



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE LOS MOVIMIENTOS
EN MASA RECURRENTE Y ESTIMACIÓN DEL COSTO POR
DAÑOS Y REMOCIÓN EN LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR DEL
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

**AUTORES: CÓRDOVA GAÓN, DAYSI GEOVANA
LOYA SIMBAÑA, YESENIA FERNANDA**

DIRECTOR: DR. RODRÍGUEZ ESPINOSA, FABIÁN FRANCISCO

SANGOLQUÍ

2018

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**


**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “*EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA RECURRENTE Y ESTIMACIÓN DEL COSTO POR DAÑOS Y REMOCIÓN EN LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO*” realizado por las señoritas *CÓRDOVA GAÓN DAYSI GEOVANA* y *LOYA SIMBAÑA YESENIA FERNANDA*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software de similitud y además cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas - ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo a autorizar a las señoritas *CÓRDOVA GAÓN DAYSI GEOVANA* y *LOYA SIMBAÑA YESENIA FERNANDA* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 08 de febrero del 2018

Atentamente,



DR. FABIÁN RODRÍGUEZ

DIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, **CÓRDOVA GAÓN DAYSI GEOVANA**, con cédula de identidad N° 1719207381 y **LOYA SIMBAÑA YESENIA FERNANDA**, con cédula de identidad N° 1724563869, declaramos que este trabajo de titulación "**EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA RECURRENTE Y ESTIMACIÓN DEL COSTO POR DAÑOS Y REMOCIÓN EN LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 08 de febrero del 2018

Daysi Geovana Córdoba Gaón
C.C 1719207381

Yesenia Fernanda Loya Simbaña
C.C 1724563869

AUTORIZACIÓN**ESPE**
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE****AUTORIZACIÓN**

Nosotras, **CÓRDOVA GAÓN DAYSI GEOVANA** y **LOYA SIMBAÑA YESENIA FERNANDA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en el Repositorio Institucional el presente trabajo de titulación “**EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA RECURRENTES Y ESTIMACIÓN DEL COSTO POR DAÑOS Y REMOCIÓN EN LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**” en forma total, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 08 de febrero del 2018

Daysi Geovana Córdova Gaón
C.C 1719207381

Yesenia Fernanda Loya Simbaña
C.C 1724563869

DEDICATORIA

A mi camino más acertado, a mi refugio más cálido, a mí amigo incondicional quien me dio la vida y me prestó fuerzas en los momentos de desasosiego, al ser único que siempre estará conmigo, a mi Dios Eterno.

A mis queridos padres que han sido el motor de mi vida, el motivo más bonito para seguir en la lucha, aquellos seres que me brindaron su amor incondicional y una voz de aliento a la distancia, con mucho cariño y respeto a la Noemis y al Jose

A mi dulce hermana, mi compañera de travesuras, risas y llantos, que siempre me extendió su mano para continuar por el camino dificultoso de la universidad, a ti mi pequeña Risueñis.

A mi ocurrente hermano, que entre momentos de estrés y desespero no vaciló en bromear y animarme; a ti mi pequeño gigante, Jerson.

A esos pequeños angelitos que han llegado en un momento oportuno para brindarme muchas alegrías y amor, mis tiernas sobrinas Honey y Heather.

A mis amorosos abuelitos, por asumir el papel de padres en aquellos momentos que lo necesitaba, a ustedes, mamita Fanny y papito Armando.

Daysi

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico en primer lugar a Dios, por ser mi protector, mi guía y por ayudarme con su infinito amor a poder superar cada obstáculo que se me ha presentado en este largo caminar.

A aquella persona que más que mi abuelito fue mi padre, y aunque ahora no me acompaña desde el cielo siempre estuvo cuidándome y ayudándome. Los años han pasado y aun sufro su ausencia, pero su imagen, su ejemplo de valentía y trabajo, así como los lindos momentos compartidos me han ayudado a armarme de valor y seguir siempre adelante a pesar de las adversidades. Quizás no pudo acompañarme en cada uno de mis días en lucha a este gran sueño y ahora dicha al cumplirlo, pero sé que desde donde este se sentirá muy orgulloso de mí.

Finalmente, y sin duda a mi pilar fundamental, mi madre, porque es la persona más importante en mi vida, mi ángel, mi gran amor, mi amiga, mi compañera, mi mayor tesoro, mi apoyo, mi paz, mi calma en los momentos difíciles, mi inspiración, mi fuerza, el motivo por el cual vivo cada día. Aquella mujer a la que admiro por quien soy, porque veo en ella mi reflejo y la gran mujer en la que me puedo convertir, pero sobre todo la mujer a la que admiro por su gran fortaleza para superar cualquier dificultad. Indudablemente gracias a su ejemplo he aprendido a ser valiente, responsable, humilde, pero sobre todo de buen corazón, a no rendirme nunca y luchar a pesar del cansancio.

Han sido muchos los momentos difíciles por los cuales hemos tenido que pasar juntas para lograr estar aquí, pero superamos todo obstáculo intentando ver siempre algo bueno en lo malo y tratando de encontrar en cada día una nueva oportunidad, recordando que *no hay mal que por bien no venga*. Todo un camino lleno de sacrificios, dedicación, amor y esfuerzo nos han traído hasta aquí, algo que en un inicio parecía imposible y que hoy al fin se está realizando, estamos cumpliendo juntas el sueño tan esperado. Gracias mami por no soltarme de su mano en ningún momento, por amarme incondicionalmente y por ayudarme a cumplir uno de mis grandes sueños.

Yesenia

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitir que mi travesía durante la universidad culminara con éxito, por brindarme muchas bendiciones dentro de este proceso, por ser mi abrigo y fortaleza.

A mis padres que han luchado junto a mí, en especial a mi querida madre que tuvo muchas noches de desvelo y angustia, durante los tramos de estudio, por aguantar mi mal carácter, mis incertidumbres y penas.

A mis hermanos, que han sido mi apoyo absoluto, a quienes eh acudido sin reparo, cuanto los amo. A mi familia que siempre ha estado pendiente de todo, quienes me han brindado su apoyo de mil maneras. Tía Paty, Tío Suco, Tía Ángela, Joselincita y Danielita

A mis compañeros de prepo con quienes compartí muchas risas, nuevas experiencias y con quienes formé una gran amistad. Ivethcita, Pablito y Jose Luis.

A mis hermanas perdidas que encontré dentro de la carrera, a quienes les debo muchas cosas que me han ayudado tanto en mi vida profesional como en mi vida personal, les estoy eternamente agradecida, las quiero mucho, a ustedes chicas; Tati, Liss y Morita.

A mis grandes amigas y amigos; compañeros de muchos viajes, desvelos, locuras y mil aventuras, gracias por estar ahí para un abrazo oportuno y unas palabras de aliento; a ustedes; Miguelito, Michu, Daniel, C., Daysi, Kathy, Lorenita, Jessi BB, Daniel, T. y Jocho.

A aquellas personas especiales que me extendieron la mano en el transcurso de este trabajo, sin ningún interés, Edwin y Alejandro, T. y un afectuoso agradecimiento a Andrés por su valioso apoyo en el préstamo de su UAV, gracias infinitas.

A mi Yess, amiga y compañera de tesis, de amanecidas, de preocupaciones, de incertidumbres y muchas otras cosas, quien ha sido un apoyo incondicional en este tiempo compartido, que fue más allá de la tesis o de la vida universitaria, gracias eternas, por tu paciencia, por esas palabras de apoyo y enseñanzas.

Daysi

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme y permitirme llegar a culminar mi carrera.

A mi madre que gracias a su trabajo, lucha y sacrificios constantes me ha dado la oportunidad de estudiar y lograr obtener una carrera. Gracias mamita por a más de ayudarme a ser una profesional, ayudarme a ser una buena persona, por haberme llenado de grandes valores, por tanto amor, por todos sus esfuerzos, por sus locuras, por sus ocurrencias, por sus consejos, por cada una de sus palabras de apoyo en los momentos en los cuales quería bajar la guardia y abandonar todo, por ayudarme a buscar siempre una solución a cada problema, por secar mis lágrimas, por desvelarse a mi lado y por su compañía.

Gracias a mis tíos, a mi tía y a mis primas que de una u otra manera me han ayudado en lo que les ha sido posible.

Un enorme agradecimiento al Doc. Rodríguez y al Ing. Morales por ayudarme en todo lo que necesité, pero principalmente por haberme impartido una infinidad de sus conocimientos para el correcto desarrollo del presente trabajo

Gracias a mi querido amigo Andrés porque su ayuda fue primordial para la realización de esta tesis.

Gracias a mis personas especiales: Rocy, David, Renato, Gabo, Daniel y Day Belén, por haberme brindado su cariño incondicional y ayuda cuando la he requerido, gracias por todas esas risas, por las locuras, aventuras, por cada palabra de aliento, por los detalles, por su compañía, por los consejos, en sí por dar sentido a mi vida y formar parte de los mejores momentos de ella. Gracias a todos ellos, demás amigos y compañeros por haber sido parte de esta gran aventura llamada universidad, y haber hecho de esta una de las mejores experiencias de toda mi vida, que sin duda la volvería a repetir.

Finalmente, a mi compañera de tesis, Day, gracias por no ser solo eso sino mi amiga. Gracias por tu cariño, esfuerzo, ayuda y dedicación. No me queda más que agradecerte por haber decidido emprender este sueño conmigo y hoy verlo cumplir, lo cual me ha llevado a darme cuenta que es verdad que todo parece imposible hasta que se hace.

Yesenia.

ÍNDICE

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación e Importancia	3
1.4. Descripción del Área de Estudio.....	5
1.5. Objetivos	7
1.5.1. Objetivo General	7
1.5.2. Objetivos Específicos.....	7
1.6. Metas	7
CAPÍTULO II	9
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Fundamentación Teórica.....	9
2.1.1. Tecnologías de la Información Geográfica.....	9
2.1.2. Gestión de Riesgo	10
2.1.2.1. Movimientos en masa	11
2.1.2.2. Técnicas de Mitigación de Movimientos en masa.....	22
2.1.3. Costos.....	25
2.1.3.1. Costos de tiempo.....	25
2.1.3.2. Costo de oportunidad.....	26
2.1.3.3. Beneficio – Costo.....	26

2.1.3.4.	Presupuesto	27
2.2.	Fundamentación Legal	28
2.3.	Preguntas de investigación.....	30
2.3.1.	Pregunta General.....	30
2.3.2.	Preguntas Específicas.....	30
CAPÍTULO III		31
3.	METODOLOGÍA	31
3.1.	Delimitación de la zona de Estudio.....	31
3.2.	Reconocimiento de las zonas vulnerables.....	31
3.3.	Identificación de las zonas de alto riesgo.....	32
3.4.	Generación del MDE.....	39
3.4.1.	Puntos de control fotogramétrico (GCP)	39
3.4.1.1.	Ubicación de los GCP.....	39
3.4.1.2.	Toma de los puntos de control fotogramétrico (GCP).....	40
3.4.1.3.	Rastreo de los GCP	41
3.4.1.4.	Postproceso de los GCP.....	42
3.4.2.	Vuelo.....	43
3.4.3.	Procesamiento de las fotografías aéreas.....	44
3.5.	Cálculo del Volumen.....	49
3.5.1.	Creación de Perfiles	49
3.5.2.	Determinación del plano de falla	52
3.5.3.	Obtención del Volumen	58
3.6.	Costo por Daño y Remoción.....	58
3.7.	Costo de Oportunidad	58
3.8.	Propuesta de alternativas de mitigación	59
3.9.	Costo de alternativas de mitigación	60
3.10.	Análisis Costo – Beneficio.....	60
CAPÍTULO IV		61
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	61
4.1.	Análisis de los planos de falla y factor de seguridad	61
4.2.	Costo por daño y remoción	63

4.3.	Costo de oportunidad	64
4.4.	Costo tiempo	65
4.5.	Alternativas de mitigación	66
4.6.	Análisis costo – beneficio	71
CAPÍTULO V		74
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
5.1.	Conclusiones	74
5.2.	Recomendaciones.....	76
BIBLIOGRAFÍA		78

ÌNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipos de movimientos en masa</i>	13
Tabla 2 . <i>Escala de velocidades</i>	13
Tabla 3. <i>Densidades y cambios de volumen</i>	22
Tabla 4. <i>Especificaciones del GPS de precisión Trimble R4</i>	41
Tabla 5. <i>Resultado del procesamiento de los GCP</i>	42
Tabla 6. <i>Parámetros de vuelo</i>	44
Tabla 7. <i>Propiedades físico mecánicas de los taludes de las zonas críticas</i>	55
Tabla 8. <i>Características geométricas de los perfiles de La Forestal y Monjas</i>	62
Tabla 9. <i>Presupuesto y tiempo referencial para desalojamiento de escombros de La Forestal Tramo I</i>	63
Tabla 10. <i>Presupuesto y tiempo referencial para desalojamiento de escombros de La Forestal Tramo II</i>	64
Tabla 11. <i>Presupuesto y tiempo referencial para desalojamiento de escombros de Monjas Tramo II</i>	64
Tabla 12. <i>Costo tiempo, La Forestal Tramo I</i>	65
Tabla 13. <i>Costo tiempo, La Forestal Tramo II</i>	66
Tabla 14. <i>Costo tiempo, Monjas Tramo II</i>	66
Tabla 15. <i>Volumen a remover acorde al diseño de terrazas de La Forestal Tramo I y II</i>	67
Tabla 16. <i>Presupuesto referencial de las alternativas de mitigación para La Forestal Tramo I</i>	68
Tabla 17. <i>Presupuesto referencial de las alternativas de mitigación para La Forestal Tramo II</i>	69
Tabla 18. <i>Presupuesto referencial de las alternativas de mitigación para Monjas Tramo II</i>	70
Tabla 19. <i>Costos del daño, remoción y alternativas de mitigación</i>	70
Tabla 20. <i>Relación Costo-Beneficio de Alternativas de Mitigación</i>	71

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Segmento de Fallas Ilumbisí - LaBota y Puengasí	4
<i>Figura 2.</i> Mapa de Ubicación de la Zona de Estudio	6
<i>Figura 3.</i> Partes de un deslizamiento.....	14
<i>Figura 4.</i> Esquema de un plano de falla	15
<i>Figura 5.</i> Envoltente de falla y círculo de Mohr.....	17
<i>Figura 6.</i> Secciones Transversales.....	19
<i>Figura 7.</i> Método de Áreas Medias	19
<i>Figura 8.</i> Método del Prismoide	20
<i>Figura 9.</i> Clasificación de las Técnicas de Mitigación.....	23
<i>Figura 10.</i> Anclaje de talud	24
<i>Figura 11.</i> Clasificación de los Anclajes	24
<i>Figura 12.</i> Delimitación de la zona de estudio	31
<i>Figura 13.</i> Zona vulnerable a movimiento en masa	32
<i>Figura 14.</i> Puntos de alto Riesgo.....	33
<i>Figura 15.</i> Zona de alto riesgo La Forestal Tramo I, Abs. 15+000	34
<i>Figura 16.</i> Vista del talud en el sector de la Forestal Tramo I.....	34
<i>Figura 17.</i> Zona de alto riesgo La Forestal Tramo II, Abs. 16+000.....	35
<i>Figura 18.</i> Vista del talud en el sector de la Forestal Tramo II	35
<i>Figura 19.</i> Zona de alto riesgo La Forestal Tramo III, Abs. 17+000	36
<i>Figura 20.</i> Vista del talud en el sector de la Forestal Tramo III.....	36
<i>Figura 21.</i> Zona de alto riesgo Monjas Tramo I, Abs. 20+000	37
<i>Figura 22.</i> Vista del talud en el sector de Monjas Tramo I	37
<i>Figura 23.</i> Zona de alto riesgo Monjas Tramo II, Abs. 21+000.....	38
<i>Figura 24.</i> Vista del talud en el sector de Monjas Tramo II.....	38
<i>Figura 25.</i> Señalización de los puntos de control fotogramétrico en el terreno	39
<i>Figura 26.</i> Marcas de los puntos de control fotogramétrico.....	39
<i>Figura 27.</i> Toma de puntos de control fotogramétrico	40
<i>Figura 28.</i> Phantom 3 Professional.....	43
<i>Figura 29.</i> Procesamiento de las fotografías aéreas	45
<i>Figura 30.</i> Visualización del Modelo 3D	46
<i>Figura 31.</i> DEM de la zona de alto riesgo La Forestal Tramo I.....	47
<i>Figura 32.</i> DEM de la zona de alto riesgo La Forestal Tramo II.....	47
<i>Figura 33.</i> DEM de la zona de alto riesgo La Forestal Tramo III	48
<i>Figura 34.</i> DEM de la zona de alto riesgo Monjas Tramo I.....	48
<i>Figura 35.</i> DEM de la zona de alto riesgo Monjas Tramo II.....	49
<i>Figura 36.</i> Shapefile de líneas sobre el.....	50
<i>Figura 37.</i> Líneas separadas a una distancia de 50 metros	50
<i>Figura 38.</i> DEM y shapefile de líneas en ArcGIS	51
<i>Figura 39.</i> Modelo Cartográfico de un Perfil	51
<i>Figura 40.</i> Creación de un nuevo proyecto con el módulo SLOPE/W	52

<i>Figura 41.</i> Perfil convertido en región en AutoCAD	53
<i>Figura 42.</i> Ingreso del tipo de análisis.....	53
<i>Figura 43.</i> Ingreso del material.....	54
<i>Figura 44.</i> Características del material	54
<i>Figura 45.</i> Ingreso de la carga sísmica	55
<i>Figura 46.</i> Visualización de la masa del deslizamiento.....	56
<i>Figura 47.</i> Visualización de la información del plano de falla.....	56
<i>Figura 48.</i> Visualización gráfica del plano de falla.....	57
<i>Figura 49.</i> Visualización gráfica del plano de falla ubicado sobre la vía.....	57
<i>Figura 50.</i> Visualización gráfica del plano de falla ubicado bajo la vía	57
<i>Figura 51.</i> Alternativas de Mitigación.....	59
<i>Figura 52.</i> Volúmenes de las zonas de alto riesgo.....	72
<i>Figura 53.</i> Costo de las zonas de alto riesgo	73

RESUMEN

En la Cordillera de los Andes la presencia de movimientos en masa produce incidentes serios y continuos como alta obstrucción al flujo vehicular y daños en infraestructura, ocasionando pérdidas monetarias. Por tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar el volumen de los probables movimientos en masa, estimar el costo de los mismos, y analizar alternativas de mitigación para disminuir los potenciales desastres y pérdidas monetarias innecesarias en la Avenida Simón Bolívar del DMQ, para lo cual se utilizaron nuevas tecnologías como los UAV y el software GeoSlope para modelar el terreno de acuerdo a los distintos planos de falla. Para esto se realizó trabajo en campo donde se identificó cinco zonas de alto riesgo que fueron analizadas en GeoSlope, de donde se dedujo que las zonas Forestal Tramo I y II, Monjas II presentan inestabilidad a causa de que los valores de sus factores de seguridad son 1,1. Estas fueron consideradas para realizar los cálculos de volumen y costos, cuyos resultados fueron que el sector de La Forestal Tramo I, tiene un mayor volumen en comparación con las otras zonas, con un valor de $2'963.368,875 m^3$ con un costo de \$ 5'356.653,98, a consecuencia de esto se propuso alternativas de mitigación para los tres sectores analizados con el fin de minimizar el impacto, como terrazas, geomembrana, hidrosiembra y hormigón lanzado. La hidrosiembra representa la mejor alternativa costo efectiva.

PALABRAS CLAVES:

- **MOVIMIENTO EN MASA**
- **PLANO DE FALLA**
- **VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO – UAV**
- **MITIGACIÓN**
- **COSTOS RECURRENTE**

ABSTRACT

Landslides in Andes Mountains cause serious incidents from infrastructure loss through traffic congestion and as result significant monetary losses. As a result, the main objective of this study is to evaluate landslide volume and estimate its cost, as well as evaluate different options to mitigate and reduce potential disasters and unnecessary economic losses at the Quito Metropolitan Districts' Simon Bolivar highway. In order to achieve this goal, new technologies such as UAV and software like GeoSlope were use to land modeling based on different land faults. During study field work, five high risk areas were found. These risk areas were analyzed with GeoSlope. From the analysis, it concludes that Forestal Section I y II and Monjas II show higher instability as result from a safety value of 1.1. The safety value was considered in order to estimate land volume and embedded cost. The Forestal Section I has the highest value compared to the other four highway sections analyzed. Section I has a volume 2' 963 368,875 m³ of land and a cost of 5'356,653.98 US\$. Based on these results, different alternatives were evaluated in the sections with highest land instability including land terraces, geomembrane sheets, hydroseeding lawn and concrete spray. Among them, hydroseeding proved to be the most cost-effective.

KEYWORDS:

- **LANDSLIDES**
- **LAND FAULTS**
- **UNMANNED AERIAL VEHICLE – UAV**
- **MITIGATION**
- **RECURRING COSTS**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La expansión de la ciudad y la necesidad de movilizarse cada vez en tiempos más cortos, conllevó a la construcción de la Avenida Simón Bolívar en el año de 1980 para beneficio de todos los Quiteños, desde entonces se han realizado distintos trabajos para su mantenimiento, como el suscitado en el año 2011, proyecto manejado por la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP) donde se prestó mayor atención a la estabilización de taludes (EPMOP, 2012).

Varios han sido los trabajos para predecir las zonas con mayor afectación por los deslizamientos en masa entre los que se encuentran:

- Raquel Zafrir: “Estimación de la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa mediante el método Fuzzdes, en la zona urbana de la administración zonal norte Eugenio Espejo, del Distrito Metropolitano de Quito.” Tesis de Grado ESPE, Sangolquí, 2015.
- Lorena Andocilla: “Implementación del algoritmo de Lógica Fuzzy aplicado a la determinación del grado de susceptibilidad a deslizamientos en el área Monjas – Ferroviaria – La Magdalena – Itchimbia del Distrito Metropolitano de Quito.” Tesis de Grado ESPE, Sangolquí, 2012.
- Jaime Bonachea Pico: “Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos.” Tesis doctoral, España, 2006.

Como consecuencia de los estudios mencionados anteriormente, se ha implementado el analizar el volumen, el daño y alternativas de mitigación para

enfrentar dicho fenómeno con el uso de nuevas tecnologías como es el caso de los drones que prestan mayor facilidad para obtener la topografía de algunos lugares inaccesibles (Ramos, 2015), así también el manejo de software como GeoSlope, que permite diferenciar las superficies de ruptura y falla.

Además, en el transcurso de las dos últimas décadas, la preocupación de los daños producto de procesos geomorfológicos se han incrementado, tanto a nivel mundial como local, es así que Bonachea (2006), desarrolló un procedimiento para evaluar de forma cuantitativa, la peligrosidad y el riesgo por deslizamientos en España, a partir de lo cual obtuvo como resultado que el principal efecto indirecto en la zona de estudio es la interrupción de las vías de comunicación que implica fundamentalmente pérdidas en la actividad productiva. Metodología que es importante considerarla dentro del presente trabajo ya que ayuda a estimar el costo por daño de los deslizamientos y tiene relación directa con el costo-beneficio.

