UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO

INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

TEMA:

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y EXPOSICIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE ANTE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE PIRCAPAMBA DEL CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA BOLÍVAR

AUTORES:

KEBIN JOEL GAGLAY GAGLAY

JESSICA ADRIANA MASABANDA TIXILEMA

TUTOR:

ING. JOSÉ ABELARDO PAUCAR CAMACHO, PhD.

GUARANDA- ECUADOR

2026

Certificado de Seguimiento al Proceso Investigativo

Guaranda, mayo de 2026

El suscrito Ingeniero Abelardo Paucar director del proyecto de investigación de pregrado de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente-Tutor.

CERTIFICA

Que, el proyecto de investigación titulado **"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y EXPOSICIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE ANTE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE PIRCAPAMBA DEL CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA BOLÍVAR"** realizado por **Kebin Joel Gaglay Gaglay** y **Jessica Adriana Masabanda Tixilema**, ha sido debidamente revisado las observaciones durante las asesorías, en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados dar al presente documento el uso legal que estimen conveniente.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JOSE ABELARDO PAUCAR CAMACHO

Ing. José Abelardo Paucar Camacho, PhD.

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE PREGRADO

CERTIFICADO DEL TUTOR.

Guaranda, 29 de junio de 2026.

El suscrito Ingeniero Abelardo Paucar, director del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: "**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y EXPOSICIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE ANTE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE PIRCAPAMBA DEL CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA BOLÍVAR.**"; realizado por los señores: Kebin Joel Gaglay Gaglay y Jessica Adriana Masabanda Tixilema ha sido debidamente revisado y se han cumplido los requisitos académicos y legales establecidos por la Universidad.

Por lo tanto, se encuentra en condiciones de proceder a la publicación correspondiente.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.

Ing. José Abelardo Paucar Camacho, PhD.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Kebin Joel Gaglay Gaglay y Jessica Adriana Masabanda Tixilema portadas de la Cédula de Identidad 1753041977 y 0250133295 en calidad de autoras y titulares de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación:
ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y EXPOSICIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE ANTE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE PIRCAPAMBA DEL CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA BOLÍVAR, modalidad proyecto de investigación, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

KEBIN JOEL GAGLAY GAGLAY



JESSICA ADRINA MASABANDA TIXILEMA



Dedicatoria I

Este trabajo de investigación se la dedico a Dios por ser el arquitecto de mi vida, quien me dio la fuerza para levantarme en los momentos difíciles y la sabiduría para alcanzar esta meta. A Ti te debo todo lo que soy y todo lo que he logrado.

A mis padres, Jorge Rene Masabanda y Enma Soraida Tixilema Azas por ser mi pilar, mi guía y el ejemplo viviente de que el trabajo duro rinde frutos. A mi madre, que hoy me cuida y me acompaña en este logro desde el cielo; tu partida dejó un vacío inmenso, pero tu recuerdo y tus bendiciones han sido la luz que iluminó las noches más oscuras de este trayecto.

A mis hermanos William, Glenda, por ser mis eternos compañeros de vida, por su apoyo incondicional y por recordarme siempre de dónde vengo y hacia dónde voy.

A mi hija Cataleya Manzano por ser el motor de mi existencia y mi mayor orgullo. Todo el esfuerzo plasmado en estas páginas es para dejarte un camino de inspiración y demostrarte que, con dedicación, no hay sueño inalcanzable, este logro también te pertenece a ti porque eres parte importante de mi proceso.

A mí, por el esfuerzo y la dedicación para alcanzar mis metas. Por no rendirme ante los obstáculos y seguir adelante con determinación, sabiduría, calma y paz. Por creer en mí mismo y en mis capacidades, este, mi logro más preciado, es un reflejo de mi arduo trabajo y perseverancia.

A mi esposo por su apoyo incondicional, por creer en mí incluso cuando dudaba de mí misma, por las palabras de aliento, paciencia y confianza que siempre me ha brindado.

Jessica Adriana Masabanda Tixilema

Dedicatoria II

Primeramente, dedico este trabajo de tesis a Dios, por haberme concedido la vida, la salud, la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar cada desafío y alcanzar esta importante meta profesional. Su amor y guía han sido mi apoyo constante durante todo este camino.

A mi querido padre, Ángel Gaglay, quien, aunque ya no se encuentra físicamente a mi lado, continúa cuidándome y guiándome desde el cielo. Su recuerdo, su ejemplo de vida y el amor que siempre me brindó han sido una fuente de inspiración para seguir adelante y luchar por mis sueños.

A mi madre, Nancy del Carmen Gaglay, por ser el pilar fundamental de mi vida y el motor que ha impulsado mi formación académica y personal. Gracias por su amor incondicional, sus sacrificios, su esfuerzo constante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Este logro también es suyo.

A mis hermanos, por sus palabras de aliento, su apoyo y motivación constante, que me ayudaron a mantener la perseverancia y el compromiso necesarios para culminar esta etapa tan importante.

De manera especial, dedico también este trabajo a mi tía, Nancy Carmita Gaglay, por su apoyo incondicional, sus consejos oportunos y su constante confianza en mis capacidades. Su acompañamiento ha sido de gran valor durante mi proceso académico.

Con profundo amor, respeto y gratitud, dedico este trabajo a cada una de estas personas que han marcado mi vida y han contribuido, de una u otra manera, al cumplimiento de este importante sueño profesional.

Kebin Joel Gaglay Gaglay

Índice de Contenido

Certificado de Seguimiento al Proceso Investigativo II

Dedicatoria III

Agradecimiento ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Índice de Contenido V

Índice de Tablas X

Índice de Figuras XII

Abstract XIV

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 3

EL PROBLEMA 3

1.1 Planteamiento del Problema 3

1.2 Formulación del Problema 5

1.3 Preguntas de Investigación 5

1.4 Justificación 5

1.5 Objetivos de la Investigación 8

1.5.1 Objetivo General 8

1.5.1.1 Objetivos Específicos 8

1.6 Hipótesis 9

1.7 Limitaciones 10

CAPÍTULO II 11

MARCO TEÓRICO 11

2.1 Referencial o Georreferenciación 11

2.2 Antecedentes 13

2.3 Bases Teóricas 14

2.3.1 Sistemas de Agua Potable 14

2.3.1.1 Componentes de los Sistemas de Agua Potable 15

2.3.1.2 Importancia de un Sistema de Agua Potable 16

2.3.1.3 Características de un Sistema de Agua Potable 17

2.3.2 Deslizamiento de Tierra 17

2.3.2.1 Tipos de Deslizamientos 18

2.3.2.2 Partes de un Deslizamiento 23

2.3.2.3 Metodología para evaluar los deslizamientos 24

2.3.2.4 Factores condicionantes y desencadenantes 27

2.3.3 Vulnerabilidad de Sistemas de Agua Potable Frente a Deslizamientos 29

2.3.4 Exposición de los Sistemas de Agua Potable Frente a Deslizamientos 30

2.3.5 Medidas de Mitigación del Impacto de los Deslizamientos sobre el Sistema de Agua Potable 30

2.6 Operacionalización de las Variables 39

CAPÍTULO III 44

METODOLOGÍA 44

3.1 Nivel de Investigación 44

3.2 Diseño 44

3.3 Población y muestra 45

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 46

3.5 Universo o población y muestra 48

3.6 Procesamiento y Análisis de Datos 49

3.6.1 Modelamiento cuantitativo de la amenaza por deslizamientos 57

3.6.2 Validación estadística del modelo 58

3.7 Análisis de incertidumbre 59

CAPÍTULO IV 61

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN 61

4.1 Resultados del Objetivo 1: Identificar las zonas y niveles de amenaza de deslizamientos en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco 61

4.1.1 Factores condicionantes 62

4.1.2 Factores detonantes 74

4.2 Resultados de Objetivo 2: Evaluar el nivel de vulnerabilidad y exposición de los componentes (captación, tratamiento, almacenamiento y distribución) del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamientos 78

4.2.1 Evaluación de la vulnerabilidad en el componente captación 79

4.2.2 Evaluación de la vulnerabilidad en el componente conducción 81

4.2.3 Evaluación de la vulnerabilidad en el componente de planta de tratamiento 82

4.2.4 Evaluación de la vulnerabilidad en el componente de distribución 85

4.2.5 Cartografía de la vulnerabilidad de los componentes de agua potable a la amenaza de deslizamiento en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco 88

4.2.6 Evaluación de la exposición de los componentes de agua potable a la amenaza de deslizamiento en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco 90

4.3 Resultados del Objetivo 3: Proponer medidas de reducción de la vulnerabilidad y exposición de los componentes del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento de la comunidad de Pircapamba. 96

4.4 Discusión de resultados 103

4.5 Comprobación de la hipótesis 106

CAPÍTULO V 107

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 107

5.1 Conclusiones 107

5.2 Recomendaciones 109

ANEXOS 119

Anexo 1. Ficha de observación y entrevista para trabajo de campo para evaluación de la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba, sector Llilohuayco..... 119

Anexo 2. Memoría fotográfico del trabajo de campo para evaluación de la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba, sector Llilohuayco..... 122

Anexo 3. Solicitud a Presidente de la Junta Administradora de Agua Potable de Vinchoa para información y trabajo de campo para evaluación de la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba sector Llilluhuayco. 127

..... 127

Índice de Tablas

Tabla 1 Amenaza de Deslizamiento..... 40

Tabla 2 Vulnerabilidad y Exposición de Agua Potable 42

Tabla 3 Criterios para la ponderación de la amenaza de deslizamiento en la comunidad Pircapamba..... 50

Tabla 4 Nivel de susceptibilidad..... 51

Tabla 5 Criterios para la ponderación de la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento de la comunidad Picapamba sector Llillohuayco. 52

Tabla 6 Criterios para la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable 55

Tabla 7 Factor humedad de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco..... 63

Tabla 8 Factor geología de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco 66

Tabla 9 Factor pendiente de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco..... 68

Tabla 10 Factor geomorfología de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco..... 71

Tabla 11 Factor uso de suelo y cobertura vegetal de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco 73

Tabla 12 Susceptibilidad a deslizamientos de la comunidad de Pircapamba, sector Llilohuayco 77

Tabla 13 Vulnerabilidad en el componente captación 79

Tabla 14 Vulnerabilidad en el componente conducción..... 81

Tabla 15 Vulnerabilidad en el componente de planta de tratamiento de agua potable..... 82

Tabla 16 Vulnerabilidad en el componente de distribución (tanques de almacenamiento)..... 85

Tabla 17 Vulnerabilidad en el componente de distribución (red de tubería de distribución primaria y secundaria)..... 86

Tabla 18 Exposición a la amenaza de deslizamiento del sistema de agua de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco..... 92

Tabla 19 Medidas de reducción de la vulnerabilidad y exposición ante deslizamientos para el sistema de agua potable del sector Llillohuayco, comunidad Pircapamba. 97

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de la Zona de Estudio: sector Llillohuayco de la comunidad Pircapamba .. 12

