

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

DETERMINACIÓN DEL RIESGO A DESLIZAMIENTOS EN REDES
VITALES DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO MATAQUÍ –
CANTÓN PIMAMPIRO, PROVINCIA DE IMBABURA.

PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORES: ESCALANTE AMAYA JORGE ANDRES
SANDOVAL HIDALGO SHIRLEY DAYANA

DIRECTOR: ING. ARIAS MUÑOZ DARIO PAUL MSC.

JULIO, 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

En cumplimiento con el art.144 de la ley de educación superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el repositorio digital institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	1002568820		
APELLIDOS Y NOMBRES	Escalante Amaya Jorge Andrés		
DIRECCIÓN:	Priorato		
EMAIL:	jaescalantea@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0987589639

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	0401748348		
APELLIDOS Y NOMBRES	Sandoval Hidalgo Shirley Dayana		
DIRECCIÓN:	Ibarra- Imbabura		
EMAIL:	sdsandovlh@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0995542503

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DETERMINACIÓN DEL RIESGO A DESLIZAMIENTOS EN REDES VITALES DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO MATAQUÍ – CANTÓN PIMAMPIRO, PROVINCIA DE IMBABURA.
AUTORES:	Escalante Amaya Jorge Andrés Sandoval Hidalgo Shirley Dayana
FECHA:	2019/07/02
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Paúl Arias

CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 02 días del mes de julio de 2019

LOS AUTORES:



Escalante Amaya Jorge Andrés

C.1 100256882-0



Sandoval Hidalgo Shirley Dayana

C.1040174834-8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
“DETERMINACIÓN DEL RIESGO A DESLIZAMIENTOS EN REDES
VITALES DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO MATAQUÍ –
CANTÓN PIMAMPIRO, PROVINCIA DE IMBABURA”

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa la obtención del Título de:

INGENIEROS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

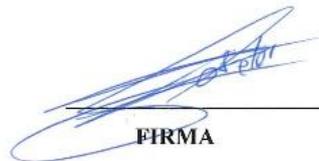
Ing. Paúl Arias
DIRECTOR


FIRMA

Ing. James Rodríguez
ASESOR


FIRMA

Ing. Oscar Rosales
ASESOR


FIRMA

CERTIFICACIÓN

Ing. Paul Arias MSc., director del Trabajo de Titulación desarrollado por los señores estudiantes Jorge Andrés Escalante Amaya y Shirley Dayana Sandoval Hidalgo.

CERTIFICA

Que, el Proyecto de Tesis de grado titulado “DETERMINACIÓN DEL RIESGO A DESLIZAMIENTOS EN REDES VITALES DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO MATAQUÍ – CANTÓN PIMAMPIRO, PROVINCIA DE IMBABURA”, ha sido realizado en su totalidad por los señores estudiantes Jorge Andrés Escalante Amaya y Shirley Dayana Sandoval Hidalgo bajo mi dirección, para la obtención del título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, autoriza su presentación y defensa para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente.



Ing. Paul Arias MSc

TRABAJO DE TITULACIÓN

DEDICATORIA

A mi madre Raquel Amaya, quien con su constancia y fuerza de carácter ha sido capaz de inculcarme valores y principios que atesoraré en el corazón. Gracias a ella y su guía hoy me encuentro terminando una etapa más en mi vida académica. No alcanzan las palabras para manifestar mi eterna gratitud ante tu amor y todas las valiosas enseñanzas que me has brindado.

A mi padre Jorge Escalante, quien fue un apoyo a lo largo de mi vida universitaria. Su dedicación laboral siempre va a ser un ejemplo a seguir a lo largo de mi vida.

A mi abuela Martha Noguera, quien con su fé y paciencia me apoyo en todo momento siendo una fuente de sabiduría, facilitando la toma de decisiones importantes en mi vida.

A mi tío Pablo Chamorro, quien fue el eje clave en realizarme como profesional, quien con su ejemplo he aprendido a ser constante y a enfocarme en un solo objetivo.

A mi amiga y compañera de investigación Shirley Sandoval, quien ha sido un apoyo fundamental en el cumplimiento de nuestra investigación, con su ejemplo he podido aprender que la constancia y la entrega puede hacer que todo lo que se inicie si se hace con dedicación y esfuerzo puede tener un resultado inesperadamente grato.

JORGE ANDRÉS ESCALANTE AMAYA

DEDICATORIA

A mis padres Fausto e Isabel quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han apoyado a lo largo de mi vida permitiéndome llegar a cumplir hoy un sueño más. Gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está siempre conmigo.

A mis hermanas Lore y Dayris por su cariño, comprensión y apoyo incondicional, durante cada etapa de mi vida.

A mis abuelitos Guillermo y María, porque han influido en cada paso de mi vida, esperando ver en mí a una mujer realizada, apoyándome incondicionalmente sin importar donde este.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento se han convertido un gran apoyo, presente en las buenas y aún más en las malas, haciendo de mí una mejor persona.

A los mejores amigos, Vivi y Dylan, porque conjuntamente con mi familia han sido mi sostén en el diario vivir, confirmándome que los verdaderos amigos existen y que la carga siempre es más liviana cuando tienes alguien que te ayuda con ella.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mis amigos: Andrés Escalante, amigo y compañero de investigación, por tu paciencia, tu esmero, dedicación y perseverancia; Pato B., Anita C., Cris C., Migue C., Lore G., Stephy L., Al M., David M., Fer M., Pao T., Danny V., Jhosse V., por apoyarme cuando más lo he necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, vivir lejos de casa no ha sido fácil pero ustedes han hecho de mi estadía aquí algo más sencillo, siempre los llevaré en mi corazón.

SHIRLEY DAYANA SANDOVAL HIDALGO

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a Dios, porque en los momentos de debilidad Él ha sido nuestra fortaleza, haciendo posible que este proceso de realización profesional sea exitoso.

A la prestigiosa Universidad Técnica del Norte por permitirnos ser parte de su institución durante estos cinco años de formación académica y científica, formándonos con calidad profesional y humana.

A nuestro director Ing. Paul Arias, Msc. quien durante la realización de la presente investigación aportó con su tiempo, conocimiento y paciencia, formándonos como profesionales capaces de cumplir las expectativas esperadas en el área profesional. Además de brindarnos su apoyo y confianza para la culminación del proyecto, llegando a convertirse en nuestro amigo.

A nuestros asesores Biol. James Rodríguez y al Ing. Oscar Rosales, por haber brindado su tiempo y conocimientos enriqueciendo el proyecto de investigación y facilitando la elaboración del mismo.

Y finalmente agradecer de una forma especial a nuestros padres, quienes son y serán nuestro ejemplo a seguir. Destacando en ellos responsabilidad entrega y sobre todo amor. Gracias de todo corazón por sus enseñanzas y lecciones de vida.

JORGE ANDRÉS ESCALANTE AMAYA

SHIRLEY DAYANA SANDOVAL HIDALGO

INDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	xxvi
SUMMARY	xxvii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Revisión de Antecedentes	1
1.2 Problema de investigación y justificación.....	2
1.3. Objetivos	4
<i>1.3.1. Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
1.4. Pregunta(s) directriz(ces) de la investigación	4
1.5. Hipótesis.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Marco teórico referencial	5
<i>2.1.1. Riesgo de desastres</i>	<i>5</i>
2.1.1.1.Elementos de riesgo	6
2.1.1.2.Mitigación del riesgo	6
<i>2.1.2. Amenaza a deslizamientos</i>	<i>9</i>
<i>2.1.2.1 Susceptibilidad a deslizamientos</i>	<i>10</i>
<i>2.1.3. Estimación de la vulnerabilidad</i>	<i>17</i>
2.1.3.1. Tipos de vulnerabilidad.....	18
<i>2.1.4. Riesgos geológicos</i>	<i>7</i>
<i>2.1.5 Deslizamientos</i>	<i>7</i>
2.2 Marco legal.....	18

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	21
3.1. Descripción del área de estudio.....	21
3.2. Materiales y métodos	22
3.2.1. <i>Primera etapa:</i>	24
3.2.1.1. <i>Información y datos</i>	24
3.2.1.2. <i>Generación de datos</i>	24
3.2.1.3. <i>Análisis de datos</i>	25
3.2.1.4. <i>Análisis de la metodología de Lógica Fuzzy</i>	27
3.2.1.5. <i>Análisis de variables según casos de Lógica Fuzzy</i>	27
3.2.1.6. <i>Modelo Cartográfico</i>	28
3.2.1.7. <i>Desarrollo del proceso SIG</i>	28
3.2.1.8. <i>Modelo de susceptibilidad a deslizamientos</i>	29
3.2.1.9. <i>Curva de ROC</i>	30
3.2.2. <i>Segunda etapa.</i>	32
3.2.2.1. <i>Información y datos</i>	32
3.2.2.2. <i>Generación de datos</i>	32
3.2.2.3. <i>Análisis de vulnerabilidad de redes vitales</i>	32
3.2.2.2. <i>Análisis de vulnerabilidad funcional de redes vitales</i>	36
3.2.3. <i>Tercera etapa</i>	38
3.2.3.1. <i>Determinación del riesgo a deslizamientos en redes vitales</i>	38
3.2.3.1. <i>Propuestas de estrategias de gestión a deslizamientos</i>	38
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Factores de susceptibilidad reclasificados	40
4.1.1. Cobertura vegetal	40
4.2. Zonificación de susceptibilidad a deslizamientos	45

4.4. Análisis de vulnerabilidad	50
4.4.1. <i>Red Vial</i>	50
4.4.2. <i>Red de Agua potable</i>	52
4.5. Evaluación y propuesta para la disminución del riesgo	56
4.5.1. <i>Evaluación del riesgo a deslizamientos en elementos esenciales</i>	57
4.5.1.1. <i>Evaluación del riesgo en la red vial</i>	57
4.5.1.2. <i>Evaluación del riesgo en la red de agua potable</i>	57
4.5.2. Estrategias de gestión para la disminución del riesgo	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1 Conclusiones:	68
5.2 Recomendaciones	69
REFERENCIAS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Páginas
Figura 1. Clasificación general de los movimientos de ladera.	9
Figura 2. Función seno cuadrado.	16
Figura 3. Casos lógica Fuzzy.	17
Figura 4. Ubicación de la cuenca del río Mataquí, cantón Pimampiro.	21
Figura 5. Esquema metodológico para el establecimiento de estrategias de disminución del riesgo a deslizamientos en redes vitales.	23
Figura 6. Curva de ROC	31
Figura 7. Cobertura vegetal de la subcuenca del río Mataquí.....	41
Figura 8. Litología de la subcuenca del río Mataquí.....	41
Figura 9. Índice de precipitación anual en la subcuenca del río Mataquí.	42
Figura 10. Pendientes de la subcuenca de río Mataquí.	43
Figura 11. Distancia hacia la red vial con respecto al límite de la subcuenca.	43
Figura 12. Distancia de ríos con respecto al límite de la subcuenca.....	44
Figura 13. Distancia de falla geológica con respecto al límite de la subcuenca..	45
Figura 14. Susceptibilidad a deslizamientos en la subcuenca.....	48
Figura 15. Curva ROC.	49
Figura 16. Vulnerabilidad estructural de la red vial de la subcuenca.	50
Figura 17. Distribución de la red de agua potable en la subcuenca	53

Figura 18. Riesgo a deslizamientos en la red vial para la subcuenca.	57
Figura 19. Riesgo en la red de agua potable en la subcuenca.	58
Figura 20. Zonas de intervención.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Páginas
Tabla 1. Procesos geológicos causantes de riesgos en el desarrollo de actividades humanas.....	7
Tabla 2. Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos, en base a la morfología del terreno.....	12
Tabla 3. Materiales y equipos.	22
Tabla 4. Ponderación de la dureza de la roca.....	25
Tabla 5. Ponderación de cobertura vegetal.	26
Tabla 6. Calificación de la vulnerabilidad física de redes vitales - sistema de agua potable (captación).....	33
Tabla 7. Calificación de la vulnerabilidad física de redes vitales - sistema de agua potable (conducción).....	34
Tabla 8. Calificación de la vulnerabilidad física de redes vitales - sistema de agua potable (tratamiento).	35
Tabla 9. Calificación de vulnerabilidad física de redes vitales - red vial.....	36
Tabla 10. Calificación de la vulnerabilidad funcional del sistema de agua potable.	37
Tabla 11. Calificación de la vulnerabilidad funcional del sistema de la red vial.	37
Tabla 12. Matriz para la estimación del riesgo a elementos esenciales.	38
Tabla 13. Área cubierta por cada categoría de susceptibilidad a deslizamientos en la subcuenca del río Mataqui, cantón Pimampiro.	47
Tabla 14. Resultado de los valores de vulnerabilidad estructural de la red vial. .	51

Tabla 15. Calificación de la vulnerabilidad funcional en la red vial.....	52
Tabla 16. Resultado de la vulnerabilidad física en la red de agua potable.	53
Tabla 17. Clasificación de la vulnerabilidad funcional en la red de agua.....	55
Tabla 18. Matriz de formulación estratégica para el análisis FODA.....	59
Tabla 19. Planes diseñados.	62
Tabla 20. Diseño de estrategias para el plan de disminución del riesgo a través de la amenaza.....	63
Tabla 21. Diseño de estrategias para el plan de disminución del riesgo a través de la vulnerabilidad.....	65
Tabla 22. Diseño de estrategias para el plan de gestión del riesgo en los procesos de planificación y ordenamiento territorial.....	65

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

DETERMINACIÓN DEL RIESGO A DESLIZAMIENTOS EN REDES
VITALES DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO MATAQUÍ –
CANTÓN PIMAMPIRO, PROVINCIA DE IMBABURA

Nombre del estudiante: Escalante Amaya Jorge Andrés, Sandoval Hidalgo Shirley
Dayana

RESUMEN

La subcuenca del río Mataquí es una zona que presenta múltiples deslizamiento los cuales afectan a la salud, movilización y economía de diferentes comunidad. Por esta razón el presente estudio se propone reducir el riesgo a deslizamientos en redes vitales de vías y agua potable, dentro de la subcuenca del río Mataquí, a partir del análisis de susceptibilidad a deslizamientos de ladera y vulnerabilidad a elementos esenciales, se aplicó la metodología Fuzzy para evaluar variables intrínsecas del terreno como son: precipitaciones, cobertura vegetal, litología, pendientes y distancia a ríos, vías y fallas geológicas; de igual forma se evaluó la vulnerabilidad a elementos esenciales, en base a la información del funcionamiento y estándares de construcción de los sistemas de agua potable (captación, conducción y tratamiento) y de la red vial. Entre los resultados, se registran varios casos de deslizamientos en las vías de segundo y tercer orden, interrumpiendo actividades personales y laborales de los habitantes del cantón Pimampiro. Se logró evidenciar que el área de intervención presenta una susceptibilidad alta y muy alta a deslizamientos en más del 90%, mientras que el grado de vulnerabilidad tanto en la red vial como en la red de agua potable es media; estableciendo así que el riesgo de deslizamientos que presenta la zona es alto, afectando no solo a la población, sino también al recurso hídrico. Frente a este escenario se plantearon estrategias de Evaluar y mejorar el sistema de mantenimiento en las redes vitales, diseñar y socializar planes de contingencia frente a eventos de deslizamiento con la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos y disminución del riesgo a través de la amenaza.

Palabras claves: Riesgo, deslizamiento, vulnerabilidad, susceptibilidad.

SUMMARY

The Mataquí river sub-basin is an area that presents multiple landslides which affect the health, mobilization and economy of different communities. For this reason the present study aims to reduce the risk of landslides in vital networks of roads and drinking water, within the Mataquí River sub-basin, from the analysis of susceptibility to hillside landslides and vulnerability to essential elements. The Fuzzy methodology was applied to evaluate intrinsic variables of the terrain such as: precipitation, plant cover, lithology, slopes and distance to rivers, tracks and geological faults; similarly, vulnerability to essential elements was assessed, based on information on the operation and buildings standards of the drinking water systems (catchment, conduction and treatment) of the road network. Among the results, there are several cases of second and third order slides, interrupting personal and labor activities of the inhabitants of the canton of Pimampiro, evidence was made that the intervention area has a high and very high susceptibility to slippages in more than 90%, while the degree of vulnerability in both the road network and the drinking water network is average; establishing that the risk of landslides presented by the area is high, affecting not only the population, but also the water resource. In the face of this scenario, strategies have been put forward to evaluate and improve the maintenance system in vital networks, design and socialize contingency plans in the face of sliding events with the Secretaría Nacional de Riesgos (National Secretary of Risk Management) and reducing risk through the threat.

Keywords: Risk, slippage, vulnerability, susceptibility.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de Antecedentes

En los últimos 40 años, el número de desastres causados por fenómenos naturales reportados en el mundo se ha multiplicado por diez, ocasionando aumento en el número de daños estructurales, el incremento de vidas humanas perdidas de manera considerable (EIRD, 2009) y pérdidas económicas estimadas en más de 50 millones de dólares al año a nivel mundial (Bell, 2002). Además, en países en vías de desarrollo se ha registrado un aumento en la incidencia de desastres naturales (Alcántara, 2008).

El movimiento de laderas es uno de los desastres naturales más frecuentes en el Ecuador (SGR, 2017). La inestabilidad se define como el movimiento de masas de roca, detritos, o material de suelo, en dirección de la pendiente, bajo la influencia directa de la fuerza de gravedad (Muñoz, 2005). Este proceso es un reajuste a las formas del terreno con el fin de recuperar el equilibrio natural en condiciones cambiantes (Bermejo, 2017). Los deslizamientos de masa se encuentran relacionados directamente con las fuertes pendientes y con zonas desprovistas de vegetación, de esta forma, éstas zonas son vulnerables ante fuertes precipitaciones, sismos y/o presencia de fallas geológicas aumentando la susceptibilidad a este tipo de amenazas (SGR, 2017).

Los fenómenos naturales se clasifican según los procesos geodinámicos internos como: la erosión hídrica, los movimientos sísmicos y erupciones volcánicas (Bermejo, 2017). Estos fenómenos al igual que las actividades antrópicas como: construcción, minería y agricultura (Malcom - Holcombe, 2013) pueden causar, inducir o provocar procesos geodinámicos externos como movimientos de ladera y otros procesos asociados (Bermejo, 2017).

En Ecuador los deslizamientos de masa son eventos frecuentes, que han generado diversos problemas dentro del país (SGR, 2017). Durante el período 1970 - 2017 se

han registrado 6736 casos de deslaves, entre los cuales se citan tres de estos eventos ocurridos en el año 2017, donde el factor detonante fueron las fuertes precipitaciones presentadas en las diversas zonas afectadas, generando daños en las redes viales del país y causando problemas de comunicación desde las zonas afectadas a otros lugares, representando una considerable pérdida económica para el país (Ortiz, 2013). Los tres casos mencionados son: Caso 1.- Caída de rocas en la vía E20 en el tramo Papallacta – Baeza; Caso 2.- deslizamiento de tierra en la vía E40 Patuca – San José de Morona; Caso 3.- deslizamiento en el km 35 de la vía Puyo – Tena (Desinventar, 2017).

Debido a la frecuencia de eventos de deslizamientos en el Ecuador se han realizado estudios de evaluación tanto de la amenaza, donde se puede citar los siguientes casos: “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” (Andocilla, 2012) y “Evaluación y Zonificación de Susceptibilidad y Amenazas/Peligros por Fenómenos de Remoción en Masa en el Cantón Pallatanga” (Pavón Ayala, 2014). Dichos trabajos establecen la importancia y la factibilidad del estudio para las demás zonas del Ecuador, debido a que son de importancia en proyectos de gestión de riesgos. Se presentan casos en donde se evalúa la vulnerabilidad de las zonas expuestas ante amenazas de deslizamientos como es: “Propuesta de un Plan de Reducción de Vulnerabilidad Físico Funcional de Redes Vitales Ante Dos Tipos de Amenazas: Sísmica y de Deslizamientos en la Parroquia Huaca, Cantón San Pedro de Huaca” (Vázquez, 2015). El autor menciona la importancia de la reducción de la vulnerabilidad debido a que el daño a las redes vitales ante eventos de deslizamientos, crean incomunicación y representan pérdidas económicas (Vázquez, 2015).

1.2 Problema de investigación y justificación

El impacto económico y social que generan la inestabilidad de laderas en relación a las actividades humanas, es de gran importancia, debido a las elevadas sumas de capital requerido para la reconstrucción y limpieza de vías afectadas (UNISDR,

2002). Es así que, es necesario el análisis de susceptibilidad de deslaves en la subcuenca del río Mataquí, entendiéndose como susceptibilidad a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno (UNISDR, 2002). Así se determinaron las zonas vulnerables del territorio haciendo referencia al grado de afectación que pueden tener los elementos expuestos ante los deslaves, partiendo desde un punto de vista físico y social (Gáfaró, 2013), y a su vez identificar elementos esenciales susceptibles, como es el caso de las redes vitales.

