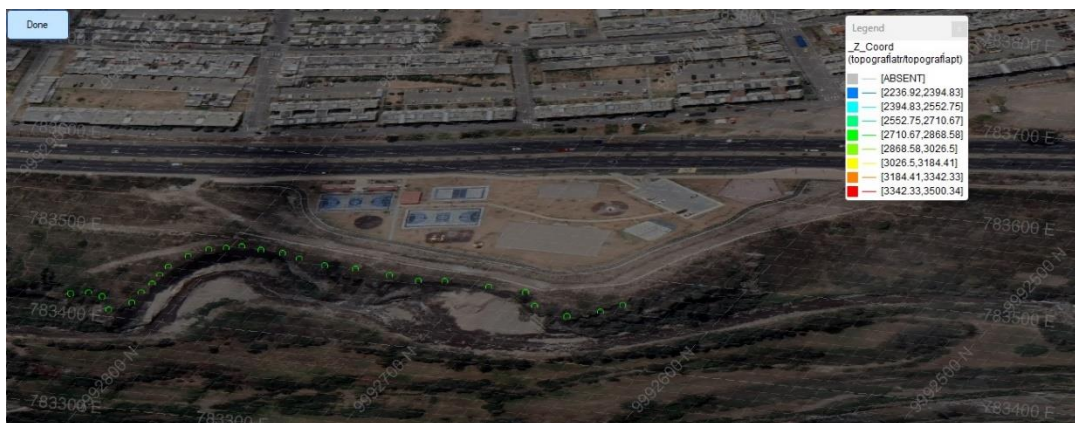


Figura 29: Ubicación de los puntos para la medición de la corona del deslizamiento.

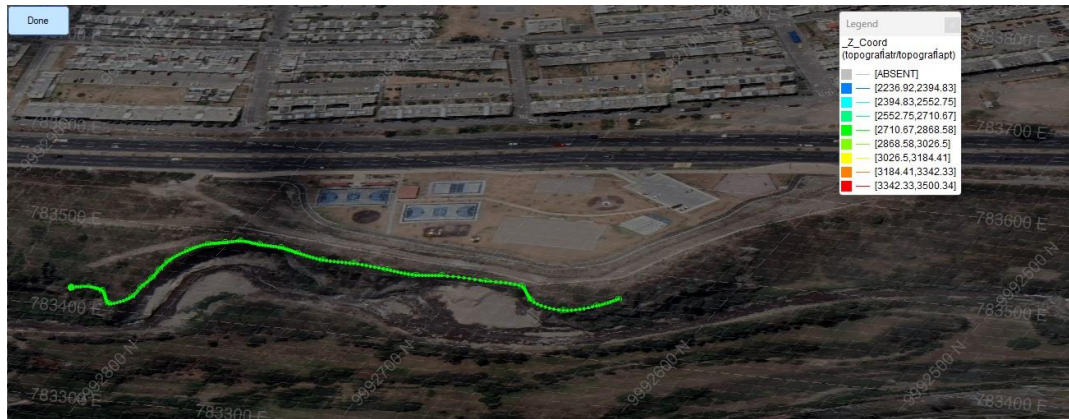


Figura 30: Unión de los diferentes puntos de la corona del deslizamiento.



Figura 31: Medida del deslizamiento 2003.



Figura 32: Medida del deslizamiento 2005.



Figura 33: Medida del deslizamiento 2008.



Figura 34: Medida del deslizamiento 2011.



Figura 35: Medida del deslizamiento 2012.



Figura 36: Medida del deslizamiento 2013.



Figura 37: Medida del deslizamiento 2014.



Figura 38: Medida del deslizamiento 2017.



Figura 39: Medida del deslizamiento 2018.



Figura 40: Medida del deslizamiento 2020.



Figura 41: Medida del deslizamiento 2021.



Figura 42: Medidas del deslizamiento 2022.

ANEXO V



Figura 43: Cauce del río 2003.