1.2. Planteamiento del problema

Los procesos demográficos en los últimos años han determinado la utilización irracional del terreno (Orellana & Zea-La-Rochelle, 2008) que tras la búsqueda de áreas para viviendas han utilizado de forma irresponsable los espacios verdes provocando que el suelo sea vulnerable en los diversos sectores frente a las amenazas naturales (Benitez, 2015).

Todo lo cual ha desencadenado en frecuentes movimientos en masa (Andocilla, 2012) que producen alta obstrucción al flujo vehicular y daños en infraestructura tanto vial como habitacional, ocasionando pérdidas materiales y financieras (Ávalos, 2014), como los que se han suscitado en la provincias de Azuay, Esmeraldas, Manabí, Pichincha, Cañar, Loja y Napo, a las cuales la Secretaría de Gestión de Riesgos ha destinado recursos para los estudios de análisis de taludes inestables en las carreteras Aloag – Santo Domingo en el tramo Tandapi – Alluriquín y en la vía Papallacta – Baeza durante los años 2015 y 2017 ya que estas vías conectan a la Región Costa y Amazónica y demandan mayor preocupación por su alta demanda vehicular (SGR, 2014).

Pese a que se ha mostrado un interés sobre los estudios que analicen la inestabilidad de los taludes, pocos han sido los avances de evaluar cuantitativamente el riesgo en la Avenida Simón Bolívar, lo que se refleja en dificultades para obtener información de pérdidas pasadas, así como para poder predecir las futuras, especialmente si es que no se consideran las pérdidas indirectas como es el caso de la interrupción en las actividades económicas (Bonachea, 2006).

Es así que el presente trabajo pretende evaluar el volumen de los movimientos en masa recurrentes y estimar el costo de los mismos, y a su vez analizar alternativas de mitigación para poder disminuir los potenciales desastres y pérdidas monetarias innecesarias. Se ha escogió el tramo de la Avenida Simón Bolívar comprendido desde el sector de la Forestal hasta la intersección de la Autopista General Rumiñahui del DMQ, puesto que este se encuentra en zonas amenazadas por movimientos en masa de elevado riesgo (Andocilla, 2012).

1.3. Justificación e Importancia

En el transcurso del último siglo han aumentado el número de eventos catastróficos por procesos naturales al nivel mundial, los países que más han sufrido las consecuencias por daños ocasionados por estos fenómenos naturales son de Asia, América y África (Alexander, 1993; Alcántara, 2002; UNISDR, 2002; EM-DAT, 2005).

En el caso de América, específicamente Ecuador, Aguiar (2017) menciona que este país soporta sismicidad y volcanismo, debido a la subducción que presenta la placa de Nazca frente a la Placa de América, desencadenando en una mega falla que inicia en el golfo de Guayaquil y se extiende hasta la falla Pallatanga, continúa por las fallas ciegas de Quito, más adelante en la falla Romeral ubicada en Colombia, terminando en la falla Boconó en Venezuela. Desde 1994 hasta el 2009, se han registrado 1758 sismos con magnitudes comprendidas entre 3,0 y 3.5, donde inciden sismos con profundidad de 20 km, en Quito, datos que demuestran que estas fallas ciegas se encuentran activas.

La Loma de Puengasí e Ilumbisí forman parte de estas fallas ciegas (Ver Figura 1), lo preocupante es que estas fallas ciegas pueden generar sismos con magnitud mayor a 6,0, y no se tiene una idea clara de las aceleraciones máximas y de los espectros que se generan durante un sismo, la ciudadanía debe conocer que las aceleraciones verticales podrían ser muy altas y por tanto es imprescindible tomar medidas serias en las construcciones.



Figura 1. Segmento de Fallas Ilumbisí - LaBota y Puengasí

Fuente: (Aguiar, 2017).

Las fallas ciegas en Quito pueden ocasionar sismos que tienden a desencadenar movimientos de masa, los mismos que se encuentran influenciados por otros factores como el clima, lo cual se ha evidenciado en el Plan de Lluvias 2016 de la Municipalidad de Quito, que en la última época invernal comprendida entre octubre del 2015 y mayo del 2016 se registraron 104 movimientos en masa y el colapso de 44 estructuras. Para ayudar a las personas afectadas por los incidentes, el Municipio del DMQ invirtió un fondo de emergencia de \$2 millones y para reducir el número de afectaciones, se ha seguido los lineamientos de un plan de prevención y respuesta de \$12 millones para la construcción de obras como muros de contención, puentes elevados, entre otros, lo cual permitirá tener un estimado del costo que podría resultar del tema de investigación en curso (El Universo, 2016).

A consecuencia de los múltiples deslizamientos en la ciudad de Quito, varios han sido los estudios que buscan los lugares con mayor incidencia, tal como menciona Andocilla (2012), en el centro – sur de la ciudad de Quito, vías principales como la Avenida Simón Bolívar y la Autopista General Rumiñahui en el tramo comprendido entre el Trébol y el peaje, son zonas con alta susceptibilidad a deslizamientos, lo cual se comprobó a partir de la ejecución de la metodología Lógica Fuzzy en plataformas SIG, la misma que consiste en varios modelos de ocurrencia a deslizamientos y fue desarrollada a partir de trabajo en campo y un inventario de deslizamientos analizados con fotointerpretación, así como la obtención de mapas, información que sirvió de base para obtener la litología, estructuras, sismicidad, volcanismo, clima, relieve, causas internas y causas externas, constituyendo los parámetros para iniciar la metodología, dando finalmente lugar a los diversos modelos que a partir de un ajuste permitieron identificar cuál de ellos concuerda con la realidad del terreno.

En el año 2011, en el sector La Forestal, al sur de la ciudad un gran deslizamiento interrumpió la circulación vehicular en la Avenida Simón Bolívar, lo que ocasionó 6 muertes y la necesaria evacuación y relocalización de un centenar de familias (Secretaría de Planificación y Desarrollo, 2013).

Como consecuencia de los sucesos citados con anterioridad, es primordial establecer una metodología que permita evaluar el volumen de los movimientos en masa en las zonas consideradas de alto riesgo y a su vez estimar el costo que representa la remoción de materiales producto de estos eventos y el daño ocasionado a la infraestructura (vías, viviendas, alumbrado eléctrico, entre otros) de dicho sitio, con el propósito de ayudar a los organismos competentes a la toma de decisiones en cuanto a la prevención de riesgos, adecuado ordenamiento de la infraestructura, actividad económica y población.

1.4. Descripción del Área de Estudio

El presente proyecto se desarrolló en la Avenida Simón Bolívar, perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en el tramo comprendido desde el

sector de La Forestal hasta la intersección con la Autopista General Rumiñahui. El DMQ se encuentra en la provincia de Pichincha, situada en la zona central norte de la Cordillera de los Andes, que atraviesa el Ecuador de Norte a Sur.

Las coordenadas del área de estudio, se encuentran en el sistema de referencia SIRGAS y proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona 17 Sur, las cuales son: Punto 1: 777432,72 E; 9970432,13 N y Punto 2: 779700,96 E; 9973769,26 N.

En la Figura 2, se muestra la zona de estudio, ubicada en la periferia del DMQ, la cual fue construida con el fin de brindar a la ciudadanía una mayor fluidez vial, tanto para habitantes de los barrios de influencia como son: Forestal, San José de Monjas, Edén del Valle, entre otros, así como para los conductores que utilizan usualmente esta vía como de paso hacia sus destinos urbanos y fuera de la ciudad (EPMOP, 2012).



Figura 2. Mapa de Ubicación de la Zona de Estudio

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar el volumen de los movimientos en masa recurrentes, estimación del costo por daños y remoción en la Avenida Simón Bolívar en el tramo comprendido desde el sector de La Forestal hasta la Autopista General Rumiñahui del Distrito Metropolitano de Quito y diseñar una propuesta de alternativas de mitigación, disminuir los potenciales desastres y pérdidas económicas innecesarias.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Identificar las zonas vulnerables y de alto riesgo a movimientos en masa mediante toma de datos en campo.
- Realizar una toma de datos y procesamiento fotogramétrico mediante vehículos aéreos no tripulados – UAV.
- Calcular los volúmenes de los taludes en zonas de altos riesgos propensos a movimientos en masa, mediante un modelo digital de elevación y planos de falla, para identificar de forma cuantitativa el daño que puede ocasionar.
- Estimar el costo recurrente del daño ocasionado y remoción, ante un probable movimiento en masa en las zonas de alto riesgo.
- Evaluar las alternativas preventivas para minimizar los daños ante un posible movimiento en masa en las zonas de alto riesgo y así poder elegir la medida más costo-efectiva que disminuya los daños.

1.6. Metas

De acuerdo a los objetivos, se realizará una geodatabase que contenga:

- 5 mapas temáticos a escala 1:5000 de las zonas de alto riesgo.
- 5 modelos digitales de elevación a escala 1:5000 de las zonas de alto riesgo.
- 1 mapa temático a escala 1:20000 del volumen de los taludes ante un probable movimiento en masa de las zonas de alto riesgo.

- 1 mapa temático a escala 1:20000 del costo ante un probable movimiento en masa de las zonas de alto riesgo.
- Una matriz comparativa de las alternativas de mitigación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentación Teórica

2.1.1. Tecnologías de la Información Geográfica

Según Quiros (2001), las Tecnologías de Información Geográfica permite el manejo del espacio geográfico, la modelación, simulación, que incorpora técnicas, métodos clásicos, antiguos y modernos como la fotogrametría y los sistemas de información geográfica. Debido a que en el caso de presentarse un movimiento en masa es necesario estimar un volumen preciso para no tener cálculos erróneos el momento de evaluar el presupuesto a causa de la remoción de escombros producto de este fenómeno, se utilizó fotogrametría, puesto que Sánchez, J. (2007), menciona que esta es una técnica que permite obtener medidas confiables de objetos físicos a través de fotografías, utilizándose fotografías aéreas para el presente trabajo. Para obtener fotografías aéreas se puede utilizar vehículos aéreos no tripulados – UAV.

IGNE (2017) afirma que la Geodesia es una ciencia básica para la fotogrametría a través de sus fundamentos físicos y matemáticos, siendo de especial relevancia la Geodesia Satelital ya que consigue ubicar puntos de control que pueden ser colocados en lugares de interés (Suárez, 2014). Es así que resulta de gran interés la geodesia para el proceso fotogramétrico, el cual según Otero et al. (2010), permite obtener información espacial cuantitativa a partir de objetos y métodos empleando fotografías aéreas, cuyos productos resultantes de este proceso son: el modelo digital de superficie, el ortofotomosaico, volúmenes, superficies, levantamientos topográficos y elaboración de planos.

A partir de un modelo digital de superficie se puede obtener un modelo digital de elevación, entendiéndose a este como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud sobre la superficie del terreno

(Pucha, et al., 2017) y al ortofotomosaico como la representación continua y uniforme de un área de la superficie de la Tierra (IGAC, 2008).

El ortofotomosaico y el modelo digital de elevación mencionados anteriormente serán utilizados como insumos para la modelación del terreno de la zona de estudio del presente trabajo.

2.1.2. Gestión de Riesgo

Actualmente una gran cantidad de personas están localizadas en zonas propensas a fenómenos naturales, tales como inundaciones, deslizamientos, terremotos, huracanes, entre otros. Es así que estos fenómenos naturales se han transformado en amenazas y que cada que suceden en determinada zona de influencia, provocan innumerables daños, así como pérdidas humanas y económicas (PNUD, 2012).

En consecuencia, de lo mencionado anteriormente surge la Gestión de Riesgos, entendida como un proceso planificado, participativo e integral de disminución de las circunstancias de riesgo de desastres de una sociedad (PNUD, 2012), y según (Salazar, Cortez, & Mariscal, 2002), un desastre sucede el momento que un fenómeno natural se transforma en una amenaza, influyendo negativamente en las personas, las cuales al carecer de suficientes capacidades, pueden ser están económicas, educativas, de infraestructura, entre otras para sobrellevar este peligro, se hace vulnerable.

Por tanto, la existencia y características del riesgo se explican por factores específicos de riesgo que son la amenaza y vulnerabilidad (Lavell, 2004).

De acuerdo con Ulloa (2011) las amenazas pueden ser:

- De origen natural o generado por los procesos dinámicos propios del planeta, como: sismos, actividad volcánica, movimientos en masa, inundaciones, sequías, entre otros.

- Socio-natural, si perturba a los seres humanos y sus procesos de desarrollo, como las plagas y epidemias.
- Inducidos por la acción de los seres humanos, como: incendios, explosiones, derrame de sustancias químicas peligrosas, contaminación ambiental, entre otras.

2.1.2.1. Movimientos en masa

Cruden & Varnes (1996), definieron a los movimientos en masa como “Todos los movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efecto de la gravedad”. Según Escobar, Enrique, & Escobar (2016) “un movimiento en masa es el desplazamiento del terreno que constituye una ladera o un talud, hacia el exterior del mismo y en sentido descendente”.

Los movimientos de masa son procesos geológicos que causan, daños ambientales, cambios en la morfología del terreno, daños a la propiedad tanto privada como pública, la infraestructura en general (Suárez, 2005). Arrastran suelo y roca por acción de la gravedad, cuando las tensiones que soportan sobrepasan la resistencia, dando lugar a un desprendimiento de volumen.

La eventualidad de que suceda un movimiento de masa es mayor en zonas montañosas, puesto que normalmente se unen elementos que dan paso a este fenómeno como son el relieve, la sismicidad, la meteorización y la pluviosidad (Suárez, 2005). En el caso del relieve se conoce que los movimientos en masa tienen mayor probabilidad de ocurrir en zonas donde el relieve tiene más pendiente. La sismicidad por otro lado ocasiona vibraciones que desequilibran las laderas, facilitando el origen de las deformaciones y roturas en el terreno. Aparte las lluvias saturan los suelos y dan paso a alteraciones en sus propiedades mecánicas y pérdida de resistencia (Alcaldía de Medellín, 2008).

Las actividades antrópicas, influyen en la intensidad, frecuencia y ocurrencia de los movimientos en masa que al igual que las naturales originan factores que favorecen el desarrollo de los movimientos en masa, entre los que se tiene:

excavaciones, sobrecargas, deforestación y manejo de aguas (Municipalidad de Medellín, 2008).

Clasificación de los movimientos en masa

La clasificación de los movimientos en masa (Tabla 1), según el material y el tipo de movimiento, propuesta por Varner en 1985, divide a los materiales en rocas y suelo, además de los movimientos en (GEMMA, 2007):

1. La caída se presenta cuando un bloque de suelo o roca se despega de una ladera, esto es tipo de movimiento puntual, porque no afecta al resto de la superficie. El movimiento presenta velocidades rápidas mayores a 5×10^1 mm/s.
2. Los volcamientos son un movimiento, donde un bloque de suelo o roca gira hacia delante alrededor de un punto fijo en su parte inferior.
3. Los deslizamientos son movimientos de suelo o roca relativamente rápidos que van ladera abajo sobre una o varias superficies de rotura.
4. La propagación lateral es un movimiento horizontal de masas duras producido por deformación interna del material.
5. Los flujos son movimientos semejantes a un fluido, que varía de rápido a lento o de saturado a seco, en varios casos son consecuencias de otro tipo de movimiento.

Las velocidades de los distintos movimientos en masa se indican en la Tabla 2, como resumen para tener una referencia de los que pueden causar mayor daño por este aspecto.

Tabla 1.
Tipos de movimientos en masa

Tipo	Subtipo
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento Traslacional Deslizamiento de en Cuña Deslizamiento Rotacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación
Tipo	Subtipo
Reptación	Reptación de suelos Soliflucción, geliflucción
Flujo	Flujo de Detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de rocas Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación

Fuente: (GEMMA, 2007)

Tabla 2.
Escala de velocidades

Clases de Velocidad	Descripción	Velocidad (mm/s)	Velocidad típica
7	Extremadamente rápida	5×10^3	5 m/s
6	Muy rápida	5×10^1	3 m/min
5	Rápida	5×10^{-1}	1,8 m/h
4	Moderada	5×10^{-3}	13 m/mes
3	Lenta	5×10^{-5}	1,6 m/año
2	Muy Lenta	5×10^{-7}	16 mm/año
1	Extremadamente lenta		

Fuente: (Cruden & Varnes, 1996)

Partes de un deslizamiento

Para un movimiento típico las partes principales son las indicadas en la Figura 3:

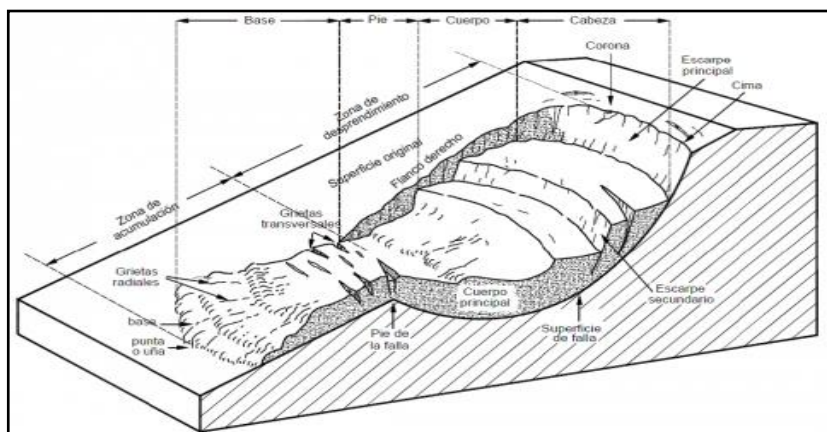


Figura 3. Partes de un deslizamiento

Fuente: (Suárez, 2005).

1. **Cabeza:** Parte superior del material con tendencia a moverse.
2. **Cima:** Punto más alto de la cabeza, entre el material sensible y el escarpe principal.
3. **Corona:** Material inalterado, adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.
4. **Escarpe principal:** Parte superior vertical o semivertical del plano de falla que queda expuesta en superficie por el movimiento ladera abajo del cuerpo principal.
5. **Escarpe secundario:** Planos de Falla secundarios que ocurren por el rompimiento diferencial del cuerpo del deslizamiento y quedan parcialmente expuestos en superficie.
6. **Superficie de falla:** Es el plano más débil a lo largo del cual se rompe el material debido a que las fuerzas que actúan sobre el son superiores a la resistencia interna del material a lo largo de ese plano.
7. **Pie de la superficie de falla:** Se encuentra en la intersección entre la parte más baja de la superficie de falla de un deslizamiento y la superficie original del terreno.
8. **Base:** Área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie.

9. **Punto o uña:** Punto ubicado en el perímetro del pie, que está más alejado de la corona del movimiento en masa.
10. **Cuerpo principal del deslizamiento:** Parte del material desplazado que reposa sobre la superficie de falla, entre el escarpe principal y el pie de la superficie de falla.
11. **Superficie original del terreno:** Superficie que existía antes de la ocurrencia del movimiento en masa en el talud o ladera.

Factores para que existan movimientos en masa

Lara & Sepulveda (2008) mencionan que existen ciertos factores que condicionan la estabilidad del terreno tales como la geomorfología, geología, geotecnia, hidrología, clima y vegetación.

Planos de Falla

Al surgir un aumento en las presiones del suelo producto de la construcción de alguna estructura u obra de ingeniería se producen esfuerzos para poder conservar el equilibrio existente antes de dar lugar a un fenómeno externo.

Un plano de falla o deslizamiento (Ver Figura 4) se genera al quebrantar el equilibrio existente a causa de que la resultante de los esfuerzos interiores de la masa de suelo es mayor a la magnitud de la carga exterior, de tal forma que un plano de falla no es más que planos en donde una masa de suelo adquirió un movimiento relativo en relación a otra (Leoni, 2012).

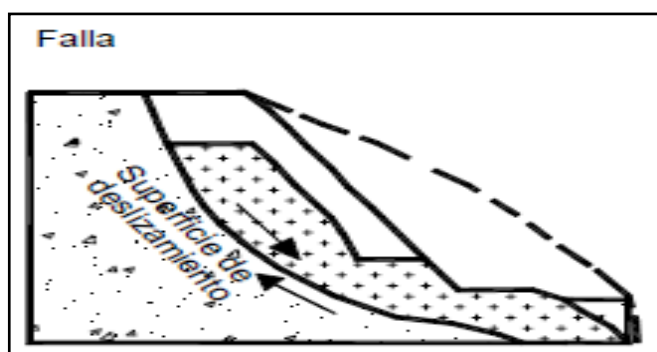


Figura 4. Esquema de un plano de falla

Fuente (Leoni, 2012)

El tipo de falla de corte es el que prevalece en los suelos, dicha falla se da en determinado punto de la masa de suelo, generándose en la superficie una combinación crítica entre el esfuerzo de corte y el esfuerzo normal cuya correlación da lugar a la ecuación de la línea de rotura o de falla a través del diagrama de Mohr – Coulomb, la misma que depende de los parámetros de resistencia al corte como lo son la cohesión, ángulo de fricción interna y peso específico (Leoni, 2012).

Círculo de Mohr o falla Mohr Coulomb

El método más empleado para representar los resultados de ensayos de corte en los suelos es el diagrama de Mohr, en donde:

- El círculo de Mohr surge a partir de un ensayo triaxial y representa la resistencia al cortante de los suelos.
- La envolvente de los círculos de Mohr o falla Mohr – Coulomb, indica el estado de los esfuerzos en el instante de una falla al cortante, de tal manera que los puntos de la envolvente de falla representan los esfuerzos que producen falla al cortante y los esfuerzos por encima de ésta no pueden existir.

De forma general si se obtiene tres o más probetas representativas de un determinado suelo y de ellas se realiza ensayos triaxiales se genera tres círculos de rotura, y al unir estos puntos de rotura da como resultado la envolvente o curva de resistencia intrínseca, en donde el ángulo que forma la misma con el eje de las abscisas se denomina ángulo de fricción interna y el valor de la ordenada al origen se denomina cohesión (Ver Figura 5).

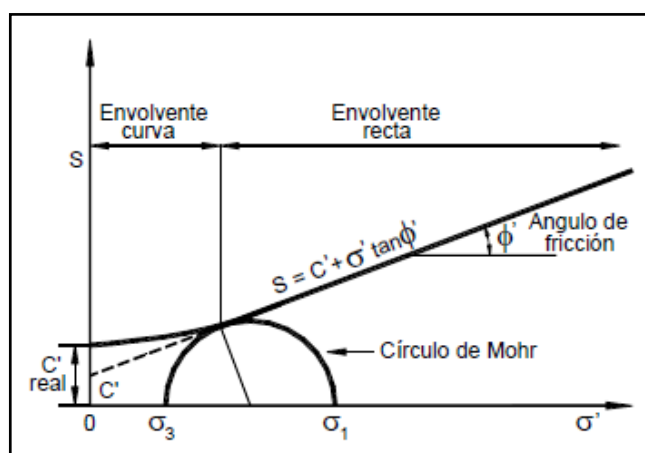


Figura 5. Envolvente de falla y círculo de Mohr

Fuente: (Suárez, 1998)

Donde:

c' = Intercepto del eje de resistencia (cohesión) y

ϕ' = Pendiente de la envolvente (ángulo de fricción).