Tomando en cuenta las redes vitales y como pueden ser afectadas ante los eventos de deslaves suscitados en el país, mediante el diseño de Políticas Públicas a través de la Secretaria Nacional de Riesgos, se ha garantizado el derecho de seguridad ante los desastres referente a la Gestión del Riesgo (Asamblea Nacional Constituyente, 2008). No obstante, dentro de esta normativa, el análisis sobre riesgos de movimientos en masa, inundaciones e incendios no ha sido tomado en cuenta (Pozo, 2017).

La presente investigación se desarrolló en la subcuenca del río Mataquí, donde en los últimos cinco años han sido más recurrentes la manifestación de deslizamientos. El primero sucedió a mediados del 2013 afectando un tramo de 100 m en la vía San Francisco de Sigsipamba y la cabecera cantonal de Pimampiro (Desinventar, 2017). El segundo evento se produjo a inicios del año 2017 afectando a la red vial ubicada en el tramo San Francisco de Sigsipamba – Pimampiro: el desastre afectó alrededor de 60 m lineales del tramo vial que comunica a Pimampiro con 18 comunidades comprendidas en el cantón Pimampiro (SGR, 2017), perjudicando a los pobladores del lugar que se dedican a la comercialización de productos agropecuarios. La Secretaria de Gestión Riesgos (SGR) no posee una base de datos geográfica acerca de la susceptibilidad de deslaves para el cantón Pimampiro, por lo cual, se presenta la necesidad de analizar la susceptibilidad de deslaves en la subcuenca del río Mataquí con el fin de determinar el grado de vulnerabilidad al que están expuestos los pobladores de la zona. De esta forma se pretende sugerir estrategias de reducción de riesgos a través del análisis de la vulnerabilidad ante la amenaza de deslizamientos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el nivel de riesgo en redes vitales de vías y agua potable, dentro de la subcuenca del río Mataquí para elaborar una propuesta de reducción de riesgo a deslizamientos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Zonificar la subcuenca del río Mataquí de acuerdo a los grados de susceptibilidad a deslizamientos.
- Determinar el grado de vulnerabilidad de redes vitales de vías y agua potable expuestas a deslizamientos en la subcuenca del río Mataquí.
- Elaborar una propuesta de reducción del riesgo a deslizamientos en las redes vitales.

1.4. Pregunta(s) directriz(ces) de la investigación

- ¿Qué riesgo a deslizamiento presentan las redes vitales en la subcuenca?
- ¿Cómo reducir el riesgo a deslizamiento en redes vitales?

1.5. Hipótesis

El análisis de susceptibilidad a deslizamientos, permite realizar una propuesta para reducir la vulnerabilidad en redes vitales.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico referencial

Para determinar el riesgo asociado a los deslizamientos, es necesario conocer las características de la zona, de igual forma los tipos de deslizamientos que se pueden presentar en el terreno. De esta forma es necesario citar varios conceptos acerca de los tipos de movimiento de masa para conocer las características específicas de cada uno.

2.1.1. Riesgo de desastres

El Riesgo es la probabilidad o posibilidad de que se produzca un desastre y sus consecuencias posibles, debido a la interacción entre una o varias amenazas (terremotos, erupciones volcánicas, huracanes y otros) y la vulnerabilidad de personas, territorios, etc. (Vera y Albarracín, 2015). Es decir, la amenaza y la vulnerabilidad de forma separada no representan riesgo alguno, pero al juntarse, forman el riesgo, el cual, puede transformarse en un desastre. Al identificar los factores que determinan el riesgo es factible trabajar desde puntos focales y priorizar sectores que ayuden a disminuir el riesgo en la zona de estudio.

El Riesgo a Desastres se refiere a las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro, como resultado del riesgo presente en forma continua (Pizarro, 2011). Con el conocimiento de las amenazas imperantes y los patrones de la población y del desarrollo socioeconómico, se pueden evaluar y desarrollar mapas generales del riesgo de desastres, los cuales prevendrían las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, que podrían ocurrir en la zona de estudio.

2.1.1.1.Elementos de riesgo

“Son la población, los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada” (Pizarro D, 2011). El riesgo constituye una condición latente para la sociedad. Representa la probabilidad de daños, los cuales, si alcanzan un cierto nivel, que es en sí socialmente determinado, tiene consecuencias como desastres, la pérdida de infraestructura, producción, afectando sistemas de agua potable y red vial, allegados a la Subcuenca. La estimación del riesgo en el área de estudio se enfoca en las zonas donde se ha logrado identificar los peligros naturales y/o tecnológicos, con el fin de analizar las condiciones de vulnerabilidad para determinar o calcular el riesgo esperado, a través de la evaluación de infraestructura, cobertura de servicios, mantenimientos, entre otros factores.

2.1.1.2.Mitigación del riesgo

El amplio alcance de la reducción del riesgo de desastres conduce a que puede entenderse de forma distinta no sólo por diferentes organizaciones sino, a veces, por personas de una misma organización (Vera y Albarracín, 2015). El riesgo es una condición latente que, al no ser modificada o mitigada a través de la intervención humana o por medio de un cambio en las condiciones del entorno físico-ambiental. Las pérdidas humanas y materiales causadas por los deslizamientos no son tragedias inevitables, su impacto se puede reducir por medio de medidas de reducción de riesgos en todos los sectores. Por ejemplo, la reducción del riesgo de deslizamientos en los sectores afectados contribuye positivamente a la salud y la educación mediante la protección de infraestructura pública, a su vez reduce y previene la pobreza ya que evita la interrupción de actividades que generan recursos económicos.

2.1.2. Riesgos geológicos

Los riesgos geológicos son procesos naturales que repercuten en el desarrollo de las actividades humanas. Los procesos geodinámicos externos producen dicho riesgo, además, presentan diferentes características: magnitud, alcance, frecuencia y velocidad, las cuales pueden afectar zonas pobladas de forma directa o indirecta (Tabla 2) (Bermejo, 2017). Los procesos geológicos son fenómenos naturales que han configurado nuestro planeta desde su origen, con consecuencias más o menos drásticas dependiendo su manifestación. En el área de estudio los riesgos geológicos más habituales se asocian a eventos geológicos de remociones de masa de variados tipos, que han ocurrido al menos una vez en el pasado geológico en el sector de interés.

Tabla 1. Procesos geológicos causantes de riesgos en el desarrollo de actividades humanas.

Tipos de procesos	Riesgos geológicos causados
Procesos meteorológicos	Lluvias torrenciales y precipitaciones intensas
	Inundaciones y crecidas.
	Procesos de arroyada y torrenteras
	Huracanes
	Tornados
Procesos geodinámicos externos	Desertificación
	Deslizamientos y desprendimientos
	Hundimientos y subsidencias
	Erosión
Procesos geodinámicos internos	Expansividad y colapsabilidad de suelos
	Vulcanismo
	Diapirismo (Halocinesis)
	Sismicidad

Fuente: Bermejo, 2017

2.1.3 Deslizamientos

Se define como deslizamiento a los movimientos ladera abajo de una masa de suelo, que se da sobre una superficie la cual presenta una ruptura (Alcantara, 2000). De esta forma y según la metodología para el análisis y manejo de los riesgos naturales se establece la clasificación de deslizamientos tomando en cuenta a: los tipos de materiales involucrados y al mecanismo y tipo de la rotura, además, se consideran

otros aspectos, como el contenido en agua del terreno y la velocidad y magnitud del movimiento (Varnes, 1984). Gonzales (2006) propone la siguiente clasificación a deslizamientos (Figura 3):

2.1.3.1 Deslizamientos Rotacionales: Se da en suelos cohesivos donde la rotura se da en superficies curvas, este tipo de deslizamiento se pueden dividir en bloques formando escalones presentando diferentes formas de deslizamientos rotacionales.

2.1.3.2 Deslizamientos Traslacionales: Se origina en superficies planas, el plano de rotura tiene una capa fina de material arcilloso.

2.1.3.3 Flujos: Son movimientos de suelo, derrubios o bloques rocosos no presenta roturas definidas, contiene una gran cantidad de agua.

A. Suelos y/o Bloques Rocosos: Están compuestos por materiales finos y homogéneos, el tamaño del flujo depende de la cantidad de saturación de agua

B. Derrubios: Están compuestos por fragmentos rocosos, bloques, cantos y gravas en una matriz fina de arena, limo y arcilla; estos flujos se dan en lugares sin cobertura vegetal.

2.1.3.4 Desprendimientos: Son caídas libres de bloques o masas rocosas, con frecuencia se dan en lugares con pendientes escarpadas, paredes rocosas acantilados, etc.

2.1.3.5 Vuelcos: Se da por estratos, se los incluye dentro de los desprendimientos, tienen una fracturación por bloques, se da por lo general en frentes rocosos con estratos verticales.

2.1.3.6 Avalanchas Rocosas: Considerados desprendimientos complejos, son caídas de masas de roca que se desprenden de laderas escarpadas, considerándose eventos de gran magnitud.

2.1.3.7 Avalanchas de Derrubios: Conformada por material rocoso grande y fino.

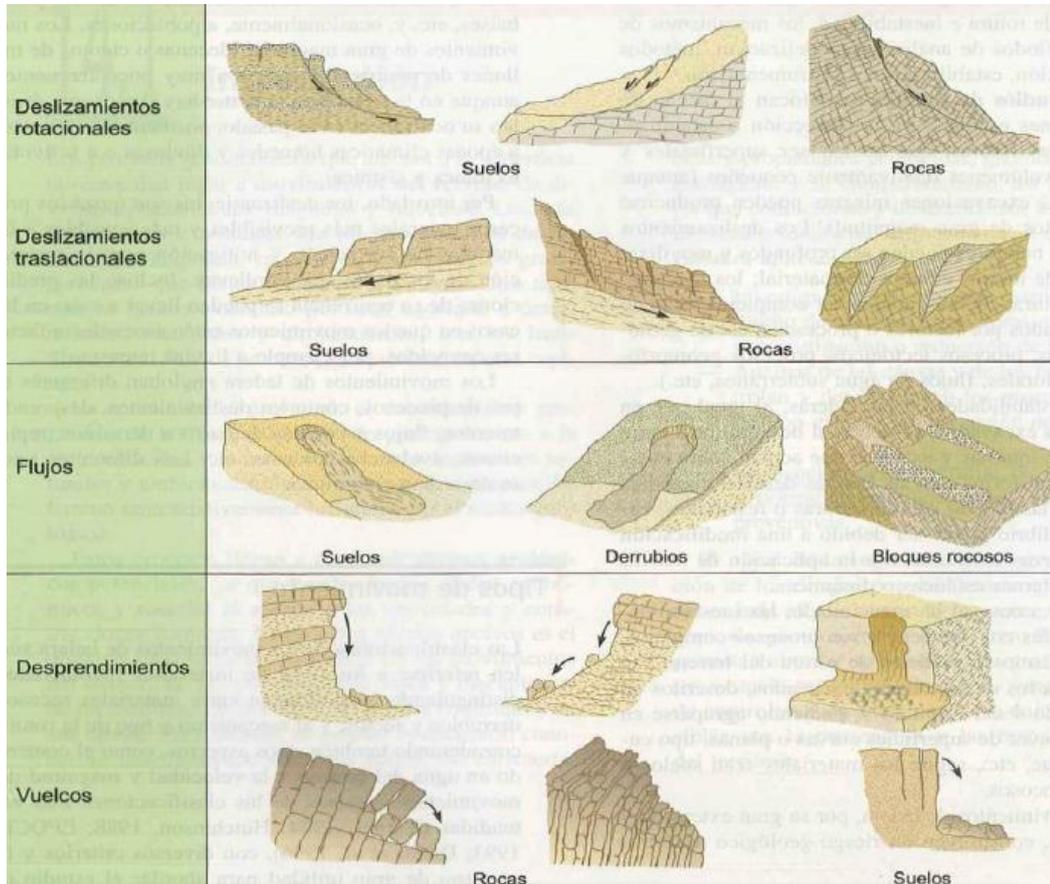


Figura 1. Clasificación general de los movimientos de ladera.

Fuente: (González de Vallejo et al. 2002).

Determinar la extensión del riesgo a deslizamientos, es indispensable, para esto se requiere identificar áreas propensas a deslizamientos y evaluar las probabilidades de ocurrencia. En nuestro estudio es útil para definir la capacidad del uso de la tierra e identificar medidas apropiadas de mitigación.

2.1.4 Amenaza a deslizamientos

La amenaza es una condición con el potencial de causar una consecuencia indeseable como afectaciones a infraestructura de la red vial y la red de agua potable. Una descripción de amenaza a deslizamientos debe incluir las características de éstos, el volumen o áreas de los movimientos, las profundidades, las velocidades y su probabilidad de ocurrencia (Leroi, 1996). La amenaza es la

probabilidad de que ocurra un deslizamiento particular en un determinado tiempo. Es decir, una amenaza no es el evento físico en sí, sino el peligro asociado con ella, el nivel del cual es determinado, entre otras razones, ya sea, por factores no naturales o físicos, tales como los grados de exposición o vulnerabilidad de la sociedad.

La Amenaza se analiza en relación a la susceptibilidad y los factores detonantes (lluvias y sismos) son los que accionan o disparan el inicio de los eventos (Leroi, 1996). Es necesario decir que la susceptibilidad es cualitativa por lo cual se determina en rangos bajo, medio y alto, mientras que la amenaza es cuantitativa en valores que van de 0 a 1.

2.1.4.1 Susceptibilidad a deslizamientos

Se conoce susceptibilidad a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de intensidad específica en un lapso de tiempo determinado, afectando de esta forma un área determinada (Varnes, 1984). La susceptibilidad a deslizamientos se determina en base a la influencia de diferentes variables, es el caso de los estudios de Fernández (2017), Cárdenas (2008) y Mujica (2013), quienes tienen en común la evaluación de la litología, pendientes, distancia a ríos, precipitaciones y cobertura vegetal. La ocurrencia de movimientos de masas provoca daños considerables anualmente en muchos países del mundo. Trabajos como los presentados en Shuster (1996) y García (2008), muestran el gran número de pérdidas humanas (casi 200 mil en el siglo pasado) ocasionadas por derrumbes, deslizamientos y otros procesos morfodinámicos que ocurren en vertientes donde la estabilidad se ha perdido debido a cambios realizados en el terreno ya sean de forma natural o antrópica. Cuando tiene lugar el colapso, los materiales, incluyendo bloques rocosos, suelos, vegetaciones e infraestructuras, son desplazados desde las partes más altas hacia las más bajas en, a veces, grandes volúmenes.

La susceptibilidad a deslizamientos se puede evaluar de dos formas diferentes:

- **Sistema de experiencia:** Se refiere a la observación directa de la mayor cantidad de deslizamientos ocurridos en la zona de estudio, evaluando la relación entre estos y la geomorfología del terreno.

- **Sistema teórico:** Se mapea el mayor número de factores que se considera afectan a la ocurrencia de deslizamientos y luego se analiza la posible contribución de cada uno de los factores.

- ***Cartografía de susceptibilidad***

Mapa sin procedimiento estandarizado, en el cual se zonifica las unidades de suelo o roca que indican eventos de deslizamientos, los cuales se obtienen con un análisis multivariable entre los factores que pueden producir un deslizamiento y el mapa de inventario de deslizamientos (Barrantes, Barrantes y Núñez, 2011). En estudios como los de Mujica (2013) y Fernández (2017) se establecen cinco categorías para la susceptibilidad basados en el criterio de Crozier (1986) (Tabla 1). Todo proceso relacionado con la prevención y gestión de desastres naturales demanda la elaboración de una cartografía temática relativa a los aspectos a tratar. En este estudio al igual que en los antes mencionados se detalla el proceso de producción de mapas de susceptibilidad del suelo a los deslizamientos usando como herramienta fundamental un SIG, integrando, homogeneizando y analizando las variables que intervienen en el análisis de la susceptibilidad con el fin de obtener un mapa en cinco grados (muy baja, baja, moderada, alta y muy alta), donde se puede advertir con claridad las diferentes zonas de distinta susceptibilidad.

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad generalmente se toma en cuenta tres elementos:

- Inventario de movimientos en masa ocurridos en el pasado
- Topografía y pendientes
- Características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno

Tabla 2. Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos, en base a la morfología del terreno.

Susceptibilidad	Criterio
Muy alta	Taludes con deslizamientos activos. Los movimientos pueden ser continuos o estacionarios.
Alta	Taludes sujetos con frecuencia, a actividades de deslizamiento. La activación de los deslizamientos resulta cuando ocurren eventos con intervalos de recurrencia menor a cinco años.
Mediana	Taludes con antigua evidencia de actividad de deslizamientos, pero que no han presentado movimientos en los últimos cien años.
Baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos, pero que se consideran probables que se desarrollen en el futuro. Sin embargo, los análisis de esfuerzos como la analogía con otros taludes o el análisis de los factores, muestran una posibilidad baja de que lleguen a presentarse deslizamientos.
Muy baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos y que por análisis de esfuerzos, analogías con otros taludes, o por análisis de los factores de estabilidad, se considera muy improbable que se desarrollen deslizamientos en el futuro previsible.

Fuente: Crozier, 1986

- ***Evaluación de la susceptibilidad***

Existen tres principios que orientan el peligro a deslizamientos (Varnes, 1978)

- Primero: Los deslizamientos futuros probablemente ocurrirán bajo las mismas condiciones geomorfológicas y geológicas, en que se han presentado en el pasado y se están produciendo en la actualidad.
- Segundo: Las condiciones y procesos subyacentes que causan los deslizamientos pueden ser comprendidos por los investigadores.
- Tercero: El valor relativo de las condiciones y procesos que contribuyen a los deslizamientos se pueden determinar, asignando así a cada condición una medida que refleje su contribución en la ocurrencia del fenómeno.

El segundo y tercer caso los aplicados para estudios de evaluación de susceptibilidad, debido a la factibilidad de interpretación del modelo realizado el cual estima la variable.

- ***Factores condicionantes y desencadenantes***

Los factores influyentes en los deslizamientos se dividen en dos clases. Agrupados en factores condicionantes los cuales contribuyen a la susceptibilidad, como geología, cobertura vegetal y pendientes y factores desencadenantes como precipitación y sismos los cuales tienden a detonar los deslizamientos en zonas susceptibles (Ríos, 2010) a demás se deben incluir dentro de estos factores la presencia de la red hídrica y red vial . Se consideran factores de tipo permanente debido a que las características de un terreno que no presenta variación o que cambian muy poco en largos períodos de tiempo. Tomando en cuenta estos factores es posible realizar el mapeo de zonas susceptibles a deslizamientos, poniendo en práctica herramientas útiles y efectivas en base al evento y echo.

- ***Herramientas para la zonificación a deslizamientos***

La zonificación requiere del manejo de una serie de herramientas como son la lógica difusa, los modelos digitales de elevación y los Sistemas de Información Geográfica SIGs, modelos respaldados con una base de datos de deslizamientos activos.

- ***Sistemas de información Geográfica***

SIG, es un sistema la gestión, análisis y visualización de conocimiento geográfico que se estructura en diferentes conjuntos de información, como mapas interactivos, datos geográficos, modelos de geoprocésamiento, metadatos o modelos de datos (Maskrey, 1998). Por lo cual, al ser este un estudio en el que se analiza la combinación espacial de diferentes variables, es imprescindible dar a todas ellas una correcta posición geográfica, complementada con las características que las identifican. De esta forma, el Sistema de Información Geográfica (SIG) se considera como la herramienta óptima para la elaboración, análisis y presentación de resultados.

- ***Modelo de Datos Espacial***

El Modelo puede ser raster o vectorial; las bases de datos de tipo raster están compuestas por una retícula regular en la que cada celda tiene asignado un valor discreto a modo de atributo (Maskrey, 1998). En el modelo vectorial las entidades se definen por pares de coordenadas que configuran puntos, líneas o límites de polígonos para regiones con un mismo valor temático. Debido a la información usada en el modelo espacial se usaron datos de tipo raster y vectorial.

- ***Análisis Espacial***

Incluye las funciones que realicen cálculos sobre las entidades gráficas. Va desde operaciones sencillas como longitud de una línea, perímetros, áreas y volúmenes, hasta análisis de redes de conducción, intersección de polígonos y análisis de modelos digitales del terreno (Morad y Triviño, 2001), en bases de datos raster es necesaria el uso de la herramienta *Raster Calculator* mientras que para los datos de tipo vectorial se trabaja desde la tabla de atributos.

Análisis digital del terreno: Análisis de la información de superficie para el modelamiento de fenómenos geográficos continuos. Con los modelos digitales de terreno (DTM: la representación de una superficie por medio de coordenadas X, Y, Z) que son la información básica para el análisis de superficies.