Figura 2 Deslizamiento Rotacional..... 19

Figura 3 Deslizamiento Traslacional 20

Figura 4 Flujo de Lodo 20

Figura 5 Caída de Rocas 21

Figura 6 Reptación del Suelo..... 22

Figura 7 Desprendimiento de Escombros 22

Figura 8 Partes de un Deslizamiento 24

Figura 9 Factor humedad de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco 62

Figura 10 Factor geología de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco..... 64

Figura 11 Factor pendiente de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco 67

Figura 12 Factor geomorfología de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco 70

Figura 13 Factor uso de suelo y cobertura vegetal de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco 72

Figura 14 Susceptibilidad a deslizamientos de la comunidad de Pircapamba..... 76

Figura 15 Mapa de vulnerabilidad de deslizamientos de la red de agua potable de Pircapamba, sector Llillohuayco..... 89

Figura 16 Cartografía de exposición de los componentes de agua potable a la amenaza de deslizamiento en la comunidad de Pircapamaba, sector Llillohuayco 94

Resumen

La investigación se desarrolló en el sector Llillohuayco de la comunidad de Pircapamba, cantón Guaranda, afectada de forma recurrente por deslizamientos de tierra, los cuales inciden directamente en el funcionamiento del sistema de agua potable, que ponen en riesgo la continuidad y calidad del servicio para la población. En ese sentido, el objetivo del estudio fue desarrollar un análisis de la vulnerabilidad y exposición del sistema de agua potable frente a la amenaza de deslizamientos. La investigación es de tipo no experimental, con un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) y mediante el método analítico y descriptivo, con el uso de herramientas geoespaciales como los Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS) se caracterizó y correlacionó los factores condicionantes y detonantes que inciden en la amenaza de deslizamiento en la zona de estudio; asimismo, se emplearon matrices de análisis para evaluar la vulnerabilidad y exposición de los componentes (captación, conducción, tratamiento y distribución) del sistema de agua potable, los resultados permitieron establecer medidas de reducción ante la amenaza de deslizamiento para el sistema de agua potable.

Los resultados muestran la existencia de sectores con susceptibilidad media y moderada a deslizamientos dentro del área de estudio. Respecto a los componentes del sistema de agua potable, el tanque de captación, la red de conducción y la planta de tratamiento presentan bajos niveles de vulnerabilidad, aunque se encuentran altamente expuestos a este tipo de amenaza. En cuanto al sistema de distribución, la red principal evidencia una vulnerabilidad media combinada con una alta exposición, mientras que la red secundaria presenta distintos grados de vulnerabilidad (baja, media y alta) y una exposición predominantemente moderada.

Palabras claves: Deslizamiento, exposición, reducción de riesgos, sistema de agua potable y vulnerabilidad.

Abstract

The community of Pircapamba is recurrently affected by landslides, which directly impact the functioning of the drinking water system, putting the continuity and quality of the service at risk for the population. In this context, the general objective of the research was to develop an analysis of the vulnerability and exposure of the drinking water system to landslide hazards. For the development of the study, a descriptive and analytical approach was adopted, supported by the use of geospatial tools such as ArcGIS, which allowed the generation of susceptibility maps based on variables such as slope, land use, and precipitation. Likewise, analysis matrices were used to assess the vulnerability and exposure of the system components, including water intake, conveyance, storage, and distribution, complementing the process with fieldwork and the collection of technical information.

The results show the existence of areas with medium and moderate susceptibility to landslides within the study area. Regarding the components of the drinking water system, the intake tank, conveyance network, and treatment plant exhibit low levels of vulnerability; however, they are highly exposed to this type of hazard. Concerning the distribution system, the main network shows a medium level of vulnerability combined with high exposure, whereas the secondary network presents varying degrees of vulnerability (low, medium, and high) and predominantly moderate exposure.

Keywords: Landslide, exposure, risk reduction, drinking water system, and vulnerability.

INTRODUCCIÓN

El acceso constante a agua potable es un pilar fundamental para el bienestar de las personas, su salud y el progreso de las comunidades. Este recurso, vital para la vida cotidiana, se ve especialmente afectado en las zonas rurales y montañosas, como en el caso de la comunidad de Pircapamba, situada en el cantón Guaranda, provincia de Bolívar, donde los sistemas de abastecimiento de agua se enfrentan a riesgos naturales que comprometen su operatividad.

Cabe destacar que, los mayores peligros que presenta la zona son los deslizamientos de tierra, ya que las condiciones geográficas y climáticas del área, posee un alto potencial de ocurrencia y, por lo tanto, pone en riesgo la infraestructura del sistema de agua potable, afectando tanto la calidad como la disponibilidad del recurso.

Por ello, es importante comprender el estado actual del sistema de agua potable en Pircapamba, lo cual requiere identificar las zonas con mayor vulnerabilidad y analizar el nivel de riesgo que los deslizamientos representan para las infraestructuras. Para lograrlo, se utilizarán herramientas geoespaciales como ArcGIS, que permitirán elaborar mapas detallados sobre las áreas de susceptibilidad y riesgo.

Por tanto, esta metodología proporcionará una visión precisa de las zonas que requieren atención prioritaria. Además, se evalúo la vulnerabilidad física con detalle los componentes del sistema que incluyen: los tanques de captación, red de conducción, la planta de tratamiento, los tanques de almacenamiento y las redes de distribución que abastece a la comunidad de Pircapamba en el sector denominado Llillohuayco afectada por el deslizamiento.

Posteriormente, se desarrollarán estrategias de mitigación que permitirán reducir los impactos negativos de los deslizamientos sobre el sistema de agua potable. Estas soluciones

estarán orientadas a mejorar la resiliencia del sistema, garantizando así que la comunidad pueda acceder a agua potable de manera segura y continua, incluso en situaciones adversas, cuyo enfoque permitirá entender mejor las amenazas existentes, además de proporcionar soluciones viables y adaptativas para la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco.

En ese sentido, la presente investigación se estructura de la siguiente manera:

En el capítulo 1: El problema, contiene el planteamiento del problema, la formulación del mismo, la justificación, las limitaciones y los objetivos de la investigación; en el capítulo 2: Marco teórico, el cual consta del marco referencial, las bases teóricas, el marco legal, la definición de términos y la operacionalización de variables; en el capítulo 3: Marco metodológico, el cual abarca el tipo de investigación, en enfoque, los métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos, universo, población y muestra, y procesamientos de datos; en el capítulo 4: Presentación de resultados obtenidos de la investigación, en base a los objetivos específicos planteados en la investigación; finalmente, el capítulo 5, se detallan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Los deslizamientos de tierra son eventos naturales que ocurren en diversas partes del mundo, especialmente en regiones montañosas o áreas donde los suelos son propensos a la inestabilidad. Según un informe de la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios (2025) más de 60 millones de personas se vieron impactadas por desastres naturales asociados a deslizamientos de tierra a nivel global, un fenómeno que ha mostrado un aumento significativo en su frecuencia, en gran parte debido al cambio climático.

Asimismo, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2025) señala que, en América Latina, los desastres naturales se han vuelto cada vez más frecuentes. Entre los años 2020 y 2024, se registraron un total de 323 fenómenos, lo que representa un incremento del 23% en comparación con el período 2015-2019, en donde los deslizamientos de tierra fueron uno de los eventos más comunes, afectando especialmente a países como Colombia, Brasil y Argentina.

En Ecuador, los deslizamientos de tierra han adquirido una relevancia particular como fenómeno natural predominante. Según la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (2024), se reportaron 351 deslizamientos, lo que representa el 33,91% de todos los eventos naturales registrados en el país, además, estos desastres afectaron a 5.818 personas, lo que resalta la importancia de que tanto las autoridades como las comunidades locales mantengan una preparación constante para enfrentar y mitigar los riesgos asociados.

La comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco, forma parte de esta problemática, ya que, debido a su ubicación geográfica, puede verse afectada por la presencia de deslizamientos de

tierra. Así lo demuestra un estudio realizado por Paucar et al. (2025) en donde demuestran que existe un macro deslizamiento que se encuentra activo con un área aproximada de 9,5 hectáreas, lo cual ha afectado a 58 predios y 74 construcciones, cuyas pérdidas económicas se estima que pueden ser 638.000 dólares, por ello, es necesario realizar un estudio con mayor detalle para evaluar la vulnerabilidad y exposición del sistema de agua potable que abastece al sector, puesto que es un infraestructura esencial para la salud y la vida diaria de la población.

En síntesis, los deslizamientos de tierra en el sector de Pircapamba constituye una amenaza recurrente, especialmente durante la temporada de lluvias, cuyo fenómeno destaca la vulnerabilidad de las infraestructuras locales, particularmente de los sistemas de agua potable, los cuales se ven interrumpidos, afectando a cientos de personas. La frecuencia creciente de estos desastres, influenciada por el cambio climático y el uso indebido de los recursos naturales, subraya la necesidad de actuar con urgencia, implementando medidas preventivas para garantizar el acceso al agua de manera continua para las comunidades más vulnerables.

1.2 Formulación del Problema

¿De qué manera afecta la amenaza de deslizamientos de tierra al sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba, en el cantón Guaranda, provincia Bolívar?

¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad y exposición Ante la amenaza de deslizamientos del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba, en el cantón Guaranda, provincia Bolívar?

1.3 Preguntas de Investigación

- ¿Cuáles son las zonas de amenaza de deslizamientos en la comunidad de Pircapamba y cómo se puede determinar el nivel de amenaza utilizando herramientas geoespaciales?.
- ¿Qué nivel de vulnerabilidad y exposición presentan los componentes clave del sistema de agua potable (captación, tratamiento, almacenamiento y distribución) ante la amenaza de deslizamientos en Pircapamba?
- ¿Qué medidas de mitigación pueden implementarse para reducir el impacto de los deslizamientos de tierra sobre el sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba, basadas en los resultados del análisis de vulnerabilidad y exposición?

1.4 Justificación

La comunidad de Pircapamba, se enfrenta a un peligro constante debido a su territorio montañoso, que la expone a deslizamientos de tierra, cuyos deslizamientos representan una amenaza directa no solo para las viviendas y la infraestructura vial, también, para el suministro de agua potable, que podría verse afectado, lo cual se pone en riesgo la salud de los habitantes, por

ello, es necesario realizar este estudio debido a la falta de información detallada sobre la vulnerabilidad del sistema de agua potable ante estos deslizamientos.

La investigación es importante porque aborda un problema crítico para la seguridad y bienestar de la población, por tanto, al identificar y analizar los riesgos que enfrenta el sistema hídrico de la comunidad, se podrán establecer las bases para tomar decisiones informadas y diseñar estrategias para fortalecer la infraestructura de agua potable, lo que a su vez segura su continuidad y calidad. Además, los resultados permitirán a las autoridades locales mejorar la gestión de riesgos y aplicar medidas preventivas y correctivas más efectivas.

La ejecución de esta investigación es viable debido al acceso a herramientas tecnológicas como los Sistemas de Información Geográfica, las cuales permiten identificar y analizar las áreas expuestas a deslizamientos, así como determinar el nivel de vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua de la comunidad de Pircapamba. Del mismo modo, el desarrollo del estudio contará con información obtenida en campo sobre las características físicas y ambientales del sector, apoyada por la colaboración de las autoridades locales y por la disponibilidad de información técnica existente.