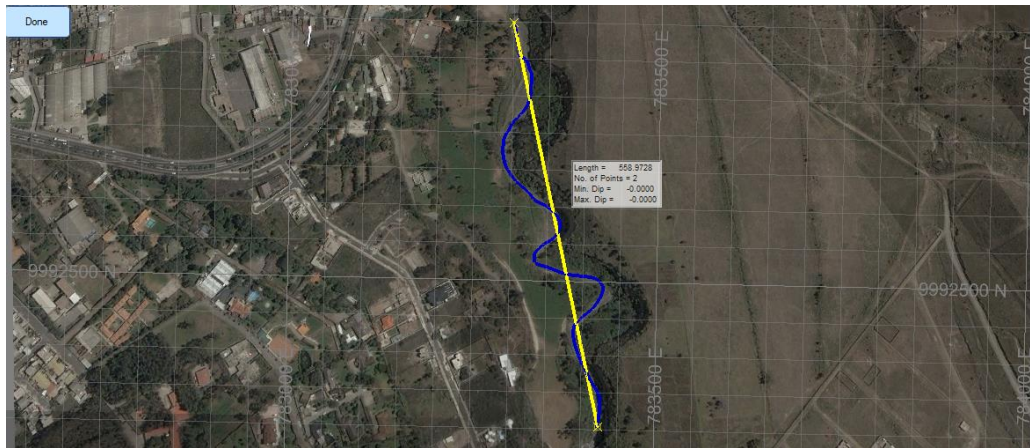


Figura 44: Medición lineal de los puntos AC.

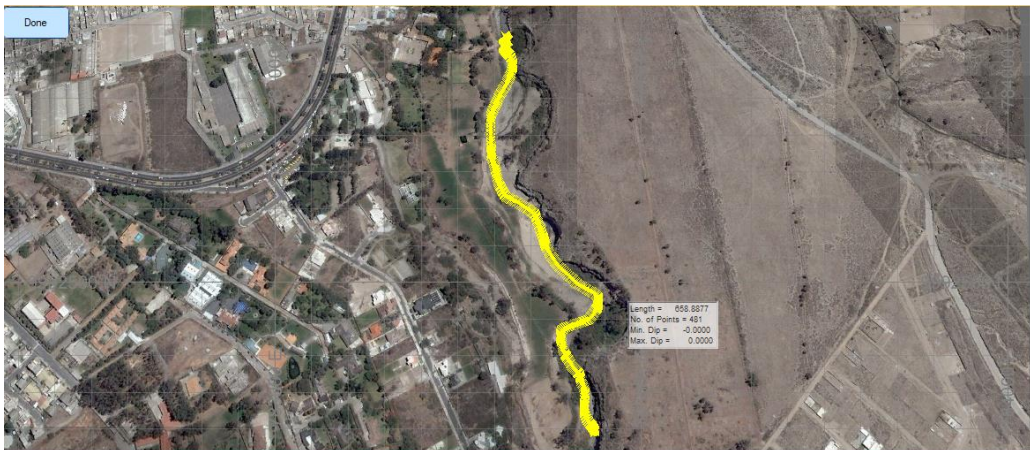


Figura 45: Cauce del río 2005.



Figura 46: Cauce del río 2008.



Figura 47: Cauce del río 2011.



Figura 48: Cauce del río 2012.

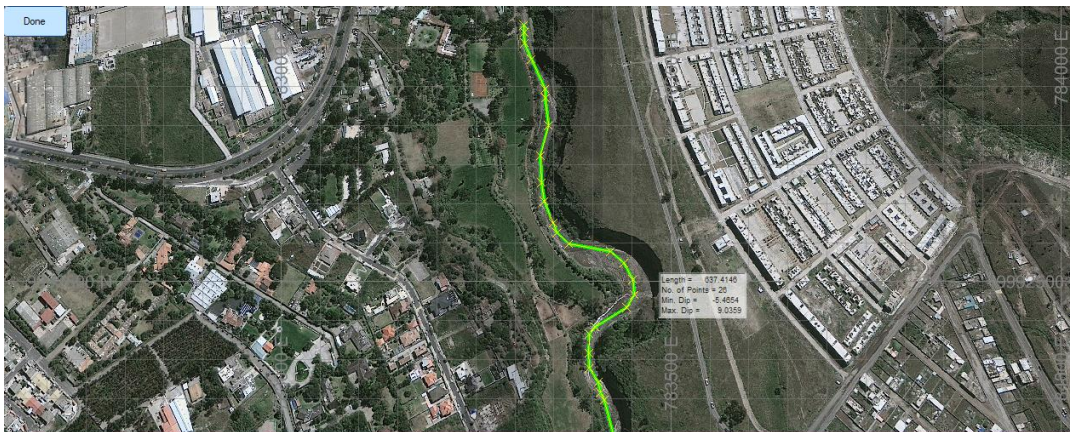


Figura 49: Cauce del río 2013.



Figura 50: Cauce del río 2014.