Operación sobre mapas: Uso de expresiones lógicas y matemáticas para el análisis y modelamiento de atributos geográficos. Estas operaciones son soportadas de acuerdo con el formato de los datos (raster o vectorial). Geometría de coordenadas: Operaciones geométricas para el manejo de coordenadas terrestres por medio de operadores lógicos y aritméticos. Algunas de esas operaciones son: proyecciones terrestres de los mapas, transformaciones geométricas (rotación, traslación, cambios de escala), precisión de coordenadas, corrección de errores.

- ***Diseño de modelos espaciales***

En el diseño de modelos espaciales con SIG, se pretende representar fenómenos del mundo real como entidades espaciales, estas son puntos, líneas, polígonos, superficies o redes; cada una de ellas debe ser georeferenciada para mostrar la

ubicación donde ocurre el fenómeno. Los fenómenos que no se puedan representar por algún tipo de entidad espacial no podrán ser tomados en cuenta dentro del modelo espacial. Es necesario que los modelos espaciales expresen la topología de las entidades espaciales, y las relaciones entre sus atributos (Maskrey, 1998).

- ***Lógica Difusa***

La lógica difusa se fundamenta en la calificación de parámetros a través de variables lingüísticas, estas constituyen una herramienta para modelar los procedimientos de razonamiento del ser humano. Razonamiento que por ser de carácter cualitativo, involucra siempre un nivel de incertidumbre, el cual se refleja en los resultados del proceso de evaluación de los diferentes fenómenos donde se apliquen los sistemas dinámicos basados en la lógica difusa (Portilla, 2001).

- ***Variable Lingüísticas***

“Es una cuádrupla, en la que el primer elemento corresponde al nombre de la variable (Ej.: Angulo de Buzamiento); el segundo, al universo de discurso o rango en el cual toma los valores la variable; el tercero, representa el conjunto de términos lingüísticos constituidos por los calificativos de la variable; y el cuarto, es el significador que representa la distribución de los conjuntos difusos de los términos lingüísticos en el rango del universo de discurso de la variable $\{\beta, B, T_p, S_p\}$ (Portilla, 2001).

Dónde:

β = Angulo de Buzamiento

$B = [0, 90]$

$T_p = \{\text{Alto, Medio, Bajo}\}$

- ***Conjunto difuso***

Es una colección de objetos o elementos cuya pertenencia al conjunto, de acuerdo a sus características o propiedades, está dada por una función que

representa un grado de pertenencia parcial, de tal elemento al conjunto (Padilla, 2007) mejorando así la interpretación de datos al momento de determina la susceptibilidad. A diferencia de la teoría clásica de conjuntos, donde el elemento pertenece o no pertenece, es verdadero o es falso y toma el valor de 0 o de 1, la teoría de conjuntos difusos concibe estas situaciones como los valores extremos que puede tomar la variable o elemento valorado.

- ***Función de pertenencia a usar***

La metodología difusa se basa en el análisis y selección del caso particular de la variable que interactúa con el fenómeno o evento. Para esto se analizó tres posibles escenarios o casos, a los cuales se pueden ajustar la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos, según el evento del cual se esté estudiando y su correspondiente variable. Se usó la curva del seno cuadrado, para obtener una curva donde el rango sea de $[0, 1, 0]$, y no obtener valores negativos, como sería el caso de tomar la curva seno no cuadrática (Figura 1). El eje x se convierte en la probabilidad y el ángulo de la función, que se lo llamará α , estará en función de la variable del evento.

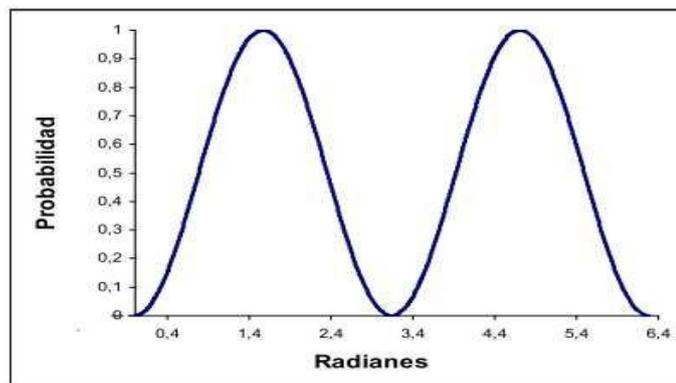


Figura 2. Función seno cuadrado.

Fuente: Padilla, 2007

- *Casos lógica fuzzy*

La lógica Fuzzy es una gama intermedia, o posibles respuestas entre el sí y el no, de forma cualitativa (Andocilla, 2012). Es decir, que aplicando la Lógica Fuzzy son valores numéricos probables entre el 0 y el 1, de forma cuantitativa. Para la lógica Fuzzy las funciones que se aplican son el Seno y el Coseno ya que, el rango en el que se trabaja es entre 0 y 1 (Figura 2).

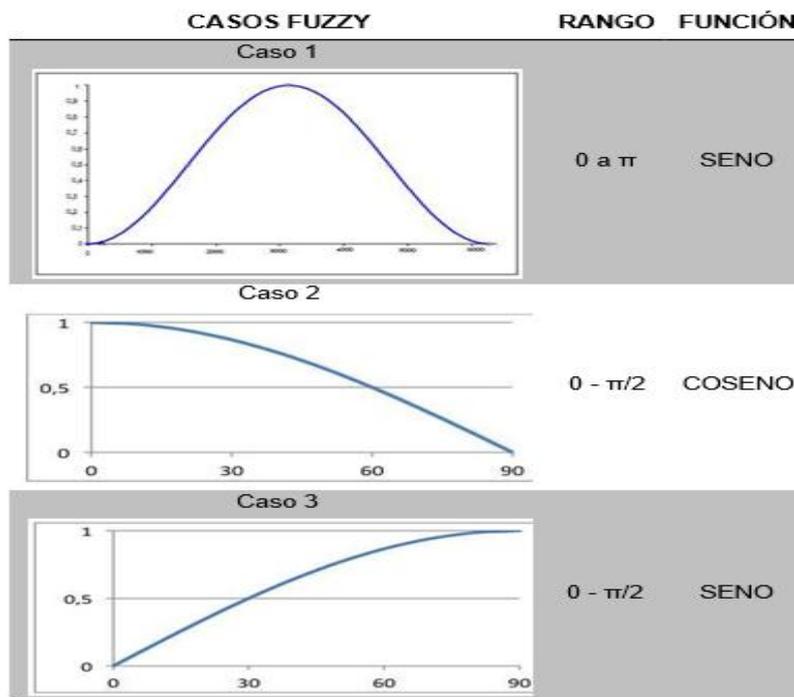


Figura 3. Casos lógica Fuzzy.

Fuente: Padilla, 2007

2.1.5 *Estimación de la vulnerabilidad*

Se define como vulnerabilidad a la probabilidad de que un área establecida, expuesta a una amenaza natural, es decir, es una condición previa la cual se manifiesta durante el desastre, como consecuencia de una ineficiencia en prevención y mitigación, aceptando un alto nivel de riesgo (Organización Panamericana de la salud, 1998). El análisis de la vulnerabilidad ante deslizamientos en una subcuenca es relevante ya que, permite seleccionar áreas críticas de intervención prioritaria para planificar y ejecutar acciones de manera

oportuna. No obstante, la vulnerabilidad frente a los diferentes tipos de amenazas naturales no es homogénea a lo largo de las áreas geográficas o dentro de las comunidades, siendo necesario establecer el tipo de vulnerabilidad a evaluar.

2.1.5.1 Tipos de vulnerabilidad

Existen diferentes tipos de vulnerabilidades, los cuales son definidos por diferentes factores. Estacio (2013), con el fin de evaluar la vulnerabilidad a deslizamientos en los elementos esenciales establece dos:

- ***Vulnerabilidad Física***

Está relacionada la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las viviendas, establecimientos económicos (comerciales e industriales) y de servicios (salud, educación, sede de instituciones públicas), e infraestructura socioeconómica (central hidroeléctrica, carretera, puente y canales de riego), para asimilar los efectos del peligro (INDC, 2006).

- ***Vulnerabilidad Funcional.***

Es el análisis de la viabilidad del sistema o confiabilidad de la estructura, además considera el comportamiento de los elementos no estructurales, como, por ejemplo, muros, equipos, instalaciones, divisiones, etc., lo cual es de una suma importancia para el continuo funcionamiento de las edificaciones ante eventos de una magnitud importante (Hernández, 2013).

2.2 Marco legal

Las bases legales para la investigación se encuentran en la Constitución de la República del Ecuador, (Asamblea Nacional Constituyente 2008), se destaca el título VII Régimen del Buen Vivir, donde el Artículo. 340, establece que se asegura los derechos reconocidos por la Constitución y el cumplimiento de los objetivos del régimen de desarrollo formando parte de este sistema la gestión de riesgos (p.168); además en el Artículo. 375 de la sección cuarta, el estado garantiza hábitat y vivienda digna, para lo cual debe: elaborar, implementar, evaluar políticas, planes

y programas con enfoque en gestión de riesgos (p. 170). La sección novena el Artículo. 389 el estado debe proteger a las personas y a la naturaleza de cualquier evento catastrófico, sean antrópicos o naturales, a través de la mitigación de desastres; para lo cual debe identificar los riesgos existentes y potenciales, difundir la información para gestionar adecuadamente el riesgo, fortalecer a la ciudadanía en general la capacidad de identificar los riesgos, articulación de instituciones capaces de prevenir y mitigar los riesgos y enfrentarlos además de la recuperación de condiciones iniciales presentadas antes de la ocurrencia y la coordinación y realización de acciones necesarias para reducir la vulnerabilidad. El Art. 390 manifiesta que la gestión de riesgos se debe gestionar bajo el principio de descentralización subsidiaria (p.175-176) (Asamblea Nacional Constituyente, 2008).

Bajo el principio de descentralización subsidiaria, se presenta el Código Orgánico de Organización Territorial (COOTAD,2015), manifiesta en el Art. 54 y 84 establece las funciones de los gobiernos autónomos descentralizados municipales y del gobierno del distrito metropolitano, donde se destaca la regularización y control en construcciones dentro de la circunscripción cantonal, con especial atención a las normas de control y prevención de riesgos naturales; los artículos antes mencionados hacen alusión a toda actividad antrópica como es la construcción de carreteras (p. 27-28 y 40-41). El Art. 140 en el ejercicio de la competencia de gestión de riesgos se incluye acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, enfrentando todas las amenazas de origen natural o antrópico, capaces de afectar al territorio. Los gobiernos autónomos descentralizados municipales deben adoptar normas técnicas para la prevención y gestión de riesgos. Con el propósito de proteger las personas, colectividades y naturaleza, en sus procesos de ordenamiento territorial (p. 60-61). El Art. 466 menciona las atribuciones en el ordenamiento territorial como correspondencia exclusiva de gobiernos municipales y metropolitanos en el control de uso y ocupación del suelo dentro del territorio del cantón para lo cual una de las actividades a realizar es el estudio y evaluación de riesgos de desastres (COOTAD, 2015).

La Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo, (LOOT, 2016) menciona en el Art. 375 la garantía del derecho al hábitat y vivienda digna, donde uno de sus enfoques es la gestión de riesgos, a través de la elaboración e implementación de programas, políticas y planes. El Art. 4 dentro del glosario menciona el tratamiento y mejoramiento integral, actividad que se debe aplicar en lugares con asentamientos humanos que necesiten mejoras de las cuales destaca la mitigación de riesgos. Dentro de los instrumentos de planeamiento del suelo destaca el Art. 43 en donde los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADS) o metropolitanos deben establecer las determinaciones de obligatorio cumplimiento con en referencia a parámetros de calidad exigibles al planteamiento y a las actuaciones urbanísticas, dentro de estos parámetros se debe incluir a la prevención y mitigación de riesgos, en función de las características geográficas, demográficas, entre otros (p.13) (Asamblea Nacional Constituyente, 2016).

Los artículos mencionados permiten establecer la adecuada gestión de riesgos a través de estudios de susceptibilidad y su mitigación. Para el desarrollo social y su seguridad, con el fin de obtener una mejor seguridad social.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

La subcuenca del río Mataquí incluye las parroquias de Mariano Acosta y San Francisco de Sigsipamba, y parte de las parroquias de Pimampiro y Chuga pertenecientes al cantón Pimampiro (Figura 4), de la provincia de Imbabura. Tiene un área de 35 785. 17 ha, un perímetro de 91.14 km, posee un caudal medio anual de 17.88 m³/s, la longitud del río principal es de 8.12 km y la altitud media es de 2 254.76 m.s.n.m (Avellaneda, 2008).

La subcuenca presenta un patrón de drenaje dendrítico, además, posee fuertes pendientes (Municipio de Pimampiro, 2015).

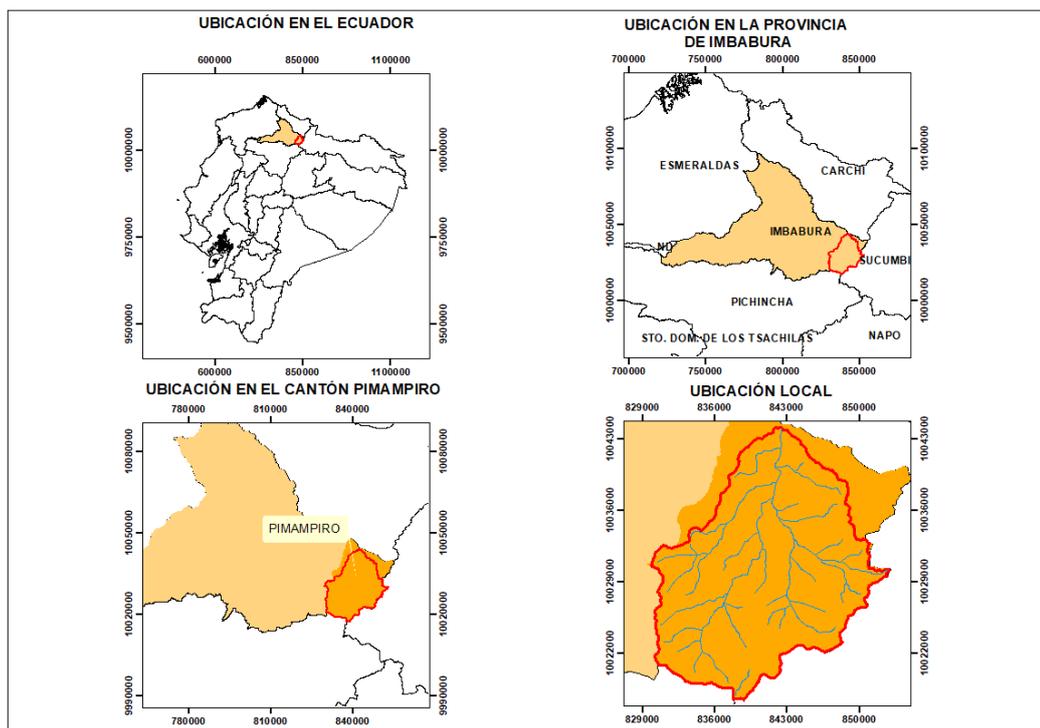


Figura 4. Ubicación de la subcuenca del río Mataquí.

Por la ubicación geográfica, el área de estudio se encuentra entre los climas Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo con temperaturas anuales que oscilan entre 12 y 20 °C. Mientras que la parte alta de la cuenca cuenta con un clima Ecuatorial Frío de Alta Montaña, con temperaturas inferiores a 8 °C (Pourrut, 1983). La geología del área de estudio está representado por andesita, granodiorita, pegmatitas, anfobolitas y otros depósitos vulcánicos (Baldock, 1982).

3.2. Materiales y métodos

El estudio se dividió en tres etapas: la primera etapa se basó en la metodología de Lógica Fuzzy con el fin de determinar los grados de susceptibilidad de deslaves de la cuenca del río Mataquí, la segunda etapa determinó la vulnerabilidad de la zona y la tercera etapa consistió en la elaboración de propuestas de reducción al riesgo a deslizamientos en la cuenca (Tabla 3).

Tabla 3. Materiales y equipos.

Materiales	Equipos
• Cartas topográficas digitales escala 1:50 000 del cantón de Pimampiro.	• Cámara fotográfica digital.
• Cartografía base a escala 1:25 000 del cantón Pimampiro.	• Navegador GPS
• Cartografía temática a escala 1:25 000 del cantón Pimampiro.	• Computador
• Datos de precipitación (INAMHI)	• Vehículo 4 x 4
• Modelo digital del terreno (SRTM 30m)	
• Plano de diseño y mantenimiento de los sistemas de agua potable y vialidad.	
• Normas del ex IEOS para agua potable.	
• Normas del MOP para el diseño vial.	

A continuación se describe el modelo usado para la obtención de la estimación del riesgo asociado a deslizamientos en redes vitales (Figura 5)

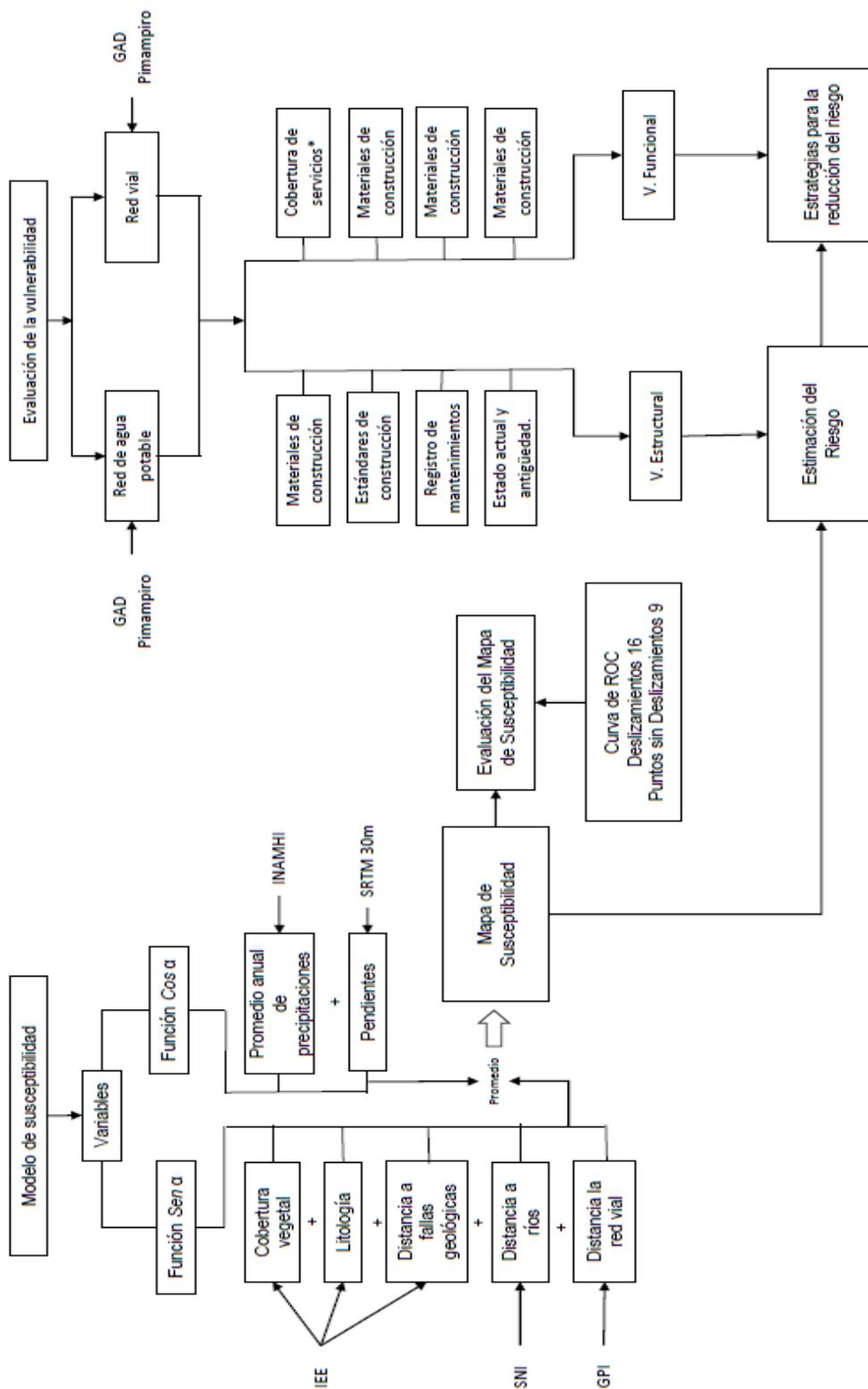


Figura 5. Esquema metodológico para el establecimiento de estrategias de disminución del riesgo a deslizamientos en redes vitales.