El aporte teórico de esta investigación radica en la ampliación del conocimiento sobre la vulnerabilidad de los sistemas de agua potable ante deslizamientos de tierra, integrando áreas como la geografía, la ingeniería y la gestión de riesgos. Este estudio contribuirá a la comprensión de cómo fenómenos naturales como los deslizamientos pueden afectar la infraestructura hídrica y, por ende, la salud pública.

A nivel práctico, los resultados del análisis servirán como base para implementar medidas que refuercen la infraestructura de agua potable en Pircapamba y en otras zonas vulnerables. En cuanto al aporte metodológico, la investigación utilizará herramientas geoespaciales avanzadas y

técnicas de álgebra de mapas para crear mapas de susceptibilidad a deslizamiento a escala local (comunidad Pircapamba), lo cual proporcionará una metodología replicable para futuros estudios en otras regiones expuestas a riesgos similares, mejorando así la gestión de riesgos naturales.

Los beneficiarios directos de este estudio serán los habitantes de la comunidad de Pircapamba, quienes se verán protegidos al contar con un sistema de agua potable más resiliente frente a los deslizamientos. Además, las autoridades locales, encargadas de la gestión del agua, podrán utilizar los resultados para implementar medidas de protección y mejora en la infraestructura hídrica.

En cuanto a los beneficiarios indirectos, otras comunidades con características geográficas similares podrán aplicar las soluciones propuestas en el estudio. Asimismo, profesionales e investigadores en gestión de riesgos y planificación territorial encontrarán en este estudio una valiosa fuente de referencia, mientras que las instituciones educativas podrán aprovechar los resultados para desarrollar nuevas investigaciones en este ámbito.

1.5 Objetivos de la Investigación

1.5.1 Objetivo General

- Desarrollar un análisis de vulnerabilidad y exposición del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento para el establecimiento de medidas de reducción en la comunidad de Pircapamba del Cantón Guaranda, provincia Bolívar.

1.5.1.1 Objetivos Específicos

1. Identificar las zonas y niveles de amenaza de deslizamientos en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco.
2. Evaluar el nivel de vulnerabilidad y exposición de los componentes (captación, tratamiento, almacenamiento y distribución) del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamientos.
3. Proponer medidas de reducción de la vulnerabilidad y exposición de los componentes del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento de la comunidad de Pircapamba.

1.6 Hipótesis

Existe una relación directa entre el nivel de amenaza por deslizamientos de tierra y el nivel de vulnerabilidad y exposición de los componentes del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba.

1.7 Limitaciones

- Una de las posibles dificultades del proyecto es la falta de acceso a datos geoespaciales actualizados, lo cual dificultaría la identificación precisa de las áreas más vulnerables y afectaría la exactitud del análisis de riesgos.
- Otra limitación importante es la restricción de recursos financieros y humanos, lo que podría retrasar la implementación de las soluciones propuestas, especialmente en lo que respecta a la mejora de infraestructuras y la incorporación de nuevas tecnologías.
- Finalmente, la resistencia o falta de involucramiento de la comunidad podría representar un obstáculo clave, ya que, si la población no comprende la importancia de las medidas preventivas o no se compromete activamente con ellas, la efectividad y sostenibilidad del proyecto podrían verse comprometidas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Referencial o Georreferenciación

La comunidad de Pircapamba, que se encuentra en el cantón Guaranda, provincia Bolívar, se distingue por su relieve montañoso y una notable vulnerabilidad a los deslizamientos de tierra, fenómeno que se agrava por las características geológicas de la región. Esta zona está situada a una altitud promedio de 2.600 metros sobre el nivel del mar y cuenta con un clima frío con temperaturas que oscilan entre 10° y 15° C, lo que, combinado con las fuertes lluvias durante la temporada de precipitaciones, aumenta significativamente el riesgo de deslizamientos en las zonas más inclinadas (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda, 2023).

El sistema de agua potable de Pircapamba ha tenido un impacto positivo en la vida de los habitantes, proporcionando un suministro constante de agua, no obstante, la región se enfrenta a una amenaza significativa debido a los deslizamientos de tierra, los cuales son comunes debido a su terreno montañoso. Estos deslizamientos pueden poner en peligro las infraestructuras claves del sistema, como las fuentes de captación, las plantas de tratamiento, los tanques de almacenamiento y las redes de distribución, lo que afecta tanto la disponibilidad del servicio como la calidad del agua (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda, 2023).

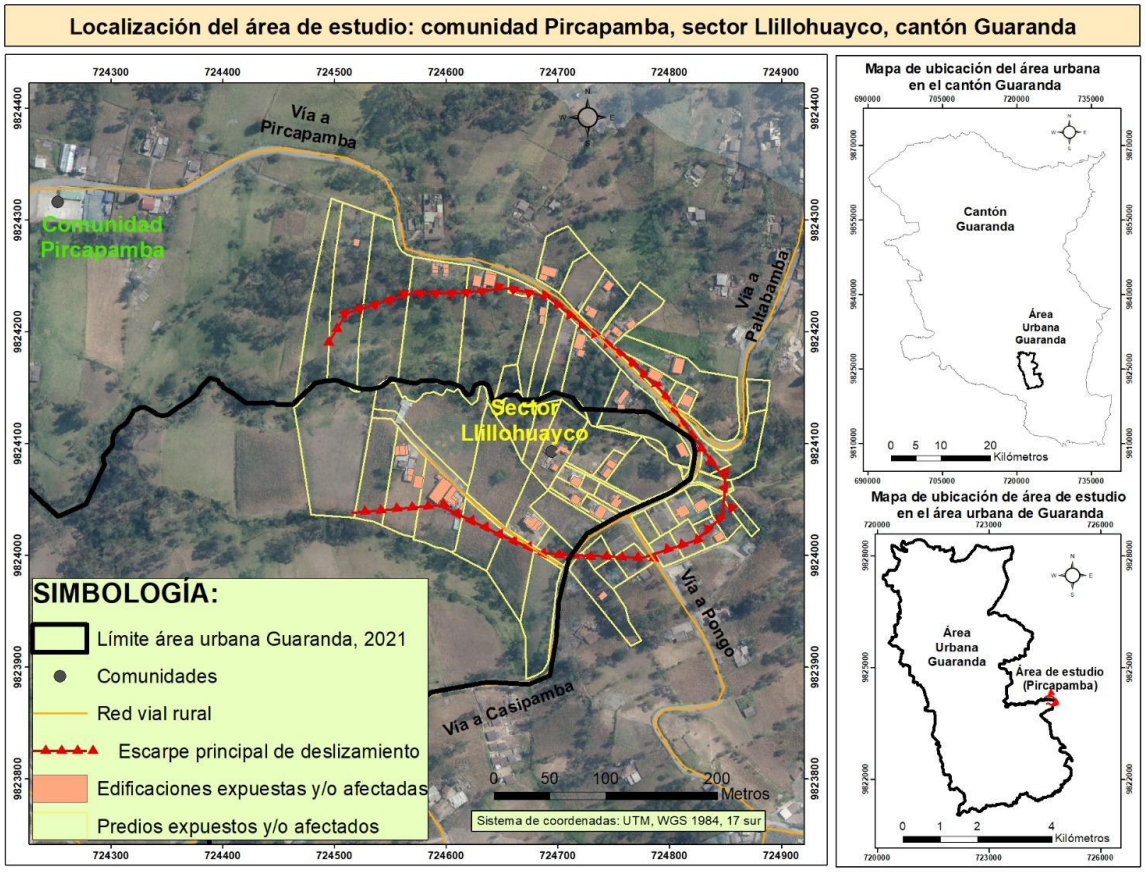
Por lo tanto, el proceso de georreferenciación en esta investigación implica la combinación de diferentes tipos de datos espaciales, como mapas topográficos y fotografías. A través del uso de plataformas SIG estos datos se superponen y permiten generar mapas temáticos que visualizan variables clave, tales como la pendiente del terreno, la ubicación de fuentes de agua, las infraestructuras existentes (como los sistemas de captación y distribución de agua), y las zonas de

mayor riesgo de deslizamientos (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda, 2023).

En la figura 1 se presenta la localización del área de estudio que se ubica en la comunidad de Pircapamba sector Llillohuayco, cantón Guaranda, cabe indicar que la zona se encuentra afectadas edificaciones por el deslizamiento activo desde el año 2023 y que el servicio de agua potable es abastecida por la Junta Administradora de Agua Potable de Vinchoa.

Figura 1

Ubicación de la Zona de Estudio: sector Llillohuayco de la comunidad Pircapamba



Nota.: (CONALI , 2023)y (GAD cantón Guaranda, 2021).

.

2.2 Antecedentes

A nivel internacional, Solís y Serebrisky (2022) efectuaron una investigación en la región latinoamericana con el propósito de examinar cómo el cambio climático está afectando a los operadores de agua en América Latina, de manera particular los deslizamientos de tierra como una amenaza considerable para las infraestructuras de abastecimiento hídrico. La metodología empleada incluye una revisión de varios casos de estudio y el análisis de datos obtenidos de diferentes operadores de agua en la región. Los resultados muestran que los deslizamientos de tierra, que se ven exacerbados por el cambio climático, representando un peligro directo para las infraestructuras que captan y tratan el agua potable, siendo crucial la implementación de medidas de adaptación al cambio climático para proteger estas infraestructuras y garantizar un suministro constante de agua potable.

Por otra parte, García y Pérez (2021) en su estudio efectuado en zonas rurales de Latinoamérica tuvieron el propósito de evaluar el impacto de los deslizamientos de tierra sobre las infraestructuras de agua potable, para lo cual llevaron a cabo el estudio seleccionando diversas comunidades rurales afectadas por estos fenómenos, en las que se evaluaron las condiciones de sus sistemas de captación y distribución de agua. Además, se realizaron entrevistas con los residentes y las autoridades locales para obtener una perspectiva más completa. Los hallazgos revelaron que los deslizamientos han causado serios daños a la infraestructura de agua potable, lo que ha resultado en interrupciones del servicio y en la afectación de la calidad del agua.

Así mismo, Santacruz y Alzate (2025) desarrollaron un estudio en Colombia con el objetivo de analizar los riesgos que amenazan el sistema de abastecimiento de agua en Trujillo, con especial atención a los deslizamientos de tierra y las avenidas torrenciales. Para ello, se utilizó un enfoque metodológico basado en la recopilación de datos a través de visitas de campo, análisis

de muestras y entrevistas con las personas encargadas del mantenimiento del acueducto. Los resultados obtenidos reflejaron varias amenazas que podrían interrumpir el suministro de agua, lo que resalta la necesidad urgente de implementar planes de acción ante emergencias, lo cual subraya la importancia de adoptar estrategias preventivas que aseguren el servicio de agua potable.

A nivel local, Paucar et al. (2025) elaboraron un estudio en Pircambamba con la finalidad evaluar la vulnerabilidad de las construcciones y de las condiciones socioeconómicas de las familias frente a los deslizamientos de tierra, cuya investigación combinó un trabajo de campo exhaustivo, que incluyó entrevistas detalladas con los habitantes, con un análisis de datos geoespaciales relacionados con la geología y las características climáticas de la región. Los resultados indicaron que la comunidad enfrenta un nivel elevado de exposición a estos fenómenos, particularmente por su ubicación geográfica y problemas de infraestructura de drenaje adecuada, factores que aumentan la probabilidad de afectaciones a las viviendas y la seguridad de sus residentes.