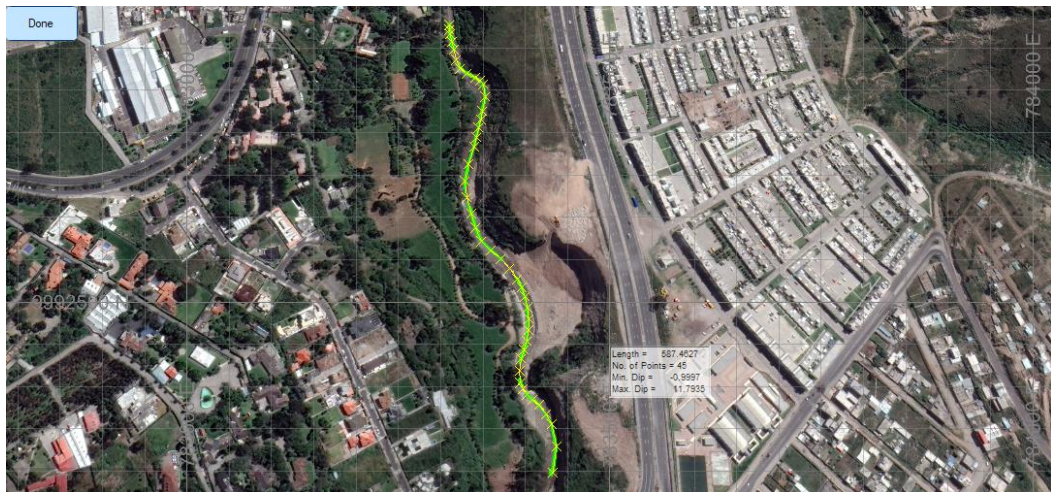


Figura 51: Cauce del río 2017



Figura 52: Cauce del río 2018.

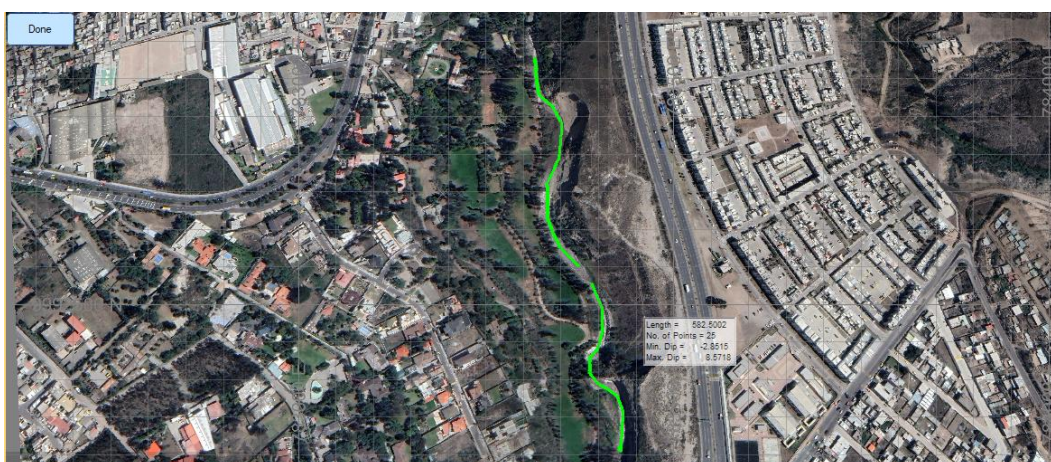


Figura 53: Cauce del río 2020.

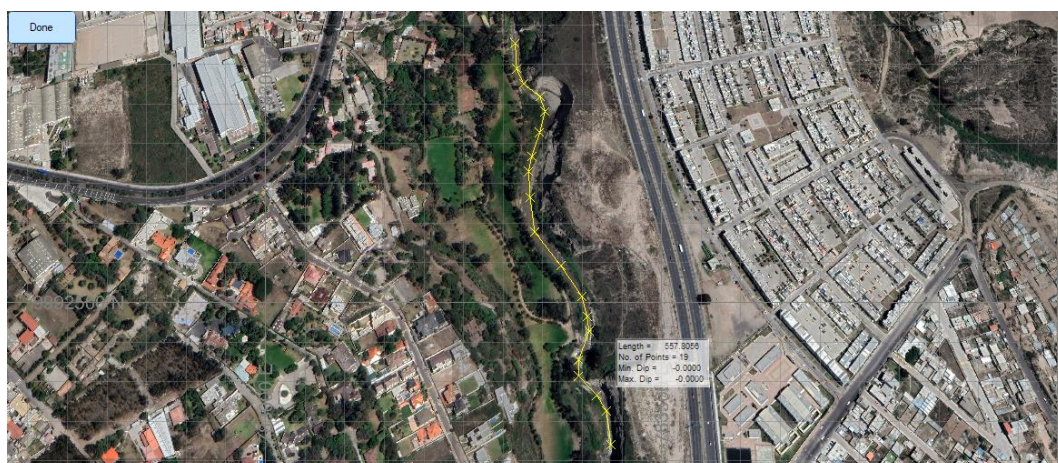


Figura 54: Cauce del río 2021.