3.2.1. Primera etapa: Zonificación de la subcuenca del río Mataquí de acuerdo a los grados de susceptibilidad a deslizamientos

La representación de la susceptibilidad de un terreno a deslizamiento y de las diferentes variables espaciales que intervienen en este fenómeno, se da una vez tomada en cuenta la ocurrencia del hecho en la zona de estudio. Para esto fue necesaria la aplicación de alguna técnica o metodología, siendo la Lógica de Fuzzy aplicada en este estudio (Andocilla, 2012).

3.2.1.1. Información y datos

Para aplicar la Lógica de Fuzzy a la determinación del grado de susceptibilidad a deslizamientos en el área de estudio, fue necesario recopilar toda la información existente, generando y analizando el producto de ésta, facilitando la organización y la actualización de datos de la zona.

- **Recopilación de información**

- Cartas topográficas digitales escala 1:50 000 del cantón de Pimampiro

Fuente: Instituto Geográfico Militar

- Cartografía base a escala 1:25 000 del cantón Pimampiro

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano.

- Cartografía temática a escala 1:25 000 del cantón Pimampiro.

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano.

- Datos de precipitación.

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

- Modelo digital del terreno (SRTM 30m).

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano.

3.2.1.2. Generación de datos

Se transformó la información recopilada al sistema de referencia WGS 84 17S, estandarizando así un mismo sistema geográfico, facilitando la realización del trabajo el trabajo.

3.2.1.3. Análisis de datos

El análisis y la generación de datos, se realizó a partir de la información disponible y de la representación del área de estudio. Para este análisis, se consideró las diferentes variables que intervienen y la relación que estas tienen con la susceptibilidad de deslaves.

- **Análisis de variables y relaciones**

Para determinar las variables a intervenir, se consideró los eventos históricos, criterios técnicos, zonas de estudios y la disponibilidad de datos. De esta forma y de acuerdo al análisis de cada variable, en relación la susceptibilidad se estableció las siguientes variables:

- **Litología.** La erosión del suelo depende en parte de la posición topográfica, la pendiente del terreno o factores antrópicos y las propiedades del suelo. La erosionabilidad del suelo en función de la textura se expresó mediante diversos índices, el contenido en materia orgánica, la estructura, la estabilidad de agregados o la capacidad de infiltración, siendo la clase 1 la roca más dura (Tabla 4).

Tabla 4. Ponderación de la dureza de la roca.

Litología	Ponderación	Clase
Andesitas, pirclastos, riolitas, dacitas, lava, derrame lávico	0,006	1
Granito, depósito glacial, depósito fluvio glacial, granitos	0,016	2
Ceniza, pómez, lahares, cono de deyección, depósito lagunar de ceniza	0,019	3
Esquisito, pizarra, gneiss	0,026	4
Lutitas, limolitas, aluviones, depósito aluvial, depósito coluvial, terrazas	0,033	5

Fuente: (Mora y Vahrson, 1993)

- **Pendiente.** Tomando como base los grandes cambios de pendientes, se consideró a esta variable como condicionante de los movimientos de masa en el terreno. Para el cálculo de ésta se tomó en cuenta la clasificación establecida por Mora y Vahrson (1993) el cual clasifica las pendientes en siete rangos.

- **Cobertura vegetal.** La cobertura vegetal obtenida para el año 2018 fue una variable que permitió relacionar la influencia de la vegetación ante la protección de suelo para el origen a deslizamientos, ya que, ésta influye en el control de los procesos de erosión del suelo. Para esto, se ha utilizado la metodología de Satty (1992), mediante lo cual se otorgó un valor de ponderación entre la cobertura vegetal y la susceptibilidad a deslizamientos (Tabla 5).

Tabla 5. Ponderación de cobertura vegetal.

Vegetación	Ponderación	Clase
Arbórea	0,013	1
Herbácea	0,027	2
Urbano y Lava	0,04	3
Cultivos	0,053	4
Sin vegetación	0,067	5

Fuente: (Martínez, 2005)

- **Precipitación.** Se consideró las precipitaciones desde el año 1985 hasta el año 2015 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), determinando la precipitación anual del área de estudio.

- **Análisis de proximidad.** Se consideró variables como: distancia a vías de comunicación, distancia a recursos hídricos y distancia a fallas geológicas se analizan de acuerdo a su aproximidad, de esta forma, se determina que mientras más cercano se encuentra a un punto a estas variables su probabilidad de ocurrencia a un deslizamiento es mayor. Para la determinación de esta variable, se realizó, mediante el software ArcMap y usando la herramienta de Fishnet la cual genera una cuadrícula, que consta de un centroíde que hizo posible el cálculo de las diferentes distancias a la red vial y red de agua potable.

- **Distancia a vías de comunicación.** Para el cálculo de la distancia se uso la distancia existente entre las vías de comunicación con el punto más alejado de la subcuenca co un intervalo de 1000 metros.

- **Distancia a recursos hídricos.** Ésta variable se determinó mediante el cálculo desde el punto mas alejado de la subcuenca hacia los ríos , ya que entre menor sea la distancia más incrementará la susceptibilidad a deslizamientos.

- **Distancias a fallas geológicas.**- Se realizó un análisis de proximidad con el fin de establecer las zonas más cercanas a las fallas geológicas considerando el punto más alejado de la subcuenca.

3.2.1.4. Análisis de la metodología de Lógica Fuzzy

La lógica de Fuzzy o lógica difusa contribuyó con el uso de las variables cualitativas y la representación de estas en valores cuantitativos. Los casos de lógica Fuzzy en los que se ha trabajado son 3, basándose en conceptos anteriores:

- Primer caso.- establece 0.1 como el valor a ser utilizado para el análisis, de esta forma no se obtendrá valores negativos, como sería el caso de tomar la curva seno no cuadrática.
- Segundo caso.- La probabilidad de ocurrencia es inversamente proporcional al evento analizado.
- Tercer caso.- La probabilidad de ocurrencia es directamente proporcional al evento analizado.

3.2.1.5. Análisis de variables según casos de Lógica Fuzzy

Se analizó el comportamiento de las variables que participan en los movimientos de masa, dependiendo del caso existente en la metodología Fuzzy. Las variables usadas son las siguientes:

- **Pendientes.** En esta variable existe una relación directamente proporcional, es decir, a mayor grado de pendiente mayor susceptibilidad a deslizamiento.
- **Precipitación.** En esta variable existe una relación directamente proporcional, es decir, a mayor influencia de agua exista en el terreno mayor susceptibilidad a deslizamiento presentará este.
- **Distancia a vías de comunicación.** La relación en esta variable es inversamente proporcional, es decir que a menor distancia a las vías de comunicación mayor será la susceptibilidad a deslizamientos.

- **Distancia a fallas geológicas.** Una falla geológica origina movimiento en el terreno, por lo cual si la distancia es menor, mayor será la probabilidad de que el terreno sea susceptible a movimientos de masa.
- **Distancia a red hídrica.** El agua de río origina la inestabilidad del terreno, por lo cual esta variable presenta una relación inversamente proporcional, es decir, que mientras más pequeña es la distancia a la red hídrica mayor será la ocurrencia a deslizamientos en la zona.
- **Influencia de cobertura vegetal.** La presencia de cobertura vegetal disminuye la probabilidad de un movimiento de masa, haciendo de esta una variable inversamente proporcional.
- **Tipo de roca.** La relación entre la resistencia de la roca y la ocurrencia a deslizamientos es indirectamente proporcional, ya que, mientras más resistente sea la roca, menor será la probabilidad de un movimiento de masa.

3.2.1.6. Modelo Cartográfico

Se realizó un modelo de susceptibilidad de terrenos en la zona de estudio, mediante el método Fuzzy, con el fin de conocer de mejor forma la realidad del fenómeno a deslizamientos en el área de estudio.

El modelo cartográfico es una técnica que usa datos raster y vectoriales, este supone el uso de modelos (de información geoespacial) representados cartográficamente (como mapas) orientándose a procesos y no a productos.

- **Puntos de muestra de ocurrencia de deslizamientos**

Mediante salidas de campo se realizó los puntos de muestras. Cada punto posee características referentes a las diferentes variables utilizadas para la determinación de la susceptibilidad a deslizamientos en el área de estudio.

3.2.1.7. Desarrollo del proceso SIG

El SIG, fue la herramienta donde mediante operaciones algebraicas se realizará los diferentes modelos. Para la obtención de estos modelos se utilizó un software de Sistemas de Información Geográfica y la herramienta Raster Calculator. Es

importante mencionar, las fórmulas deben estar agrupadas y escritas de una forma apta para el software SIG.

3.2.1.8. Modelo de susceptibilidad a deslizamientos

Para la realización de modelos se usaron las variables antes mencionadas, deben estar en formato shapefile para usarlo en el Software ArcGis 10.3.

Se utilizó las variables originales en formato raster las cuales se obtuvieron a partir de Shapefiles y procesos posteriores en el software. A partir de este raster se obtuvo valores de máximo y mínimo con lo que se procedió a la normalización que es convertir los valores de la variable original entre 1 y 0, con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{Vo - Vm}{VM - Vm} \quad (1)$$

Donde:

N= Normalización

Vo= Variable original

VM= Valor máximo

Vm= Valor mínimo

A partir de la normalización se procedió a la conversión de radianes a cada variable según el rango al cual pertenecen. En los casos 2 y 3, el rango es de 0 a $\frac{\pi}{2}$, por lo cual para la conversión se utilizó $\frac{\pi}{2}$. De esta forma:

$$R = N \times 1.5707963268 \quad (2)$$

Donde:

R= Radianes

Posteriormente, con el fin de obtener la probabilidad del modelo se aplica la función a la que pertenece cada modelo:

$$P = \sin(R) \quad (\text{caso 1}) \quad (3)$$

$$P = \cos(R) \quad (\text{caso 2}) \quad (4)$$

Donde:

P= Probabilidad

Es importante mencionar, que para emplear las fórmulas (caso 1) o (caso 2) se debe tomar en cuenta la pertenencia de cada variable a su función.

Finalmente se extrajo el promedio , a partir de la suma de las variables dividido para el número de estas, empleando la siguiente fórmula.

$$Y = (\textit{pendientes} + \textit{precipitación} + \textit{d a vía} + \textit{d. a fallas} + \textit{d. hídricas} + \textit{cobertura vegetal} + \textit{dureza de la roca})/7 \quad (5)$$

Donde:

Y= Promedio de probabilidades

3.2.1.9. Curva de ROC

En la validación del modelo de susceptibilidad se estableció un total de 25 puntos para el registro de deslizamientos de los cuales se usó como verdaderos positivos (VP) al número de deslizamientos evidenciados y verdaderos negativos (VN) al número de sectores en donde no se evidenciaron deslizamientos. Posterior a la obtención de información se determinó la sensibilidad y especificidad.

Para la aplicación de la curva de ROC se va a tomar en cuenta la sensibilidad (número de deslizamientos) y la especificidad (parroquias en donde se presentaron eventos de deslizamientos). Para lo cual se necesitó la aplicación de las siguientes formulas. (Amorim et al., 2018).

$$\textit{Sensibilidad} = FVP = \frac{VP}{(VP+FN)5} \quad (6)$$

$$\textit{Especificidad} = FVN = 1 - FFP = \frac{VN}{N} = \frac{VN}{VN + FP} \quad (7)$$

Donde:

FVP= Fracción de verdaderos positivos

FVN= Fracción de verdaderos negativos

FFP= Fracción de falsos positivos

VP= Verdadero positivo

VN= Verdadero negativo

FP= Falso positivo

FN= Falso negativo

Al usar los parámetros antes mencionados se trazó la curva ROC, en el eje Y se presenta la 1- sensibilidad y en el eje X 1-especificidad. El resultado se obtiene el área bajo la curva, por lo que, un valor menor a 0,5 indica que el modelo no tiene capacidad predictiva un valor de 1 indica que el modelo tiene máxima capacidad predictiva (Gutierrez et al., 2018) (Figura 6).

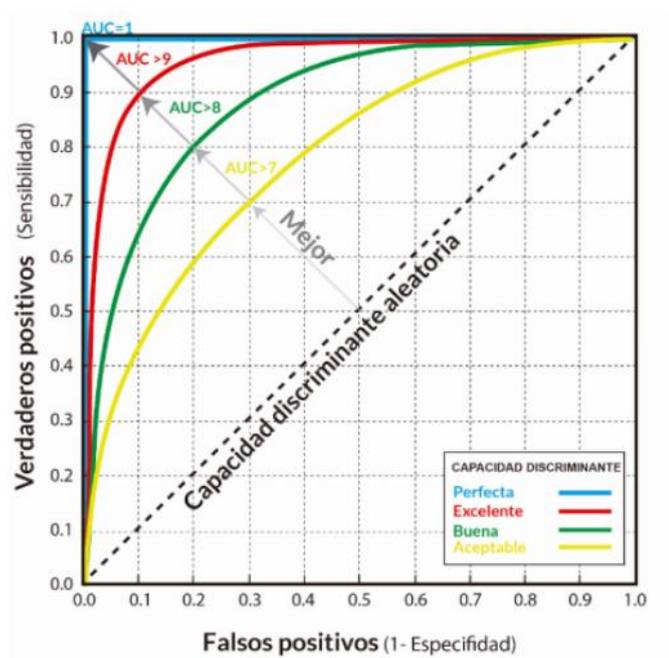


Figura 6. Curva ROC (Receiver Operating Characteristic).

Fuente: Gutierrez et al., (2018)

3.2.2. Segunda etapa: Determinación del grado de vulnerabilidad de redes vitales de vías y agua potable expuestas a deslizamientos en la subcuenca del río Mataquí.

Se usó la metodología descrita en el libro “Guía de Implementación Análisis de Vulnerabilidad a Nivel Municipal” (Estacio et al., 2012). Adaptando la metodología a nivel de la subcuenca del río Mataquí.

3.2.2.1. Información y datos

- Información específica de redes viales y sistemas de agua potable del área de estudio
- Exposición del territorio ante amenazas de origen natural.

3.2.2.2. Generación de datos

- Georeferenciación de captación, tratamiento y conducción de la red de agua potable.
- Salidas de campo para validar la información obtenida.

3.2.2.3. Análisis de vulnerabilidad de redes vitales

Agua potable, alcantarillado y vialidad son las denominadas redes vitales, analizadas de manera independiente.

Se realizó un mapa que represente la información de zonas de captación (Tabla 6), líneas de conducción (Tabla 7) y tratamiento de agua potable (Tabla 8) y red vial (Tabla 9), acorde a los límites de las áreas urbanas y rurales localizadas dentro de la subcuenca del río Mataquí, basadas en la información recopilada.

Tabla 6. Calificación de la vulnerabilidad física de redes vitales - sistema de agua potable (captación).

Factor de vulnerabilidad	Variable de vulnerabilidad intrínseca	Indicadores	Deslizamientos	Valores	Ponderador deslizamiento	Valor máximo	
Agua potable (captación)	Estado actual	Bueno	1				
		Regular	5	0,1,5,10	1	10	
		Malo	10				
	Antigüedad	0 a 25 años	5				
		25 a 50 años	10	0,1,5,10	1,5	15	
		Mayor a 50 años	10				
	Mantenimiento	Planificado	0				
		Esporádico	5	0,1,5,10	2,5	25	
		Ninguna	10				
	Material de construcción	Pvc	1				
		Hormigón armado	1				
		Asbesto cemento	5				
		Mampostería de piedra y mampostería de ladrillo	10	0,1,5,10	2	20	
	Estándares de diseño y construcción	Antes de normativos	1				
		Entre normativos y la normal local	5	0,1,5,10	3	30	
		Luego de la norma local	10				
							100

Fuente: (Estacio et al., 2012)

Tabla 7. Calificación de la vulnerabilidad física de redes vitales - sistema de agua potable (conducción).

Factor de vulnerabilidad	Variable de vulnerabilidad intrínseca	Indicadores	Deslizamientos	Valores	Ponderador deslizamiento	Valor máximo	
Agua potable (conducción)	Estado actual	Bueno	1				
		Regular	5	0,1,5,10	1	10	
		Malo	10				
	Antigüedad	0 a 25 años	1				
		25 a 50 años	5	0,1,5,10	1,5	15	
		Mayor a 50 años	10				
	Mantenimiento	Planificado	1				
		Esporádico	5	0,1,5,10	2,5	25	
		Ninguna	10				
	Material de construcción	Pvc	5				
		Hormigón armado	1				
		Asbesto cemento	5				
	Estándares de diseño y construcción	Mampostería de piedra y mampostería de ladrillo	10		0,1,5,10	2	20
		Antes de normativas	1				
		Entre normativas y la normal local	5	0,1,5,10	3	30	
		Luego de la norma local	10				
							100

Fuente: (Estacio et al., 2012)

Tabla 8. Calificación de la vulnerabilidad física de redes vitales - sistema de agua potable (tratamiento).

Factor de vulnerabilidad	Variable de vulnerabilidad intrínseca	Indicadores	Deslizamientos	Valores	Ponderador deslizamiento	Valor máximo
Agua potable (tratamiento)	Estado actual	Bueno	1	0,1,5,1 0	1	10
		Regular	5			
		Malo	10			
	Antigüedad	0 a 25 años	1	0,1,5,1 0	2	20
		25 a 50 años	5			
		Mayor a 50 años	10			
	Mantenimiento	Planificado	0	0,1,5,1 0	1	10
		Esporádico	10			
		Ninguna	10			
	Materiales de construcción	Hormigón armado	1	0,1,5,1 0	3	30
		Asbesto cemento	5			
		Mampostería de piedra y mampostería de ladrillo	10			
	Estándares de diseño y construcción	Antes de normas	1	0,1,5,1 0	3	30
		Entre normas y la normal local	5			
		Luego de la norma local	10			
						100

Fuente: (Estacio et al., 2012)

En el análisis la red de alcantarillado no aplican para la amenaza a deslizamientos. Para el estudio del sistema de agua potable se analizó: materiales y año de construcción, mantenimiento y estándares de diseño y construcción. En el análisis del sistema vial se analizará: mantenimiento, estándares de diseño y construcción de las vías (Tablas 9, 10, 11 y 12).

Tabla 9. Calificación de vulnerabilidad física de redes vitales - red vial.

Factor de vulnerabilidad	Variable de vulnerabilidad intrínseca	Indicadores	Deslizamientos	Valores	Ponderador deslizamiento	Valor máximo
Red vial	Estado de revestimiento	Bueno	0	0,5,10	2	20
		Regular	5			
		Malo	10			
	Mantenimiento	0 a 25 años	0	0,5,10	4	40
		25 a 50 años	5			
		Mayor a 50 años	10			
	Estándares de diseño y construcción	Planificado	1	1,5,10	4	40
		Esporádico	5			
		Ninguna	10			

Fuente: (Estacio et al., 2012)

La información obtenida de los sistemas de agua potable y vialidad fue analizada, verificada y procesada generando una ponderación que determinó el nivel de vulnerabilidad expuesta ante deslizamientos. Finalmente, se elaboró un mapa mediante el software ArcMap, determinando los diferentes niveles de vulnerabilidad física de redes vitales expuestos en la subcuenca.

3.2.2.2. Análisis de vulnerabilidad funcional de redes vitales

Se identificó y evaluó individualmente los factores que favorecen o dificultan su capacidad de funcionar correctamente en circunstancias normales.

En el caso del agua potable se analizó la cobertura de servicios, dependencia, alternativas de funcionamiento y capacidad de control (Tabla 10).

Tabla 10. Calificación de la vulnerabilidad funcional del sistema de agua potable.

Factor de vulnerabilidad funcional	Variable de vulnerabilidad	indicadores	Vulnerabilidad funcional
Agua potable	Cobertura de servicios	>80%	Baja
		50 al 80%	Moderada
		< 50%	Alta
	Dependencia	Sin servicio	N.a.
		Sin dependencia	Baja
		Con dependencia	Alta
	Redundancia	Más de una	Baja
		Una	Moderada
		Ninguna	Alta
	Capacidad de intervención	Personal calificado y equipamiento	Baja
		Personal calificado sin equipamiento	Moderada
		Sin personal ni equipamiento	Alta

Fuente: (Estacio et al., 2012)

No obstante, para las redes viales se analizó la dependencia, alternativas de funcionamiento y capacidad de control (Tabla 11).

Tabla 11. Calificación de la vulnerabilidad funcional del sistema de la red vial.