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 Sistemas de Agua Potable

Es la ruta técnica que conduce líquido apto desde su origen hasta la vivienda, procurando conservar su inocuidad y el empuje necesario a lo largo del trayecto, lo cual empieza con la toma de corrientes superficiales o de acuíferos, posteriormente atraviesa una potabilización acorde con la calidad inicial, dosificación de agentes coagulantes y formación de flóculos, decantación, paso por lechos filtrantes e inactivación microbiológica, además del ajuste de acidez, alcalinidad y la gestión de derivados indeseado, atravesando por tuberías de aducción y la malla distributiva, apoyada en reservorios (Kekes et al., 2023)

Además, se vigila la claridad del líquido y el residuo de desinfección, complementándose con un análisis microbiológico, luego se divide la red en distritos hidráulicos y se regulan presiones para contener fugas. A esto se suma la parte menos vistosa pero decisiva, que son los servicios preventivos y correctivos, reemplazo de equipamiento, reducción del consumo eléctrico en impulsión y una gestión basada en riesgos que recorre desde el área de captación hasta el consumidor (Javed et al., 2025).

El sistema de agua potable en la Comunidad de Pircapamba se ha visto afectada por la presencia de deslizamientos, lo cual ha llegado afectar la calidad del agua y la distribución eficiente a los diversos hogares de la localidad. Esto ha provocado afectaciones en la salud e higiene de la población, y, por ende, problemas en el desarrollo normal de las actividades cotidianas de las personas.

2.3.1.1 Componentes de los Sistemas de Agua Potable

De acuerdo con Romero (2022), los componentes principales de los sistemas de agua potable son los siguientes;

- **Origen del agua y cuidado de la cuenca. -** Es el punto de partida, lo cual inicia en ríos, manantiales o acuíferos cuyo caudal y calidad cambian con las estaciones. Protegerlos implica ordenar usos en la parte alta, conservar la vegetación de las riberas, evitar descargas y vigilar la turbidez cuando llueve.
- **Toma o captación. -** Es la puerta de ingreso del recurso: una bocatoma o un pozo con rejillas y, cuando se puede, un desarenador. Debe resistir crecidas, impedir la entrada excesiva de sólidos y facilitar limpiezas rápidas.

- **Conducción hacia tratamiento. -** Es la tubería que traslada agua cruda hasta la planta, por gravedad o con impulsión. Necesita soportes firmes, ventosas para purga de aire, válvulas de cierre y cámaras para disipar presión donde la topografía se dispara.
- **Planta potabilizadora. -** Aquí se ajusta la calidad hasta volverla segura: tamizado inicial, coagulación y floculación, decantación, filtración y desinfección, a veces también corrección de pH o remoción de hierro, manganeso o arsénico.
- **Reservorios y tanques. -** Funcionan como pulmón, ya que equilibran oferta y demanda y dan autonomía durante cortes. Su ubicación debe permitir buenas presiones, conservar cloro residual, minimizar "zonas muertas" y facilitar limpiezas programadas.
- **Bombeo y control de presiones. -** Conjunto de bombas, tableros y, si aplica, variadores para adaptar caudal y presión a la demanda. Se complementa con válvulas reductoras o de alivio para proteger tuberías.
- **Red de reparto. -** Es la malla que lleva el agua hasta cada usuario, cuyas configuraciones malladas dan más continuidad que las ramificadas. La sectorización con válvulas, la micromedición y el control de presiones ayudan a contener fugas y a mantener el servicio estable en horas pico.
- **Elementos auxiliares de la red. -** Incluyen válvulas de seccionamiento para aislar fallas, hidrantes para incendios y purgas, ventosas para expulsión de aire y descargas controladas. Una vez ubicados y señalizados, proceden a operar y mantener grandes zonas con suministro.

2.3.1.2 Importancia de un Sistema de Agua Potable

Según Salehi (2022) evita brotes al llevar agua inocua hasta la llave, permitiendo el aseo personal, la limpieza del hogar y la cocción de alimentos, lo cual ahorra tiempo y dinero, a la vez,

respalda la economía de la comunidad, y reduce el peligro de incendios cuando ofrece caudales y presiones confiables con hidrantes operativos. Cuando está bien diseñado y cuidado, también aporta resiliencia frente a sequías, tormentas o deslizamientos, por ello, el cuidado de esta infraestructura permite la salud colectiva, el ingreso diario y la confianza entre vecinos.

2.3.1.3 Características de un Sistema de Agua Potable

Según Engelenburg et al. (2021) garantiza agua apta para consumo comprobada con controles y con desinfectante remanente de manera ininterrumpida, lo cual mantiene rangos de presión y caudal regulares que sirven para la vida diaria, al mismo tiempo, asegura acceso universal y trato justo mediante una política tarifaria proporcional y canales de atención eficaces. Para que sea confiable, incorpora tolerancia a fallas, tanques bien dimensionados, sectorización e incluso una fuente alterna cuando es viable, además, es idóneo y un plan de conservación preventiva, para reducir pérdidas en la red, seleccionando equipos de bombeo eficientes y sosteniendo un programa de medición y vigilancia permanente.

2.3.2 Deslizamiento de Tierra

De acuerdo con Flores et al. (2023) este proceso aparece cuando el terreno pierde su estabilidad, lo cual se produce por lluvias intensas o por sismos y, por otro, por acciones humanas como la excavación o la deforestación, en este escenario, tanto viviendas, carreteras y personas quedan expuestas a deslizamientos de tierra que, en ocasiones, se activan de forma súbita y resultan altamente destructivos. Además, estos episodios son más frecuentes en áreas con pendientes marcadas o en zonas montañosas, a ello se suma que la acumulación de agua satura el terreno, disminuye la cohesión entre sus partículas y, en consecuencia, facilita el deslizamiento.

Por otra parte, Allstadt et al. (2025) argumenta que, los deslizamientos son movimientos en masa de materiales del terreno que se desplazan ladera abajo impulsados por la gravedad. Aunque en ocasiones no existe un detonante claramente identificable, su aparición puede verse condicionada y hasta acelerada por factores como los sismos o las precipitaciones persistentes, y en muchas ocasiones por la intervención antrópica, especialmente, por la agricultura y la deforestación.

Finalmente, Dahal et al. (2024) expone que, en la práctica, se pondera la intensidad del movimiento, la exposición del territorio afectado y la recurrencia con la que pueden repetirse, cuya combinación de variables suele abordarse con modelos estadísticos que permiten estimar, con incertidumbre explícita, su ocurrencia en el espacio y en el tiempo. Así, la noción clásica de deslizamiento se transforma en un enfoque cuantitativo, puesto que describe el fenómeno y ayuda a anticipar dónde, cuándo y con qué magnitud podría presentarse.

Cabe destacar que, en la comunidad de Pircapamba persiste un deslizamiento activo que compromete viviendas e infraestructura, cuyo origen se asocia sobre todo a pendientes pronunciadas y lluvias que saturan el suelo, con posible influencia de sismos y de intervenciones en taludes, por lo que la amenaza sigue alta y conviene priorizar drenaje funcional, limitar cargas en coronas y sostener un monitoreo comunitario.

2.3.2.1 Tipos de Deslizamientos

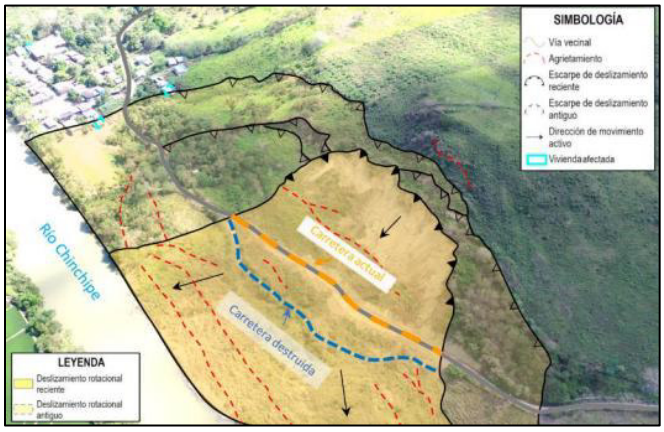
Existen varios tipos de deslizamientos de tierra, a continuación, se describen los principales tipos de deslizamientos;

Deslizamiento Rotacional. - Es un volumen de suelo o roca que se mueve ladera abajo siguiendo una superficie de rotación con geometría cóncava y, mientras avanza, el bloque tiende

a girar hacia atrás. Como resultado, en la parte superior aparece un hundimiento o escarpe, y en la inferior se forma una zona de acumulación del material desplazado. Por lo general, este tipo de comportamiento se presenta en terrenos blandos o con alto contenido de arcillas arcillosos (Moragues et al., 2021).

Figura 2

Deslizamiento Rotacional

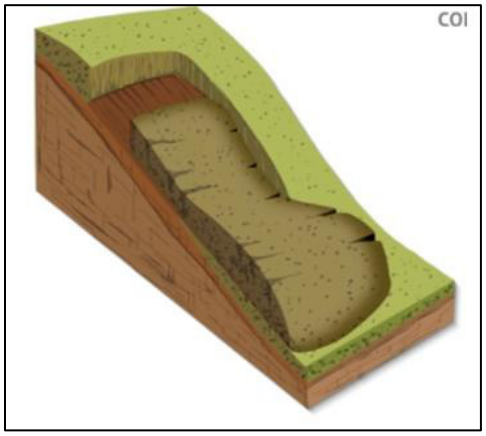


Nota. (Ministerio de Energías y Minas de Perú, 2023).

Deslizamiento Traslacional. – Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2023) es una masa de suelo o roca que se mueve ladera abajo sobre una superficie inclinada casi plana, avanzando de forma rectilínea como si resbalara sobre una tabla. Este mecanismo aparece con frecuencia en estratos poco cohesionados y puede activarse de manera súbita y muy destructiva, que suele observarse en excavaciones y taludes con cortes, así como en suelos erosionados y en depósitos de escombros, donde la saturación de agua o pequeñas perturbaciones reducen la fricción y disparan el movimiento.

Figura 3

Deslizamiento Traslacional



Nota. (Gobernación de Boyacá, 2025).

Flujo de Lodo. – Para Hernández et al. (2023) es una mezcla de agua, sedimentos y suelo saturado que, al coincidir, pierde resistencia y desciende por la ladera como un líquido espeso. Suele activarse tras lluvias intensas o deshielos, especialmente en pendientes desnudas sin cobertura vegetal; por eso, avanza con gran rapidez y, en consecuencia, resulta altamente peligroso y destructivo.

Figura 4

Flujo de Lodo



Nota. (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022).