Equilibrio Límite y Factor de seguridad (Fs)

El método de equilibrio límite se basa en la manifestación de una falla de forma conocida o supuesta a lo largo de una superficie continua de deslizamiento, a partir de lo cual se obtiene un factor de seguridad estimado del talud en relación a la resistencia al corte (Potes, Duque, & Escobar, 2016).

El principio del equilibrio límite emplea el siguiente procedimiento:

- Asume una superficie de falla
- Estudia el equilibrio de la masa de suelo que se deslizaría
- Asume un factor de seguridad, dado por la relación entre la resistencia al corte disponible en el suelo, y los esfuerzos movilizados en el suelo a causa de fuerzas actuantes en la masa considerada, cuyo cálculo se fundamenta en un análisis estático que predice los esfuerzos cortantes de la falla del talud.

El equilibrio límite supone que, si existe una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de esta equivalente a un factor de seguridad de 1.0 (Suarez, 1998). Si el factor de seguridad es mayor a un valor de 1,00

quiere decir que existe ausencia de movimiento en la masa del suelo, a diferencia de valores menores a 1,00.

- Utiliza el criterio de falla de Mohr-Coulomb

De forma general el factor de seguridad mínimo contra una falla por capacidad de carga, debe ser mayor que uno ($F_s \geq 1$) y para taludes con suelo reforzado es de 1,5 para análisis estáticos y 1,1 en sísmicos ($F_s \geq 1,1$) (Navarro, 2008).

Si es que los valores de los factores de seguridad son menores que uno, es indispensable realizar un procedimiento de construcción bastante cuidadoso en cuanto a medidas de mitigación (Navarro, 2008).

Carga sísmica

Los movimientos sísmicos pueden activar deslizamientos, provocando un incremento en el esfuerzo cortante, disminución de resistencia por las cargas vibratorias, aumento de presión de los poros y deformaciones (Suarez, 1998).

Para un análisis sísmico de taludes el parámetro más usado es la aceleración producto de un sismo, dando lugar a la aceleración horizontal y vertical, siendo las aceleraciones verticales consideradas en menor medida que las horizontales ya que se considera que su efecto sobre las estructuras es menor (Suarez, 1998).

Volumen

Según Casanova (2002) el volumen se encuentra definido por la medida que un cuerpo ocupa en el espacio y por lo común es expresado en m^3 muy utilizado en proyectos de ingeniería.

El volumen calculado para casos de ingeniería debe efectuarse a partir de secciones transversales que sean perpendiculares al eje central, que con frecuencia pueden ser cortes en trinchera, en ladera, en relleno o terraplén y a media ladera como se puede observar en la Figura 6.

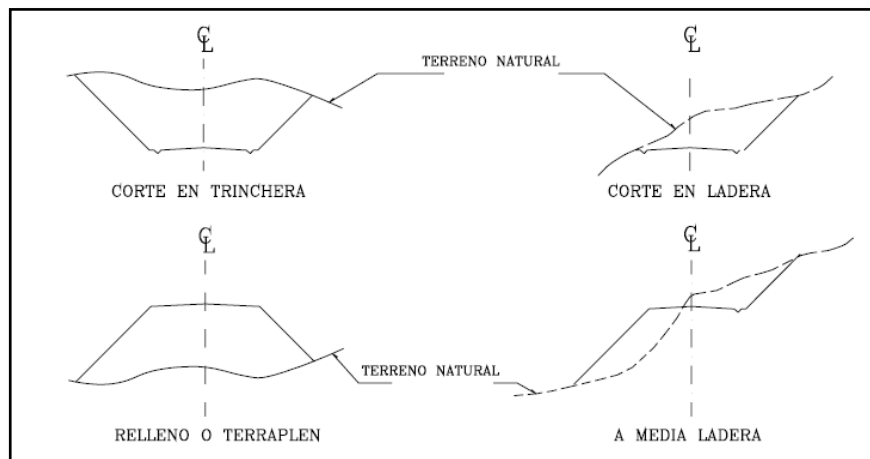


Figura 6. Secciones Transversales

Fuente: (Casanova, 2002)

Es recomendable trazar secciones en los puntos característicos del alineamiento, y en aquellos puntos donde el terreno sufra diferencias significativas. Para calcular el volumen generalmente se emplea las áreas medias y el método del prismoide.

Método de las áreas Medias

Este método es el más utilizado cuando existe irregularidad del terreno, en casos que no se puede establecer las secciones transversales a lo largo del eje de la vía, entre otras situaciones, el mismo está dado por (Ver Figura 7):

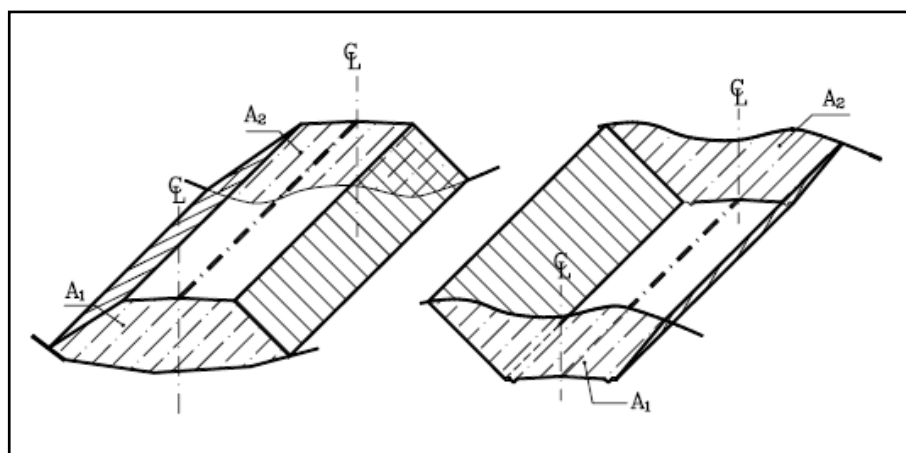


Figura 7. Método de Áreas Medias

Fuente: (Casanova, 2002)

$$V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2) * d \quad (1)$$

Donde

V= volumen entre ambas secciones

A_1, A_2 = Área de las secciones S1 y S2

d = Distancia entre secciones en m

Método del Prismoide

El método del prismoide a diferencia del método de áreas medias no asume que el área transversal varía linealmente con la longitud, por lo que resulta en una mayor precisión y se define de la siguiente forma cuya explicación deriva de la Figura 8.

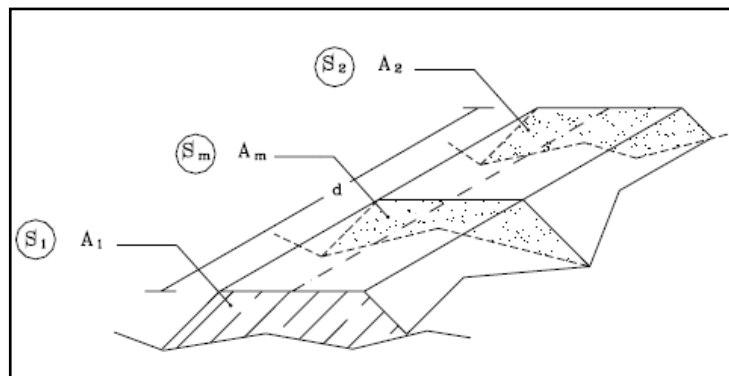


Figura 8. Método del Prismoide

Fuente: (Casanova, 2002)

$$V = \frac{d}{6}(A_1 + A_2 + 4A_m) \quad (2)$$

Donde:

V= volumen entre ambas secciones

A_1, A_2 = Área de las secciones S1 y S2

A_m = Área media de la sección transversal en el punto medio entre S1 y S2

d = Distancia entre secciones en metros

Factor de esponjamiento

Los terrenos al ser excavados para su explanación o en el caso de un movimiento de tierras conllevan un aumento de volumen, el cual se produce por niveles de absorción de agua o vapor superiores a los de su volumen normal cuando está seco (Damiani, 2013).

El factor de esponjamiento es la relación entre la densidad de material suelto y la densidad en banco, o la relación de volúmenes antes y después de la excavación, razón por la cual siempre es necesario conocer que volumen de material es en banco o ya excavado (Tiktin, 1997), entendiéndose como material en banco al estado en el que está un material que no ha tenido ninguna perturbación, mientras que el suelto por lo menos una perturbación (Zapata, 2008).

Los suelos aumentan su volumen cuando son sacados de su lugar en el subsuelo, por tanto, el factor de esponjamiento es indispensable en el análisis de volúmenes de transporte y deposición del material (Damiani, 2013).

Es importante calcular con exactitud los cambios de volumen del material que tienen lugar en las diversas operaciones, sin embargo en ausencia de un estudio se pueden usar los valores de esponjamiento y su factor (Tiktin, 1997), los mismos que pueden ser los de la Tabla 3.

Tabla 3.
Densidades y cambios de volumen

MATERIAL	SUELTO		EN BANCO		
	d_L (t/m ³)	d_B (t/m ³)	S_W (%)	F_W	
CALIZA	1,54	2,61	70	0,59	
ARCILLA:	Estado natural	1,66	2,02	22	0,83
	Seca	1,48	1,84	25	0,81
	Húmeda	1,66	2,08	25	0,80
ARCILLA Y GRAVA:	Seca	1,42	1,66	17	0,86
	Húmeda	1,54	1,84	20	0,84
ROCA ALTERADA:	75% Roca - 25% Tierra	1,96	2,79	43	0,70
	50% Roca - 50% Tierra	1,72	2,28	33	0,75
	25% Roca - 75% Tierra	1,57	1,06	25	0,80
TIERRA:	Seca	1,51	1,90	25	0,80
	Húmeda	1,60	2,02	26	0,79
	Barro	1,25	1,54	23	0,81
GRANITO FRAGMENTADO	1,66	2,73	64	0,61	
GRAVA:	Natural	1,93	2,17	13	0,89
	Seca	1,51	1,69	13	0,89
	Seca de 6 a 50 mm.	1,69	1,90	13	0,89
	Mojada de 6 a 50 mm.	2,02	2,26	13	0,89
ARENA Y ARCILLA	1,60	2,02	26	0,79	
YESO FRAGMENTADO	1,81	3,17	75	0,57	
ARENISCA	1,51	2,52	67	0,60	
ARENA:	Seca	1,42	1,60	13	0,89
	Húmeda	1,69	1,90	13	0,89
	Empapada	1,84	2,08	13	0,89
TIERRA Y GRAVA:	Seca	1,72	1,93	13	0,89
	Húmeda	2,02	2,23	10	0,91
TIERRA VEGETAL	0,95	1,37	44	0,69	
BASALTOS O DIABASAS FRAGMENTADAS	1,75	2,61	49	0,67	
NIEVE:	Seca	0,13	-----	-----	-----
	Húmeda	0,52	-----	-----	-----

Fuente: (Tiktin, 1997)

Donde:

- d_B : Densidad en banco
- d_s : Densidad del material suelto
- S_W : Porcentaje de esponjamiento
- F_W : Factor de esponjamiento

2.1.2.2. Técnicas de Mitigación de Movimientos en masa

Alberti, Sandoval & Canales (2006) mencionan que existen diferentes formas de catalogar las técnicas de mitigación a movimientos en masa como son: de

acuerdo a la función que realizan, el método de ejecución y por otros aspectos que forman parte de las técnicas para la estabilidad del talud.

De acuerdo a estos criterios se define de forma general la clasificación de las técnicas según la función que efectúan sobre el material que se va a asegurar, para una mayor comprensión se presenta de forma resumida a las diferentes técnicas de mitigación en la Figura 9 que se despliega a continuación.

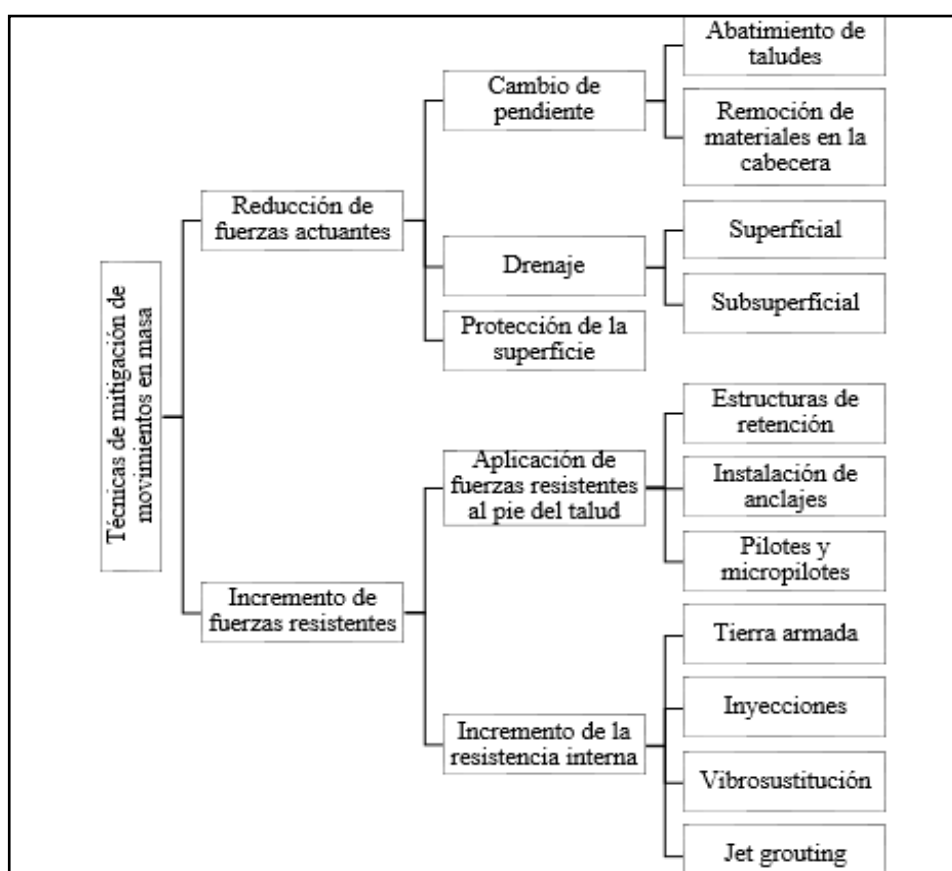


Figura 9. Clasificación de las Técnicas de Mitigación

Fuente: (Alberti, Sandoval, & Canales, 2006)

Por la diversidad que presentan los anclajes es propicio conocerlos, ya que según (Alberti, Sandoval, & Canales, 2006) son estructuras metálicas instaladas dentro de un taladro que va desde el talud y proveen fuerza que empuja en sentido contrario al deslizamiento incrementando la resistencia al movimiento de tierras

(Ver Figura 10). Es así que existen varios criterios para clasificarlos, como se indica en la Figura 11.

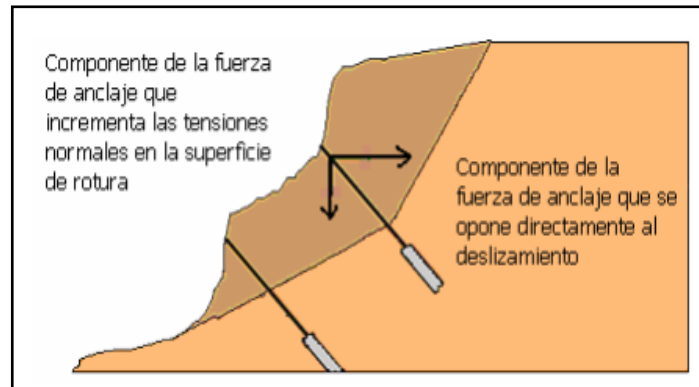


Figura 10. Anclaje de talud

Fuente: (Alberti, Sandoval, & Canales, 2006)

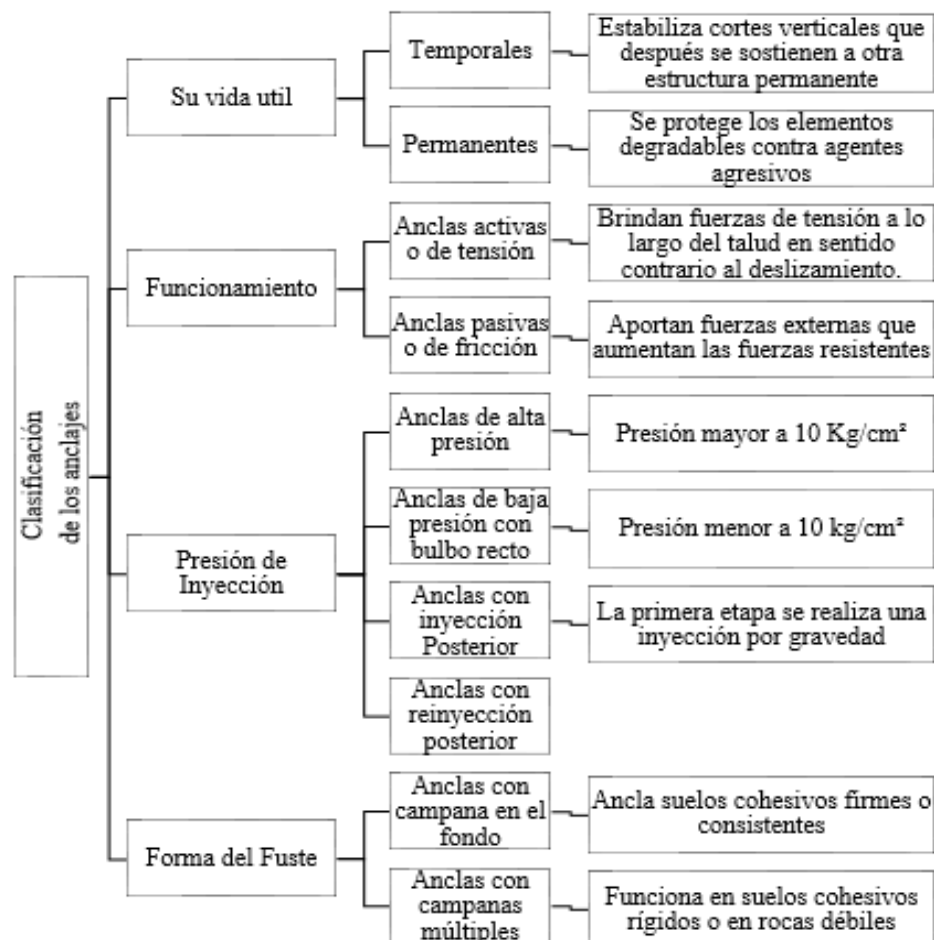


Figura 11. Clasificación de los Anclajes

Fuente: (Alberti, Sandoval, & Canales, 2006)

2.1.3. Costos

Desde la antigüedad el hombre se ha sentido inquietado por conocer, idear y controlar las actividades que se encuentran directamente ligadas a sus finanzas, las mismas que han sufrido fuertes cambios a partir del siglo XV (Díaz, 2003), este hecho ha ocasionado que en ocasiones se planteen varios escenarios para que el inversionista logre tomar la alternativa más indicada de acuerdo a sus requerimientos. Escenarios que enmarcan distintas posturas, por un lado situaciones catastróficas y por los otros beneficios, donde tiene bastante importancia el criterio del inversor quién pagará un valor monetario destinado a la adquisición de bienes o servicios. (UPB, 2010).

Las situaciones catastróficas de origen geológico o hidrológico que requieren de un gran interés para ser valoradas se han convertido en un problema crítico dentro de los centros urbanos en América Latina, debido a que ocasionan un impacto económico que se ve reflejado en la pérdida de inversiones costosas que por causa de estos efectos se ve destruida infraestructura como carreteras, instalaciones energéticas, abastecimiento de agua potable entre otras, bienes que al ser remplazados representan costos que pudieron ser destinados para otras inversiones que incrementen el desarrollo económico y social (NGRD, 1993). La gravedad de este contexto conlleva a cuestionarse el tiempo que le toma a la ciudadanía en recuperar el ritmo de sus actividades cotidianas, y tener los ingresos habituales acostumbrados, valores que pueden ser evaluados con el costo tiempo y costo de oportunidad.

2.1.3.1. Costos de tiempo

El tiempo al ser escaso y valioso puede ser apreciado como un bien económico, es decir puede formar parte de un elemento más de los análisis costo beneficio, y a pesar de no ser un bien almacenable representa un factor importante en la toma de decisiones, bien entendido como un costo de oportunidad. Se pueden dar valoraciones de costo de oportunidad cuando a los usos alternativos se los mide en

dinero y otros métodos de observación al ponerse en contacto alternativas más caras y más rápidas, con otras más baratas, pero más lentas (Díaz, 2004).

2.1.3.2. Costo de oportunidad

El costo de oportunidad es un costo económico o de sustitución, es decir representa el valor de un recurso en su mejor uso alternativo y aporta con información relevante para la toma de decisiones (Cherres, 2015).

La toma de decisiones conlleva desistir a otras opciones, por tanto, a lo que se desiste se conoce como coste de oportunidad, el mismo que se mide en unidades físicas en lugar de unidades monetarias y son importantes porque ayudan a garantizar la calidad de las decisiones futuras (González, 2000).

2.1.3.3. Beneficio – Costo

El beneficio – costo radica en valorar los costos y beneficios de un proyecto para determinar la conveniencia o no de ejecución de dicho proyecto (Morín, 2009).

El análisis costo – beneficio ayuda a evaluar si el costo de una determinada medida es mayor que los beneficios derivados de la misma en un momento y tiempo específicos (Leal, 2010).

El análisis sirve para tomar decisiones en función de dos o más alternativas, evaluar el proyecto, puede ser aplicado en todo tipo de proyecto y los beneficios adquiridos pueden ser monetarios, sociales, ambientales, directos o indirectos (Hillermann, 2011).

Relación beneficio/costo

La relación beneficio - costo se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$\text{Relación beneficio – costo} = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} \quad (3)$$

Donde:

El beneficio es el valor de las pérdidas económicas esperadas, puesto que suponiendo un caso de implementar medidas de mitigación se evita que se produzcan dichas pérdidas (Hernández, 2013).

Cuando se usa esta evaluación se hace la siguiente interpretación:

- Si $B/C > 1$, indica que los beneficios son mayores que los costos, por lo tanto, el proyecto es viable porque genera aportes económicos y sociales a la comunidad.
- Si $B/C = 1$, indica que no hay ganancias, es decir los beneficios son iguales a los costos, lo cual significa que la inversión inicial se recuperó.
- Si $B/C < 1$, indica que los costos son mayores que los beneficios, por lo tanto, el proyecto no debe ser considerado ya que no presenta rentabilidad.