Factor de vulnerabilidad funcional	Variable de vulnerabilidad	Indicadores	Vulnerabilidad funcional
Red vial	Dependencia	Sin dependencia	Baja
		Con dependencia	Alta
		Más de una	Baja
	Redundancia	Una	Moderada
		Ninguna	Alta
		Personal calificado y equipamiento	Baja
	Capacidad de intervención	Personal calificado sin equipamiento	Moderada
		Sin personal ni equipamiento	Alta

Fuente: (Estacio et al., 2012)

3.2.3. Tercera etapa: Elaboración de propuestas de reducción del riesgo.

Para el diseño de propuestas en reducción del riesgo en la subcuenca del río Mataquí se identificaron sectores de mayor influencia a través de la determinación del riesgo; finalmente se elaboró una matriz FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas), estableciendo estrategias basadas en el artículo 140 del Código orgánico de organización territorial, la cual menciona las competencias de la gestión de riesgos y sus acciones; priorizando acciones de prevención y mitigación ante amenazas de deslizamientos.

3.2.3.1. Determinación del riesgo a deslizamientos en redes vitales en la subcuenca del río Mataquí

En la determinación del riesgo se realizó una sobre posición entre la susceptibilidad y vulnerabilidad, este se lo realizó a través de una matriz (Tabla 12). La determinación del riesgo nos ayuda principalmente a conocer las zonas más propensas a deslizamientos y las que más van a ser afectadas en su infraestructura.

Tabla 12. Matriz para la estimación del riesgo a elementos esenciales.

		Susceptibilidad		
		Media	Alta	Muy Alta
Vulnerabilidad	Baja	Baja	Medio	Alto
	Media	Media	Medio	Alto
	Alta	Alto	Alto	Alto

3.2.3.1. Propuestas de estrategias de gestión a deslizamientos en la subcuenca Mataquí.

Mediante la metodología FODA, herramienta útil para discutir y evaluar las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas se implementará un plan que considera el análisis de la vulnerabilidad y la amenaza para así maximizar el potencial de las fuerzas y oportunidades minimizando el impacto de las debilidades y amenazas que influyen en el riesgo a deslizamientos, a partir de lo cual se elaborará una propuesta para la reducción del riesgo (Baas, 2009).

Las fortalezas y debilidades que se encuentran en la matriz FODA, se consideran factores internos controlables y las oportunidades y las amenazas son factores externos no controlables. Posterior a la obtención a estos factores externos e internos se realizó una sobre posición entre: fortalezas y oportunidades (FO), debilidades y oportunidades (DO), fortalezas y amenazas (FA) y debilidades y amenazas (DA).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se detallan los resultados que se alcanzaron para cada uno de los objetivos específicos los cuales fueron planteados al inicio de la investigación, posterior a su desarrollo con cada una de las respectivas técnicas y metodologías. Además, se realiza la discusión de los resultados, considerando investigaciones o estudios similares, con la finalidad de contrastar o discernir la información generada.

A continuación, se detallan los resultados para la susceptibilidad a deslizamientos, vulnerabilidad a redes vitales (red vial y red de agua potable).

4.1. Factores de susceptibilidad reclasificados

Para la determinación de susceptibilidad a deslizamientos se elaboraron de forma independiente modelos cartográficos de cada una de las variables analizadas, las cuales influyen dentro de la ocurrencia a deslizamientos, es necesario mencionar que cada variable se analizó de forma independiente destacando las características de cada variable.

4.1.1. Cobertura vegetal Tomando como base el mapa de cobertura vegetal (Figura 7) se determinó en el área de estudio que la parte baja y media de la subcuenca está destinada a actividades agrícolas (cultivos de: aguacate, frejol, arveja, cebada, granadilla, maíz, papa, entre otros) y pecuarias (crianza de ganado: vacuno bovino y porcino). Para la parte alta de la subcuenca se encuentran zonas de protección en las cuales existe vegetación arbustiva y herbácea además de páramo en la parte más alta.

4.1.2. Litología Basándose en la litología del área de estudio (Figura 8) se determinó que el 60% cubriendo las parroquias de Mariano Acosta y Pimampiro,

presentando formaciones rocosas muy duras dificultando la erosión por procesos naturales, aportando a una menor susceptibilidad a deslizamientos.

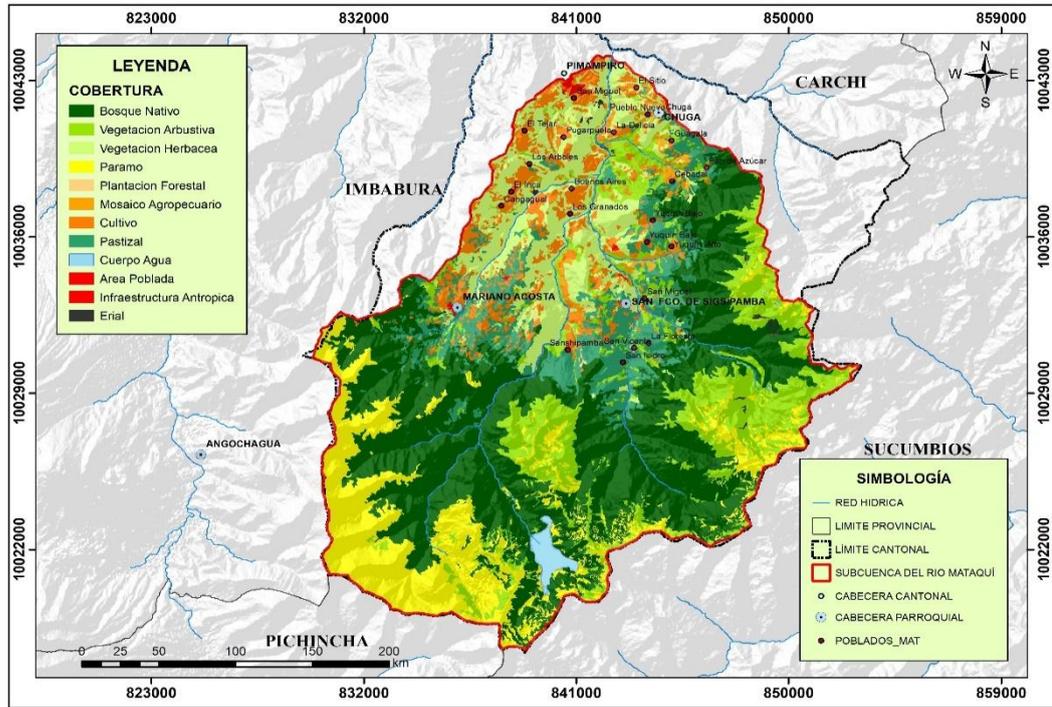


Figura 7. Cobertura vegetal de la subcuena del río Mataquí, cantón Pimampiro.

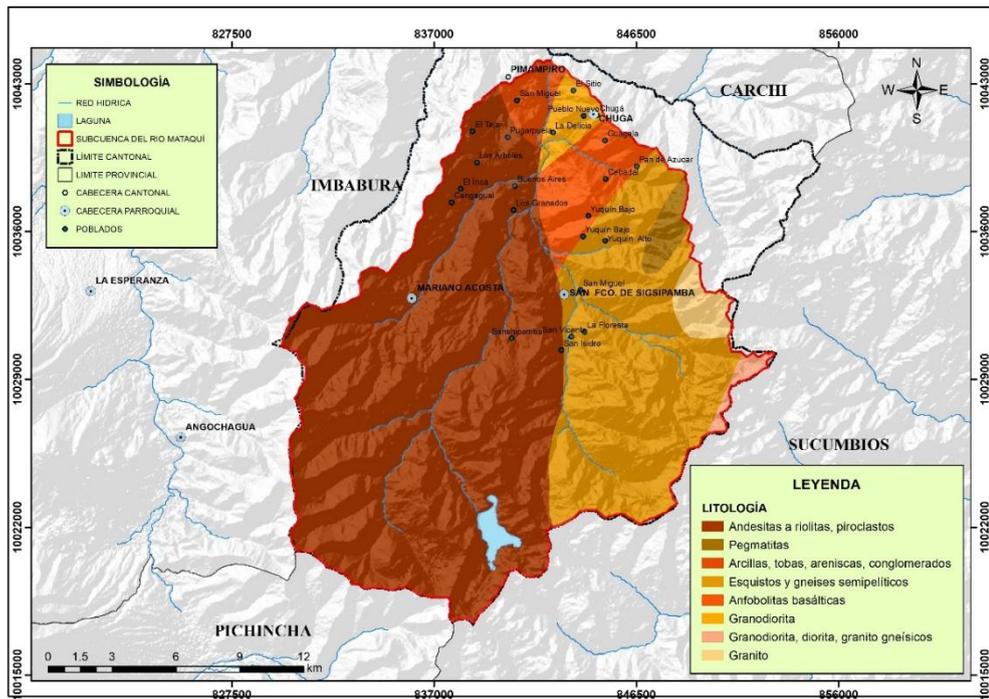


Figura 8. Litología de la subcuena del río Mataquí, cantón Pimampiro.

4.1.3. Precipitación

Analizados los datos de precipitación de treinta años, se determinaron precipitaciones medias anuales de 554, 9 mm localizados en la parte baja de la subcuenca y precipitaciones de 881, 6 mm en la parte más alta (Figura 9).

4.1.4. Pendientes

Obteniendo los resultados de pendientes del modelo de elevación digital (DEM). Se determinaron pendientes altas a muy altas en el 80% del área de estudio, facilitando el proceso de erosión de las rocas (Figura 10).

4.1.5. Distancia a la red vía

Se realizó la evaluación de vías secundarias, terciarias y rurales, determinando el punto más alejado a la subcuenca con una distancia de 15,14 km, localizado en la parte alta de la subcuenca. En la zona media y baja del área de estudio (Figura 11) se encuentra distribuida toda la red vial, lo que sugiere que esa es la zona con mayor influencia a deslizamientos.

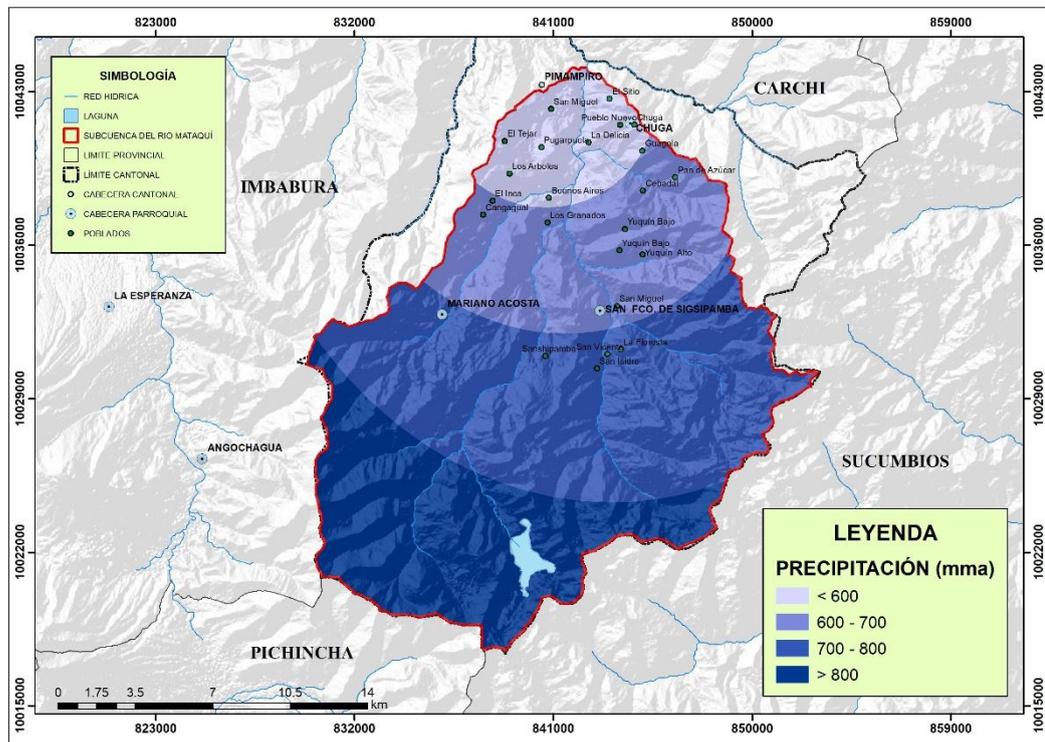


Figura 9. Índice de precipitación anual en la subcuenca del río Mataquí, cantón Pimampiro

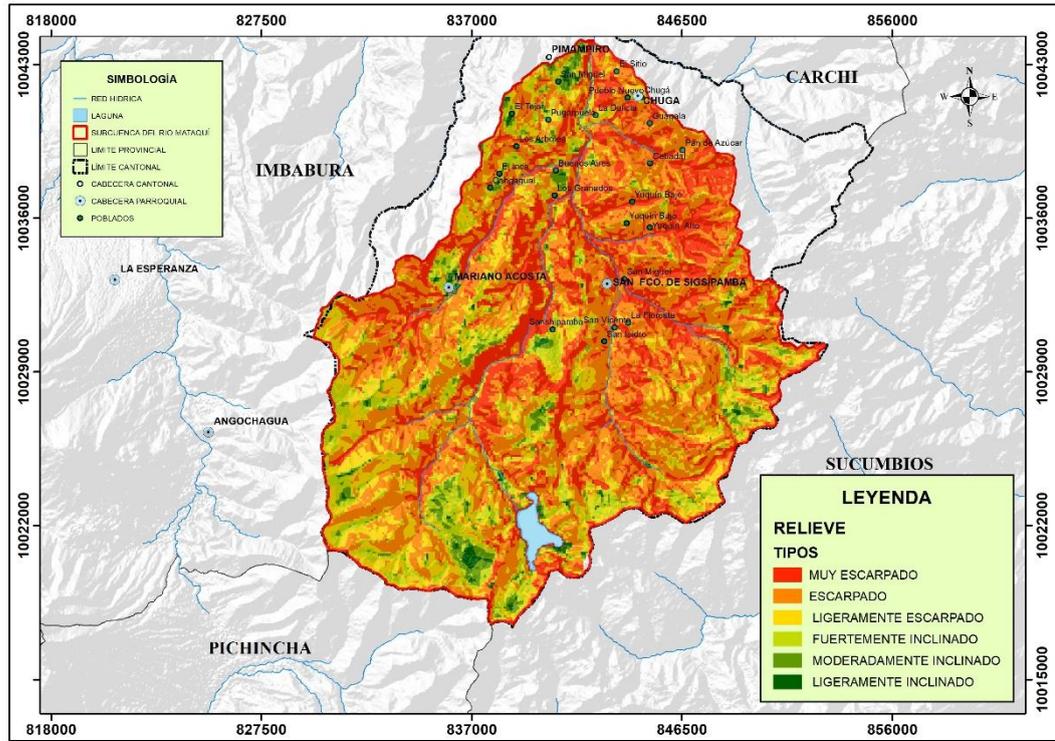


Figura 10. Pendientes de la subcuenca de río Mataquí, cantón Pimampiro.

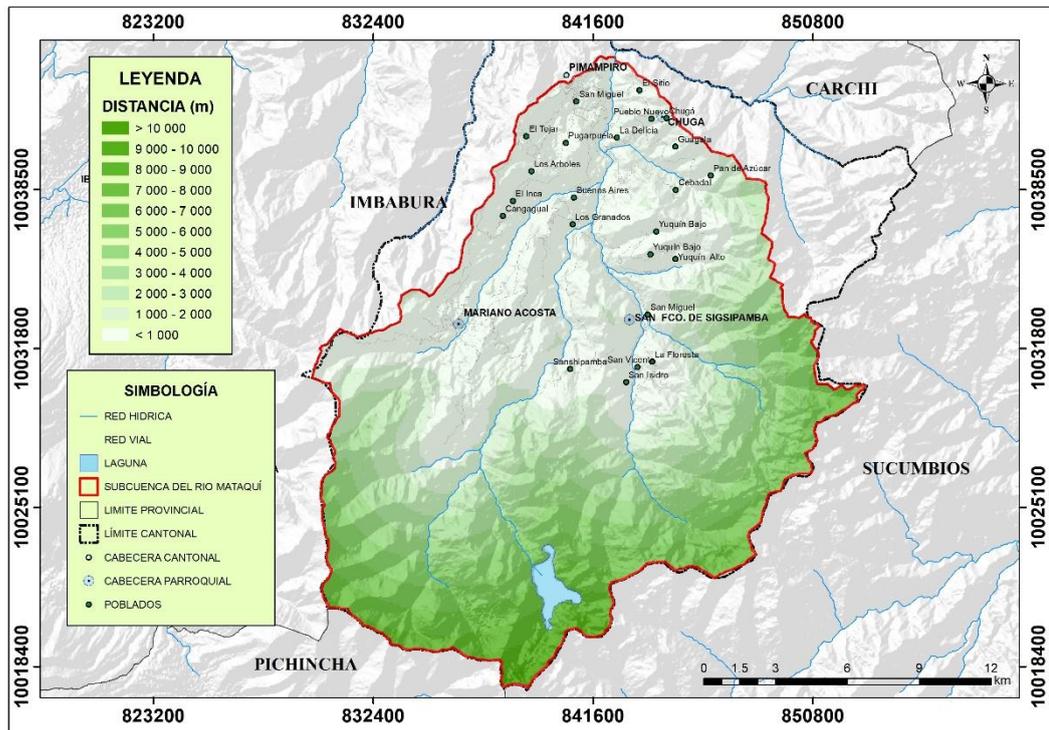


Figura 11. Distancia hacia la red vial con respecto al límite de la subcuenca.

4.1.6. Distancia a la red hídrica (ríos)

En la determinación de distancias con respecto a la red hídrica se determinó el punto más lejano a la subcuenca con respecto a los ríos con una distancia de 4, 82 km (Figura 12).

4.1.7. Distancia a fallas geológicas

Existen varios puntos de fallas geológicas distribuidas a lo largo de la subcuenca, dentro del área de estudio se encontró una distancia máxima de 5, 48 km (Figura 13).

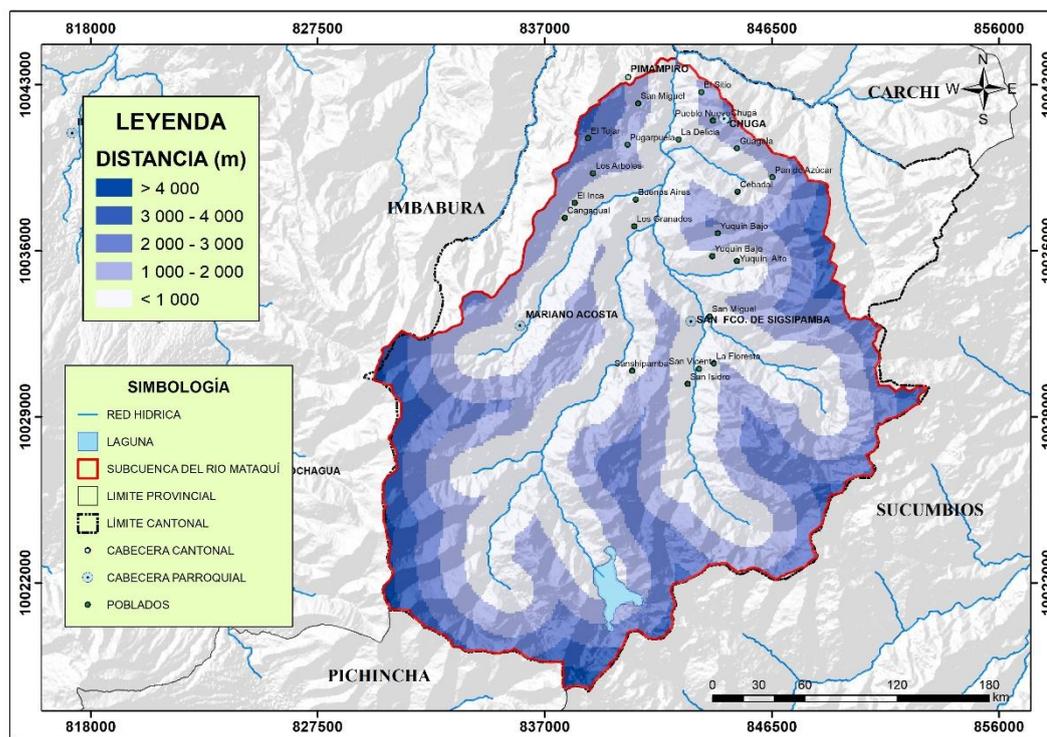


Figura 12. Distancia de ríos con respecto al límite de la subcuenca del río Mataquí, cantón Pimampiro.