Caída de Rocas. – De acuerdo con Hernández et al. (2023) son fragmentos que se desprenden de laderas muy empinadas y, descienden en caída libre, rebotan o ruedan pendiente abajo, cuya activación puede deberse a sismos, a procesos de erosión que abren fracturas, a lluvias intensas que debilitan las juntas, e incluso a intervenciones humanas. Dado que los bloques pueden alcanzar altas velocidades y trayectorias impredecibles, el fenómeno es especialmente peligroso, lo cual puede causar daños severos en personas, viviendas, infraestructura y medios de vida.

Figura 5

Caída de Rocas



Nota. (Heraldo, 2023)**.**

Reptación del Suelo. – Es un movimiento en masa muy lento y gradual que desplaza el terreno milímetro a milímetro ladera abajo a lo largo de años. El proceso se alimenta de la gravedad en combinación con el agua que reduce la cohesión del suelo y con los cambios de temperatura diarios o estacionales, que expanden y contraen los materiales y van empujando el terreno de forma imperceptible pero constante (Gómez y Fernández, 2020).

Figura 6

Reptación del Suelo



Nota. (Ehlert, A, 2025).

Desprendimiento de Escombros. – Para Macías et al. (2023) se trata de un evento súbito de **movilización de detritos**: una mezcla de suelo, rocas, restos vegetales, arena y otros materiales que desciende por laderas empinadas con gran velocidad. Suele activarse tras **lluvias intensas**, procesos de **erosión** acelerados o **sismos** que debilitan el talud; cuando ocurre, el colapso se desencadena de forma abrupta y el flujo avanza con energía suficiente para **arrasar** la zona de paso, generando impactos severos.

Figura 7

Desprendimiento de Escombros



Nota. (Plan Ahead for Disasters, 2025).

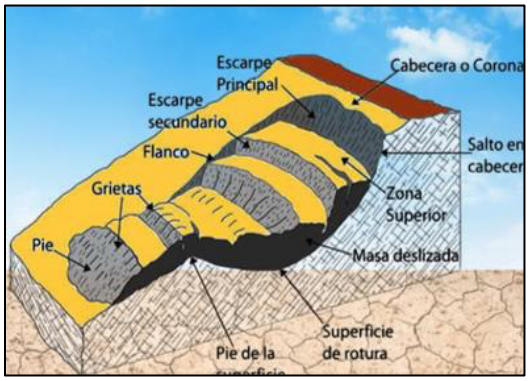
2.3.2.2 Partes de un Deslizamiento

De acuerdo con Moreno (2022) las partes de un deslizamiento son las siguientes;

- **Cabecera o corona. -** Es el tramo más alto del fenómeno; allí es donde primero cede el terreno y desde donde el cuerpo inestable comienza a separarse del macizo que permanece estable.
- **Escarpe principal. -** Corresponde a la gran ruptura visible en la parte superior: una "pared" o discontinuidad que delata el punto en que la masa se desprendió del terreno firme.
- **Escarpe secundario. -** Son fracturas adicionales que aparecen ya dentro del material desplazado por detrás o en el interior del cuerpo del deslizamiento y reflejan ajustes o movimientos diferenciales posteriores.
- **Flancos. -** Constituyen los bordes laterales del deslizamiento; marcan con claridad el límite entre el terreno intacto y la porción que se movilizó. Se identifican como flanco izquierdo y flanco derecho.
- **Grietas. -** Aberturas o fisuras que surgen cuando la masa empieza a deformarse o a moverse; suelen asociarse a la saturación de agua y a la inestabilidad de la pendiente, y sirven como señales tempranas del proceso.
- **Pie. -** Es la parte inferior o "lengua" del deslizamiento, la zona de acumulación donde termina depositándose el material que descendió por la ladera.

Figura 8

Partes de un Deslizamiento



Nota. (Moreno, L, 2022).

2.3.2.3 Metodología para evaluar los deslizamientos

A continuación, se describe los métodos para evaluar la amenaza de deslizamiento

Métodos cualitativos para la evaluación de la amenaza de deslizamientos

De acuerdo con Shano et al (2020) se basan principalmente en la observación directa del entorno y en la experiencia técnica del evaluador para identificar áreas propensas a deslizamientos. Este enfoque no depende de cálculos numéricos complejos, sino del análisis visual del terreno, considerando aspectos como la forma de las pendientes, la presencia de cicatrices de deslizamientos anteriores, las condiciones geológicas visibles y el uso del suelo.

Una de las herramientas más utilizadas dentro de este enfoque es la elaboración de inventarios de deslizamientos, los cuales recopilan información histórica sobre eventos ocurridos previamente en el área de estudio. A través del trabajo de campo y el análisis de imágenes aéreas o satelitales, es posible identificar patrones espaciales de inestabilidad y reconocer sectores que han mostrado una mayor recurrencia de movimientos en masa.

Si bien los métodos cualitativos presentan un grado de subjetividad, ya que dependen del criterio y la experiencia del especialista, su aplicación resulta especialmente útil en contextos rurales o de difícil acceso. En comunidades donde no existen registros técnicos detallados, este tipo de evaluación permite identificar zonas críticas y orientar la toma de decisiones preliminares para la gestión del riesgo, priorizando áreas que requieren estudios más profundos.

Métodos semicuantitativos para la evaluación de la amenaza

Para Corominas et al. (2024) los métodos semicuantitativos representan un punto intermedio entre el análisis puramente descriptivo y los modelos matemáticos avanzados. En este caso, se combinan criterios técnicos con procedimientos que permiten asignar valores relativos a los factores que influyen en la ocurrencia de deslizamientos, como la pendiente, el tipo de suelo, la cobertura vegetal o la cercanía a drenajes.

Una técnica ampliamente empleada dentro de este grupo es el uso de matrices de ponderación o métodos de análisis multicriterio, como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Estos métodos permiten jerarquizar los factores según su importancia relativa, a partir de comparaciones realizadas por especialistas, por ello, al integrar estos valores en un Sistema de Información Geográfica, se pueden generar mapas de amenaza que clasifican el territorio en distintos niveles, como bajo, medio o alto.

La principal ventaja de los métodos semicuantitativos radica en su flexibilidad y aplicabilidad práctica, puesto que son especialmente útiles en estudios territoriales y de gestión del riesgo, lo cual permiten obtener resultados comprensibles y funcionales para la planificación, incluso en escenarios donde los recursos técnicos y la información disponible son limitados. Esto los convierte en una alternativa viable para comunidades rurales que requieren diagnósticos claros para orientar acciones de prevención y mitigación.

Métodos cuantitativos para la evaluación de la amenaza de deslizamientos

Según Reichenbach et al. (2023) los métodos cuantitativos se caracterizan por el uso de datos numéricos y modelos matemáticos para analizar la relación entre los factores condicionantes y la ocurrencia de deslizamientos. A través de este enfoque, se busca estimar de manera objetiva la probabilidad o el grado de susceptibilidad del terreno, utilizando variables como la pendiente, la geología, la precipitación, el uso del suelo y otros parámetros medibles. Estos métodos permiten una evaluación más precisa y reproducible de la amenaza.

Dentro de esta categoría se incluyen técnicas estadísticas y probabilísticas, como la regresión logística o el análisis de frecuencia, así como modelos más avanzados basados en aprendizaje automático y enfoques físico-deterministas. Cuando se integran con herramientas de Sistemas de Información Geográfica, estos modelos facilitan la elaboración de mapas de susceptibilidad detallados, en los que cada unidad espacial presenta un valor numérico asociado al nivel de amenaza por deslizamientos.

A pesar de que los métodos cuantitativos requieren mayor disponibilidad de información y capacidad técnica para su aplicación, sus resultados ofrecen un alto nivel de confiabilidad para la toma de decisiones. Por esta razón, suelen emplearse en estudios de mayor profundidad, donde se busca sustentar técnicamente la planificación territorial y el diseño de medidas de mitigación.

En el análisis de los deslizamientos, se denomina factores condicionantes a los elementos geológicos, climáticos, topográficos y antrópicos que no provocan directamente el evento, pero sí predisponen al terreno a fallar. En otras palabras, son rasgos del medio físico y de su entorno que aumentan la vulnerabilidad de un sitio frente a los movimientos de ladera, por ejemplo, una lluvia extrema o un sismo facilitan que el corrimiento se concrete; de hecho, sin ese conjunto previo de condiciones, el deslizamiento difícilmente llegaría a producirse (González et al., 2023).

2.3.2.4 Factores condicionantes y desencadenantes

A continuación, se detallan cada uno de los factores condicionantes:

Pendiente. Se refiere al grado de inclinación de una superficie en relación al plano horizontal, y generalmente se mide en grados o porcentaje. A medida que aumenta este ángulo, la fuerza gravitacional sobre el terreno se intensifica, lo que hace que sea más fácil que se desplace ladera abajo (Van Westen, C. J., & Castellanos, E, 2024).

Cobertura vegetal y uso del suelo. Implica la vegetación que cubre un talud y cómo se utiliza el terreno, ya sea para actividades agrícolas, ganaderas o, en muchos casos, para asentamientos humanos que no han sido bien planificados. Esta falta de organización aumenta significativamente la vulnerabilidad del área a los deslizamientos de tierra (Guzzetti, F., Reichenbach, P., Rossi, M., & Malamud, B. D., 2023).

Tipo de roca o de suelo. Hace referencia a las características de los materiales que componen el subsuelo, ya sea que sean sólidos o más sueltos, así como su capacidad de resistencia, permeabilidad y dureza. Estas cualidades determinan en gran medida cuán estable es un talud y cuán propenso es a deslizamientos (Haro, 2021).

Escorrentía superficial. Este fenómeno ocurre cuando la lluvia excede la capacidad del suelo para absorberla, lo que provoca que el agua se desplace por la superficie, arrastrando partículas y deteriorando gradualmente la estabilidad de los taludes. A medida que el agua se acumula en áreas bajas, se agravan los riesgos de deslizamientos

Filtraciones subterráneas. Se refiere al movimiento del agua que penetra en el suelo a través de grietas o poros, saturando diferentes capas del terreno. Esta saturación reduce la cohesión del

suelo y la roca, lo que hace que el terreno sea más vulnerable a los deslizamientos (Moreno, L, 2022).

Deforestación. Consiste en la eliminación de la vegetación, ya sea por causas naturales o por intervención humana. Al desaparecer los árboles y las plantas, el terreno pierde su capacidad para regular y absorber el agua, además de perder la acción estabilizadora de las raíces, lo que incrementa el riesgo de deslizamientos (Plan Ahead for Disasters, 2025).

Infraestructura inadecuada. Este factor se refiere a las construcciones realizadas sin la debida planificación ni estudios técnicos previos, como carreteras mal trazadas, viviendas mal ubicadas o drenajes deficientes. Estas intervenciones pueden alterar la pendiente natural del terreno, agregar peso extra y modificar el flujo de agua, lo que eleva considerablemente el riesgo de deslizamientos (Jiménez, 2021).

Factores Desencadenantes de los Deslizamientos

Los llamados factores desencadenantes corresponden a sucesos puntuales que rompen el equilibrio del terreno. Al hacerlo, disminuyen su resistencia al corte e incrementan las tensiones que soporta la masa de suelo, por ello, los autores insisten en que identificarlos y entender su dinámica es crucial para explicar la aparición de deslizamientos.