2.1.3.4. Presupuesto

El presupuesto se define por la cantidad de dinero necesaria para realizar una obra o proyecto, fundamentado en la experiencia adquirida en obras de índole similares. La certeza del presupuesto total está basada en el detalle de las unidades de medida y precios unitarios (APUS) que no son otra cosa que la unidad consecuente de distintas actividades, materiales o personal necesarios para una determinada actividad (Beltrán , 2012).

El presupuesto entonces está constituido por costos indirectos y directos que se prevén van a ser necesarios para ejecutar la obra o proyecto, dentro de los cuales se considera:

- **Mano de Obra**

Es el salario basado en la “Tabla de Sueldos y Salarios y Costos Horarios” de la contraloría General del Estado, que se paga al personal que trabaja dentro del proceso de transformación de la materia prima en productos finales, así como al personal que se encuentra ejerciendo trabajos de gabinete para la

organización de las actividades en el proyecto u obra, en fin a todos los involucrados en el proceso (Medina, 2014).

- **Materiales**

Es todo el material establecido de acuerdo a los estudios técnicos, que consideran publicaciones especializadas, registros directos de obra o la experticia de aquellos que diseñan el presupuesto, tales materiales son expresados en unidades de comercialización (CAPECO, 2014).

- **Maquinaria**

En una obra o proyecto se utilizan diferentes maquinarias y el rubro que se emplea en el presupuesto se basa en el precio que tiene el adquirir, hacer funcionar, realizar trabajos y su mantenimiento, dichos costos se representan en años, meses, días y horas, siendo habituales los costos horarios y diarios (CAPECO, 2014).

2.2. Fundamentación Legal

A continuación, se detalla la base legal sobre las consideraciones que se presentan para la construcción de vías.

Según la constitución del Ecuador en el Título VIII, del capítulo primero, sección novena (“Gestión del riesgo”), el Estado tiene la obligación de proteger a las personas y a la naturaleza de los desastres naturales o antrópicos para reducir la vulnerabilidad (Art. 389). Así mismo, en el artículo 397 se establece un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales que sea, eficiente, responsable y solidario (FAO, 2008).

La Ley Orgánica del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos en su apartado declara que: “para alcanzar los objetivos de desarrollo humano establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo, se contempla como una meta a la gestión de los riesgos naturales y antrópicos, adoptando como política la inclusión

de ésta en los procesos de planificación, ordenamiento territorial, inversión y gestión ambiental “(SGR, 2016).

Por otro lado, la Ley de caminos en su artículo 4 del reglamento aplicativo de la ley de caminos, menciona la distancia a la que se pueden construir viviendas o cerramientos que no debe ser menor a 30 m desde el eje de la carretera (MTO, 2011).

Puesto que el presente proyecto usó como insumo un vehículo aéreo no tripulado – UAV, es importante conocer el marco legal asociado a éste, ya que a causa del incremento del uso de UAVs, países de latino América han tenido que crear una regulación estricta para evitar daños posteriores como consecuencia de éstos, para de esta manera asegurar la seguridad de la población y de los espacios aéreos dentro del territorio nacional. Esta regulación en Colombia, Ecuador, Chile y Argentina tienen características comunes y diferencias, puesto que la legislación divide a los UAVs en diversas categorías que dependen del peso y el propósito de su uso, de quien será autorizado para usarlos, en qué condiciones y en dónde (Weston, Moreno, & Velázquez, 2016).

No existe una regulación concreta para los UAVs por parte de la Dirección General Civil Aeronáutica, pero a causa de un constante crecimiento de los mismos se ha creado varias prevenciones como la Resolución Número 251/2015 de UAVs para el Ecuador, la cual establece que su uso está prohibido en espacios aéreos controlados, deben mantener una distancia de cinco millas alrededor de cualquier espacio aéreo o base militar, no podrán exceder una altura de 400 pies, los pilotos no pueden ir en contra de las especificaciones citadas anteriormente o al daño a terceros y deben contratar un seguro especial para dichos drones (Weston, Moreno, & Velázquez, 2016).

2.3. Preguntas de investigación

2.3.1. Pregunta General

¿Cuál es el volumen y el costo por daños y remoción de los movimientos en masa recurrentes en la Avenida Simón Bolívar en el tramo comprendido desde el sector de la Forestal hasta la Autopista General Rumiñahui del Distrito Metropolitano de Quito para diseñar una propuesta de alternativas de mitigación, disminuir los potenciales desastres y pérdidas económicas innecesarias?

2.3.2. Preguntas Específicas

¿Cuáles son las zonas vulnerables y de alto riesgo a movimientos en masa?

¿Para qué serán empleados los vehículos aéreos no tripulados – UAV?

¿Cuál es el volumen ante un probable movimiento en masa en las zonas de alto riesgo?

¿Cuál es el costo estimado del daño ocasionado y remoción ante un probable movimiento en masa en las zonas de alto riesgo?

¿Qué alternativas de mitigación son adecuadas para cada uno de los taludes en las zonas de alto riesgo?

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Delimitación de la zona de Estudio

El presente proyecto se ubica en la Avenida Simón Bolívar en el tramo comprendido entre el sector de La Forestal y la Autopista General Rumiñahui, el área de estudio fue determinada en función de los resultados obtenidos en la Tesis de Lorena Andocilla publicada en el 2012, en la cual se efectuó un modelo probabilístico cuyos resultados muestran que algunas de las zonas más propensas a movimientos en masa se encuentran en los barrios La Forestal, Puengasí y Monjas (Ver Figura 12).



Figura 12. Delimitación de la zona de estudio

3.2. Reconocimiento de las zonas vulnerables

Una vez demostrado que la zona de estudio del presente trabajo es propensa a movimientos en masa, se procedió a recorrer esta, identificando en ella taludes

susceptibles a movimientos en masa, dando lugar a diversas zonas vulnerables, una de ellas se puede visualizar en la Figura 13.



Figura 13. Zona vulnerable a movimiento en masa

De cada uno de estos taludes se obtuvo su posición mediante el uso del GPS y además se levantó información que lo caracterice, tales como infraestructura, asentamientos informales y obras de estabilización lo cual se puede observar en los Anexos 1 a 5.

3.3. Identificación de las zonas de alto riesgo

A partir de la información recopilada de cada una de las zonas vulnerables, se clasificó los taludes susceptibles a deslizamientos, entre más y menos peligrosos, de tal manera que únicamente los puntos clasificados de alto riesgo fueron los seleccionados para ser analizados en el presente trabajo debido a que tienen mayor área de desplazamiento (Ver Figura 14).



Figura 14. Puntos de alto Riesgo

Además, se determinó varias abscisas para cada punto de alto riesgo, considerando como abscisa 0+000 la intersección de la Avenida Simón Bolívar con la Avenida Pedro Vicente Maldonado como punto de inicio. El formato ampliamente usado en ingeniería civil de 0+000 indica los kilómetros a partir de un punto de inicio.

Las zonas consideradas de alto riesgo para el presente trabajo se indican en las Figuras 15-24:

- **Zona de alto riesgo en el sector La Forestal Tramo I, Abs. 15+000**

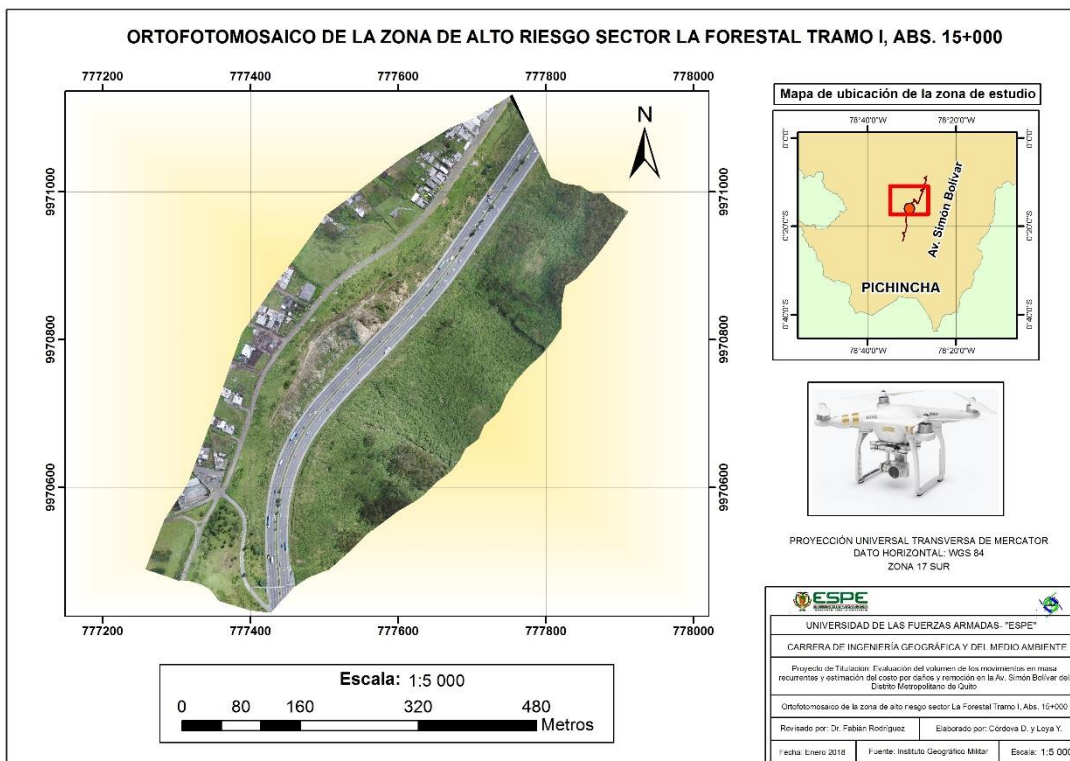


Figura 15. Zona de alto riesgo La Forestal Tramo I, Abs. 15+000



Figura 16. Vista del talud en el sector de la Forestal Tramo I

- Zona de alto riesgo en el sector La Forestal Tramo II, Abs. 16+000

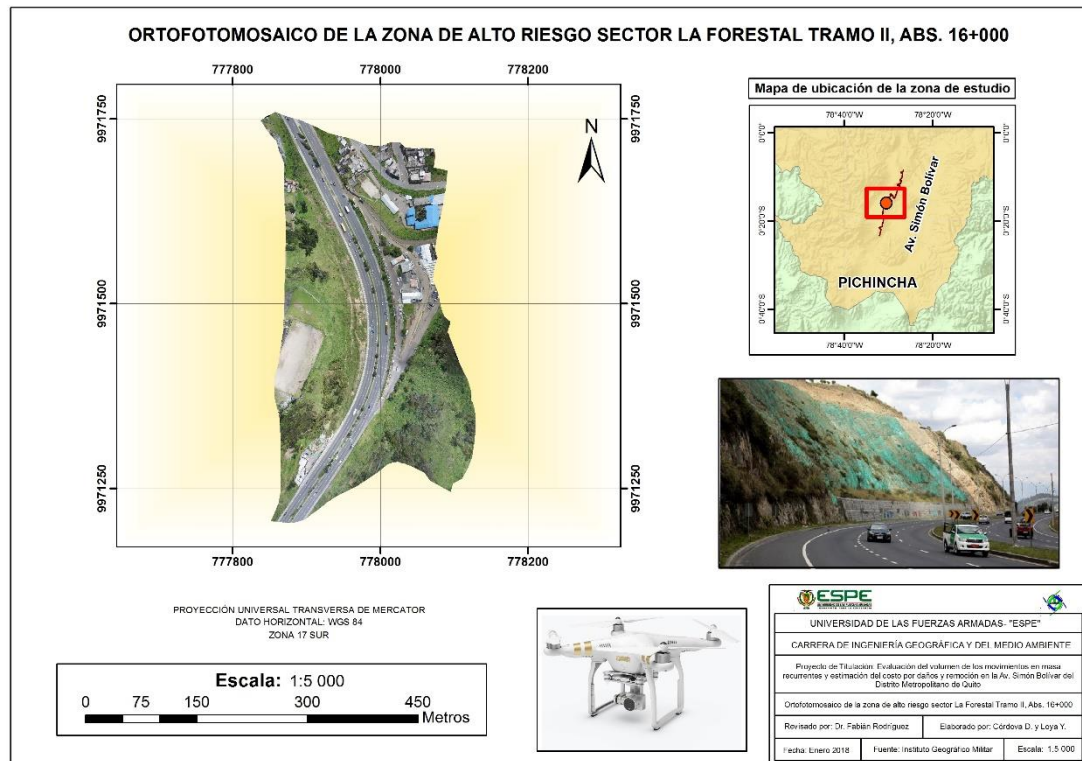


Figura 17. Zona de alto riesgo La Forestal Tramo II, Abs. 16+000



Figura 18. Vista del talud en el sector de la Forestal Tramo II

- Zona de alto riesgo en el sector La Forestal Tramo III, Abs. 17+000

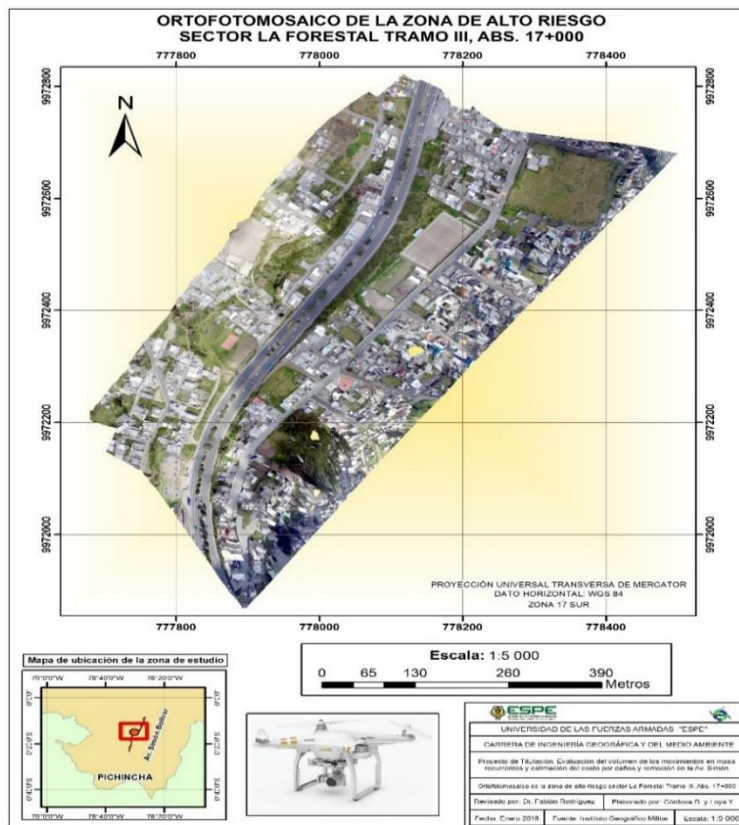


Figura 19. Zona de alto riesgo La Forestal Tramo III, Abs. 17+000



Figura 20. Vista del talud en el sector de la Forestal Tramo III

- **Zona de alto riesgo en el sector Monjas Tramo I, Abs. 20+000**

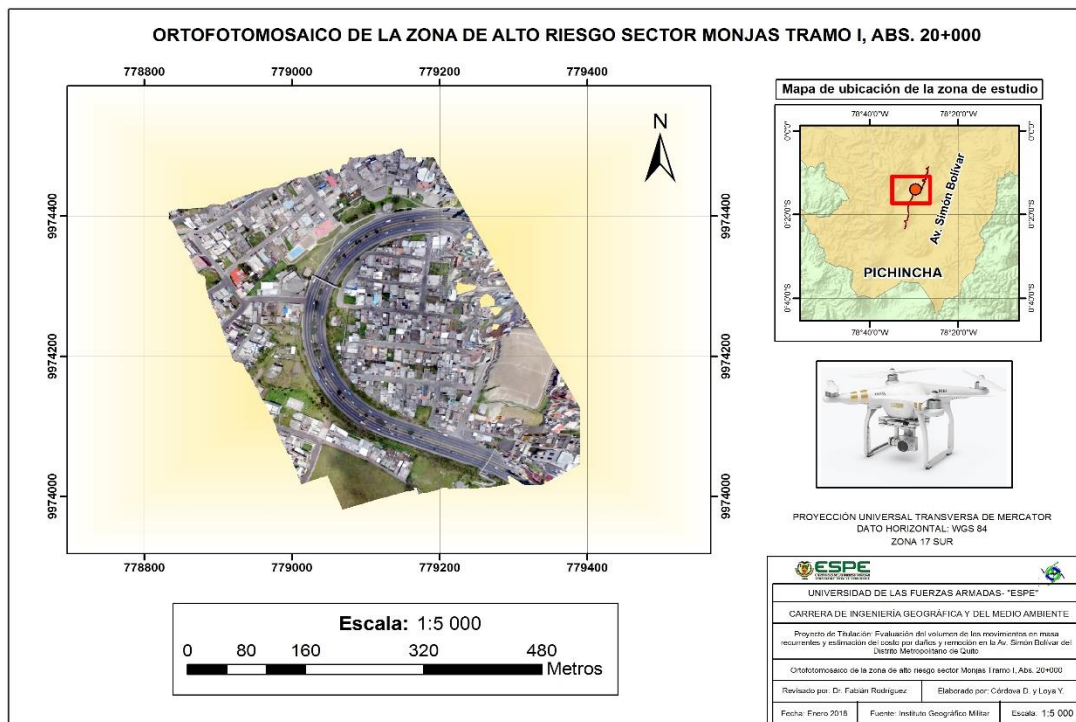
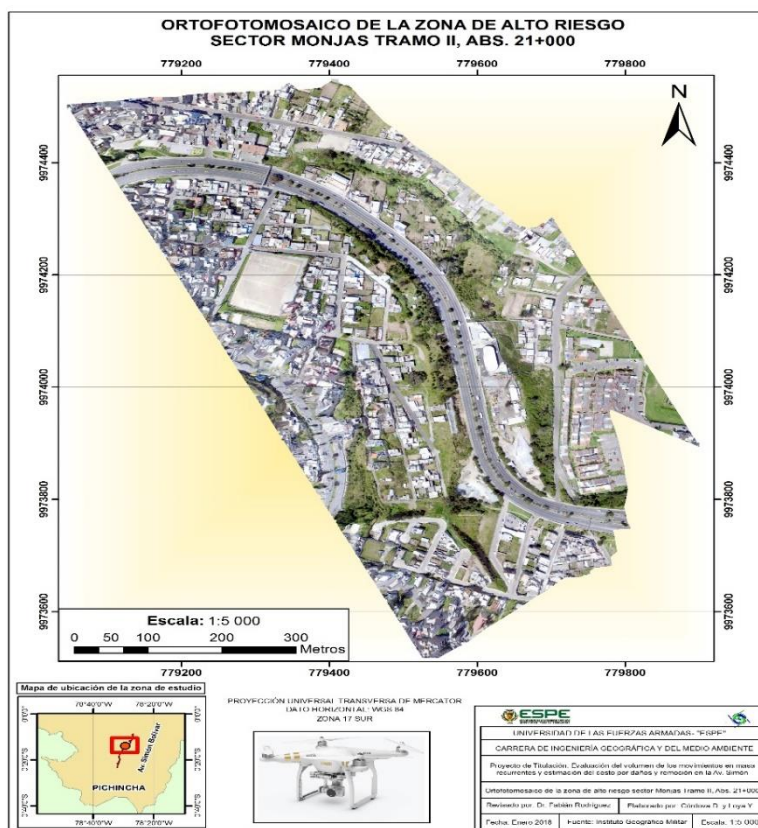


Figura 21. Zona de alto riesgo Monjas Tramo I, Abs. 20+000



Figura 22. Vista del talud en el sector de Monjas Tramo I

- Zona de alto riesgo en el sector Monjas Tramo II, Abs. 21+000



**Figura 23. Zona de alto riesgo Monjas Tramo II,
Abs. 21+000**



Figura 24. Vista del talud en el sector de Monjas Tramo II

3.4. Generación del MDE

3.4.1. Puntos de control fotogramétrico (GCP)

3.4.1.1. Ubicación de los GCP

Una vez establecidas las zonas de alto riesgo, se procedió a identificar puntos visibles en campo y con fácil acceso, tres por cada zona, los mismos que fueron señalados (Ver Figura 25), para posteriormente superponer marcas de puntos de control fotogramétrico (Ver Figura 26) que sean perceptibles el momento de realizar el ajuste fotogramétrico.



Figura 25. Señalización de los puntos de control fotogramétrico en el terreno



Figura 26. Marcas de los puntos de control fotogramétrico

3.4.1.2. Toma de los puntos de control fotogramétrico (GCP)

Se tomaron los GCP con el propósito de ubicar cada mosaico de las zonas de alto riesgo en coordenadas verdaderas sobre la superficie terrestre y así finalmente obtener los ortofotomosaicos y los DEM de las zonas de alto riesgo.

Para la toma de los GCP se empleó el método *Estático*, el cual según INEGM (2010), consiste en poner un receptor en un punto con coordenadas conocidas o no, siendo este el receptor de referencia (base), por lo cual se utilizó como base los receptores Trimble 5800 y R4 (Ver Figura 27) y cada observación tuvo una duración de una hora por punto, con un intervalo de registro de 30 segundos.



Figura 27. Toma de puntos de control fotogramétrico

Los receptores Trimble 5800 y R4 reciben señales de posición y reloj de la red del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con un mínimo de tres satélites y a

partir de lo cual calcula su posición por medio de triangulación (Topoequipos S.A., 2017), cuyas especificaciones técnicas se presentan a continuación:

- **GNSS/GPS Trimble R4 y Trimble 5800**

Las características del GNSS/GPS Trimble R4 están descritas en la Tabla 4.

Tabla 4.

Especificaciones del GPS de precisión Trimble R4

Especificaciones	Valor/Unidades
Señales de satélite de rastreo	GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 SBAS: L1C/A Galileo: E1, E5A, E5B BeiDou1 (COMPASS): B1, B2
Precisión horizontal (postproceso)	8 mm + 1 ppm RMS
Precisión vertical (postproceso)	15 mm + 1 ppm RMS

Fuente: (Trimble, 2013)

- **GNSS/GPS Trimble 5800**

Algunas de las características de GNSS/GPS Trimble 5800 son las que se describen a continuación (Trimble, 2011):

- Medición: Ciclo de fase portadora completo de L1/L2, compatible con WAAS/EGNOS.
- Tiempo de inicialización: con bases individuales/múltiples un mínimo de 10 seg + 0,5 veces la longitud de la línea base en kilómetros, hasta 30 km.
- Levantamientos GPS estáticos y FastStatic (estáticos rápidos)
Horizontal: ± 5 mm + 0,5 ppm RMS
Vertical: ± 5 mm + 1 ppm RMS

3.4.1.3. Rastreo de los GCP

Se rastrearon un total de doce puntos de control fotogramétricos, los cuales se realizaron en los siguientes días:

- Día 13 y 14 de septiembre del 2017, correspondiente a la semana GPS 1966, día 256 y 257.

- Día 17 de septiembre del 2017, correspondiente a la semana GPS 1967, día 260.
- Día 30 de septiembre del 2017, correspondiente a la semana GPS 1968, día 273.
- Día 01 de octubre del 2017, correspondiente a la semana GPS 1969, día 274.