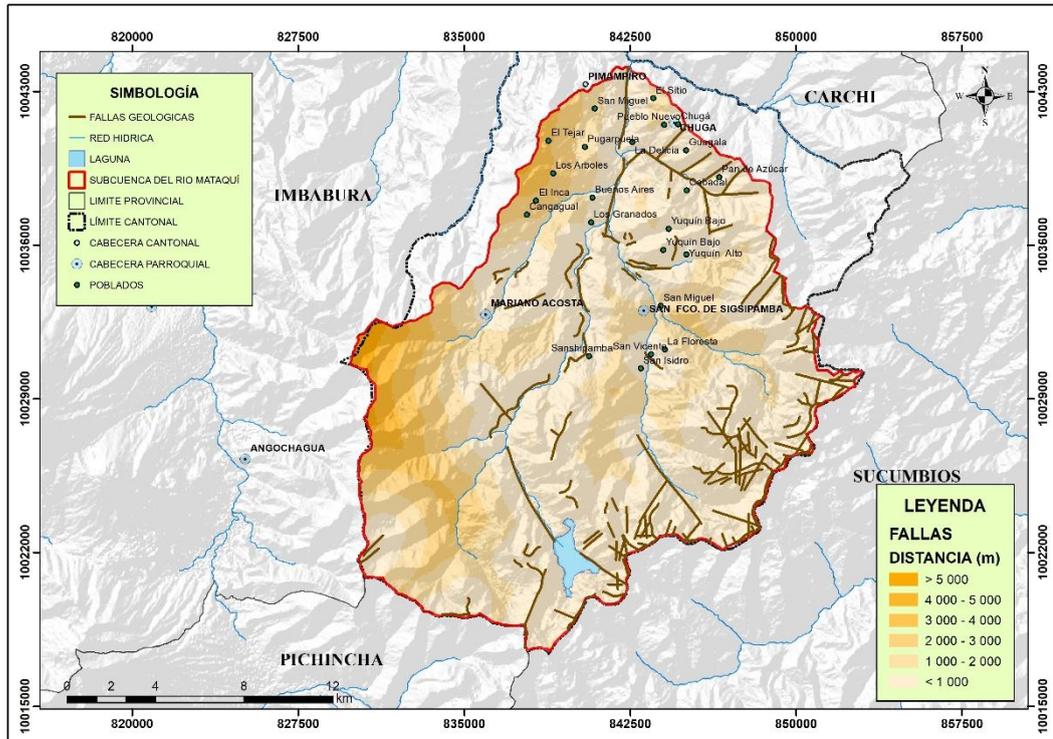


Figura 13. Distancia de fallas geológicas con respecto al límite de la subcuenca del río Mataquí, cantón Pimampiro.

4.2. Zonificación de susceptibilidad a deslizamientos

Se evidenciaron veinte y cinco puntos de deslizamientos entre rotacionales y flujos de derrubios en el área de estudio, corroborando y validando la información de las zonas de susceptibilidad obtenidas a partir de la aplicación del modelo Fuzzy. Padilla (2014), validó la aplicación del modelo Fuzzy, sugiriendo ser la mejor forma de adaptación a la realidad del terreno. Además, establece que la metodología aplicada es la más apropiada en los sectores interandinos.

Se establecieron cinco categorías de susceptibilidad: susceptibilidad muy baja, susceptibilidad baja, susceptibilidad media, susceptibilidad alta y susceptibilidad muy alta. No obstante, en el área de estudio se determinaron tres de estas categorías: Susceptibilidad Media, Susceptibilidad Alta y Susceptibilidad Muy Alta (Tabla 13). Segura (2011), Gáfaró (2013) y Fernández (2017), establecen en sus estudios cinco categorías que consideran los diferentes grados de susceptibilidad a deslizamientos que se presentan en el terreno. No obstante, Cárdenas (2008), aplica modelos de incertidumbre basados en la lógica difusa, estableciendo categorías de

susceptibilidad de 0° a 1°, haciendo de este, un estudio probabilístico.

- **Susceptibilidad muy alta**

La zona susceptible a deslizamiento tiene 13 385.87 ha de superficie del área de estudio (Tabla 13). Esta categoría está distribuida principalmente en la parte céntrica alta de la subcuenca, es decir, las parroquias de Mariano Acosta (comunidades La Florida y Guanupamba), San Francisco de Sigsipamba (comunidad La Merced) y Pimampiro (comunidad de Buenos Aires), se encuentran en esta categoría. Los factores que influyen para que la susceptibilidad sea muy alta son: precipitaciones superiores a los 700 mm anuales (Figura 9), pendientes que pueden llegar a ser >100% (Figura 10), cercanía a las redes viales y los ríos (Figura 11 y 12) y la cobertura vegetal (Figura 7) siendo en su mayor parte zonas de cultivo y pastizales. Los factores con un menor índice de susceptibilidad fueron la geología que está conformada en su mayor parte por andesitas (Figura 8).

- **Susceptibilidad alta**

La zona susceptible a deslizamiento alto tiene un área de 21 444,30 ha dentro del área de estudio, siendo esta la categoría que tiene la mayor parte de la zona de estudio. Se extiende por los bordes de la subcuenca, de esta forma, las comunidades de: Guagalá, Pan de Azúcar y El Sitio pertenecientes a la parroquia de Chugá; las comunidades de Los árboles, Pugapuela y El Inca de la parroquia de Pimampiro y las comunidades Mariano Acosta y Yanajaca de la parroquia de Mariano Acosta presentan una susceptibilidad alta, teniendo como factores influyentes: precipitaciones superiores a 700 mm (Figura 9), pendientes máximas del 70% (Figura 10), y cercanía a fallas geológicas (Figura 13). La cobertura vegetal (páramo, bosque y vegetación arbustiva) y la geología (andesitas) son factores que aportaron a una menor susceptibilidad en el área de estudio.

- **Susceptibilidad media**

El área con una susceptibilidad media a deslizamientos representa el 1,97% de la zona de estudio, haciendo de esta categoría la menos influyente, se extiende en las

zonas bajas de la subcuenca, principalmente en, las comunidades de: Chugá (Chugá) y El Cebadal (Pimampiro); siendo una zona de crecimiento agropecuario (Figura 7) en la cual existe baja cobertura vegetal y mayor cercanía a vías (Figura 11) siendo estos factores elevan el nivel de susceptibilidad y contrastan con pendientes en su mayoría del 5% -25% (Figura 10), precipitaciones menores a los 600 mm anuales (Figura 9), considerándose factores determinantes en la susceptibilidad.

Segura et al., (2011) en un estudio realizado en Costa Rica determinó que las pendientes ejercen un control importante en la clasificación de las áreas de susceptibilidad esto se debe a que en el área de estudio el 57% presentan pendientes bajas, a diferencia del estudio realizado en donde más del 50% presentan zonas con pendientes muy altas. Pérez, (2007) atribuye a la intensidad de precipitaciones como un factor detonante para la ocurrencia de deslizamientos, concordando los niveles de susceptibilidad encontrados en el área de estudio debido a que la mayor susceptibilidad se encuentra en la parte alta de la zona de estudio donde las precipitaciones son mayores en comparación con la parte baja de la misma.

Tabla 13. Área cubierta por cada categoría de susceptibilidad a deslizamientos en la subcuenca del río Mataqui, cantón Pimampiro.

Categoría	Área (ha)	Porcentaje	Color del símbolo en el mapa
Susceptibilidad media	698.84	1,97%	Amarillo
Susceptibilidad alta	21 444.30	60,36%	Naranja
Susceptibilidad muy alta	13 385.87	37,68%	Rojo

Cada uno de los valores detallados en la tabla anterior se evidencia de forma gráfica (Figura. 14), determinando y localizando de forma visual la distribución de los diferentes niveles de susceptibilidad.

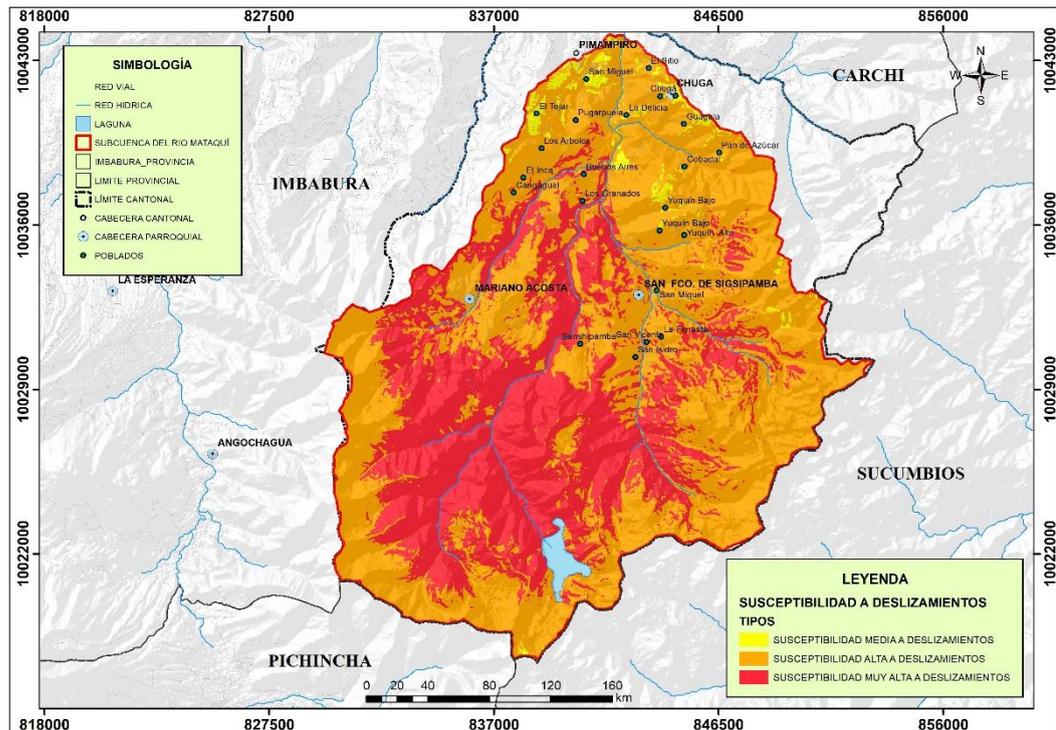


Figura 14. Susceptibilidad a deslizamientos en la subcuenca del río Mataquí, cantón Pimampiro.

En el presente estudio se analizó siete variables (Geología, pendientes, distancia a ríos, distancia a vías, distancia a fallas geológicas, cobertura vegetal y precipitaciones), debido a que las áreas susceptibles a deslizamientos se pueden proyectar en base a los factores físicos asociados con la actividad de deslizamiento: la historia de deslizamientos pasados, la roca firme, la calidad de pendiente y la hidrología. De esta forma, Fernández (2017) y Cárdenas (2008), consideran cinco variables (Litología, pendientes, distancia a ríos, índice de rugosidad e índice de lluvias y pendientes, forma de la ladera, índice de escurrimiento, formaciones superficiales, uso y cobertura, respectivamente), mientras que, Mujica (2013) considera siete variables, hizo énfasis en dos factores detonantes (sismos y precipitaciones), y así también citamos a Gáfaró (2013) quien considera seis variables (pendiente, tipo de suelo, geología, cobertura, precipitación y uso de suelo).

Fernández (2017), determinó que la mayoría de la zona tiene una susceptibilidad

muy alta como consecuencia del tipo de pendientes, su litología, y la cercanía a los ríos, factores que también influyeron en el presente estudio. Además, en el estudio con Mujica (2013) al igual que en este se establecieron tres tipos de susceptibilidad: susceptibilidad baja, susceptibilidad media y susceptibilidad alta, mientras que en el estudio de Fernández (2017), en el área de estudio se estableció las cinco categorías, todo esto se debe a las diferentes características intrínsecas de las áreas de estudio. Es importante mencionar que la geología, pendientes y precipitaciones, son consideradas en todos los estudios antes mencionados.

4.3. Curva de ROC

Se establecieron 25 puntos de muestra localizando la presencia de deslizamientos, de los cuales en 16 sectores se evidenciaron deslizamientos activos. Con la información obtenida se realizó la validación del modelo cartográfico de susceptibilidad. Obteniendo un valor de 0,67 en el área bajo la curva siendo un modelo aceptable (Figura. 15).

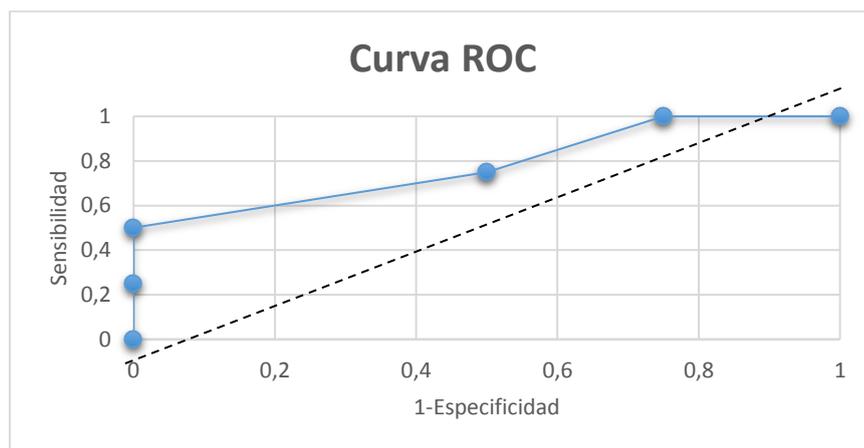


Figura 15. Curva ROC (Receiver Operating Characteristic).

Chung y Fabbri (2003) sugieren que para una validación y verificación de los modelos de predicción de deslizamientos surge de curvas *prediction-rate* y *success-rate*, por lo cual en el estudio realizado se usó la curva de *success-rate* realizando la comparación de los deslizamientos observados los cuales son la base para validar el modelo cartográfico.

4.4. Análisis de vulnerabilidad a partir de la “Guía de implementación análisis de vulnerabilidad a nivel municipal”

Las redes vitales evaluadas son sistemas indispensables para el desarrollo y sostenimiento de la sociedad. A continuación, se detalla su vulnerabilidad estructural y funcional.

4.4.1. Red Vial

El análisis de vulnerabilidad de la Red Vial estructural, indicó que 208,94 km de red vial divididas en vías secundarias (147.34 km), terciarias (50.86 km) y urbanas (10.74 km) tienen una vulnerabilidad media ante eventos de deslizamiento (Figura 16). Este valor se vio afectado en las parroquias de Chugá con 12.6 km, Mariano Acosta 8.8 km y San Francisco de Sigsipamba 11.9 km debido a la falta de mantenimientos periódicos y carencia de registros de mantenimientos previos que se realizan en la red vial y un estado regular en la red vial (Tabla 14).

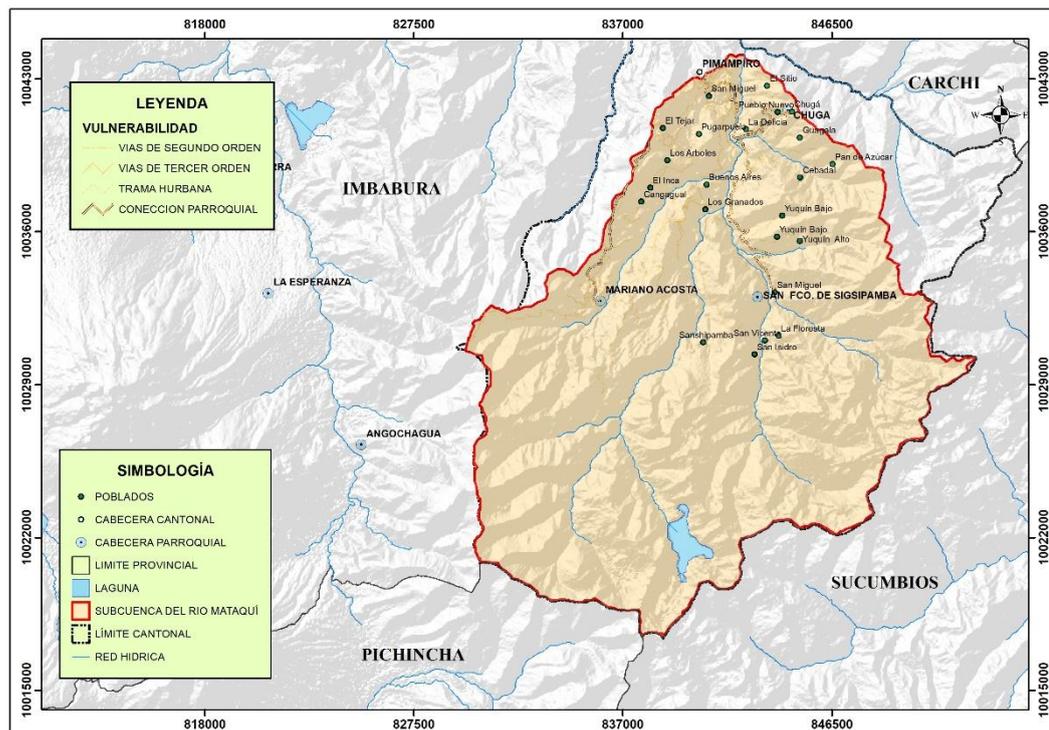


Figura 16. Vulnerabilidad estructural de la red vial de la subcuenca del río Mataquí, cantón Pimampiro.

La parroquia de Pimampiro presenta una vulnerabilidad estructural media, sin embargo, a diferencia de las parroquias antes mencionadas, tienen un mejor estado de revestimiento (Tabla 14).

Tabla 14. Resultado de los valores de vulnerabilidad estructural de la red vial en la subcuenca del río Mataquí.

Parroquia	Descripción	Valor ponderación	Vulnerabilidad estructural
Chugá	Red vial	34	Medio
Mariano Acosta	Red vial	34	Medio
Sigsipamba	Red vial	34	Medio
Pimampiro	Red vial	26	Medio

Así también, Vera (2017), propone que para identificar los niveles de vulnerabilidad existentes dentro de la zona de trabajo la elaboración de un mapa de exposición ante amenazas basándose la evaluación de todo aquel elemento que se encuentre en un área con nivel de vulnerabilidad alta, mientras que, en el presente estudio, se han considerado todos los elementos, independiente al nivel de vulnerabilidad que se obtenga. Ferrera (2008) establece que el mantenimiento debe ser de forma consistente y óptima ya que en su estudio algunas carreteras tienden a verse obstaculizadas por deslizamientos como consecuencia de lluvias.

El análisis de la vulnerabilidad funcional de la red vial (Tabla 15) indicó que: la red vial está formada de varias arterias viales por lo cual hace que esta tenga al menos una redundancia, ya que, existe más de una vía de acceso hacia las cabeceras parroquiales, determinando una vulnerabilidad funcional moderada; esta red cuenta con un personal calificado, el cual es capacitado constantemente por parte del GAD Municipal, no obstante, el personal no tiene el equipamiento apropiado con el cual se garantiza un óptimo mantenimiento a esa red, teniendo así un nivel moderado a la vulnerabilidad funcional. Finalmente la red vial no tiene ninguna dependencia, es decir, su vulnerabilidad funcional es baja dado al que no necesita de insumos para su funcionamiento.

Tabla 15. Calificación de la vulnerabilidad funcional en la red vial de la subcuenca del río Mataquí.

Factor de vulnerabilidad	Variable de vulnerabilidad intrínseca	Indicadores	Vulnerabilidad funcional
Red vial	Dependencia	Sin dependencia	Baja
	Redundancia	Una	Moderada
	Capacidad de Intervención**	Personal calificado sin equipamiento	Moderada

** Solo para la parroquia de Pimampiro hay la disponibilidad de personal calificado y equipamiento.

4.4.2. Red de Agua potable

El Sistema de Agua Potable en la subcuenca del río Mataquí se distribuye a las cuatro parroquias del Cantón Pimampiro (Pimampiro, Chugá, Mariano Acosta y San Francisco de Sigsipamba) con una vulnerabilidad estructural media (Figura. 17). En este elemento al igual que en la red vial se consideró la vulnerabilidad estructural y funcional. La vulnerabilidad estructural (Tabla 16), establece que la red de agua potable de la subcuenca del río Mataqui se distribuye en 11 plantas de tratamiento, 12 captaciones y 12 líneas de conducción.

Cada red de agua potable evaluadas se distribuyen de la siguiente forma: una planta de tratamiento, captación y línea de conducción para la parroquia de Pimampiro; mientras que para la parroquia de Chugá existe una planta de tratamiento, que abastecen a Chugá, el Capulí y parte de Guagalá, en esta parroquia se encuentran dos plantas de almacenamiento de agua que no recibe ningún tipo de tratamiento, captación y conducción para las comunidades de Pan de Azúcar y Guagalá; San Francisco de Sigsipamba consta de dos áreas de captación de agua, líneas de conducción y dos plantas de tratamiento, abasteciendo a nueve de doce comunidades; la primera planta de tratamiento abastece a las comunidades del Carmelo, San Miguel, San Francisco de Sigsipamba y La Isla, y la segunda planta abastece a las comunidades de Bellavista, La Esperanza, El Cedral, La Merced y El Vestal, además, las comunidades de Sanshipamba, San Antonio y La Floresta no cuentan con un sistema de potabilización de agua, y la información de estos es nula;

Mariano Acosta cuenta con cinco áreas de captación, cinco líneas de conducción y cuatro plantas de tratamiento, que abastecen a las comunidades de Yanajaca, La Florida, Mariano Acosta y Guanupamba.