A continuación, se describen cada uno de los factores desencadenantes;

- Precipitaciones intensas. - La ocurrencia de lluvias prolongadas conlleva una infiltración excedente, como resultado, se reduce el enlace intergranular y aumenta el peso propio del terreno. Esta combinación menor cohesión y mayor carga gravitatoria debilita el estado límite de estabilidad en laderas y, por consiguiente, favorece la generación de deslizamientos (Stanford Climate Lab, 2021).

- Actividad sísmica. -Tanto los sismos como las vibraciones asociadas al tránsito pesado, a explosivos o a maquinaria de gran porte perturban el equilibrio de los taludes. Por ende, actúan como disparadores inmediatos, acelerando la movilidad del material y precipitando la falla del talud.
- Erosión y socavación. -El retiro progresivo de soporte en el pie de la pendiente debido a ríos, quebradas o escorrentías superficiales elimina el contrafuerte natural del talud, de ese modo, al quedar debilitada la base, aumenta la probabilidad de colapso y la ocurrencia de deslizamientos (Swanson, School of Engineering, 2023).
- Sobrecarga en la parte alta. -La implantación de estructuras, el acopio de materiales o el tránsito reiterado en coronación introducen cargas adicionales sobre la pendiente. Esta sobrecarga incrementa las presiones actuantes y reduce la resistencia efectiva del suelo, elevando el riesgo de inestabilidad (Hernández, I., Aceves, J. y Legorreta, G, 2023).

2.3.3 Vulnerabilidad de Sistemas de Agua Potable Frente a Deslizamientos

Se entiende como el grado en que sus piezas clave desde las captaciones y las líneas de conducción hasta los bombeos, las plantas, los tanques y la red de distribución pueden sufrir daños o ver interrumpida su operación cuando se presentan inestabilidades de ladera. En términos prácticos, los deslizamientos pueden traccionar o flexionar tuberías hasta fisurarlas, desalinear uniones, socavar apoyos y anclajes, obstruir captaciones con detritos, interrumpir la energía que alimenta los bombeos.

Además, dicha vulnerabilidad se intensifica cuando confluyen alta exposición (tramos largos en zonas de amenaza), fragilidad estructural (materiales poco dúctiles, uniones débiles, antigüedad), escasa redundancia (falta de rutas alternas o by-pass) y elevada criticidad (activos cuya falla afecta a muchos usuarios). En síntesis, no es un rasgo fijo, sino el resultado de la

interacción entre diseño, ubicación y forma de operar, que determina cuán fácil es que el sistema falle y cuán complejo es recuperarlo.

2.3.4 Exposición de los Sistemas de Agua Potable Frente a Deslizamientos

La exposición de un sistema de abastecimiento frente a deslizamientos hace referencia al grado en que sus componentes clave como las obras de captación, las conducciones principales, las plantas de tratamiento, los tanques de almacenamiento y la red de distribución se encuentran situados en sectores con inestabilidad de laderas o con suelos propensos a moverse. En muchos territorios de relieve montañoso, especialmente en zonas andinas, basta un solo evento de movimiento en masa para deformar o fracturar tramos de tubería, obstruir una captación, comprometer los cimientos de una planta o un reservorio e, incluso, aislar físicamente las estaciones de bombeo al afectar caminos y líneas eléctricas (Hidalgo y Vega, 2021).

Por otra parte, Borzì (2023) argumenta que, para analizar esta exposición de manera más sólida, es necesario localizar con precisión dónde se superponen la infraestructura hídrica y las áreas con amenaza de deslizamientos, y valorar qué tan determinante es cada elemento para que el sistema siga funcionando. En la práctica, esto implica georreferenciar las distintas unidades del sistema, contrastarlas con mapas de susceptibilidad a movimientos en masa y cuantificar, por ejemplo, cuántos metros de conducción y cuántas estructuras se ubican en zonas de amenaza alta, media o baja, así como cuántas personas dependen de ellas.

2.3.5 Medidas de Mitigación del Impacto de los Deslizamientos sobre el Sistema de Agua Potable

En primer lugar, cualquier estrategia para reducir el impacto de los deslizamientos sobre el servicio de agua potable implica mirar con lupa el trazado de las conducciones, la ubicación de

captaciones, plantas y reservorios, y contrastarlo con las zonas donde ya se sabe que hay inestabilidad de laderas o movimientos en masa recurrentes. A partir de ese diagnóstico, el objetivo deja de ser la ilusión de "evitar" por completo los deslizamientos, y pasa a centrarse en disminuir la probabilidad de daño y, sobre todo, en limitar las consecuencias cuando el evento sucede (Hidalgo y Vega, 2021).

Por otra parte, desde la mirada de la ingeniería, una parte importante del trabajo recae en cómo se refuerzan y, si hace falta, se rediseñan los componentes que podrían fallar con mayor facilidad, lo cual puede traducirse, por ejemplo, en la construcción de obras de contención, sistemas de drenaje profundo y superficial, cunetas que encaucen el agua de lluvia o técnicas de bioingeniería basadas en la revegetación de laderas para mejorar su estabilidad. Asimismo, en los tramos de tubería que atraviesan sectores problemáticos, resulta útil ajustar el trazado para evitar zonas críticas, emplear materiales y uniones con cierta capacidad de deformarse sin romperse y colocar apoyos más flexibles o cámaras de rotura de presión que alivien esfuerzos (Alonso et al., 2024).

Finalmente, las medidas de mitigación no pueden quedarse únicamente en lo físico, ya que también pasan por la forma en que se gestiona el sistema día a día. En este punto entran en juego acciones como reforzar las rutinas de inspección en época de lluvias, instalar instrumentos sencillos para vigilar el comportamiento de laderas críticas, definir protocolos claros para el cierre de válvulas o el desvío de caudales cuando se detectan signos de inestabilidad y, además, diseñar esquemas de respaldo, como, fuentes alternativas, conducciones de emergencia y volúmenes de almacenamiento que den algo de margen cuando el servicio se interrumpe.

2.4 Base Legal

Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres

El Marco de Sendai plantea, como idea central, que antes de pensar en cómo reaccionar ante una emergencia es imprescindible entender a fondo el riesgo de desastre, lo cual implica no solo reconocer la existencia de amenazas naturales, sino también analizar cómo estas interactúan con las vulnerabilidades de las personas, de las infraestructuras y del territorio. A partir de esta comprensión, se justifica la creación de políticas públicas orientadas a la evaluación sistemática del riesgo y a la recopilación permanente de información, de modo que las decisiones se basen en evidencia y no únicamente en respuestas improvisadas frente a los eventos extremos.

Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres

Artículos 1 y 2.- En la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres, los artículos iniciales fijan el marco conceptual y los lineamientos generales de la política nacional. En términos sencillos, la ley propone una gestión integral y proactiva del riesgo, que no se limite a responder cuando el desastre ya ha ocurrido, sino que incorpore de forma explícita la prevención, la reducción de impactos, la preparación de las comunidades y la administración de las consecuencias de los eventos adversos.

Además, estos artículos recogen los principios básicos que deben orientar la gestión (como la prevención, la participación ciudadana, la responsabilidad compartida y la sostenibilidad) y formulan los objetivos de la política pública en materia de desastres, entre los que se incluyen la protección de la vida, la disminución de daños materiales y la incorporación del enfoque de riesgo en la planificación del territorio.

Artículo 3.- En el artículo 3, la ley define el riesgo como la probabilidad de que una situación de desastre afecte a un área determinada. Esto supone entender que el riesgo surge de la interacción entre una amenaza y la vulnerabilidad existente en ese lugar.

Artículo 4.- Por su parte, el artículo 4 describe un proceso de gestión del riesgo que incluye varias fases interrelacionadas: evaluación, mitigación y respuesta. No se trata de acciones aisladas, sino de un ciclo continuo que permite identificar las amenazas, intervenir para reducir sus efectos y responder de manera organizada cuando el evento se materializa.

Artículo 6.- El artículo 6 asigna al Estado la responsabilidad de coordinar la gestión del riesgo en todo el territorio nacional. En la práctica, esto significa que las instituciones públicas tienen la obligación de articularse entre sí y con los gobiernos locales para garantizar que el riesgo sea evaluado y gestionado de manera adecuada.

Artículo 9.- El artículo 9 enfatiza que la evaluación del riesgo debe concebirse como un proceso permanente, apoyado en herramientas tecnológicas y fundamentado en evidencia. No basta con elaborar un diagnóstico único; es necesario actualizar la información, incorporar metodologías modernas y utilizar instrumentos técnicos (por ejemplo, estudios geotécnicos, modelación de estabilidad de taludes o sistemas de monitoreo) que permitan identificar con mayor precisión las vulnerabilidades de una comunidad.

Artículo 16.- Finalmente, el artículo 16 introduce de forma clara el concepto de resiliencia comunitaria. Además de mencionar acciones como la rehabilitación de infraestructuras o la reparación de daños después de un desastre, la norma destaca la importancia de que las comunidades desarrollen capacidades para anticiparse, enfrentar y recuperarse de los eventos adversos.

Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

Artículo 54. Atribuciones del GAD Municipal. - El COOTAD establece que los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) municipales tienen la responsabilidad de formular y ejecutar el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón. A través de este instrumento, los municipios ejercen control sobre el uso, ocupación y manejo del suelo, lo cual es fundamental cuando se trata de evitar asentamientos en áreas de riesgo, por ejemplo, en laderas con inestabilidad o zonas susceptibles a deslizamientos.

Artículo 263. Competencias de los GAD Municipales. - De manera complementaria, el artículo 263 señala que los GAD municipales también deben prestar servicios públicos orientados a la protección, prevención y mitigación del riesgo, siempre dentro del marco legal vigente. Esto incluye, entre otras acciones, el desarrollo de programas de prevención de desastres, la ejecución de obras para reducir la peligrosidad (como sistemas de drenaje, muros de contención o estabilización de taludes), la implementación de sistemas de alerta temprana y la realización de campañas informativas.

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

es la ley que orienta todo lo relacionado con el manejo del agua en Ecuador. Su propósito principal es asegurar que este recurso se utilice de manera responsable y equilibrada, protegiendo tanto a las personas como a los ecosistemas. La norma establece cómo debe administrarse el agua, quiénes pueden usarla, qué límites existen y qué instituciones son responsables de su gestión. En resumen, busca que el agua sea un bien accesible, protegido y administrado de forma sostenible.

Artículo 37: Servicios públicos básicos de agua potable y saneamiento. - Este artículo señala que **el Estado y los gobiernos locales son los encargados de garantizar que la población reciba agua potable y servicios de saneamiento en condiciones adecuadas.** Eso incluye

asegurar que el abastecimiento no falle, que el agua llegue limpia y apta para el consumo, y que existan sistemas eficientes para tratar y evacuar las aguas residuales. También les exige administrar estos servicios con responsabilidad, priorizando la salud de la ciudadanía y cuidando los recursos naturales para que puedan mantenerse en el tiempo.