3.4.1.4. Postproceso de los GCP

Una vez obtenidas las coordenadas de los GCP, se descargaron los datos y se realizó el posproceso en el software *Trimble Business Center* (TBC), ajustando los puntos por medio de la Red GNSS.

El posicionamiento de los puntos tomados en campo se realizó a partir de los datos proporcionados por la red de monitoreo continuo del Ecuador (REGME), para esto se utilizó la estación QUEM únicamente para el día 256 y la estación EPEC para el resto de días, ya que estas estaciones se encontraban próximas a la zona de estudio, la primera ubicada en el Sector de Puengasí y la segunda en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Las coordenadas ajustadas se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5.

Resultado del procesamiento de los GCP

Nombre	Este	Norte	Altura
f1	777351,522	9970594,592	3168,247
f2	777501,376	9970853,461	3193,382
f3	777599,372	9970940,274	3172,161
p1	777909,103	9972208,698	3078,434
p2	777989,212	9972334,098	3093,915
p3	778160,373	9972624,893	3066,270
m1	779185,628	9974101,909	2980,809
m2	779097,630	9974223,106	2981,830
m3	779065,062	9974297,489	2966,923
g1	779388,689	9974362,278	2946,749
g2	779473,923	9974127,376	2959,379
g3	779562,684	9973922,541	2945,074

3.4.2. Vuelo

Se realizaron cinco vuelos correspondientes a las zonas de alto riesgo simulados en el programa Altizure, el cual según Altizure (2017), es una plataforma móvil que controla drones DJI Inspire 1, Phantom 3 y 4 para capturar fotos verticales y oblicuas, convirtiendo las fotos en modelos 3D, es así que se utilizó un vehículo aéreo no tripulado – UAV Phantom 3 Professional, puesto que en este los controles de vuelo son bastante sencillos en comparación con otros drones similares en el mercado (Hernández, 2017), el mismo que se puede visualizar en la Figura 28.



Figura 28. Phantom 3 Professional

Como parte de la planificación del vuelo se establecieron distintos parámetros como altura de vuelo, GSD, traslapo longitudinal, traslapo transversal y tiempo de vuelo, los mismos que se puede ver en la Tabla 6.

Según Otero, Ezquerro, Rodríguez, Martín, & Bachiller (2010), en la fotogrametría convencional el traslapo longitudinal y transversal para zonas montañosas corresponden al 70 – 80% y 20 – 30% respectivamente, pero para el caso del presente proyecto se decidió utilizar un traslapo del 80% tanto longitudinal como transversal, tomando como fundamento el estudio de Angulo (2014) y el de Sani (2014).

Tabla 6.***Parámetros de vuelo***

Altura de vuelo		120 m
GSD		5.3 cm
Traslapo Longitudinal		80%
Traslapo Transversal		80%
Tiempo de vuelo	Sector La Forestal Tramo I	28 min
	Sector La Forestal Tramo II	14 min
	Sector La Forestal Tramo III	23 min
	Sector Monjas Tramo I	19 min
	Sector Monjas Tramo II	33 min

A partir de los parámetros se ejecutaron los vuelos, obteniéndose fotografías aéreas de todas las zonas de alto riesgo.

3.4.3. Procesamiento de las fotografías aéreas

En la Figura 29 se detalla el proceso que se siguió para realizar el ajuste fotogramétrico, con el fin de obtener el DEM de cada una de las zonas de alto riesgo a movimientos en masa, el mismo que se ejecutó en el software Agisoft PhotoScan, el cual efectúa el proceso fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D (Agisoft, 2017).

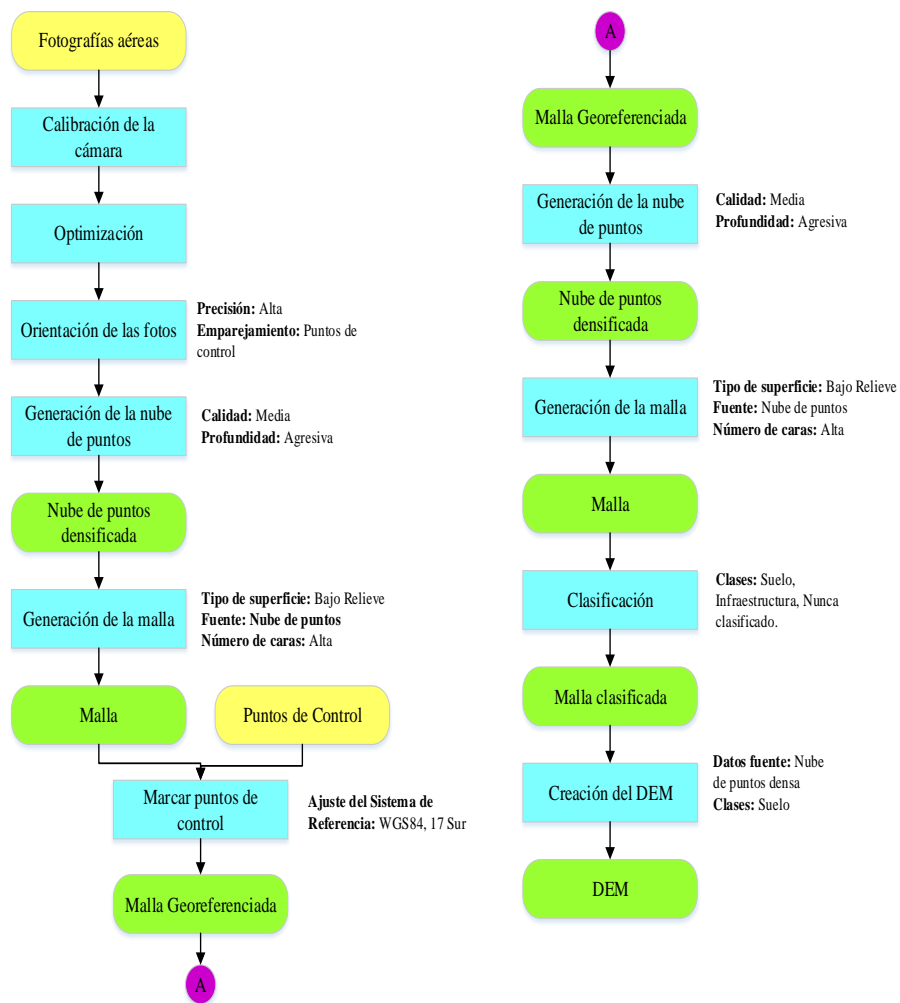


Figura 29. Procesamiento de las fotografías aéreas

Como se puede observar en la Figura 30 para obtener el DEM, es necesario realizar una clasificación con el propósito de eliminar la vegetación e infraestructura (Clase Nunca Clasificada e Infraestructura), puesto que estos factores arrojan datos de altura erróneos para el propósito del presente estudio.

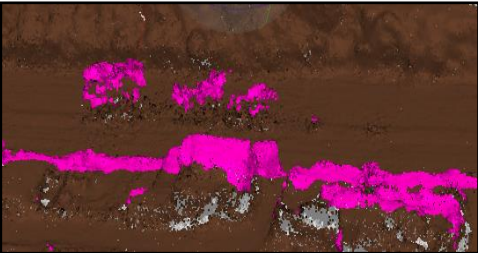

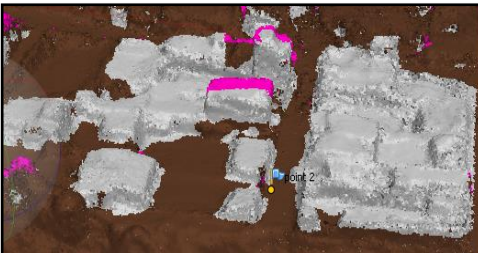
Clase	Visualización en el Modelo 3D
Nunca clasificada	
Suelo	
Infraestructura	

Figura 30. Visualización del Modelo 3D

En base a todo el proceso fotogramétrico se obtiene finalmente los ortofotomosaicos y a su vez los modelos digitales de elevación de cada una de las zonas de alto riesgo, estos últimos se pueden observar a continuación en las Figuras 31-35.

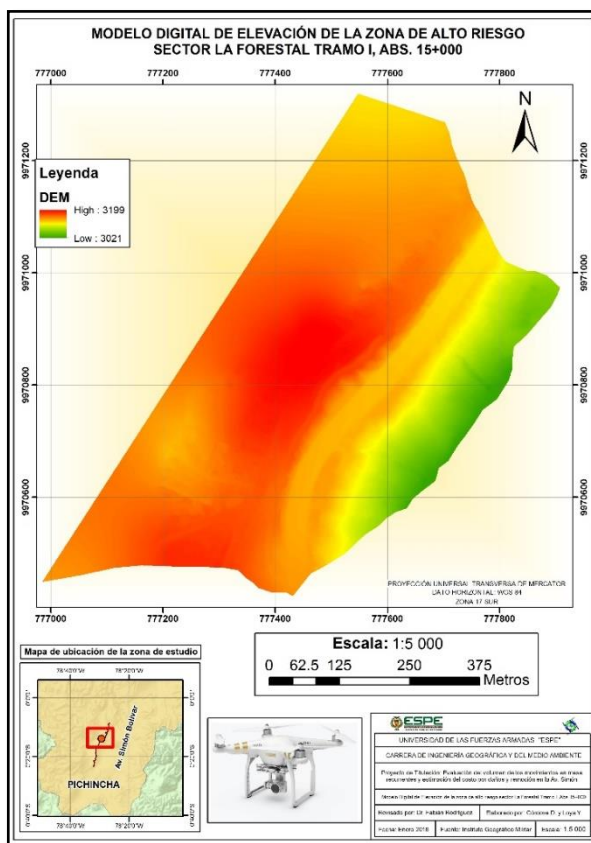


Figura 31. DEM de la zona de alto riesgo La Forestal Tramo I

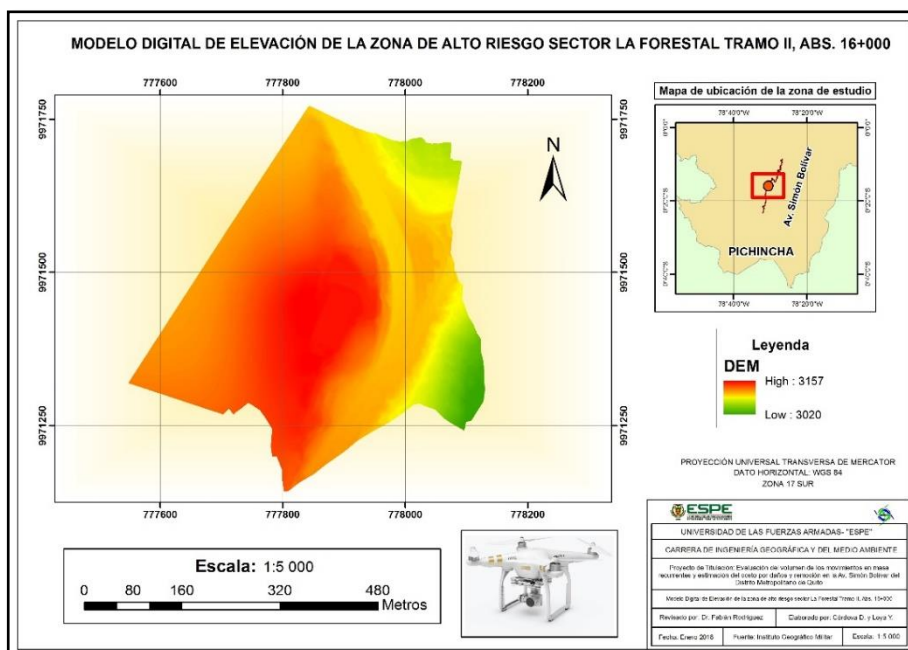
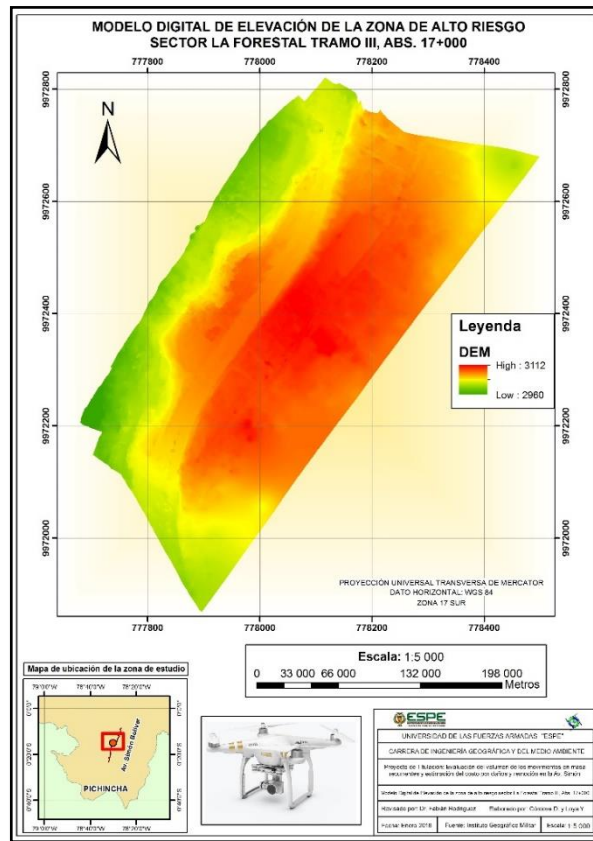


Figura 32. DEM de la zona de alto riesgo La Forestal Tramo II



**Figura 33. DEM de la zona de alto riesgo
La Forestal Tramo III**

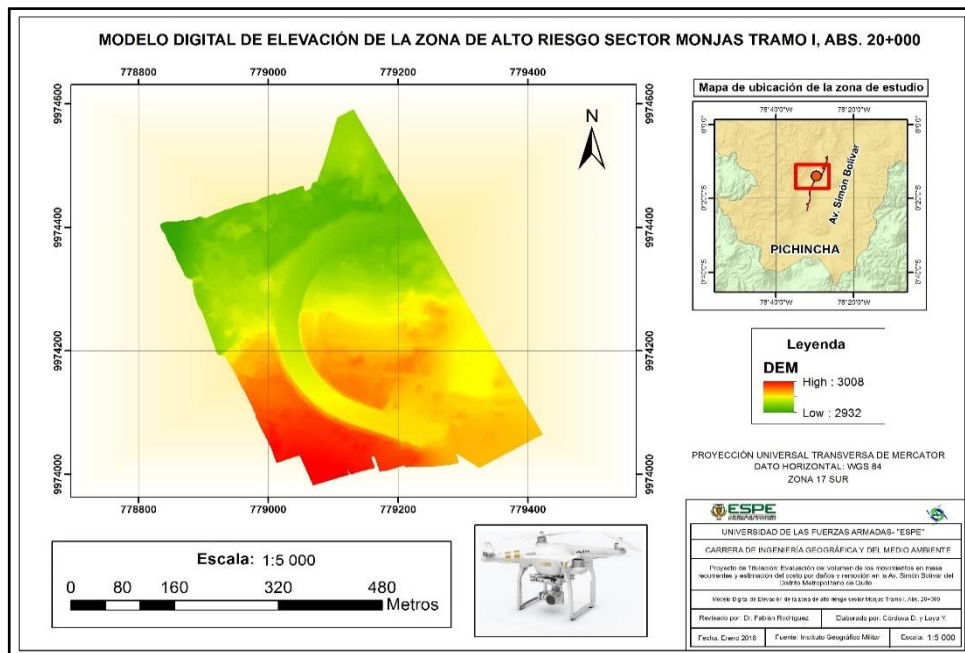
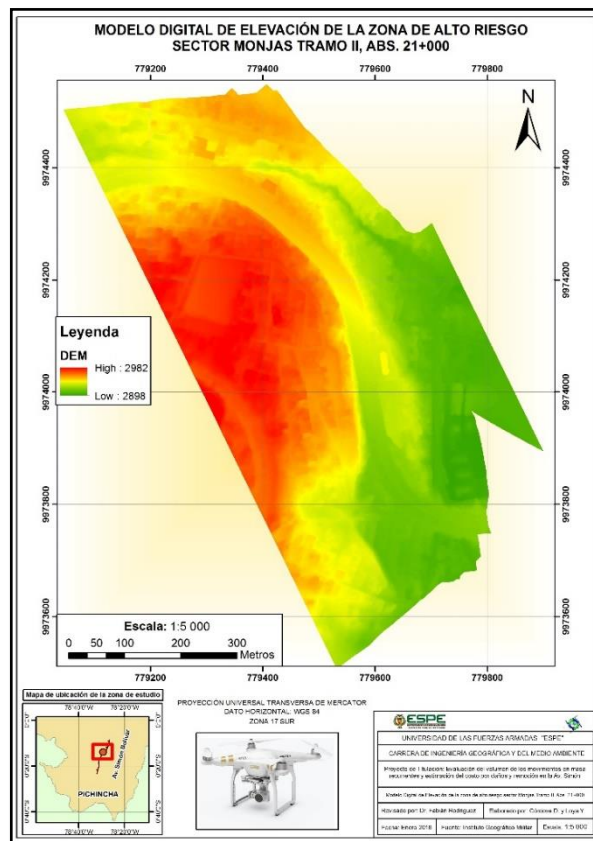


Figura 34. DEM de la zona de alto riesgo Monjas Tramo I



**Figura 35. DEM de la zona de alto riesgo
Monjas Tramo II**

3.5. Cálculo del Volumen

El cálculo del volumen se realizó en tres fases, las mismas que se describirán a continuación.

3.5.1. Creación de Perfiles

Para poder generar los perfiles se creó un shapefile de líneas sobre el ortofotomosaico tratando de abarcar toda la extensión del talud (Ver Figura 36) y cada línea a una distancia de 50 metros (Ver Figura 37), todo esto en el software ArcGIS, el cual cuenta con herramientas contextuales necesarias para efectuar mapas y explorar datos geospaciales (ESRI, 2002).

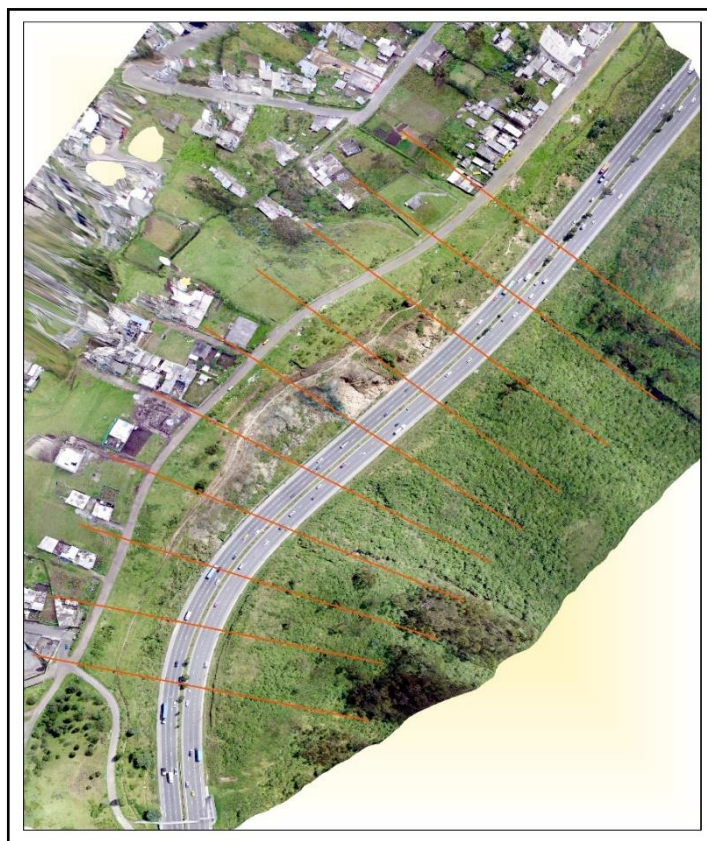


Figura 36. Shapefile de líneas sobre el ortofotomosaico

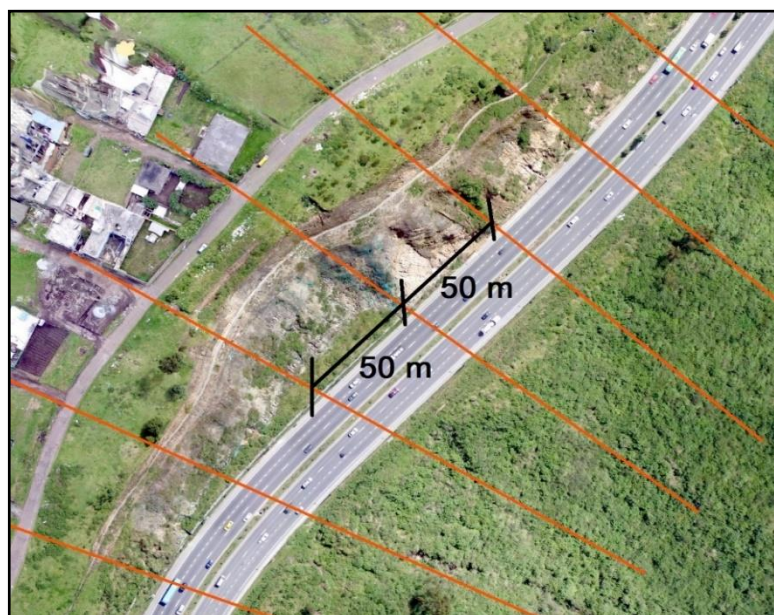


Figura 37. Líneas separadas a una distancia de 50 metros

Los perfiles de cada zona de alto riesgo se obtuvieron a partir del MDE y el shapefile de las líneas generadas cada 50 metros en el software ArcGIS 10.3.1 (Ver Figura 38), con la ayuda de la herramienta Interpolate Surface (Ver Figura 39), cuyo resultado tiene una extensión .txt.