Figura 17. Distribución de la red de agua potable en la subcuenca del río Mataquí.

Todos los elementos evaluados con respecto a la red de agua potable obtuvieron una vulnerabilidad estructural media, esto se debe a que todas las áreas constaban con una infraestructura apta para el funcionamiento y cumplían con los estándares de construcción establecidos por las normas INEN de agua potable y aguas residuales (EX IEOS) (Tabla 16).

Tabla 16. Resultado de la vulnerabilidad física en la red de agua potable en la

subcuenca del río Mataquí.

Parroquia	Comunidad	Descripción	Valor ponderación	Vulnerabilidad estructural
Chugá	Chugá	Planta de tratamiento	40	Medio
	Guagalá	Captación	30	Medio
	Guagalá	Planta de tratamiento*	40	Medio
	Guagalá	Planta de tratamiento*	40	Medio
	Guagalá	Captación	30	Medio
	Pan de Azúcar	Captación	40	Medio
	Pan de Azúcar	Planta de tratamiento*	50	Medio
Mariano Acosta	Guanupamba	Captación	34	Medio
	Guanupamba	Planta de tratamiento	34	Medio
	Mariano Acosta	Captación	44	Medio
	Mariano Acosta	Captación	34	Medio
	Mariano Acosta	Planta de tratamiento	34	Medio
	Yanajaca	Captación	36	Medio
	Yanajaca	Planta de tratamiento	30	Medio
	La Florida	Planta de tratamiento	30	Medio
La Florida	Captación	40	Medio	
Sigsipamba	Sigsipamba	Captación	30	Medio
	Sigsipamba	Planta de tratamiento	30	Medio
	La Merced	Captación	30	Medio
	La Merced	Planta de tratamiento	30	Medio
Pimampiro	Pimampiro	Captación	40	Medio
	Pimampiro	Planta de tratamiento	40	Medio

*Tanques de almacenamiento de agua (no existe ningún tipo de tratamiento de agua).

La vulnerabilidad funcional (Tabla 17), establece: una cobertura de servicios, mayor al 80% en las parroquias de Pimampiro y Mariano Acosta, para las parroquias de Chugá y San Francisco de Sigsipamba el abastecimiento de agua

potable es del 50 al 80%, esto se debe a la dispersión de viviendas que existe en estas dos parroquias, dificultando así el abastecimiento de agua potable, es necesario mencionar que las comunidades que no cuentan con agua potable tienen infraestructura de captación, conducción, no obstante en el área de tratamiento no existe infraestructura funcional.

Tabla 17. Clasificación de la vulnerabilidad funcional en la red de agua potable de la subcuenca del río Mataquí.

Factor de vulnerabilidad funcional	Variable de vulnerabilidad	Indicadores	Vulnerabilidad funcional
Agua Potable Pimampiro	Cobertura de Servicios	>80%	Baja
	Dependencia	Con dependencia	Alta
	Redundancia	Una	Moderada
Agua Potable Chuga	Capacidad de Intervención	Personal calificado y equipamiento	Baja
	Cobertura de Servicios	50 al 80%	Moderada
	Dependencia	Con dependencia	Alta
Agua Potable San Francisco de Sigsipamba	Redundancia	Una	Alta
	Capacidad de Intervención	Personal calificado sin equipamiento	Moderada
	Cobertura de Servicios	50 al 80%	Baja
Agua Potable Mariano Acosta	Dependencia	Con dependencia	Alta
	Redundancia	Una	Moderada
	Capacidad de Intervención	Personal calificado sin equipamiento	Moderada

La dependencia del sistema, determinó que todo el sistema de agua potable es dependiente, esto se debe a que necesita de insumos para el mantenimiento de la red de agua y su potabilización. Con respecto a redundancias se determinó que al menos existe una, esto quiere decir que si existe alguna afectación en cualquiera de las etapas de la red de agua potable (captación, conducción, tratamiento) existe un

reemplazo (plantas de tratamiento) o un repuesto (línea de conducción y plantas de tratamiento) para continuar con el abastecimiento de agua potable dando como resultado una vulnerabilidad funcional moderada, por último en la capacidad de intervención toda el área de estudio cuenta con un personal capacitado pero no cuenta con un equipamiento adecuado, lo cual otorga una vulnerabilidad funcional moderada para el caso de las parroquias de Chugá, Mariano Acosta y Sanfrancisco de Sigsipamba únicamente se obtuvo una vulnerabilidad baja en la Parroquia de Pimampiro.

Para la determinación de los grados de vulnerabilidad se evaluó el tipo de material de construcción, considerando zonas donde el riesgo puede ser mitigado. Se identificaron áreas para mitigar la afectación de los deslizamientos de agua potable y vías (Pérez, 2007). Bermúdez (2014), al igual que en el presente estudio parte de la evaluación de la vulnerabilidad, priorizando las reducciones del riesgo a desastres en cuanto a elementos esenciales, ya que al conocer la vulnerabilidad es más fácil entender la magnitud y el impacto de los eventos, haciendo eficiente así la toma de decisiones que disminuirán el riesgo.

Navarro (2017), plantea el análisis de vulnerabilidad como punto de partida para una propuesta de reducción de riesgo, en su estudio se determinó primeramente el nivel de la amenaza, definiendo puntos y estructuras más vulnerables, tras identificar los lugares críticos o más peligrosos ante un deslizamiento. De igual forma García (2004), afirma la importancia de un análisis de vulnerabilidad para establecer las medidas de prevención y mitigación para la toma de decisiones. Por lo cual, se establece que, después de una caracterización del sistema, se determina el nivel de vulnerabilidad además de determinar cuál es la principal afectación, y si existe un desastre en la red se suspende el servicio.

4.5. Evaluación y propuesta para la disminución del riesgo

A continuación se establecen propuestas para disminuir el riesgo a deslizamientos en las redes de agua potable y vías, priorizando a las zonas con un riesgo alto.

4.5.1. Evaluación del riesgo a deslizamientos en elementos esenciales

A partir de los resultados del segundo y tercer objetivo (evaluación de susceptibilidad y vulnerabilidad) se determinó el riesgo existente a deslizamientos en las redes vitales dentro de la subcuenca del río Mataquí.

4.5.1.1. Evaluación del riesgo en la red vial

De ésta forma y de acuerdo a los parámetros evaluados para la red vial se obtuvo un riesgo alto en toda la red vial que comprende el área de estudio (Figura 18). Además se evidenciaron daños tramos viales que se encuentran en el área de estudio en especial en el tramo ubicado en el sector de la meza el cual conecta a la parroquia de Sigsipamba y las comunidades.

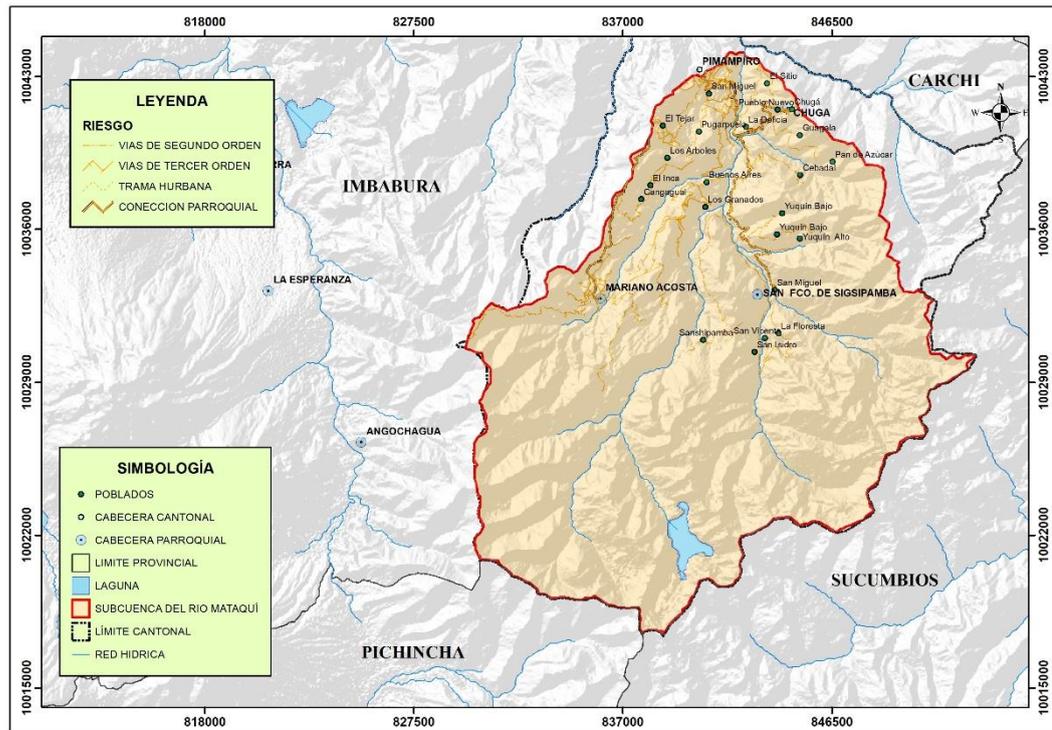


Figura 18. Riesgo a deslizamientos en la red vial para la subcuenca del río Mataquí.

4.5.1.2. Evaluación del riesgo en la red de agua potable

Realizada la evaluación de la vulnerabilidad y la susceptibilidad se determinó el riesgo presente en los sistemas de agua potable (Figura 19), para las áreas de

captación de agua la parroquia de Pimampiro obtuvo un riesgo medio ante deslizamientos, mientras que las demás áreas de captación de agua distribuidas en la subcuenca presentan un riesgo alto ante eventos de deslizamientos.

Dentro de las áreas evaluadas de tratamiento o purificación del agua la parroquia de Chuga y Pimampiro presentan un riesgo medio a eventos de deslizamientos en las plantas ubicadas en los sectores de Chugá y Pimampiro respectivamente. Las demás plantas distribuidas en el área de estudio presentaron un riesgo alto ante eventos de deslizamientos.

En las parroquias de Pimampiro y Chuga se determinó un riesgo medio ante eventos de deslizamientos al sistema de conducción de agua, localizados en el sector de Pimampiro y Pan de Azúcar respectivamente, mientras que en el resto de los sistemas e potabilización de agua el riesgo determinado ante eventos de deslizamientos fue medio.

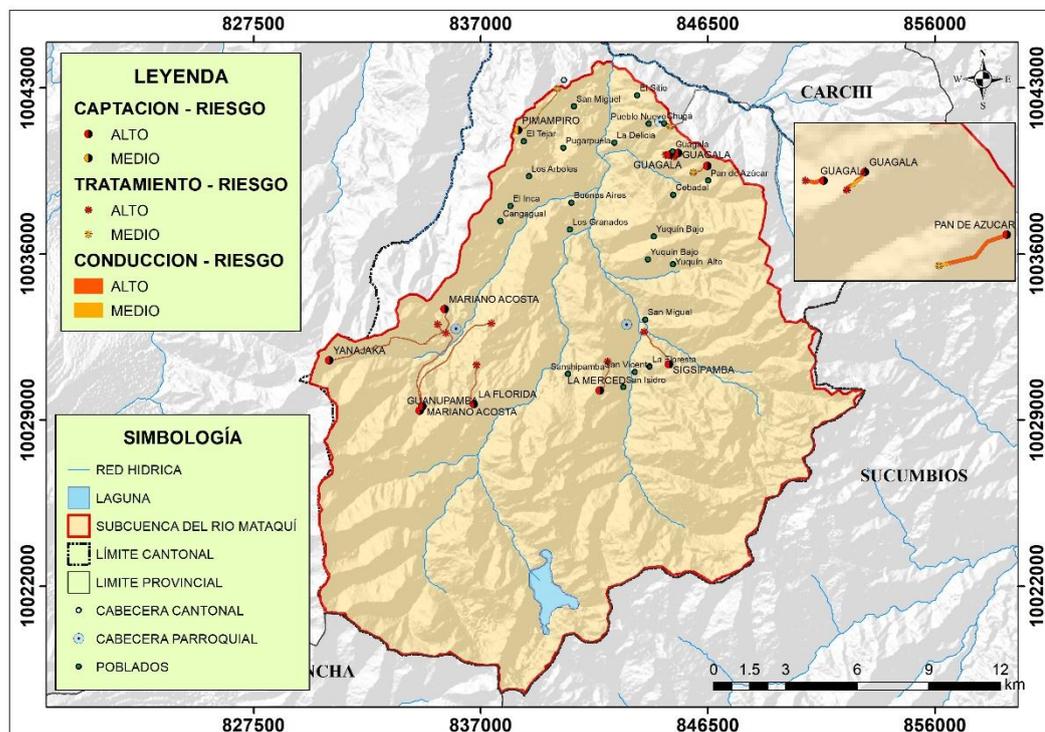


Figura 19. Riesgo en la red de agua potable en la subcuenca del río Mataquí.

4.5.2. Estrategias de gestión para la disminución del riesgo

Como potencialidades dentro de la subcuenca del río Mataquí se verificó la existencia de zonas con infraestructura en buen estado, la cuales pueden ser optimizadas para disminuir la vulnerabilidad ante eventos de deslizamientos. Además de incentivar al mejoramiento en el sistema de administración de los elementos esenciales evaluados (Tabla 18).

Tabla 18. Matriz de formulación estratégica para el análisis FODA.

	Fortalezas	Debilidad
Factores interno/ Factores externos	F1. La vulnerabilidad dentro de las redes vitales es media.	D1. La susceptibilidad es alta y muy alta es media.
	F2. Apoyo e interés por parte de las diferentes instituciones como GAD cantonal y provincial para el desarrollo de proyectos	D2. No existe un plan de manejo en gestión de riesgo a desastres naturales dentro del área de estudio.
	F3. La organización y nivel de participación por parte de los habitantes de la zona es alta.	D3. No se lleva un registro de mantenimientos realizados en las redes de agua potable.
	F4. Se cuenta con la infraestructura adecuada en redes vitales	D4. Realización de actividades agropecuarias cerca a la red vial y a la red de conducción y tratamiento de agua potable. D5. Zonas con baja cobertura vegetal.
	Oportunidades	Amenazas
	O1. Existe apoyo por parte de las diferentes instituciones como GAD cantonal y provincial	A1. Falta de conocimiento por parte de la población para afrontar desastres a deslizamientos
	O2. Existen capacitaciones para el personal encargado del mantenimiento de las plantas de tratamiento.	A2. Perdidas económicas tras eventos de deslizamientos a vías

O3. Participación activa de la comunidad y dirigentes.

Potencialidades

Recuperación de cobertura vegetal en zonas cercanas a las redes vitales. (D5O1)
El mejoramiento y registro de mantenimientos realizados en las redes vitales. (D3O3)

A3. Presencia de deslizamientos activos en la zona

A4. Aumento de deslizamientos afectando redes viales

Desafíos

Disminución del riesgo a través de la amenaza, evitando pérdidas económicas a comerciantes e instituciones públicas. (F1A3)

Planificar una gestión a riesgo de desastres a nivel de subcuenca y articular al Plan de Desarrollo Cantonal (D2O1)

Fortalezas: Dentro de la subcuenca Mataquí se determinó una vulnerabilidad media para las redes vitales, esto se debe a que existe la infraestructura adecuada, además, el nivel de organización de las juntas de agua y la participación comunitaria es muy alta, debido a que las redes vitales evaluadas cuentan con un mantenimiento periódico realizado por personal capacitado y pobladores que ayudan en el mantenimiento de las vías y la condición del agua potable.

Oportunidades: El área de estudio cuenta con el apoyo de instituciones como GAD cantonal (redes de agua) y GAD provincial (red vial), contribuyendo en la formación y ejecución de proyectos mejorando la calidad de vida de la población. Además, se determinó como oportunidad la facilidad de capacitación al personal encargado del mantenimiento de las redes de agua.

Debilidades: En base a la determinación de susceptibilidad a deslizamientos en el área de estudio, se evidenció una susceptibilidad alta y muy alta. No existe un registro físico documentado de los mantenimientos realizados en las redes vitales, además, el personal encargado del mantenimiento no cuenta con el equipamiento necesario para realizar la obra de mantenimiento de manera eficiente. Al ser un área rural la distribución de las viviendas es dispersa por lo cual dificulta el abastecimiento de agua potable a toda la población.

Amenazas: Los pobladores carece de conocimiento para afrontar deslizamientos por lo cual es necesaria la implementación de programas y planes de contingencia ante este tipo de eventos. El desencadenamiento de deslizamientos dentro del área es muy recurrente, en su mayoría afecta a la red vial lo cual evita el comercio de productos agrícolas generando pérdidas económicas. Se evidencio que la vía San Francisco de Sigsipamba - Pimampiro cruza una falla geológica activa y cruza por un deslizamiento activo el mismo que ha afectado recurrentemente a la población dentro del área de estudio.

La matriz FODA enriqueció el análisis estratégico para la elaboración de los diferentes planes para la reducción del riesgo donde se toman en cuenta responsables, indicadores y la relación que estos tienen con la gestión del riesgo (Tabla 19). David (1997), propone evaluar cada fortaleza, oportunidad, debilidad y amenaza de manera independiente, de forma que se observa con mayor claridad, el análisis de FODA, y la necesidad de cada plan, evaluando si las estrategias son realmente eficaces (Tabla 20, 21 y 22).

Tabla 19. Planes diseñados.

Planes	Responsables	Indicador	Relación con la gestión del Riesgo
1. Disminución del riesgo a través de la amenaza.	GAD Municipal de Pimampiro. Gobierno Provincial de Imbabura	Vías de conexión parroquial habilitadas de forma permanente.	El enfoque de la gestión de riesgos busca disminuir las afectaciones que se pueden generar en la infraestructura
2. Disminución del riesgo a través de la vulnerabilidad.	GAD Municipal de Pimampiro. Comunidad Juntas de Agua potable Dirigentes comunales	Disminución en el tiempo de respuesta ante una afectación en las redes vitales.	Un mejor manejo de las redes vitales expuestas a eventos de deslizamientos, mejora la calidad de vida de la población.
3. Establecer una gestión del riesgo en los procesos de planificación y ordenamientos territorial.	GAD Provincial de Imbabura Secretaría de Gestión de Riesgos GAD Municipal de Pimampiro.	Participación activa y colectiva de los involucrados.	La capacitación y participación de todos los actores dentro del área de estudio ayuda en la prevención de afectaciones a consecuencia de deslizamientos.

Tabla 20. Diseño de estrategias para el plan de disminución del riesgo a través de la amenaza.

Estrategia F1, A3: Aplicación de técnicas para el control y disminución de deslizamientos en vías de conexión parroquial y zonas con deslizamientos activos.	
Nombre de la estrategia	Mejoramiento estructural de la red vial.
Responsables	GAD Municipal de Pimampiro. Gobierno Provincial de Imbabura Instituciones Educativas
Actividades	Identificación de zonas propensas a deslizamientos y zonas con deslizamientos activos Categorizar los taludes de tipo suelo y rocoso. Estabilización de taludes. Protección de taludes a través de la aplicación de geotextiles y mallas. Construcción de elementos de contención (taludes de tipo suelo y rocoso) Desbroce de vegetación en taludes rocosos. Instalación de mallas en taludes rocosos.
Tiempo de Ejecución	1 año
Meta.	Disminuir y controlar los deslizamientos producidos
Estrategia D4, O4 Mejoramiento de sistemas agropecuarios en zonas cercanas a la red vial y de agua potable.	
Nombre de la estrategia	Mejoramiento del sistema de mantenimiento a redes vitales.
Responsables	GAD Municipal de Pimampiro. Población Instituciones Educativas Dirigentes comunales
Actividades	Capacitación a la población sobre sistemas agropecuarios que conservan el suelo. Implementación terrazas para actividades agrícolas. Aplicación sistemas agrosilvopastoriles para la crianza y manejo de ganado. Seguimiento y evaluación de las técnicas aplicadas.
Tiempo de Ejecución	1 año
Meta.	Disminuir el nivel de amenaza a deslizamientos. Evitar la erosión de suelos. Aumentar el nivel de cobertura vegetal en pastizales.
Estrategia D5, O1 Recuperación de cobertura vegetal en zonas cercanas a las redes vitales.	
Nombre de la estrategia	Recuperación de cobertura vegetal.
Responsables	GAD Municipal de Pimampiro. Instituciones educativas superiores. Población

	Gobierno Provincial de Imbabura
Actividades	Identificar zonas sin cobertura vegetal y con pendientes superiores al 40% Instalar viveros comunitarios con especies maderables y arbustivas propias de la zona para reforestación y forestación. Crear campañas para reforestar las zonas más críticas.
Tiempo de Ejecución	2 años
Meta	Mejorar la calidad paisajística de la zona. Aumentar el nivel de cobertura vegetal para disminuir el apareamiento de nuevos deslizamientos.