2.5 Definición de Términos

Aducción. - La aducción es la conducción principal encargada de transportar el agua desde la captación hasta la planta de tratamiento o los tanques de almacenamiento, ya sea por gravedad o mediante equipos de bombeo (Weisser y Sinisi, 2021)

Agua potable. - Se considera agua potable aquella que cumple con los límites de calidad física, química y microbiológica establecidos en la normativa sanitaria y que, por lo mismo, puede consumirse sin representar un riesgo significativo para la salud humana (Heumer et al.,, 2024).

Captación de Agua. - La captación de agua corresponde a la obra o conjunto de estructuras diseñadas para recoger el caudal disponible en la fuente y conducirlo de manera controlada hacia el sistema de abastecimiento (Weisser y Sinisi, 2021)

Derrumbe. - Un derrumbe ocurre cuando una masa de suelo, roca o escombros se desprende y cae bruscamente por una ladera, debido a la pérdida de estabilidad del terreno y a la acción de la gravedad (Ortiz et al., 2023).

Desastre. - Se habla de desastre cuando un evento peligroso genera daños tan amplios que las capacidades normales de respuesta de la población y las instituciones se ven sobrepasadas, afectando seriamente a las personas, a las construcciones y a los servicios básicos (Sapountzaki, 2022).

Deslizamiento. - Un deslizamiento es un tipo de movimiento en masa en el que una porción de suelo, roca o ambos se desplaza ladera abajo, impulsada principalmente por la gravedad y favorecida por la inestabilidad del terreno y, con frecuencia, por la presencia de agua (Borzì, I., 2023).

Exposición. - La exposición describe el hecho de que personas, bienes o sistemas se encuentren situados en lugares donde actúa una amenaza específica, de modo que, si esta se materializa, es probable que resulten afectados (Grasham et al., 2022).

Fuente de Abastecimiento. - Se denomina fuente de abastecimiento al lugar de donde se obtiene el agua que utiliza un sistema de suministro, ya provenga de un río, lago o embalse, o bien de un pozo, manantial u otro origen subterráneo (Ortiz et al., 2023).

Mitigación. - La mitigación agrupa las medidas y acciones que se ponen en marcha para reducir, tanto como sea viable, los impactos negativos de una amenaza sobre las personas, el ambiente y las infraestructuras, sin que necesariamente se elimine el peligro (Grasham et al., 2022).

Pendiente. - La pendiente indica qué tan inclinada está una superficie respecto a la horizontal; suele expresarse en grados o en porcentaje y permite apreciar si un terreno es prácticamente plano o, por el contrario, muy empinado (Rodríguez et al., 202).

Red de distribución. - La red de distribución es el entramado de tuberías, uniones y dispositivos de control que lleva el agua ya tratada desde los reservorios o tanques de regulación hasta los distintos usuarios conectados al sistema (Corominas, J., van Westen, C. J., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J. P., & Fotopoulou, S. (2024), 2024).

Riesgo. - El riesgo se entiende como la posibilidad de que se produzcan daños o pérdidas cuando una amenaza coincide con elementos expuestos que presentan cierto grado de vulnerabilidad, es decir, cuando se combinan estos tres factores (Gursoy et al., 2025).

Vulnerabilidad. - La vulnerabilidad puede entenderse como el nivel de fragilidad que tiene una comunidad, un territorio o una infraestructura para sufrir daños importantes ante la presencia

de una amenaza, según sus condiciones físicas, sociales y de organización (Hernández, I., Aceves, J. y Legorreta, G, 2023).

2.6 Operacionalización de las Variables

- **Variable Independiente;** Amenaza de Deslizamiento
- **Variable Dependiente;** Vulnerabilidad y Exposición del Sistema de Agua Potable

Variable Independiente

Tabla 1

Amenaza de Deslizamiento

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Escala	Instrumento
Amenaza de deslizamiento	El deslizamiento de tierra es el movimiento masivo de rocas, escombros, tierra o lodo por una pendiente, causado por la gravedad, lluvias, terremotos, erosión o presión del agua subterránea (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, 2026).	Factores condicionantes	Geología (litología)	Roca dura = 0 - 1 Tobas andesitas deslizadas = 0 - 5 Depósitos aluviales = 0 -5 Sedimentos = 0 - 10	Matriz de ponderación multicriterio aplicada en SIG (ArcGIS)
			Geomorfología	Meseta = 0 - 1 Planicies = 0 - 1 Colinas = 0 - 5 Relieve montañoso = 0 - 10	
			Pendiente	0–15% = 1 15–30% = 3 30–50% = 5 >50% = 10	
			Humedad	Baja humedad = 0 - 1 Humedad moderada = 0 - 3 Alta humedad = 0 - 5 Saturación crítica = 0 - 10	

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Escala	Instrumento
			Uso y cobertura del suelo	Bosque = 0 - 2 Arbusto = 0 - 5 Pasto = 0 – 7 Cultivo =0 - 9 Deforestación = 0 - 10	
		Factores detonantes	Precipitación promedio anual	<200 mm = 1 200–500 mm = 5 500–2000 mm = 7 >2000 mm = 10	
			Sismicidad	Zona I = 1 Zona II = 2 Zona III = 3 Zona IV = 5 Zona V = 7 Zona VI = 10	

Fuente: Elaboración propia.

Variable Dependiente

Tabla 2

Vulnerabilidad y Exposición de Agua Potable

Variable	Definición operacional	Dimensión (Componente)	Indicadores	Escala	Instrumento
Vulnerabilidad física del sistema de agua potable frente a amenaza de deslizamientos	Corresponde al grado de susceptibilidad de los componentes del sistema de agua potable (captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución) frente a posibles afectaciones ocasionadas por deslizamientos de tierra, evaluado mediante inspección técnica de campo y entrevistas a responsables del sistema (Gomez & Acquaviva, 2002).	**Captación**	Estudios técnicos de cimentación; material de construcción; antigüedad; cumplimiento normativo; mantenimiento; estado actual; medidas de reducción del riesgo	Escala cualitativa ordinal (favorable, intermedia, desfavorable)	Ficha técnica de evaluación física y entrevistas
		Conducción	Estudios de estabilidad; material de tubería; antigüedad; cumplimiento normativo; mantenimiento; estado actual; medidas de reducción del riesgo	Escala cualitativa ordinal	Ficha técnica de evaluación física y entrevistas

Variable	Definición operacional	Dimensión (Componente)	Indicadores	Escala	Instrumento
		Tratamiento	Estudios técnicos; material y solución constructiva; antigüedad; cumplimiento normativo; mantenimiento; estado actual; medidas de reducción del riesgo	Escala cualitativa ordinal	Ficha técnica de evaluación física y entrevistas
		Almacenamiento	Estudios técnicos; material del tanque; antigüedad; cumplimiento normativo; mantenimiento; estado actual; medidas de reducción del riesgo	Escala cualitativa ordinal	Ficha técnica de evaluación física y entrevistas
		Distribución	Material de tuberías; antigüedad; cumplimiento normativo; mantenimiento; estado actual; medidas de reducción del riesgo	Escala cualitativa ordinal	Ficha técnica de evaluación física y entrevistas

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Nivel de Investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, integrando componentes cualitativos y cuantitativos. El enfoque cualitativo permitió la descripción y el análisis de las características físicas, ambientales y antrópicas relacionadas con la amenaza de deslizamientos, así como las condiciones de vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable que abastece a la comunidad de Pircapamba.

El enfoque cuantitativo permitió la asignación de valores y ponderaciones a los diferentes factores analizados, con el propósito de determinar índices de susceptibilidad y niveles de vulnerabilidad mediante procedimientos de evaluación multicriterio y análisis espacial.

En cuanto a su alcance, la investigación es de tipo descriptiva, porque caracterizó los factores condicionantes y desencadenantes asociados a los deslizamientos y las condiciones del sistema de agua potable; explicativa, porque analizó la relación entre dichos factores y los procesos de inestabilidad presentes en el área de estudio; y aplicada porque propone medidas de mitigación orientadas a reducir el riesgo identificado en la comunidad de Pircapamba.

3.2 Diseño

El diseño de la investigación es no experimental y transversal, debido a que no se manipularon las variables de estudio, sino que se analizaron en su estado natural dentro de un periodo determinado.

La metodología se estructuró en función de los objetivos específicos de la investigación:

- Objetivo 1: análisis cartográfico y espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y álgebra de mapas para la elaboración del mapa de susceptibilidad a deslizamientos y el análisis de riesgo.
- Objetivo 2: evaluación descriptiva de la vulnerabilidad y exposición de los componentes del sistema de agua potable mediante matrices de valoración e inspección de campo.
- Objetivo 3: formulación de medidas de mitigación estructurales, operativas y de gestión a partir de los resultados obtenidos en el análisis de susceptibilidad y vulnerabilidad

3.3 Población y muestra

La población de estudio se definió en dos niveles:

- Territorial: comprende el área correspondiente a la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco donde se analizaron los factores condicionantes y desencadenantes asociados a la amenaza de deslizamientos.
- Sistema de agua potable: comprende la evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución que abastece a la comunidad de Pircapamba, particularmente en el sector de Llillohuayco, identificado como zona de afectación.

Con respecto a la muestra, debido a que el estudio se desarrolló sobre la totalidad del área afectada de la comunidad por el deslizamiento, además, se evalúo la vulnerabilidad y exposición de los componentes del sistema de agua potable, se consideró como unidad de análisis el apoyo de un operador de la Junta Administradora de Agua Potable – JAAP de Vinchoa que es la institución que administra el sistema de agua potable que abastece a la comunidad Pricapamba, sector Llillhuayco, el mismo que acompañó el recorrido de campo y proporcionó información para la

ficha de técnica para identificar el nivel de vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable, la información sistematizada se presenta en el Capítulo IV: Resultados en el apartado de resultados del objetivo 2 y el instrumento (ficha técnica) consta en el anexo 1.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

A continuación, se describen las técnicas de recolección de la información en base a cada objetivo específico;

Primer objetivo: Identificación de las zonas y niveles de amenaza de deslizamientos en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco.

Técnicas:

- Recolección de información cartográfica y secundaria mediante obtención de capas temáticas de geología, geomorfología, modelo digital de elevación, pendientes, uso y cobertura del suelo, precipitación y límites administrativos.; así como, cartografía nacional de amenaza o susceptibilidad a movimientos en masa a escala nacional.
- Análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando procesos de reclasificación, álgebra de mapas y análisis multicriterio para la elaboración del mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

Instrumentos:

- Capas temáticas en formato ráster y vectorial.
- Modelo de evaluación multicriterio implementado en ArcGIS.
- Herramientas de análisis espacial y cálculo raster.

Segundo objetivo: Evaluación del nivel de vulnerabilidad y exposición de los componentes (captación, tratamiento, almacenamiento y distribución) del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamientos.

Técnicas:

- Recorridos y entrevista técnicas, para identificar condiciones físicas, accesibilidad, obras de protección y entorno inmediato.
- Revisión documental de planos, registros de la junta de agua y documentación técnica disponible.
- Observación inspección de campo y entrevistas semiestructuradas (Anexo 1) dirigidas a técnico/operador de la Junta Administradora de Agua Potable Regional Vinchoa que abastece a la comunidad de Pircapamba, sobre las condiciones de los componentes del sistema de agua potable.