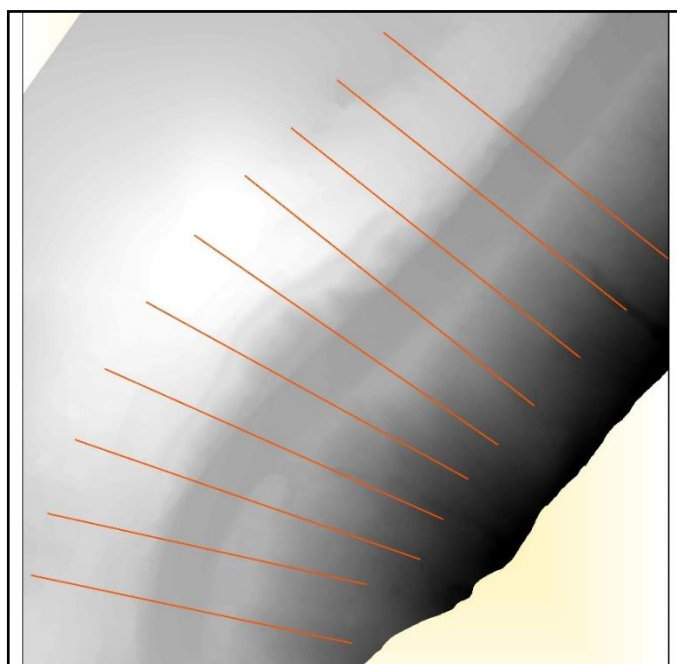


Figura 38. DEM y shapefile de líneas en ArcGIS

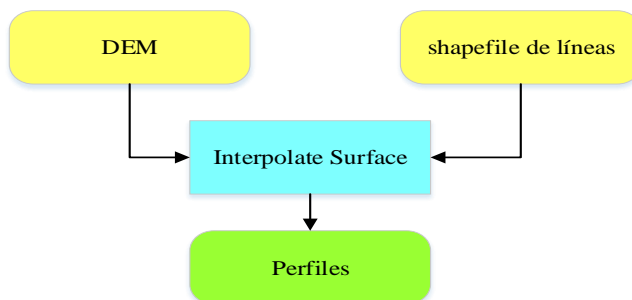


Figura 39. Modelo Cartográfico de un Perfil

3.5.2. Determinación del plano de falla

La estabilidad de los distintos taludes estudiados a lo largo de la Avenida Simón Bolívar se examinó en el módulo SLOPE/W del software GeoStudio 2012, debido a que permite deducir la trayectoria del plano de falla que tiende a producirse a partir de distintos parámetros propios del terreno y métodos pseudoestáticos (superpone fuerzas sísmicas a las estáticas), módulo que se establece al iniciar el análisis en el programa como se indica en la Figura 40. Este módulo trabaja con archivos cuya extensión es .dxf, por lo cual se transformó los perfiles obtenidos en un inicio en formato .txt y a su vez se los convirtió en región a través del software AutoCAD 2015 (Ver Figura 41), el cual permite ubicar elementos con precisión en un sistema ortogonal (Fuentes, Bolaños, & Rozo, 2012).

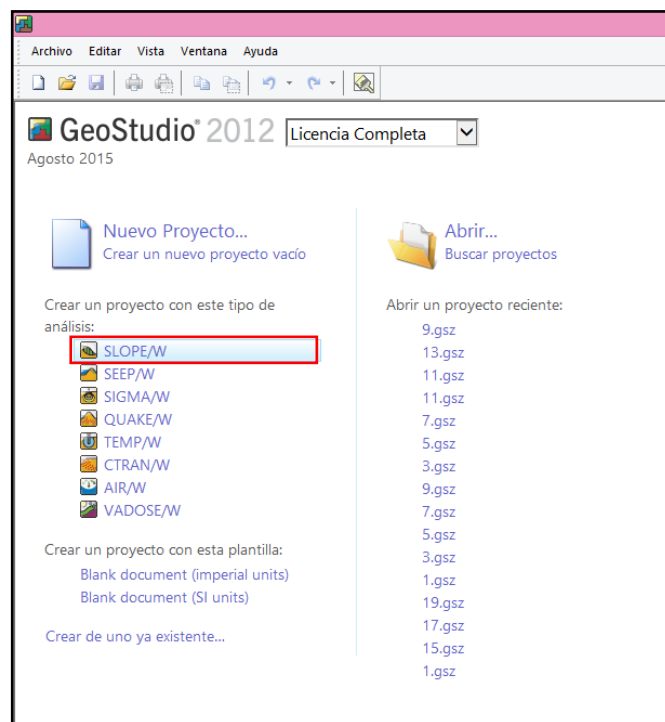


Figura 40. Creación de un nuevo proyecto con el módulo SLOPE/W

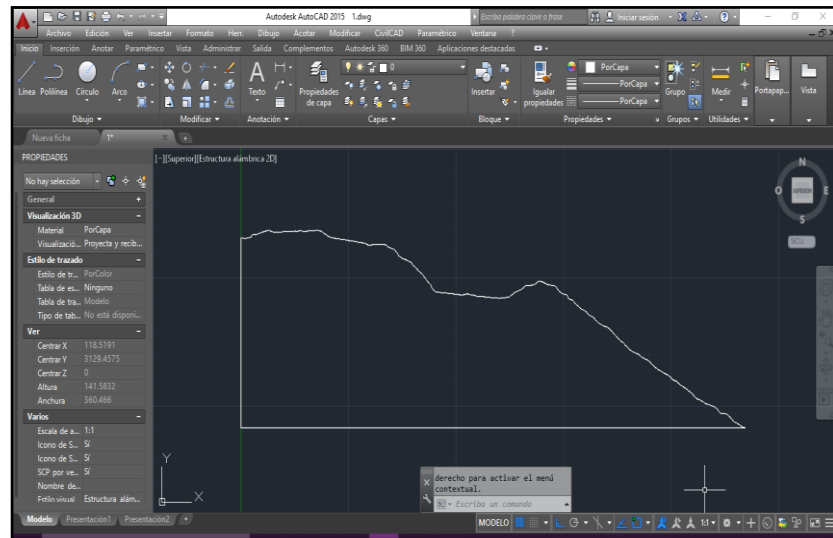


Figura 41. Perfil convertido en región en AutoCAD

Continuando con el software GeoStudio, se despliega una ventana que permite establecer varias condiciones de acuerdo al talud a tratar, para el caso de este estudio el tipo de análisis que se consideró es Morgenstern – Price, se debe marcar la dirección del movimiento que corresponde a la dirección en la que se encuentre el talud y la forma en que se va a encontrar el plano de falla que para este caso se escogió cuadrícula y radio (Ver Figura 42).

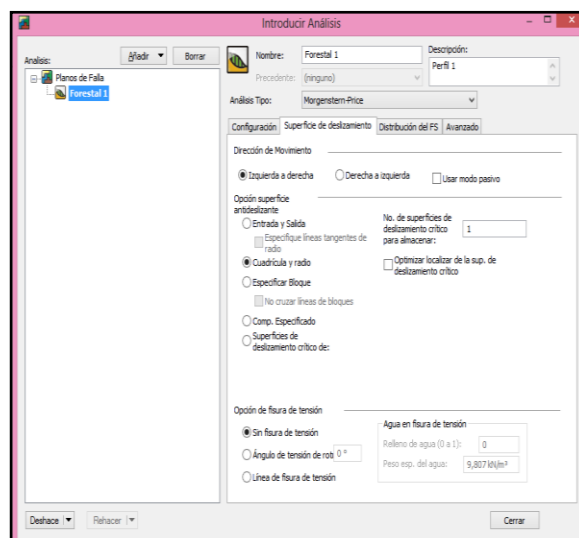


Figura 42. Ingreso del tipo de análisis

Para tener un análisis cerca de la realidad se debe establecer los materiales que tiene el talud como se muestran en las Figuras 43 y 44, en donde se ingresa como tipo de suelo cangagua para todas las zonas de alto riesgo.

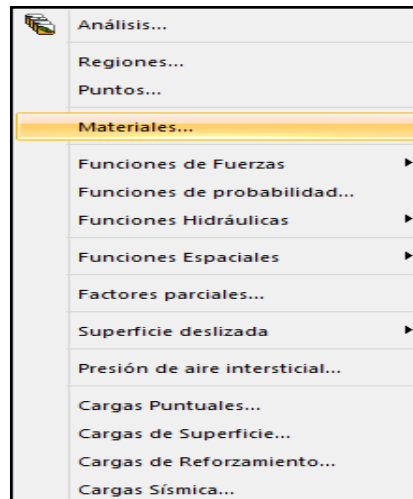


Figura 43. Ingreso del material

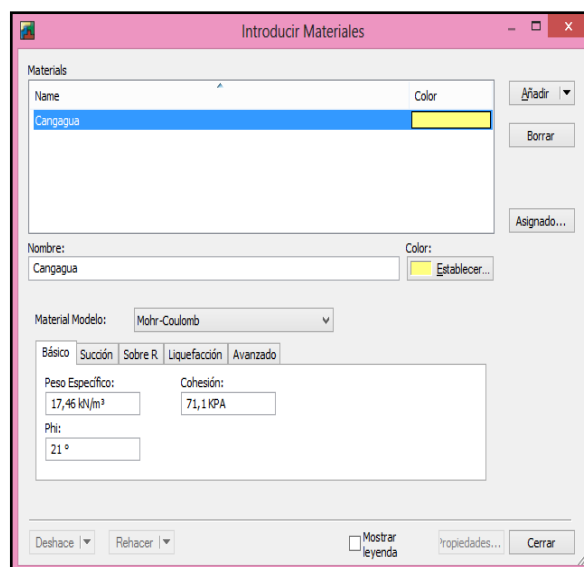


Figura 44. Características del material

A continuación, se selecciona el Modelo, siendo para el presente estudio el Modelo de Mohr Coulomb en donde los valores del peso específico, cohesión y el ángulo de fricción interna (ϕ), fueron tomados de la tesis de maestría de Nelson Sánchez y Hugo Torres elaborada en el año 2014, datos que se indican en la Tabla 7.

Tabla 7.
Propiedades físico mecánicas de los taludes de las zonas críticas

Abscisa	Sector	Peso Específico (KN/m3)	Cohesión KP	Phi (°)
15+000	Forestal Tramo I	17,46	71,10	21,00
16+000	Forestal Tramo II	17,46	71,10	21,00
17+000	Forestal Tramo III	16,45	85,31	28,67
20+000	Monjas Tramo I	16,81	72,57	32,63
21+000	Monjas Tramo II	16,74	44,10	24,29

Debido a las características sísmicas que presenta nuestro país es necesario considerar el plano de falla en cada talud para un evento de este tipo, por tanto, es preciso desarrollar un análisis pseudoestático en el cual se pueda insertar la carga sísmica.

Para simular el efecto sísmico en los análisis de estabilidad se tomaron en cuenta los valores de aceleración sísmica, siendo la aceleración horizontal 0,45 y vertical 0,001 para el caso de Quito, según la norma NEC-SE-DS (MIDUVI, 2017), parámetro que se debe insertar en el programa de la siguiente manera (Ver Figura 45).

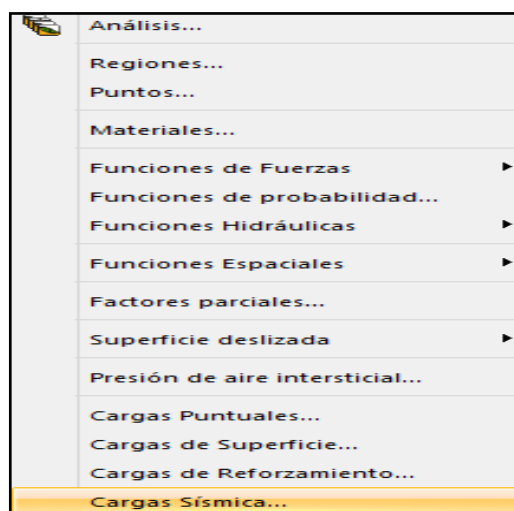


Figura 45. Ingreso de la carga sísmica

Una vez considerados todos los parámetros antes mencionados se realiza el análisis para obtener el plano de falla, teniendo en cuenta que para taludes con análisis sísmicos el factor de seguridad debe ser ($F_s \geq 1,1$), y de esta forma

encontrar el área necesaria para el cálculo del volumen, cuyo resultado final se despliega como se observa en la Figura 46 y Figura 47 que indica la información del plano de falla, así como la Figura 48, 49 y 50 que muestra la gráfica del talud y el plano de falla. El análisis para obtener el plano de falla de todos los perfiles constituidos dentro de cada talud, se pueden visualizar en los Anexos 5 a 10.

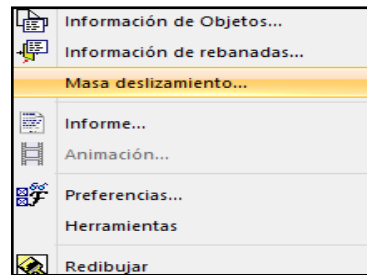


Figura 46. Visualización de la masa del deslizamiento

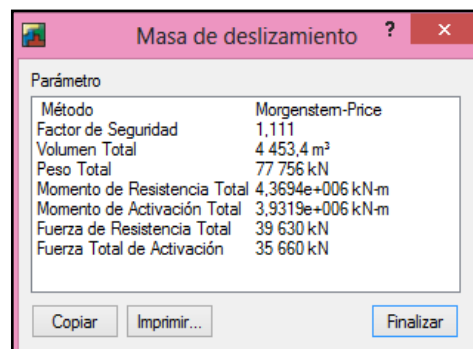


Figura 47. Visualización de la información del plano de falla

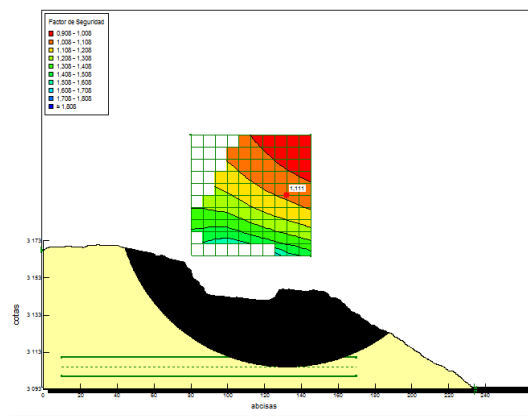


Figura 48. Visualización gráfica del plano de falla

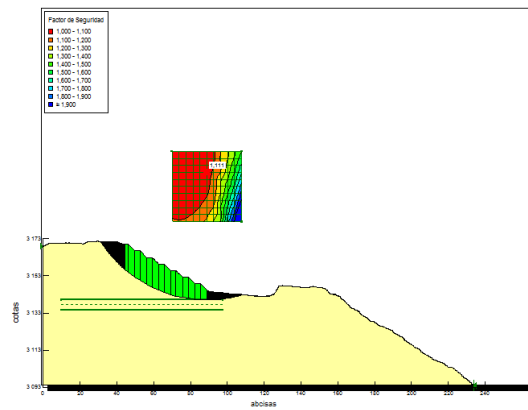


Figura 49. Visualización gráfica del plano de falla ubicado sobre la vía

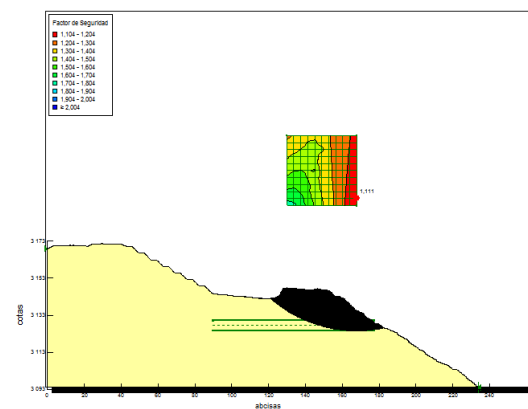


Figura 50. Visualización gráfica del plano de falla ubicado bajo la vía

3.5.3. Obtención del Volumen

El volumen se determinó a partir del método del prismoide, según la ecuación (2), la cual considera las áreas obtenidas mediante el análisis en el programa GeoStudio y la distancia entre perfiles que corresponde a 50 metros. Además, se tomó en consideración el factor de esponjamiento de 1.15 en cada volumen determinado.

3.6. Costo por Daño y Remoción

Con el propósito de predecir el costo que representa para los organismos competentes un eventual movimiento en masa, una vez determinado el volumen probable a deslizarse en condiciones críticas, se cuantificó a partir de los rubros que tipo de maquinaria, mano de obra, equipos, transporte y el equipamiento para la seguridad, salud y ambiente del personal (SSA) son necesarios.

Cada uno de los rubros se fundamentó en información proporcionada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, los cuales contienen sus respectivos análisis de precios unitarios (APUS) que describen detalladamente los componentes necesarios para la ejecución de cada obra.

Los rubros se realizaron en función de las características de cada uno de los taludes de las zonas de alto riesgo

3.7. Costo de Oportunidad

Para poder determinar el costo de oportunidad se utilizó el valor del Producto Interno Bruto (PIB) Per Cápita Anual y mediante datos recopilados por el Comercio en el año 2011 y 2012, los tiempos que se demoran los habitantes en recorrer la Avenida Simón Bolívar en el caso de rehabilitación de la misma.

También se utilizaron datos proporcionados por el Comercio en el año 2011 sobre la carga vehicular que soporta la Avenida Simón Bolívar y finalmente a partir del tiempo que tardan las actividades de limpieza de material resultante de un probable movimiento de masa, se estimó el costo tiempo.

3.8. Propuesta de alternativas de mitigación

Con el propósito de sugerir la implementación de la alternativa con la mejor relación costo – beneficio, se identificaron alternativas de mitigación en tres zonas (Monjas Tramo II, Forestal Tramo I y II), porque éstas cuentan con factores de seguridad de 1,1, lo cual indica un plano de falla inestable y por tanto mayor probabilidad a un eventual movimiento en masa. En consecuencia, se ha propuesto alternativas de mitigación acordes a las características físicas de los taludes como se puede observar en la Figura 51.

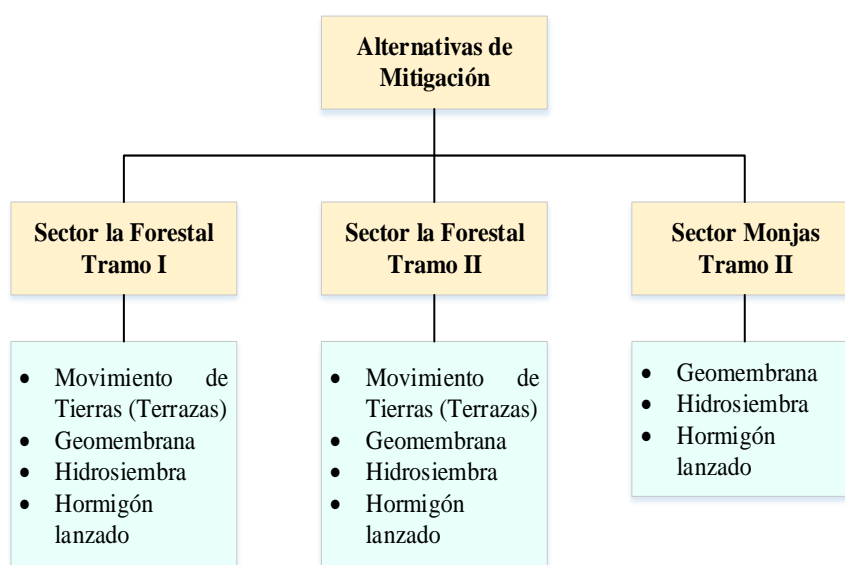


Figura 51. Alternativas de Mitigación

Según (Alberti, Sandoval, & Canales, 2006), las geomembranas son materiales geosintéticos, planos y flexibles que se acoplan a la superficie, evitando la erosión al no permitir el contacto directo del agua y el viento en el suelo, además ayuda a reconstituir la vegetación local. Debido a todas estas características eficaces fue

considerada como alternativa de mitigación para las zonas de alto riesgo del presente trabajo.

Alberti, Sandoval & Canales (2006), mencionan que la hidrosiembra es un revestimiento biodegradable a base de fibras naturales que sirve de protección y abono para la vegetación que se implante en el talud, la cual se consideró únicamente en los taludes de pendiente, de difícil acceso, o suelo desnudo.

El hormigón lanzado es concreto transportado por una manguera proyectado neumáticamente a gran velocidad sobre el talud (Guzmán, 2006). Además, sirve para proteger superficies de suelo contra la erosión, y zonas de alto fracturamiento o alteración, por lo cual fue seleccionado como alternativa de mitigación indispensable para las zonas de alto riesgo.

3.9. Costo de alternativas de mitigación

Identificadas las alternativas de mitigación correspondientes a los taludes, se realizó el costo de cada una de ellas, tomando en consideración los diferentes rubros necesarios para el suministro y colocación en el caso de realizar una geomembrana, hidrosiembra y hormigón armado. Sin embargo, para el caso de terrazas se tomó en cuenta el rubro por movimiento de tierras.

3.10. Análisis Costo – Beneficio

Para obtener una relación beneficio – costo de cada una de las zonas de alto riesgo se utilizó la ecuación (3) descrita en el apartado 2.1.3.3 del Capítulo 2.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Análisis de los planos de falla y factor de seguridad

Como resultado del análisis de los planos de falla de los taludes en las zonas de alto riesgo identificadas con anterioridad, se adquirió un factor de seguridad ≥ 1.1 para poder determinar si existe una falla. Los sectores La Forestal Tramo I, II y Monjas Tramo II presentaron factores de seguridad 1,1 a diferencia de los otros dos sectores y que por su factor de seguridad lejano a dicho valor no fueron considerados para el análisis posterior.

Además, el cálculo del volumen únicamente consideró los perfiles con factores de seguridad de 1,1, excluyendo dentro de un mismo talud a los perfiles con un factor de seguridad distinto de 1,1, para un cálculo aproximado a la realidad.

Los resultados obtenidos de los volúmenes ante un probable movimiento en masa, fueron tabulados como se indica en la Tabla 8.

Tabla 8.***Características geométricas de los perfiles de La Forestal y Monjas.***

Abscisa	Sector	Perfil	Factor de Seguridad	Área (m)	Distancia (m)	Volúmen (m3)
15+000	Forestal Tramo I	1	1,111	4453,400	50,000	216 097,500
		2	1,111	4190,500	50,000	246 802,500
		3	1,111	5681,600	50,000	426 340,000
		4	1,111	11372,000	50,000	326 097,500
		5	1,111	1671,900	50,000	70 132,500
		6	1,11	1133,400	50,000	287 835,000
		7	1,112	10380,000	50,000	298 080,000
		8	1,111	1543,200	50,000	265 285,000
		9	1,11	9068,200	50,000	440 172,500
		10	1,111	8538,700	50,000	
Volúmen total						2.576.842,500
Volúmen con el factor de esponjamiento						2.963.368,875
Abscisa	Sector	Perfil	Factor de Seguridad	Área (m)	Distancia (m)	Volúmen (m3)
16+000	Forestal Tramo II	1	1,254	473,230	50,000	
		2	1,108	462,460	50,000	16 973,000
		3	1,11	216,460	50,000	11 269,500
		4	1,106	234,320	50,000	15 303,000
		5	1,111	377,800	50,000	
		6	1,306	213,840	50,000	
		7	1,295	143,100	50,000	
Volúmen total						43.545,500
Volúmen con el factor de esponjamiento						50.077,325
Abscisa	Sector	Perfil	Factor de Seguridad	Área (m)	Distancia (m)	Volúmen (m3)
17+000	Forestal Tramo III	1	2,334	65,465	50,000	
		2	4,284	54,911	50,000	
		3	2,474	245,290	50,000	
		4	2,552	43,136	50,000	
		5	2,723	99,893	50,000	
		6	1,843	101,060	50,000	
		7	1,722	114,380	50,000	
		8	1,148	338,210	50,000	
		9	1,211	356,510	50,000	
		10	1,363	253,410	50,000	
		11	1,588	284,060	50,000	
		12	1,387	264,470	50,000	
		13	1,642	174,650	50,000	
		14	1,727	231,150	50,000	
		15	2,537	96,173	50,000	
		16	2,146	147,090	50,000	
Volúmen total						0,000
Volúmen con el factor de esponjamiento						0,000

Abscisa	Sector	Perfil	Factor de Seguridad	Área (m)	Distancia (m)	Volúmen (m3)
20+000	Monjas Tramo I	1	2,656	62,734	50,000	
		2	2,74	22,164	50,000	
		3	10,57	1,727	50,000	
		4			50,000	
		5	8,881	1,634	50,000	
		6	6,636	5,920	50,000	
Volúmen total						0,000
Volúmen con el factor de esponjamiento						0,000
Abscisa	Sector	Perfil	Factor de Seguridad	Área (m)	Distancia (m)	Volúmen (m3)
21+000	Monjas Tramo II	1	1,108	59,325	50,000	
		2	1,111	65,424	50,000	16 973,000
		3	1,109	95,825	50,000	11 269,500
		4	1,265	181,130	50,000	15 303,000
		5	1,294	86,314	50,000	
		6	1,168	94,465	50,000	
		7	1,456	169,460	50,000	
		8	1,107	81,133	50,000	43 545,500
		9	1,145	76,655	50,000	50 077,325
		10	0,814	180,620	50,000	4 368,500
		11	0,795	168,860	50,000	6 311,100
		12	1,101	83,584	50,000	
Volúmen total						24.990,188
Volúmen con el factor de esponjamiento						28.738,716

Como se pudo observar en la Tabla 8, los sectores de la Forestal Tramo I y II, Monjas Tramo II, son los únicos que presentan valores de volúmenes, a diferencia de los otros dos sectores restantes.