Figura 55: Cauce del río 2022

ANEXO VI

Tabla de Figuras

Figura 1: Mapa de las regiones geológicas del Ecuador, tomado de (Be`s de Berc, 2005).....	3
Figura 2: Estratigrafía de las cuencas sedimentarias del IAV, tomado de (Villagómez, 2003).	5
Figura 3: Mapa de Ubicación de la Zona de Estudio.	6
Figura 4: Estratigrafía de la geología local, tomado de (Espinosa, 2022).	9
Figura 5: Curva de intensidad - duración - frecuencia de lluvia, de la estación DAC - Aeropuerto, tomado de (EMAPS AGUA DE QUITO, 2022).....	10
Figura 6: Valores de los caudales en las diferentes cuencas hidrográficas del río Monjas, tomado de (EMAPS AGUA DE QUITO, 2022).	11
Figura 7: Cambio urbanístico en el sector Ciudad Bicentenario, desde 2005 hasta 2018, tomado de (Durán, 2020).	12
Figura 8: Quebrada Grande, Punto 1.	14
Figura 9: Quebrada Carretas, Punto 2.....	15
Figura 10: Río Monjas, zona de deslizamiento activo Ciudad Bicentenario - Av. Simón Bolívar, Punto 3.	16
Figura 11: Barrio Santa Clara, zona de inundación 2022, tomado de (PRIMICIAS, 2022).....	17
Figura 12: Geología del sector de Santa Clara, Punto 4.....	18
Figura 13: Canteras que aumentan los sedimentos en la zona de Santa Clara, Punto 5.....	18
Figura 14: Mapa de Ubicación de los Puntos de Control.	19
Figura 15: Mapa Geológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Monjas, modificado de (Espinosa, 2022).	20
Figura 16: Mapa de las Cuencas Hidrográficas del río Monjas.	25
Figura 17: Análisis Multitemporal deslizamiento del río Monjas.	29
Figura 18: Cálculo de sinuosidad, tomado de (Wolman, 1957)	31
Figura 19: Gráfica multitemporal de sinuosidad.....	32

Figura 20: Delimitación del cauce del río Monjas.	37
Figura 21: Traspaso del cauce del río Monjas al software Global Mapper.	38
Figura 22: Topografía y curvas de nivel de la cuenca hidrográfica del río Monjas.	38
Figura 23: Traspaso de las curvas de nivel al programa AutoCad.	39
Figura 24: Curvas de nivel en Studio RM - Datamine.	39
Figura 25: Topografía tridimensional de la cuenca hidrográfica del río Monjas.	40
Figura 26: Georreferenciación de imágenes.	40
Figura 27: Vista sur de la cuenca hidrográfica.	41
Figura 28: Delimitación de las cotas utilizando la herramienta de sección.	41
Figura 29: Ubicación de los puntos para la medición de la corona del deslizamiento.	41
Figura 30: Unión de los diferentes puntos de la corona del deslizamiento.	42
Figura 31: Medida del deslizamiento 2003.	42
Figura 32: Medida del deslizamiento 2005.	42
Figura 33: Medida del deslizamiento 2008.	43
Figura 34: Medida del deslizamiento 2011.	43
Figura 35: Medida del deslizamiento 2012.	43
Figura 36: Medida del deslizamiento 2013.	44
Figura 37: Medida del deslizamiento 2014.	44
Figura 38: Medida del deslizamiento 2017.	44
Figura 39: Medida del deslizamiento 2018.	45
Figura 40: Medida del deslizamiento 2020.	45
Figura 41: Medida del deslizamiento 2021.	45
Figura 42: Medidas del deslizamiento 2022.	46
Figura 43: Cauce del río 2003.	46
Figura 44: Medición lineal de los puntos AC.	47
Figura 45: Cauce del río 2005.	47
Figura 46: Cauce del río 2008.	47
Figura 47: Cauce del río 2011.	48
Figura 48: Cauce del río 2012.	48
Figura 49: Cauce del río 2013.	48
Figura 50: Cauce del río 2014.	49
Figura 51: Cauce del río 2017.	49
Figura 52: Cauce del río 2018.	50
Figura 53: Cauce del río 2020.	50
Figura 54: Cauce del río 2021.	50
Figura 55: Cauce del río 2022.	51