Para un mejor conocimiento de las actividades a realizarse mencionada en la tabla anterior, se realizó una georreferenciación de las zonas que necesitan intervención para la disminución del riesgo. (Figura 20.)

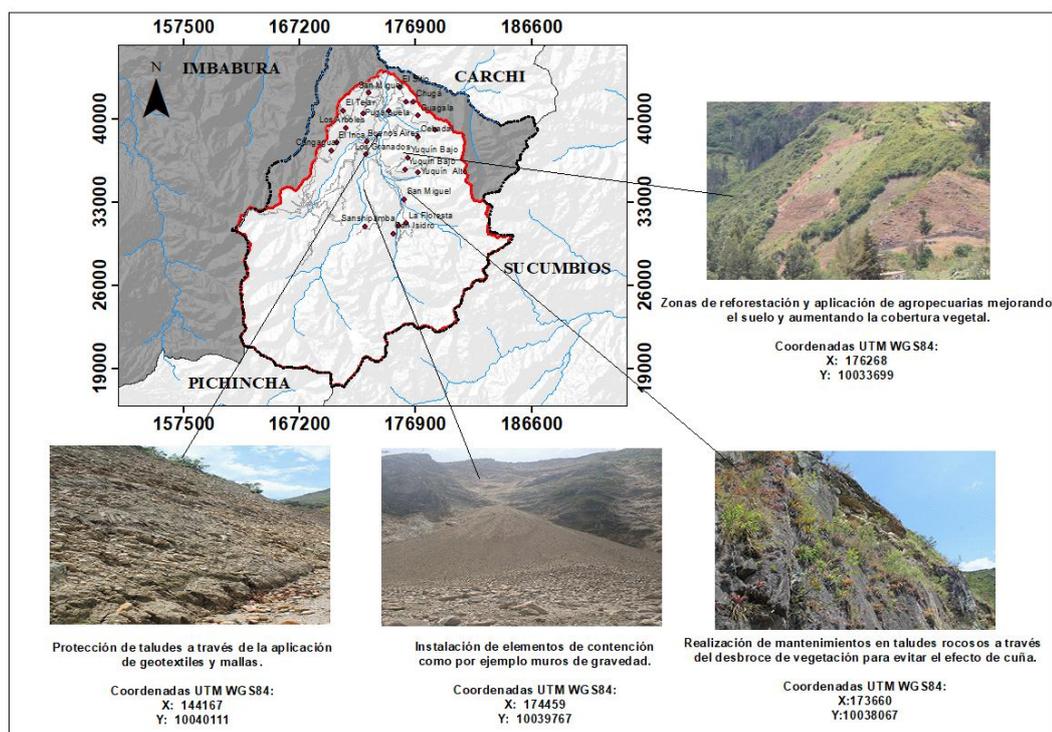


Figura 20. Zonas de intervención.

Tabla 21. Diseño de estrategias para el plan de disminución del riesgo a través de la vulnerabilidad.

Estrategia D3, O3: Mejora en el sistema de mantenimiento a redes vitales.	
Nombre de la estrategia	Mejora en el sistema de mantenimiento a redes vitales.
Responsables	GAD Municipal de Pimampiro. Dirigentes comunales. Presidentes de las juntas de agua parroquial.
Actividades	Creación de cronograma de mantenimientos mensuales. Elaboración de informes mensuales de mantenimientos realizados. Seguimiento de los mantenimientos realizados de acuerdo al cronograma establecido. Capacitación constante mantenimientos tecnificados a las redes vitales. Evaluación constante al personal encargado de los mantenimientos.
Tiempo de Ejecución	6 meses
Meta.	Disminuir la vulnerabilidad en redes vitales. Generar una base de datos útil para futuros proyectos de mejora en redes vitales.

Tabla 22. Diseño de estrategias para el plan de gestión del riesgo en los procesos de planificación y ordenamiento territorial.

Estrategia D2, O1: Formulación de planes de contingencia.	
Nombre de la estrategia	Mejoramiento estructural de la red vial.
Responsables	GAD Municipal de Pimampiro. Gobierno Provincial de Imbabura Secretaria de Gestión de Riesgos
Actividades	Elaboración de planes de emergencia comunitarios y administrativos. Impulso del funcionamiento constante del sistema de gestión de riesgos. Fortalecimiento de organismos encargados de la coordinación de emergencias.

Tiempo de Ejecución	6 meses
Meta.	Obtener una guía ante la ocurrencia de desastres naturales.
Estrategia D4, O4 Diseño e implementación de actividades de capacitación sobre el manejo de riesgos.	
Nombre de la estrategia	Mejoramiento del sistema de mantenimiento a redes vitales.
Responsables	GAD Municipal de Pimampiro. Secretaría de Gestión de Riesgos Instituciones Educativas Dirigentes comunales
Actividades	Creación de espacios de aprendizaje colectivo con temáticas relacionadas a la reducción de riesgos de desastres. Capacitación al personal de las instituciones públicas, que contemplen planes de contingencia. Evaluación del conocimiento sobre gestión de riesgos. Capacitación sobre las medidas de reducción de riesgos y atención a desastres Aplicación, seguimiento y capacitación constante a la población, servidores públicos y dirigentes de las comunidades.
Tiempo de Ejecución	6 meses
Meta.	Mejorar el conocimiento de la población ante la respuesta de la gestión de r Evitar la erosión de suelos. Aumentar el nivel de cobertura vegetal en pastizales.
Estrategia D1, O3: Intervención participativa y activa ante eventos de deslizamiento.	
Nombre de la estrategia	Intervención ante eventos de deslizamiento.
Responsables	GAD Municipal de Pimampiro. Gobierno Provincial de Imbabura Secretaría de Gestión de Riesgos
Actividades	Conformar grupos de personal para respuesta y limpieza de zonas afectadas por deslizamientos. Capacitación constante de técnicas para la limpieza de redes vitales.

Adquisición de insumos para el personal capacitado.

Tiempo de Ejecución	6 meses
Meta.	Mejorar el tiempo de respuesta ante eventos de deslizamiento, con personal capacitado y equipado.

Una vez realizada la investigación y detectadas las zonas susceptibles y vulnerables a deslizamientos se facilitó el proceso de gestión de riesgos, con las ya antes mencionadas propuestas de reducción de riesgo, las cuales son aplicables para el área de estudio y para zonas con características similares.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El 1,97% del área presenta una susceptibilidad media a deslizamientos, presentes en la parte baja de la subcuenca, el 60,36% representa la susceptibilidad alta y se extiende a lo largo de la zona, y el 37,68% restante corresponde a una susceptibilidad muy alta presente en la parte alta del área de estudio en base a la aplicación del método Fuzzy. Se validó este modelo de predicción mediante la curva de ROC lo cual lo determina como un modelo aceptable. Además, las zonas con mayor susceptibilidad a deslizamientos coinciden con los puntos de los eventos georreferenciados en campo.

Las redes de agua potable y vial evaluadas dentro del área de estudio obtuvieron una vulnerabilidad media ante eventos de deslizamientos. La cobertura de servicios de agua potable dentro del área es del 80%, dificultando un abastecimiento del 100% por ser zona rural donde existe una dispersión de las viviendas.

Existe una exposición de un riesgo alto en 33 km de red vías las cuales son vías que conectan con las cabeceras parroquiales. En la red de agua potable hay un total de 24,2 km de tubería de conducción de agua de las cuales 23,3 km presentan un riesgo alto a deslizamientos mientras que 0.9 km de tubería tienen un riesgo medio a deslizamientos.

Las estrategias para una mejor gestión a riesgos son: Aplicación de técnicas para el control y disminución de deslizamientos en vías de conexión parroquial y zonas con deslizamientos activos, la mejora de sistemas agropecuarios en zonas cercanas a la red vial y red de agua potable, la recuperación de cobertura vegetal en zonas cercanas a las redes vitales, mejora en el sistema de mantenimiento a redes vitales,

diseño e implementación de actividades de capacitación sobre el manejo de riesgos y la intervención participativa y activa ante eventos de deslizamiento.

5.2 Recomendaciones

Emplear los resultados obtenidos en planes estratégicos de ordenamiento territorial dentro del área de estudio, ya que estos dan paso a otros estudios bajo la misma línea temática en gestión de riesgos.

Analizar la vulnerabilidad a elementos esenciales tales como: viviendas instituciones públicas (centros de salud, escuelas, entre otros) con el fin de conocer la realiad de los demás elementos físicos del área de influencia, disminuyendo las afectaciones a los que dichos elementos están expuestos.

Realizar obras de infraestructura en las vías de comunicación, como: terrazas, revestimientos de hormigón, muros de gaviones para la estabilización de taludes.

REFERENCIAS

- Alcántara, I. (2002). Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries. *Revista Geomorphology*, 4, 107–24.
- Altrock, C., Krauce, B. (2015). Fuzzy Logic and Neurofuzzy Technologies in Embedded Automotive Applications. Texas, United States of America: *Editorial IEEE*.
- Amorim, S., Corominas, J., Baeza, C., Portilla, M. y Angulo, C. (2009). Análisis comparativo de técnicas estadísticas y de aprendizaje para evaluar la susceptibilidad del terreno a los deslizamientos superficiales en el pirineo catalán. *Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Barcelona, España.
- Andocilla, L. (2012). *Implementacion Del Algoritmo De Logica Fuzzy Aplicado a La Determinacion Del Grado De Susceptibilidad a Deslizamientos En El Area Monjas – Ferroviaria – La Magdalena – Itchimbia Del Distrito Metropolitano De Quito*. (Tesis de Pregrado). Escuela Politécnica del Ejercito. Quito, Ecuador.
- Asamblea Nacional. (2016). Ley Orgánica de ordenamiento Territorial, uso y gestión del suelo (LOOT). Registro Oficial No. 790, 32.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). Constitución 2008. Libro Incluye Las Reformas Aprobadas En El Referéndum Y Consulta Popular de 7 de Mayo Del 2011, (Constitución de la República del Ecuador), 1–216.
- Avellaneda, V. (2008). *Propuesta de Uso del Agua en las Microcuencas Hidrográficas del Cantón Pimampiro en base a su Vocación*. (Tesis de pregrado). Escuela Politecnica del Ejercito. Quito, Ecuador.
- Baas, S. (2009). *Análisi de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres*. Roma, Italia : *Editorial FAO*.

- Baldock, J. (1982). *Geology of Ecuador*. Quito, Ecuador: *Editorial Dirección General de Geología y Minas*.
- Barrantes, G., Barrantes, O. y Núñez, O. (2011). Efectividad de la Metodología Mora-Vahrson Modificada en el Caso de los Deslizamientos Provocados por el Terremoto de Cinchona, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 4, 141–162.
- Bell, F. (2002). *Their assessment , avoidance and mitigation*. Durban, South Africa: *Editorial Routledge*.
- Bermejo, M. (2017). *Riesgos geológicos de taludes y laderas inestables*. Málaga, España: *Editorial Ingeoexpert*.
- Bermúdez, N. y Estacio, J. (2014). Del entendimiento de la vulnerabilidad urbana a la reducción de riesgo de desastres, en búsqueda de una herramienta práctica para gobiernos locales. *Revista Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 43 (3) 463–481.
- Cárdenas, I. (2008). Estimación de la susceptibilidad ante deslizamientos : aplicación de conjuntos difusos y las teorías de la posibilidad y de la evidencia. *Revista Ingeniería e Investigación*, 28 (1), 26-40.
- Carrara, A., Crosta, G. y Frattini, P., (2008). Comparing models of debris-flow susceptibility in the alpine environment. *Revista Geomorphology*, 9, 353-378.
- Chung, C., y Fabbri, A., (2003). Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards*, 3, 451-472.
- Codigo Organico de Organizacion Territorial Autonomia Descentralización (Cootad). (2015). Registro Oficial Suplemento 303, 1–185.
- Crozier, M.J., (1986), “Landslides: Causes, Consequences and Environment, Croom Helm”, London.

- Desinventar. (2017). Sistema de Inventario de Efectos de Desastres. Recuperado de: <http://www.desingentar.org>
- Domínguez, M. J., Jiménez Sánchez, M. y Berrezueta, E. (2005). Susceptibilidad ante los movimientos superficiales del terreno. Variables y escalas de trabajo. VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Valencia, España.
- Estacio, J. (2013). Estimación de la Vulnerabilidad a nivel cantonal". Proyecto. Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda, Ecuador.
- Estacio, J., Yépes, F., Garcia, M., Charles, K., Rodríguez, G., Vallejo, D. y Gómez, M. (2012). Guía de Implementación Análisis de Vulnerabilidad a Nivel Municipal (Primera). Quito, Ecuador: *Editorial AH*.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD). (2009). Informe de Evaluación Global de Desastres Naturales.
- Fernández, D. S. (2017). Análisis de susceptibilidad de movimientos de remoción en masa a escala regional en un sector de la Puna Argentina. *Revista Serie correlación geológica* , 33, 15–26.
- Ferrera, H., Candebat, D., Morejon, G., Marquéz, P., Arango, E., Zapata, J. y Chuy, T. (2008). Evaluación de la vulnerabilidad de las carreteras de interés nacional de la provincia santiago de cuba ante la ocurrencia de eventos naturales. *Revista Ciencia en su PC*, 4, 66–76.
- Gafaro, M. (2013). *Zonas De Amenazas Por Deslizamientos, A Partir De Modelamiento De Datos Espaciales Para El Casco Urbano Del Municipio De San Jose De Cucuta*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Cucuta, Colombia.
- García, J., Espadas, A. (2004). Análisis de vulnerabilidad física y medidas de mitigación del sistema de agua potable de Telchac Puerto ante la amenaza de huracanes. *Revista Ingeniería*, 8, 7–14.

- García, .J. (2008); *Metodologías para la evaluación de peligrosidad a los deslizamientos inducidos por terremotos*. (Tesis de Pregrado); Universidad de Alcalá. España.
- Gobierno Autonomo Descentralizado Cantonal Pimampiro. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
- González, J. E. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. *Revista de Ingenierías*. (Tesis de postgrado) Universidad de Medellín, Medellin, Colombia.
- Gutiérrez Hernández, O., Cámara Artigas, R., Senciales González, J. M., y García, L. V. (2018). Modelos predictivos en Biogeografía: aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 88–126
- Hernández Atencia, Y. (2013). Caracterización y Análisis de la amenaza y vulnerabilidad física de taludes y laderas, inestables en la microcuenca de la quebrada Cay, Ibagué. (Tesis de pregrado) Universidad de Tolima. Tolima, Colombia.
- INDC. (2006). Instituto Nacional de Defensa Civil, Manual básico para la estimación del Riesgo. Perú.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2015). Anuario metereológico. Recuperado de: <http://www.serviciometereologico.gob.ec>
- Leroi, E. (1996). Landslide hazard – Risk maps at different scales: Objectives, tools and developments. *Revista Trondheim*, 1 (2), 35-51.
- Malcom, A. y Holcombe, E. (2013). Reducción del riesgo de deslizamientos de acuerdo con la comunidad. Washintong, United States of America : *Editorial Banco Mundial*.

- Martínez, R. (2005). *Aplicación de Métodos indirectos para el análisis de susceptibilidad de deslizamientos en la subcuenca del Río Gatuncillo*. (Tesis de postgrado). Universidad de Panamá. Panamá
- Maskrey, A. (1998). Navegando entre brumas: La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgos en américa latina. *Editorial Maskrey*, 2, 334.
- Ministerio de Inclusion Económica y Social (MIES). (2010). Desarrollo Infantil, Modalidad Centro Integrado de Desarrollo Infantil, Ecuador.
- Mora, S. y Vahrson, W. (1993). *Modelo Determinación "A priori" de la Amenaza de Deslizamientos en Grandes Áreas Utilizando Indicadores Morfodinámicos*. Escuela Centro Americana de geología (Tesis de postgrado), Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.
- Morad, M. y Triviño, A. (2001). *Sistemas de información geográfica y modelizaciones hidrológicas: una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación*. *Boletín de La A.G.E.*, 31, 23–46
- Mujica, S. (2013). Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela. *Revista de Investigación*, 37 (80), 215–243.
- Muñoz, A. (2005). Inestabilidad de laderas: Mapa de Amenazas, Recomendaciones Técnicas para su elaboración, Managua, Nicaragua: *Editorial COSUDE*.
- Murck, B.W., Skinner, B.J. y Porter, S.C. (1996). Environmental geology. New York, United States of America: *Editorial Jhon Wiler & Sons*.
- Navarro, V., Duharte, A. y Pérez, R. (2017). Procedimiento Para Evaluar Vulnerabilidad Física Ante Impactos De Eventos Naturales Extremos En Calles Del Centro Histórico Urbano De Santiago De Cuba. La Habana, Cuba: *Revista Ciencia en su PC*, (1), 89–103.

- Organización Panamericana de la salud (OPS), (1998). Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario: guías para el análisis de la vulnerabilidad, Organización Mundial de la Salud.
- Ortiz, Ó. (2013). *Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador*. (Tesis de postgrado) Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid, España.
- Padilla, O. (2007). Fundamento teórico para modelización de variables ambientales mediante operadores difusos. *Revista Geoespacial*, 4.
- Padilla, O. (2014). *Determinación de la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos aplicando lógica Fuzzy VS Mora Vasrson en el área de Monjas Itchimbía Panecillo, del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)*. (Tesis de pregrado). Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería Geográfica Y Del Medio Ambiente, 1–15. Quito, Ecuador.
- Pavón Ayala, N. C. (2014). *Evaluación Y Zonificación De Susceptibilidad Y Amenazas/Peligros Por Fenómenos De Remoción En Masa En El Cantón Pallatanga, Escala 1:50.000*. (Tesis de Pregrado) Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Pérez, R. (2007). Análisis de la vulnerabilidad por los deslizamientos en masa , caso: Tlacuitlapa , Guerrero. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 59, 171–181.
- Pizarro, J. (2011). Instalación de los servicios de encausamiento de la quebrada serrano. Tigrillo, Saposoa, Perú.
- Portilla, M. E. (2001). Aplicación de los sistemas de lógica difusa en la evaluación de la susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa . *Revista Geología Colombiana*, (26), 189–205.
- Pourrut, P. (1983). Los climas del Ecuador: fundamentos explicativos. Los Climas Del Ecuador. Quito, Ecuador: *Editorial: Pronareg*

- Pozo, G. (2017). *Riesgo de Deslizamientos, Caídas de Bloques y Movimientos en Masa en las Vías de Primer Orden de la Cuenca Baja del Río Apaquí, Tramo El Juncal-Bolívar*. (Tesis de Postgrado), Universidad Técnica del Norte. Imbabura, Ecuador.
- Ríos, C. (2010). Estudio exploratorio de las propiedades físicas de suelos y su relación con los deslizamientos superficiales: Cuenca del río Maracay, estado Aragua Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 2(51).
- SAATY T. (1992). *Decision making for leaders*. Pittsburgh, United States of America: *Editorial RWS*.
- Santacana, N. (2001). Análisis de la Susceptibilidad del Terreno a la Formación de Deslizamientos Superficiales y Grandes Deslizamientos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. Aplicación a la Cuenca Alta del Río Llobregat. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Secretaria de Gestión de Riesgos (SGR). (2017). En Comité de Operaciones de Emergencia se presentó situación vial del cantón Pimampiro. Recuperado de: <http://gestionderiesgos.gob.ec>
- Segura, G., Badilla, E. y Obando, L. (2011). Susceptibilidad al deslizamiento en el corredor siquirres-turrialba. *Revista Geológica de América Central*, 4(5), 101–121.
- Shuster, R. (1996); Socioeconomic significance of landslides; Investigation and Mitigation. *Revista National Academic Press*, (1), 12-36.
- Naciones Unidas Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres. (UNISDR). (2002). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra, Suiza: *Editorial Naciones Unidas*.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and process. In R. L. Schuster, & R. J. Krizek, *Landslides analysis and control* (pp. 9-33). Washington DC: National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176.

- Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Natural Hazards. Paris, Francia: *Editorial UNESCO*.
- Vázquez, L. (2015). *Propuesta de un Plan de Reducción de Vulnerabilidad Físico Funcional de Redes Vitales Ante Dos Tipos de Amenazas: Sísmica y de Deslizamientos en la Parroquia Huaca, Cantón San Pedro de Huaca*. (Tesis de postgrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Vera, J.M. y Albarracín, A.P. (2015). *Propuesta metodológica para el análisis y espacialización de la vulnerabilidad ante amenazas hidrolimáticas, para la gestión integral del riesgo en la planificación ambiental de cuencas hidrográficas*. (Tesis de postgrado). Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
- Vera, J., y Alvarracin, A. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación , remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, (2),109–136.