4.2. Costo por daño y remoción

El costo por daño y remoción se calculó en los taludes con mayor tendencia a movimientos de masa por su factor de seguridad, los cuales se manifestaron en el apartado anterior y cuyos resultados se pueden visualizar en las Tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9.

Presupuesto y tiempo referencial para desalojamiento de escombros de La Forestal Tramo I

Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)	Rendimiento (U/H)	Tiempo (día)
Limpieza de derrumbes	m3	2963368,875	1,80	5334063,98	50000	59,27
Limpieza final de la obra	m2	14400,000	1,52	21888,00	6000	2,40
SSA	u	4,000	702,00	702,00		
Total				5356653,98	Total	61,67
No incluye IVA						

Tabla 10.
Presupuesto y tiempo referencial para desalojamiento de escombros de La Forestal Tramo II

Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)	Rendimiento (U/H)	Tiempo (día)
Limpieza de derrumbes	m3	50077,325	1,80	90139,19	50000	1,00
Limpieza final de la obra	m2	8800,000	1,52	13376,00	6000	1,47
SSA	u	4,000	702,00	702,00		
			Total	104217,19	Total	2,47
No incluye IVA						

Tabla 11.
Presupuesto y tiempo referencial para desalojamiento de escombros de Monjas Tramo II

Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)	Rendimiento (U/H)	Tiempo (día)
Limpieza de derrumbes	m3	28738,72	1,80	51729,69	50000	0,57
Limpieza final de la obra	m2	2406,08	1,52	904,40	6000	0,40
SSA	u	4,00	702,00	702,00		
			Total	53336,09	Total	0,98
No incluye IVA						

Como se pudo visualizar en las Tablas 9, 10 y 11, el valor del presupuesto y tiempo referencial para desalojamiento de escombros en el sector de la Forestal Tramo I es mayor, seguido de La Forestal Tramo II y Monjas Tramo II.

4.3. Costo de oportunidad

Para determinar el costo de oportunidad se utilizó el PIB per cápita anual, el cual según el Banco Central del Ecuador es de \$ 5989 al año 2017, valor que expresado en horas es 2,05 \$/h y el tiempo que se demoran los habitantes en recorrer la Avenida Simón Bolívar en el caso de rehabilitación de la misma con un valor promedio de 1,10 horas, se tiene que:

$$\frac{2,05 \$}{h} \times 1,10 h = \$ 2,23$$

Lo que significa que en 70 minutos cada persona pierde 2,23 dólares en el caso de que surgiera un accidente, rehabilitación u obras en la vía.

Además, se sabe que la Avenida Simón Bolívar soporta una carga vehicular de 60 000 y 100 000 vehículos diarios, a partir de lo cual se puede establecer 80 000 vehículos diarios como un valor promedio para el siguiente cálculo.

$$80\,000 \frac{\text{vehículos}}{\text{día}} = 10\,000 \frac{\text{vehículos}}{h}$$

$$10\,000 \frac{\text{vehículos}}{h} \times 2,23 \$ = 22\,300 \frac{\$ \text{vehículos}}{1.1 h}$$

$$10\,000 \frac{\text{vehículos}}{h} \times 2,23 \$ = 19\,114,29 \frac{\$ \text{vehículos}}{h}$$

El valor anterior muestra que en el caso de que surgiera un accidente, rehabilitación u obras en la vía, se perdería 19 114,29 dólares por cada hora.

4.4. Costo tiempo

Se estimó el costo tiempo en función del lapso que tardan las actividades para desalojo de escombros (Ver Tablas 9,10 y 11), fundamentándose en el costo de oportunidad para los sectores Forestal Tramo I y II, Monjas II, lo cual se puede visualizar en las Tablas 12, 13 y 14.

Tabla 12.
Costo tiempo, La Forestal Tramo I

Abscisa: 15+000	
Sector: Forestal Tramo I	
Costo por daño y remoción	5.356.653,98
Costo tiempo (\$)	9.429.822,98
Total	14.786.476,96
Tiempo estimado de la obra 61,67 días	
No incluye IVA	

Tabla 13.
Costo tiempo, La Forestal Tramo II

Abscisa: 16+000	
Sector: Forestal Tramo II	
Costo por daño y remoción (\$)	104.217,19
Costo tiempo (\$)	377.425,05
Total	481.642,24
Tiempo estimado de la obra 2,47 días	
No incluye IVA	

Tabla 14.
Costo tiempo, Monjas Tramo II

Abscisa: 21+000	
Sector: Monjas Tramo II	
Costo por daño y remoción (\$)	53.336,09
Costo tiempo (\$)	149.211,87
Total	202.547,96
Tiempo estimado de la obra 0,98 días	
No incluye IVA	

En base a las Tablas 12, 13 y 14, se puede decir que La Forestal Tramo I comprende mayores valores de costo tiempo, seguido de La Forestal Tramo II y Monjas Tramo II.

4.5. Alternativas de mitigación

A consecuencia del daño provocado por un probable movimiento en masa se diseñó una propuesta de alternativas de mitigación con el fin de minimizar el impacto que pueda ocasionar dicho fenómeno.

En los sectores La Forestal Tramo III y Monjas Tramo I, donde los taludes presentaron estabilidad no se requiere una mayor intervención, por tanto, no se estableció ninguna alternativa de mitigación, mientras que en el sector la Forestal Tramo I y II a más de proponer la implementación de geomembrana, hidrosiembra y hormigón lanzado se eligió como alternativa de mitigación las terrazas, con el

propósito de aumentar el factor de seguridad y así obtener el volumen a removerse como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15.

Volumen a remover acorde al diseño de terrazas de La Forestal Tramo I y II

Abscisa	Sector	Perfil	Factor de Seguridad	Área (m)	Distancia (m)	Volúmen (m3)
15+000	Forestal Tramo I	1	1,189	1489,600	50,000	168241,500
		2	1,436	424,640	50,000	227596,500
		3	1,409	343,600	50,000	398279,000
		4	1,273	778,840	50,000	306626,424
		5	1,303	0,003	50,000	55886,924
		6	1,293	569,820	50,000	250871,500
		7	1,317	908,720	50,000	249262,000
		8	0,952	1044,000	50,000	214969,000
		9	1,292	968,640	50,000	404976,250
		10	1,303	439,210	50,000	
Volúmen total						2276709,099
Volúmen con el factor de esponjamiento						2618215,463
Abscisa	Sector	Perfil	Factor de Seguridad	Área (m)	Distancia (m)	Volúmen (m3)
16+000	Forestal Tramo II	2	1,108	462,460	50,000	5991,000
		3	1,110	216,460	50,000	4291,500
		4	1,106	234,320	50,000	4181,250
		5	1,111	377,800	50,000	
Volúmen total						14463,750
Volúmen con el factor de esponjamiento						16633,313

Los rubros referenciales considerados para cada una de las zonas de alto riesgo según sus alternativas de mitigación más pertinentes para cada talud se presentan en las Tablas 16, 17 y 18.

Tabla 16.**Presupuesto referencial de las alternativas de mitigación para La Forestal****Tramo I.**

Abscisa: 15+000				
Sector: Forestal Tramo I				
Alternativa: Terrazas				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Derrocamiento estructura existente con maquinaria	m3	501,600	14,60	7323,36
Limpieza y desbroce del terreno	m2	19447,000	2,27	44125,24
Puntos de control	u	2,000	48,53	97,05
Replanteo y Nivelación con equipo Topográfico	m2	25810,000	1,90	49039,00
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m3/km	312909,591	5,29	1655291,74
SSA	u	9,000	1380,00	1380,00
Total				1757256,39
Alternativa: Geomembrana				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Limpieza y desbroce del terreno	m2	25810,000	2,27	58562,89
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m3/km	1536,310	5,29	8122,47
Geomanta para el control de erosión (tipo MacMat R)	m2	25810,000	9,99	257738,66
Limpieza final de la obra	m2	14400,000	1,52	21830,40
SSA	u	8,000	1254,00	1254,00
Total				346254,42
Alternativa: Hidrosiembra				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Limpieza y desbroce del terreno	m2	19447,000	2,27	44125,24
Conformación del talud - peinado E=20cm	m2	25810,000	3,46	89250,98
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m3/km	1157,560	5,29	6120,02
Hidrosiembra	m2	25810,000	1,15	29629,88
SSA	u	8,000	1254,00	1254,00
Total				169126,12
Alternativa: Hormigón				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Limpieza y desbroce del terreno	m2	19447,000	2,27	44125,24
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m3/km	1157,560	5,29	6120,02
Estabilización de taludes (hormigón lanzado e=8cm)	m2	25810,000	140,20	3618639,43
Malla electrosoldada 8mm 15 x 15	m2	25810,000	3,57	92090,08
Limpieza final de la obra	m2	14400,000	1,52	21830,40
Drenajes	m	1400,000	9,24	12933,20
SSA	u	11,000	1743,00	1743,00
Total				3795738,37
No incluye IVA				

Tabla 17.
Presupuesto referencial de las alternativas de mitigación para La Forestal Tramo II.

Abscisa: 16+000				
Sector: Forestal Tramo II				
Alternativa: Terrazas				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Limpieza y desbroce del terreno	m2	6460,000	10,67	68928,20
Puntos de control	u	2,000	48,53	97,05
Replanteo y Nivelación con equipo Topográfico	m2	6460,000	1,90	12274,00
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m3/km	1996,915	5,29	10563,68
SSA	u	9,000	1380,00	1380,00
Total				93242,93
Alternativa: Geomembrana				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Limpieza y desbroce del terreno	m2	6460,000	2,27	14657,74
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m3/km	347,312	5,29	1836,24
Geomanta para el control de erosión (tipo MacMat R)	m2	6460,000	9,99	64509,56
Limpieza final de la obra	m2	8800,000	1,52	13340,80
SSA	u	8,000	1254,00	1254,00
Total				94344,34
Alternativa: Hidrosiembra				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Limpieza y desbroce del terreno	m2	6460,000	2,27	14657,74
Conformación del talud - peinado E=20cm	m2	6460,000	3,46	22338,68
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m3/km	343,617	5,29	1816,70
Hidrosiembra	m2	6460,000	1,15	7416,08
SSA	u	8,000	1254,00	1254,00
Total				46229,20
Alternativa: Hormigón				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Limpieza y desbroce del terreno	m2	6460,000	2,27	14657,74
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m3/km	384,524	5,29	2032,98
Estabilización de taludes (hormigón lanzado e=8cm)	m2	6460,000	140,20	905711,38
Malla electrosoldada 8mm 15 x 15	m2	6460,000	3,57	23049,28
Limpieza final de la obra	m2	8800,000	1,52	13340,80
Drenajes	m	825,000	9,24	7621,35
SSA	u	11,000	1743,00	1743,00
Total				966413,53
No incluye IVA				

Tabla 18.
Presupuesto referencial de las alternativas de mitigación para Monjas Tramo II.

Abscisa: 21+000				
Sector: Monjas Tramo II				
Alternativa: Geomembrana				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Limpieza y desbroce del terreno	m2	595,00	2,27	1350,06
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m3/km	42,23	5,29	223,25
Geomanta para el control de erosión (tipo MacMat R)	m2	595,00	9,99	5941,67
Limpieza final de la obra	m2	595,00	1,52	902,02
SSA	u	8,00	1254,00	1254,00
Total				8416,99
Alternativa: Hidrosiembra				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Limpieza y desbroce del terreno	m2	595,00	2,27	1350,06
Conformación del talud - peinado E=20cm	m2	595,00	3,46	2057,51
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m3/km	49,90	5,29	263,84
Hidrosiembra	m2	595,00	1,15	683,06
SSA	u	8,00	1254,00	1254,00
Total				4354,46
Alternativa: Hormigón				
Rubros	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Limpieza y desbroce del terreno	m2	595,00	2,27	1350,06
Desalojo equipo pesado (cargador y volqueta) tierra/escombros KM	m2/km	42,23	5,29	223,25
Estabilización de taludes (hormigón lanzado e=8cm)	m2	595,00	140,20	83420,79
Malla electrosoldada 8mm 15 x 15	m2	595,00	3,57	2122,96
Limpieza final de la obra	m2	595,00	1,52	902,02
Drenajes	m	15,04	9,24	138,92
SSA	u	11,00	1743,00	1743,00
Total				88157,99
No incluye IVA				

Resumiendo, tanto los costos por daño y remoción (Ver Tabla 12,13 y 14), así como los de las alternativas de mitigación, los valores de los mismos se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19.
Costos del daño, remoción y alternativas de mitigación

Abscisa	15+000	16+000	21+000
Sector	Forestal Tramo I	Forestal Tramo II	Monjas Tramo II
Costo (\$)			
Daño y Remoción	14786476,96	481642,24	202547,96
Terrazas	1757256,39	93242,93	-----
Geomembrana	346254,42	94344,34	8416,99
Hidrosiembra	169126,12	46229,20	4354,46
Hormigón lanzado	3795738,37	966413,53	88157,99

Como se pudo observar en la Tabla 19, el mayor costo comprende a La Forestal Tramo I tanto para costo por daño y remoción como para hormigón lanzado.

4.6. Análisis costo – beneficio

Para determinar la alternativa con la mejor relación costo-beneficio, se comparó el costo de las alternativas de mitigación con el costo por daño y remoción, cuyos resultados se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20.

Relación Costo-Beneficio de Alternativas de Mitigación

Abscisa: 15+000				
Sector: Forestal Tramo I				
Alternativa de Mitigación	Terrazas	Geomembrana	Hidrosiembra	Hormigón Lanzado
Relación costo Beneficio	8,41	42,70	87,43	3,90
Abscisa: 16+000				
Sector: Forestal Tramo II				
Alternativa de Mitigación	Terrazas	Geomembrana	Hidrosiembra	Hormigón Lanzado
Relación costo Beneficio	5,17	5,11	10,42	0,50
Abscisa: 21+000				
Sector: Monjas Tramo II				
Alternativa de Mitigación	Terrazas	Geomembrana	Hidrosiembra	Hormigón Lanzado
Relación costo Beneficio	-----	6,34	12,25	0,61

La representación de los resultados finales tanto del volumen de los taludes y el costo ante un probable movimiento en masa de las zonas de alto riesgo, se pueden visualizar en la Figura 52 y 53.

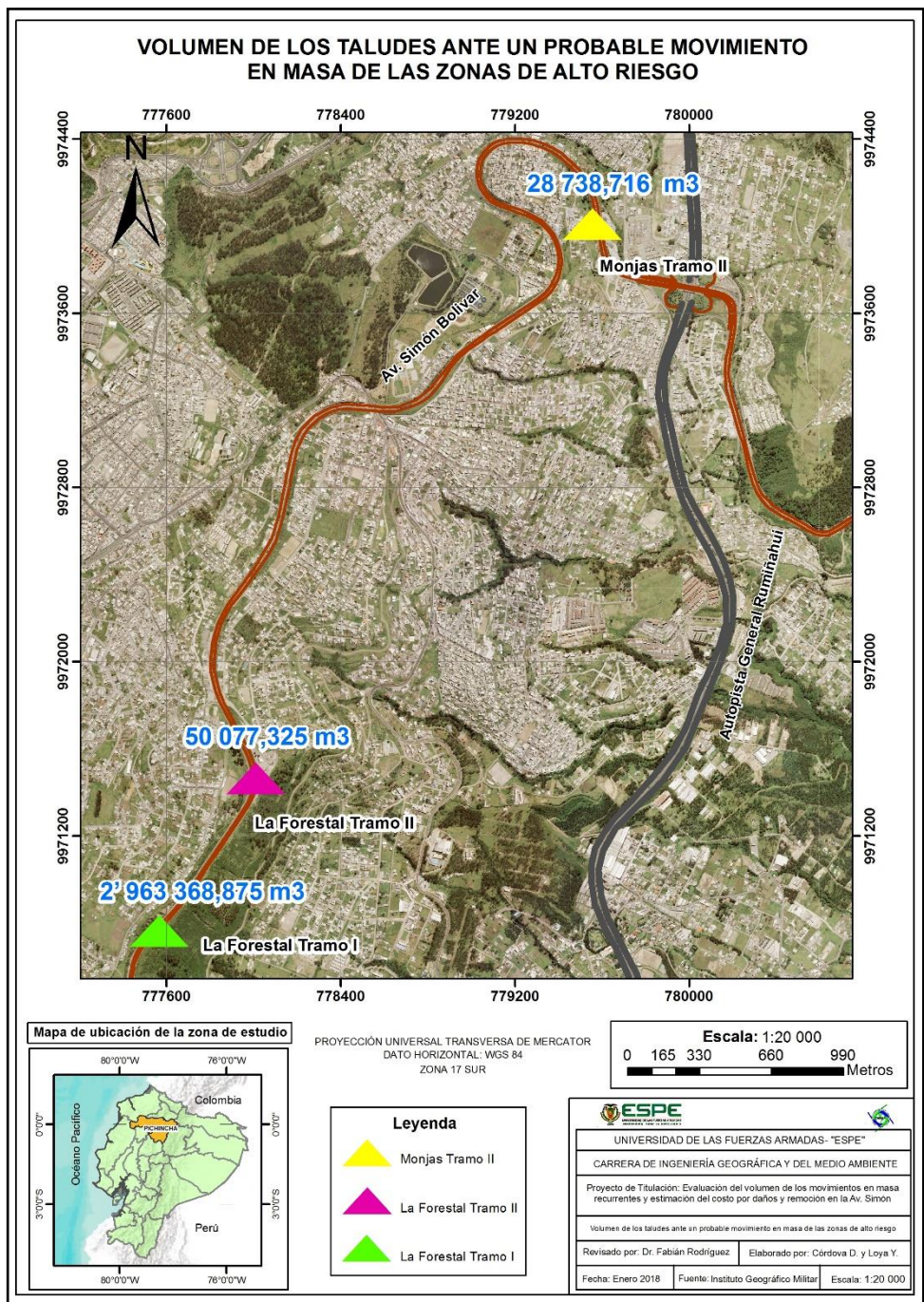


Figura 52. Volúmenes de las zonas de alto riesgo

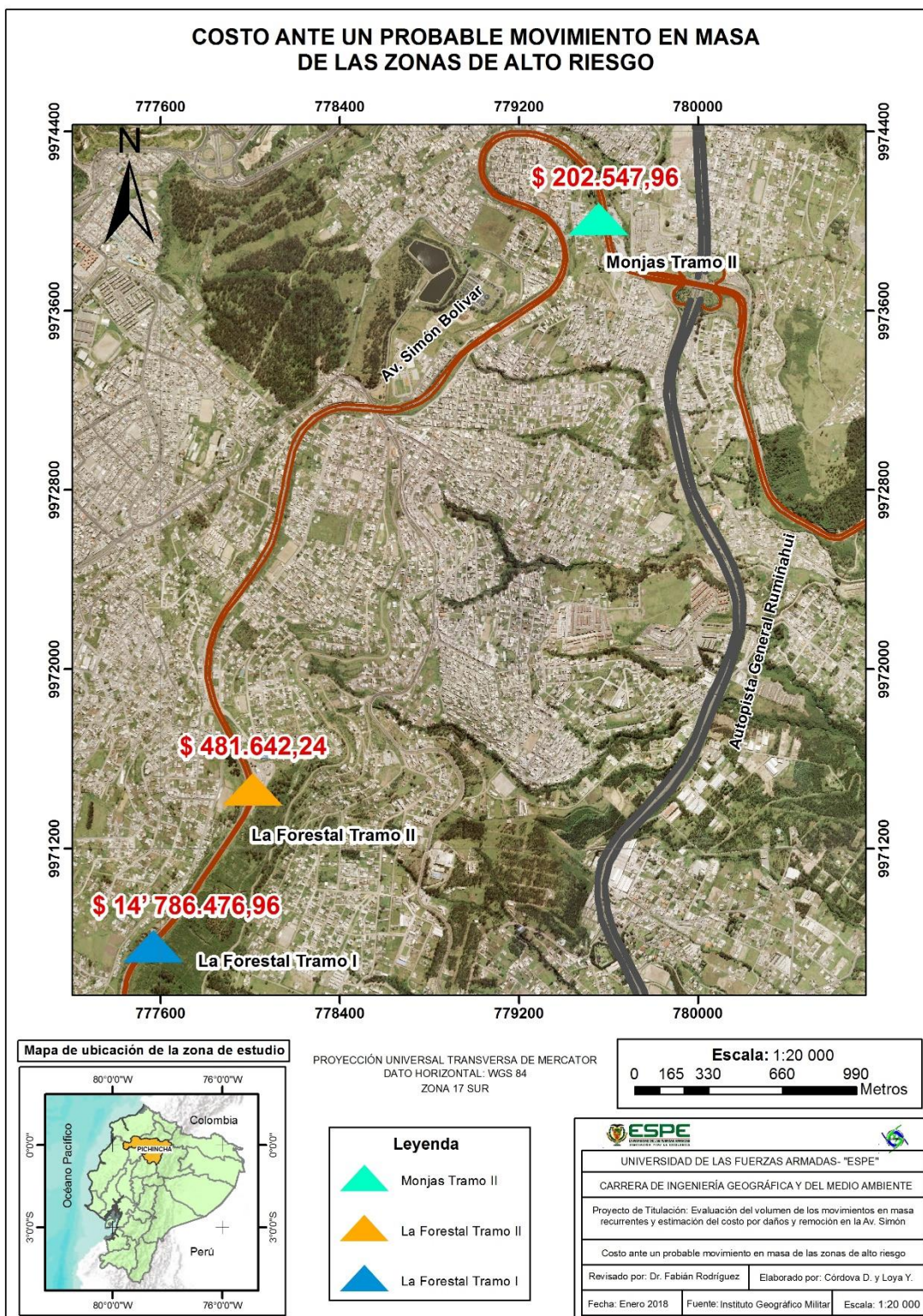


Figura 53. Costo de las zonas de alto riesgo

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La zonas de alto riesgo fueron identificadas apoyándose en los mapas de susceptibilidad publicados en la tesis de Andocilla en el año 2012, donde se identificó a la Avenida Simón Bolívar como una zona propensa a deslizamientos, en la que se distinguió cinco zonas de alto riesgo que son: La Forestal Tramo I, II y III, Monjas Tramo I y II, mediante información recopilada en campo, que muestra que en estas zonas existe rupturas en el escarpe principal y secundario, presencia de erosión, humedad y poca vegetación.

La implementación de las tecnologías geoespaciales como los vehículos aéreos no tripulados – UAV, son de vital importancia en la actualidad para poder complementar una variabilidad de trabajos, como es el caso de taludes que, por sus altas pendientes, difícil acceso y el nivel de riesgo al que se ven expuestos los técnicos, ayudan a evitar la pérdida de vidas humanas de estos últimos ante un eventual movimiento en masa, así también se puede remplazar equipos normalmente usados, reduciéndose el costo, tiempo, mano de obra empleado para la ejecución de un trabajo.

En función al análisis que consideró una probable actividad sísmica, el factor de seguridad de equilibrio límite tendrá un plano de falla provocando importantes volúmenes de desplazamiento del suelo, en especial en las zonas de La Forestal Tramo I y II, Monjas Tramo II, por contar con factores de seguridad de 1,1, los mismos que fueron elegidos para la determinación del cálculo del volumen y por ende el cálculo de costos, a diferencia de los otros dos sectores que presentaron estabilidad porque obtuvieron factores de seguridad mayores a 1,1.

Se evaluó el volumen en las tres zonas que presentaron inestabilidad y se obtuvo

que en La Forestal Tramo I se tiene un valor de 2'.963.368,875 m^3 , Forestal Tramo II con un valor de 50.077,325 m^3 y finalmente Monjas Tramo II con 28.738,716 m^3 , valores que se puede observar en la Tabla 8.

El costo por daño y remoción del volumen antes mencionado que representaría para las entidades competentes sin tomar en consideración el costo tiempo es de \$ 5'.356.653,98 para la Forestal Tramo I, valor que se puede visualizar en la Tabla 9, \$ 104.217,19 para la Forestal Tramo II, cuyo valor se puede observar en la Tabla 10 y \$ 53.336,09 para Monjas Tramo II, como lo indica la Tabla 11, valores que fueron estimados con los rubros correspondientes a limpieza de derrumbes y limpieza final de la obra.

Dado que ante un eventual movimiento en masa los costos por daño y remoción representan cantidades cuantiosas para las entidades competentes es necesario reducir el impacto que puede ocasionar mediante propuestas que brinden alternativas para mitigar este fenómeno, por lo que para el presente estudio se propuso terrazas, geomebrana, hidrosiembra y hormigón lanzado para el caso de la Forestal Tramo I y II, excluyendo terrazas para Monjas Tramo II debido a la presencia de infraestructura, lo cual dificulta la construcción de las mismas para evaluar los distintos escenarios.

En los sectores La Forestal Tramo III y Monjas Tramo I al presentar estabilidad en sus taludes no es necesario ningún tipo de intervención con las alternativas de mitigación propuestas, pero es indispensable mantener la vegetación presente en sus taludes con el propósito de proteger a estos de la erosión y humedad a causa de los factores naturales del sector.

El costo por hormigón lanzado representa el mayor costo de inversión en las alternativas de mitigación para los tres sectores (La Forestal Tramo I y II y Monjas II) con presencia de inestabilidad, mientras que la hidrosiembra es la alternativa que menor costo tiene.

El análisis de movimiento en masa en condiciones dinámicas lo que ocasionaría un daño en la infraestructura vial y pérdida de vidas lo que tomaría tiempo en poder recupera estos efectos

El resultado de un movimiento en masa en condiciones dinámicas podría ocasionar daños tanto en la infraestructura vial como pérdidas humanas, lo cual conlleva a trabajos que puedan recuperar esos efectos, los mismos que representan costos por daño, remoción y tiempo, siendo este último importante considerar porque afecta en gran medida a las actividades que podrían llevarse a cabo en el tiempo perdido en la vía y que se ve reflejado en el costo de oportunidad de \$ 19.114,29 por hora, como se observa en el apartado 4.3.

El costo tiempo en función del costo de oportunidad incrementa notablemente los costos por daño y remoción, cuyos valores comprenden, \$ 14'786.476,96 para el sector de la Forestal Tramo I, valor que se puede visualizar en la Tabla 12, \$ 481.642,24 para la Forestal Tramo II, cuyo valor se puede observar en la Tabla 13 y \$ 202.547,96 para Monjas Tramo II, como lo indica la Tabla 14.

La Relación costo beneficio por hormigón lanzado en los sectores de La Forestal Tramo II y Monjas Tramo II poseen valores menores a 1, lo cual indica que le presupuesto a invertirse posee rubros elevados que conducen a mayores gastos.

La mejor alternativa de mitigación según la relación costo – beneficio en los sectores La Forestal Tramo I y II, Monjas Tramo II es la hidrosiembra, puesto que tiene valores en la relación costo beneficio de 1:87 1:10 y 1:12 respectivamente, como se puede observar en la Tabla 21, por lo que sus beneficios son mayores.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar un trabajo en campo más exhaustivo que recopile información detallada de las características que presente el talud.

Es importante expandir el uso de nuevas tecnologías como los vehículos aéreos no tripulados UAV, con el objetivo de obtener información más detallada y tener mayor precisión en el momento de calcular el volumen y por tanto el costo de estos.

Para un mejor cálculo del volumen es recomendable trazar perfiles con menor distancia entre ellos, para tener un mejor modelamiento del terreno de acuerdo a los distintos planos de falla que se generen.

Es necesario realizar un estudio de suelos con el fin de entrenar de una mejor manera al programa para obtener resultados que se aproximen más a la realidad, y por ende permita tener decisiones acertadas.

Dado que tanto el volumen como el costo del sector de la Forestal I, representan valores mayores con respecto a los otros dos sectores, es recomendable prestar más atención a este sector y aumentar los recursos para su intervención.

En vista al sin número de percances a causa de los movimientos en masa es importante implementar sistemas de alerta temprana, para que de esta manera los ciudadanos tomen medidas preventivas que ayuden a minimizar los costos de oportunidad que se presentan cuando los usuarios pierden el tiempo de sus actividades normales, esperando en las vías.

A consecuencia de que la hidrosiembra como alternativa de mitigación obtuvo mayores beneficios en el análisis costo – efectivo, es recomendable considerar su implementación en los taludes analizados en el presente proyecto.

Debido a que el presente proyecto se ve influenciado en gran medida por la actividad sísmica es necesario realizar proyectos que caractericen el suelo de acuerdo a su sismicidad, o a su vez realizar zonificaciones geotécnicas y expandir el uso de tecnologías geoespaciales para este tipo de trabajos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agisoft. (2017). Nube de puntos densos: edición y clasificación. Agisoft PhotoScan LLC, Russia. Obtenido de <http://www.agisoft.com/>
- Aguiar, R. (2017). Fallas ciegas de Quito y períodos de recurrencia. R. Aguiar, & D. d. Construcción (Ed.), Quito, 2(1), 2-26.
- Alberti, J., Sandoval, B & Canales, E. (Octubre de 2006). Técnicas de mitigación para el control de deslizamientos en taludes y su aplicación a un caso específico, Universidad del salvador, Buenos Aires, 498 pp. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/4514/1/T%C3%A9cnicas%20de%20mitigaci%C3%B3n%20para%20el%20control%20de%20deslizamientos%20en%20taludes%20y%20su%20aplicaci%C3%B3n%20a%20un%20caso%20espec%C3%ADfico.pdf>
- Alcaldía de Medellín. (2008). Movimientos en Masa. Gobierno de Medellín, 25 pp. Obtenido de: https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_8/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2016/CartillaMovMasa.pdf
- Alcántara, I. (2002). Geomorfología, peligros naturales, vulnerabilidad y prevención de desastres naturales en países en desarrollo, *Geomorphology*, 47(4), 107-124. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X02000831?via%3Dihub#!>
- Alexander, D. (1993). Natural Desasters, University of Massachusetts, Amherst, 619 pp. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=gWHsuGTcF34C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Altizure. (2017). Tutorial de la aplicación Altizure (Android), Everest Innovation Technology, Hong Kong. Obtenido de <https://www.altizure.com/>
- Álvarez, N & Torres, H. (2014). Propuesta de un Modelo Hidro – Geotécnico para prevención de riesgos en taludes. Caso: La Forestal. - Avenida Simón Bolívar – Quito, Pontífica Universidad Católica del Ecuador, 159 pp. Obtenido de: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9574>
- Andocilla, L. (2012). Implementación del algoritmo de lógica Fuzzy aplicado a la determinación del grado de susceptibilidad a deslizamientos en el área Monjas-Ferrovianaria-La Magdalena- Itchimbia del Distrito Metropolitano de Quito, Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, 144 pp. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/browse?type=author&value=Andocilla+Lop%C3%A9z%2C+Lorena+Patricia>

- Angulo, L. (2014). Generación de Cartografía Básica a detalle mediante una metodología de toma con aviones no tripulados (UAV). Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, 100 pp. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9502/3/ac-gma-espe-048572.pdf>
- Ávalos, L. (2014). Informe Técnico de Evaluación de Riesgo, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 3 pp. Obtenido de http://www.quito.gob.ec/documents/rendicion_cuentas/azms/PoliticasyRiesgos2014/Fondos_emergencias/Ficha_tecnica13LomadePuengasi21-11-14.pdf
- Beltrán, Á. (2012). Libro de texto: Costo y Presupuesto, Instituto Tecnológico de Tepic, 540 pp. Obtenido de <https://icittopic.wikispaces.com/file/view/costos+y+presupuestos.pdf>
- Benitez, E. (2015). Atlas de Amenazas Naturales y Exposición de Infraestructura del DMQ, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 126 pp. Obtenido de: <http://www.quito.gob.ec/index.php/municipio/218-atlas-amenazas-naturales-dmq>
- Bonachea, J. (2006). Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos, Universidad de Cantabria, España, 301 pp. Obtenido de <http://www.tesisred.net/handle/10803/10610>
- CAPECO. (2014). Costos y presupuestos en edificación, Cámara Peruana de la Construcción, Perú, 375 pp. Obtenido de: https://civilyedaro.files.wordpress.com/2014/08/costos_y_presupuestos_en_edificacion_-_capeco_r.pdf
- Casanova, L. (2002). Elementos de Geometría, Universidad de los Andes, Bogotá, 50 pp. Obtenido de http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia_plana/pdf/CAP-1.pdf
- Cherres, S. L. (2015). Toma de decisiones basada en la aplicación del Costo de Oportunidad, Universidad de Valencia, España, 28 pp. Obtenido de http://dvl.ccn.ufsc.br/congresso_internacional/anais/6CCF/24_17.pdf
- Cruden, D. & Varnes, D. (1996). Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75.
- Damiani, C. (2013). Porcentaje de Esponjamiento en suelos, Universidad Alas Peruanas, Lima, 40 pp. Obtenido de: <http://carlosdamiani.blogspot.com/2013/04/porcentaje-de-esponjamiento-en-suelos.html>

- Díaz, A. (2003). Costos y Presupuestos, Universidad Nacional Autónoma de México, 122 pp. Obtenido de http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/98/3/costos_y_presu.pdf
- Díaz, C. (2004). Metodología para la evaluación de los costos de la movilidad en el transporte público, Universidad Politécnica de Catalunya, España, 115 pp. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3401>
- El comercio. (2011). La reconstrucción de la Avenida Simón Bolívar comenzará desde mañana. El comercio, Quito, 2 pp. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/reconstruccion-de-av-simon-bolivar.htm>
- El comercio. (2012). Caos vehicular en la Avenida Simón Bolívar. El comercio, Quito, 3 pp. Obtenido de: <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/caos-vehicular-avenida-simon-bolivar.html>
- El Universo. (2016). Municipio de Quito se prepara para época de lluvia, El Universo, Guayaquil, 3 pp. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/10/06/nota/5840230/municipio-quito-se-prepara-epoca-lluvia>
- EM - DAT. (2005). The International Disaster Database, Universidad Católica de Lovaina: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Bélgica. Obtenido de <http://www.emdat.be/>
- EPMMOP. (2012). Boletín de la Av. Simón Bolívar. Quito, Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas, Quito, 5 pp. Obtenido de <http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/index.php/noticias/boletines/item/613-rehabilitaci%C3%B3n-integral-de-la-av-sim%C3%B3n-bol%C3%ADvar-una-obra-para-toda-la-gente-de-quito>
- Escobar, P., Enrique, C., & Escobar, D. (2016). Geotecnia para trópico andino, Repositorio Nacional de Colombia, 28 pp. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>
- ESRI. (2002). ¿Qué es ArcGis?, Environmental Systems Research Institute, Estados Unidos, California. Obtenido de http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_/what-is-arcgis-spanish.pdf
- FAO. (2008). El Ecuador: Un país con elevada vulnerabilidad, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Ecuador, 12 pp. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/013/i1255b/i1255b02.pdf>
- Fuentes, J., Bolaños, J., & Rozo, D. (2012). Modelo digital de superficie a partir de imágenes de satélite Ikonos para el análisis de, Boletín de Investigaciones

- Marinas, 41(2), 251-266. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/303838466_modelo_digital_de_superficie_a_partir_de_imagenes_de_satelite_ikonos_para_el_analisis_de_areas_de_inundacion_en_santa_marta_colombia
- GEMMA. (2007). Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas, Servicio Nacional de Geología y Minería, Multinacional, 432 pp. Obtenido de: <http://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/442884/GuiaEvaPeligros.pdf>
- González, B. (2000). El coste de oportunidad como herramienta empresarial, Universidad de Oviedo, España, 28 pp. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1252826>
- Guzmán, C. (2006). Sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la mina Cobriza. Universidad Ricardo Palma, Perú, Lima, 125 pp. Obtenido de: <http://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/GDS-Teoria-Geodesia.pdf>
- Hernández, A. O. (2013). Selección de alternativas de mitigación del riesgo, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 46 pp. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12697>
- Hernández, P. (2017). Análisis del DJI Phantom 3 Professional, Compañía Wondershare, China. Obtenido de <https://filmora.wondershare.es/drones/dji-phantom-3-professional-review.html>
- Hillermann, W. (2011). Investigación y diseño de proyectos, Universidad de Oviedo, España. Obtenido de <http://www.entremundos.org/databases/Analisis%20Costo%20Beneficio%202011.pdf>
- IGAC. (2008). Informe de Gestión, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia, 240 pp. Obtenido de http://www2.igac.gov.co/igac_web/UserFiles/file/gestion_institucional_2009/Informe_Gestion_2008_IGAC.pdf
- IGNE. (2017). Geodesia, Instituto Geográfico Nacional de España, 87 pp. Obtenido de: <http://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/GDS-Teoria-Geodesia.pdf>
- INEGM. (2010). Guía metodológica de la Red Geodésica Horizontal, Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México, 192. Obtenido de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825078805.pdf
- Lara, M., & Sepulveda, S. (2008). Remociones en Masa. Universidad de Chile, Santiago de Chile, 63 pp. Obtenido de: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7>

&cad=rja&uact=8&ved=0ahukewj5ja3u8ixxahur5ymkhf9uasaqfghdmay&url=https%3a%2f%2fwww.u-cursos.cl%2fingenieria%2f2008%2f1%2f162c%2f1%2fmaterial_docente%2fbajar%3fid_material%3d159913&usg=aovv

- Lavell, A. (2004). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición. Universidad Autónoma de Honduras, 22 pp. Obtenido de: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Mayo2004/pdf/spa/doc15036/doc15036-contenido.pdf>
- Leal, J. (2010). Análisis costo beneficio de regulaciones ambientales. congreso de la república, colombia, 20 pp. obtenido de: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/9e90838f4d830fea052578b5007434db/\\$file/lealviernes_2_analisis_costo_beneficio_revisado.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/9e90838f4d830fea052578b5007434db/$file/lealviernes_2_analisis_costo_beneficio_revisado.pdf)
- Leoni, A. J. (2012). Resistencia al corte. Universidad Nacional de la Plata, 144 pp. Obtenido de: http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Capitulo%203_Resistencia%20al%20corte.pdf
- Medina, R. (2014). Contabilidad de Costos. Universidad Nacional de Colombia, 149 pp. Obtenido de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12101/1/ricardorojasmedina.2014.pdf>
- MIDUVI. (2017). Norma Ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS. Ministerio de desarrollo urbano y vivienda del Ecuador, 139 pp. Obtenido de: <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf>
- Morín, E. (2009). Principios y aplicaciones del Análisis Costo-Beneficio: Evaluación Social de Proyectos. Programa para el Impulso de Asociaciones Público-Privadas en Estados Mexicanos, 36 pp. Obtenido de: <http://www.piappem.org/file.php?id=42>
- MTOP. (2011). Ley de caminos. Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. Obtenido de: http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/07-01_2012_especial_ley_de_caminos.pdf
- Navarro, S. (Ed.). (2008). Estabilidad de Taludes. Universidad Nacional de Ingeniería, Departamento Estelí de Nicaragua, 54 pp. Obtenido de: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/estabilidad-de-taludes.pdf>
- NGRD. (1993). Estrategias de Inversión. Unidad Nacional para la Gestión del Riego de Desastres, Colombia, 26 pp. Obtenido de <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19023>

- Orellana, H., & Zea-La-Rochelle, J. (2008). Peligrosidad de terrenos inestables en Quito, detección y mitigación. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 8 pp. Obtenido de: <http://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc9218/doc9218-contenido.pdf>
- Otero, I., Ezquerro, A., Rodríguez, R., Martín, L., & Bachiller, I. (2010). Fotogrametría. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 134 pp. Obtenido de: http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/tema_11_fotogrametria_y_teledeteccion/fotogrametria/
- PNUD. (2012). Conceptos Generales sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Contexto del País. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Chile, 28 pp. Obtenido de: https://www.preventionweb.net/files/38050_38050conceptosbsicos.pdf
- Potes, E., Duque, C. E., & Escobar, G. (2016). Geotecnia para el Trópico Andino. Universidad Nacional de Colombia, 118 pp. Obtenido de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/21/analisisdeestabilidaddetaludes.pdf>
- Pucha-Cofrep, F., Fries, A., Canovas, F., Oñate, F., Gonzales, V., & Pucha, D. (2017). Fundamentos de SIG, Loja, 85 pp. Obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Franz_Pucha-Cofrep/publication/318447525_Fundamentos_de_SIG/links/596a78710f7e9b80919466d7/Fundamentos-de-SIG.pdf
- Quirós, M. (2001). Tecnologías de la Información Geográfica. Universidad de Salamanca, España, 572 pp. Obtenido de: <http://alpoma.net/carto/?p=3414>
- Ramos, E. (2015). Los Drones y la topografía. zcopters, Hong Kong. Obtenido de: <https://zcopters.com/2015/04/los-drones-y-la-topografia/>
- Salazar, L., Cortez, L., & Mariscal, J. (2002). Gestión Comunitaria de Riesgos. Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación, Lima, 21 pp. Obtenido de: <http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/gestionriesgos.pdf>
- Sánchez, J. (2007). Introducción a la Fotogrametría. Universidad Nacional de San Juan, Argentina, 58 pp. Obtenido de: ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Fotogrametria/Unidad6/Introduccion_a_la_Fotogrametria.pdf
- Sani, J. (2015). Vehículos aéreos no tripulados – UAV para la elaboración de cartografía escalas grandes referidas al marco de referencia sirgas-ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Quito, 80 pp. Obtenido de: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/browse?value=Sani+Sani%2C+Juan+Carlos&type=author>

- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017, Quito, 79 pp. Obtenido de: <http://www.buenvivir.gob.ec/>
- SGR. (2014). Programa de Prevención y Mitigación para reducir el riesgo por diferentes amenazas. Secretaría de Gestión de Riesgos, Quito, 77 pp. Obtenido de: <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/ProyectoPrevencion.pdf>
- SGR. (2016). Plan Estratégico Institucional 2014-2017. Secretaría de Gestión de Riesgos, Quito, 25 pp. Obtenido de: <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/PEI-2014-2017.pdf>
- Suárez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander, Bucaramba - Colombia, 540 pp. Obtenido de: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>
- Suárez, N. (2014). Geodesia. Revisión de Conceptos. Universidad de la República de Uruguay, Montevideo, 22 pp. Obtenido de: https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/142750/mod_folder/content/0/1GeodesiaRevisi%C3%B3nConceptosModificado.pdf?forcedownload=1.
- Suárez. (2005). Nomenclatura y Clasificación de los movimientos. Universidad Industrial de Santander, Bucaramba – Colombia, 85 pp. Obtenido de: <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/45-tomoi.html?download=440:librodeslizamientosti-cap1>.
- Tiktin, J. (1997). Movimiento de Tierras. Madrid – Barcelona, 240 pp.
- Topoequipos S.A. (2017). Sistema de Posicionamiento Global, Bogotá. Obtenido de: <http://www.topoequipos.com/dem/qu-es/terminologa/que-es-un-gps>
- Trimble. (2011). sistema trimble 5800 gps. al-top topografía, Barcelona, 2 pp. Obtenido de: <http://www.al-top.com/sites/default/files/5800.pdf>
- Trimble. (2013). Sistema Trimble R4 GNSS. Geotecnologías, Barcelona, 2 pp. Obtenido de: http://www.geotecnologias.com/wp-content/uploads/2013/10/sistema_trimble_r4_gnss.pdf
- Ulloa, F. (2011). Manual de Gestión de Riesgos de desastre para comunicadores sociales. UNESCO, Perú, 69 pp. Obtenido de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002191/219184s.pdf>
- UNISDR. (2002). Documento de las Naciones Unidas relacionados con la reducción de desastres, Ginebra, 452 pp. Obtenido de: <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/3620>
- UPB. (2010). Costo. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia, 90 pp. Obtenido de http://cmap.upb.edu.co/rid=1236386221659_394110883_2126

- Weston, J., Moreno, R. M., & Velázquez, S. (2016). Vehículos Aéreos No Tripulados: Avances en cuanto a la legislación de éstos. Universidad la Salle, México, D. F., 4 pp. Obtenido de: http://200.10.243.34/ojs/index.php/Memorias_del_Concurso/article/viewFile/869/1288
- Zapata, E. (2008). Construcción de Infraestructura Vial. Universidad Nacional de Colombia, Medellin, 78 pp. Obtenido de: <http://www.docentes.unal.edu.co/eazapata/docs/civ-clase%205.pdf>