Instrumentos:

- Ficha de inspección técnica de infraestructura.
- Guía de entrevista semiestructurada.
- Matriz de evaluación de vulnerabilidad y exposición.

Tercer objetivo: Proponer medidas de reducción de la vulnerabilidad y exposición de los componentes del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento de la comunidad de Pircapamba.

Técnicas:

- Análisis comparativo de resultados obtenidos en el estudio con investigaciones similares relacionadas con vulnerabilidad y gestión del riesgo.
- Formulación de medidas de mitigación orientadas a la reducción del riesgo.

Instrumentos:

Matriz de medidas de mitigación estructurada con los siguientes campos:

- medida propuesta,
- tipo de medida,
- descripción,
- responsables,
- tiempo de ejecución,
- recursos requeridos,
- indicador de cumplimiento.

3.5 Universo o población y muestra

Para la presente investigación, el universo o población de estudio constituye la comunidad de Pircapamba, sector de Llillohuayco afectada por el deslizamiento, se evalúa la vulnerabilidad de la infraestructura física de los componentes de captación, conducción, tratamiento y distribución del sistema de agua potable que abastece al sector de Llillohuayco en la comunidad de Pircapamba, en la zona de afectación y exposición al deslizamiento en un área aproximada de 36,17 hectáreas. Por tanto, se debe mencionar que, el sistema de agua potable que abastece al sector de Llillohuayco en la comunidad de Pircapamba está administrada por la Junta Administradora de Agua Potable de Vinchoa.

En el estudio se evaluó la vulnerabilidad y exposición de la infraestructura física del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento, por consiguiente, no se requiere considerar una muestra de estudi0, ya que se estudió todos los componentes del sistema de agua potable que abastece al sector de Llillohuayco en la comunidad de Pircapamba.

3.6 Procesamiento y Análisis de Datos

Objetivo específico 1: Identificada las zonas y niveles de amenaza de deslizamientos en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco.

Para tener un mayor de detalle de la exposición del componente distribución del sistema de agua potable a la amenaza de deslizamiento, se elaboró un mapa de amenaza o susceptibilidad a deslizamiento a escala local (sector de Llillohuayco en la comunidad de Pircapamba), para ello, inicialmente, se recopilaron y procesaron las capas temáticas correspondientes a geología, geomorfología, humedad, sismicidad, precipitación, pendiente y uso y cobertura del suelo. La información fue organizada en formato ráster para que facilitó su integración dentro del modelo espacial.

Para la evaluación de la amenaza de deslizamiento, se analizaron factores condicionantes (geología, geomorfología, humedad, pendiente, uso y cobertura del suelo) y detonantes (sismicidad y precipitación); para la ponderación de cada uno de los factores, se establecieron variables, indicadores, con valores y pesos de ponderación, los valores de los indicadore que han sido asignados es de 1 a 10 con base al criterio del grado incidencia que tendrían a la amenaza, de igual forma, los valores de peso de ponderación se establecieron en base al método Delphi (criterio basado en expertos), según la incidencia en la amenaza, para los factores condicionantes: 1,8 (geológico), 1,4 (geomorfológico), 2,3 (pendiente), 1,8 (uso de suelo), 0,9 (humedad), 0,9., para los factores detonantes: (precipitación), 0,9 y (sismicidad), 0,9; al multiplicar los valores de

indicadores por el peso de ponderación se obtienen los valores máximos, cuya sumatoria da como resultado el índice de amenaza, que son valores entre 1 a 100 puntos. Los criterios para la ponderación de la amenaza de deslizamiento se muestran en la tabla 4.

Tabla 3

Criterios para la ponderación de la amenaza de deslizamiento en la comunidad Pircapamba

Componentes	Variables	Indicadores	Valor para indicador	Peso de Ponderación	Valor Máximo
Factores condicionantes	Geológico – Litológico	Roca dura: término geológico y minero para rocas ígneas y metamórficas como granito, basalto o cuarcita caracterizadas por su alta resistencia, densidad y dificultad para desagregar, diferenciándose de las rocas sedimentarias blandas	1,0	1,8	18,0
		Sedimento: Material solido mineral u orgánico que se ha movido o de ha depositado en un lugar nuevo	10,0		
		Tobas andesitas deslizadas: Depósitos Superficiales, como producto de deslizamiento antiguo de tobas con fragmento de pómez grueso (arenoso grueso), partes bajas de las quebradas se observan rocas andesitas fuertemente diaclasadas	5,0		
		Depósito aluvial: Depósitos Superficiales, localizado en la cuenca y márgenes del río Guaranda	5,0		
	Geomorfológico	Relieve montañoso	10,0	1,4	14,0
		Meseta	1,0		
		Planicies	1,0		
		Colinas	5,0		
	Pendiente	0 - 15 %	1,0	2,3	23,0
		15 - 30 %	3,0		
		30 - 50 %	5,0		
		Mayor al 50 %	10,0		
	Humedad	Baja humedad (menor saturación)	1,0	0,9	9,0
		Humedad moderada	3,0		
		Alta humedad (saturación)	5,0		

		Saturación crítica	10,0		
	Uso de suelo y cobertura vegetal	Urbano	1,0	1,8	18,0
		Bosque	2,0		
		Arbusto	5,0		
		Pasto	7,0		
		Cultivo	9,0		
		Deforestación	10,0		
Factores detonantes	Precipitación promedio anual	< 200 mm	1,0	0,9	9,0
		Entre 200 y 500 mm	5,0		
		Entre 500 y 2000 mm	7,0		
		> a 2000 mm	10,0		
	Sismicidad: zonas peligro sísmicas NEC – 2015 (valor Z)	I: 0,15 g	1,0	0,9	9,0
		II: 0,25 g	2,0		
		III: 0,30 g	3,0		
		IV: 035 g	5,0		
		V: 0,40 g	7,0		
		VI: ≥ 5,50 g	10,0		
Total				**10,0**	**100,0**

Nota. Elaboración propia.

Posteriormente, los índices determinaron el nivel de amenaza deslizamientos, los criterios se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Nivel de susceptibilidad

Nivel de susceptibilidad	Rango
Bajo	1 a 25
Mediana	26 a 50
Moderada	51 a 75
Alto	76 a 100

Nota. Elaboración propia.

Para complementación del análisis de la exposición de la infraestructura de los componentes del sistema de agua potable se utilizó el mapa de amenaza a movimientos en masa a escala nacional (1:50.000) (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2012).

Objetivo específico 2: Evaluado el nivel de vulnerabilidad y exposición de los componentes (captación, tratamiento, almacenamiento y distribución) del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamientos.

Para el desarrollo de este objetivo se realizó una evaluación técnica de los componentes del sistema de agua potable, considerando las estructuras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.

La información fue recopilada mediante inspecciones de campo, observación directa y entrevistas semiestructuradas dirigidas a operadores y responsables del sistema de agua potable. Durante el trabajo de campo se registraron aspectos relacionados con el estado físico de la infraestructura, presencia de obras de protección, accesibilidad, estabilidad del entorno y posibles afectaciones asociadas a movimientos en masa.

Posteriormente, la información obtenida fue organizada en matrices de evaluación y ponderación de la vulnerabilidad ante la amenaza de deslizamientos para los componentes de captación, conducción, tratamiento y distribución del sistema de agua potable que abastece a la comunidad de Pircapamba sector Llillohuayco.

La metodología de vulnerabilidad ha sido adaptada del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD (2012) y de (Moscoso, Paucar, & Solano , 2021), los criterios con los componentes, indicadores, escala cualitativa, valor indicador, peso de ponderación, valor máximo para la ponderación de la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamientos para el área de estudio se presenta en la tabla 5.

Tabla 5

Criterios para la ponderación de la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento de la comunidad Picapamba sector Llillohuayco.

Componente	Indicadores	Escala cualitativa	Valor indicador	Peso ponderación	Valor máximo
Captación	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1,0	1,0	10,0
		Se realizó estudios pero no se aplicó	5,0		
		No se realizó estudios	10,0		
	Material de construcción	Hormigón	1,0	2,5	25,0
		Asbesto cemento	5,0		
		Mampostería de piedra y/o de ladrillo	10,0		
	Antigüedad	0 a 25 años	1,0	1,5	15,0
		25 a 50 años	5,0		
		> de 50 años	10,0		
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna	10,0	1,0	10,0
		Norma IEOS	5,0		
		Norma MIDUVI o local	1,0		
	Mantenimiento	Planificado	1,0	1,5	15,0
		Esporádico	5,0		
		Ninguno	10,0		
	Estado actual	Bueno	1,0	1,0	10,0
		Regular	5,0		
		Malo	10,0		
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1,0	1,5	15,0
		Se planifica pero no se ejecuta	5,0		
		No se planifica ni ejecuta	10,0		
	Índice de vulnerabilidad			**10,0**	**100,0**
Conducción	Estudios técnicos para estabilidad del terreno	Se realizó estudios y aplicó	1,0	1,0	10,0
		Se realizó estudios pero no se aplicó	5,0		
		No se realizó estudios	10,0		
	Material de construcción (tubería)	PVC	5,0	2,5	25,0
		Hierro Dúctil (HD)	1,0		
		Asbesto o cemento	10,0		
	Antigüedad	0 a 25 años	1,0	1,5	15,0
		25 a 50 años	5,0		
		> de 50 años	10,0		
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna	10,0	1,0	10,0
		Norma IEOS	5,0		
		Norma MIDUVI o local	1,0		
	Mantenimiento	Planificado	1,0	1,5	15,0
		Esporádico	5,0		
		Ninguno	10,0		
	Estado actual	Bueno	1,0	1,0	10,0
		Regular	5,0		
		Malo	10,0		
	Proyectos y/o medidas de	Se planifica y ejecuta	1,0	1,5	15,0
		Se planifica pero no se ejecuta	5,0		

	reducción de riesgos	No se planifica ni ejecuta	10,0		
	Índice de vulnerabilidad			**10,0**	**100,0**
Tratamiento	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1,0	1,0	10,0
		Se realizó estudios pero no se aplicó	5,0		
		No se realizó estudios	10,0		
	Material de construcción	Planta de hormigón	1,0	2,5	25,0
		Planta de asbesto cemento	5,0		
		Planta de mampostería de ladrillo	10,0		
		Planta prefabricado	5,0		
		Planta metálica	5,0		
		Planta DAFFI: Acero Inoxidable-Aceros y hormigón	1,0		
	Antigüedad	0 a 25 años	1,0	1,5	15,0
		25 a 40 años	5,0		
		> de 40 años	10,0		
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna	10,0	1,0	10,0
		Norma IEOS	5,0		
		Norma MIDUVI o local	1,0		
	Mantenimiento	Planificado	1,0	1,5	15,0
		Esporádico	5,0		
		Ninguno	10,0		
	Estado actual	Bueno	1,0	1,0	10,0
		Regular	5,0		
		Malo	10,0		
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1,0	1,5	15,0
		Se planifica pero no se ejecuta	5,0		
		No se planifica ni ejecuta	10,0		
	Índice de vulnerabilidad			**10,0**	**100,0**
Tanques de distribución	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1,0	1,0	10,0
		Se realizó estudios pero no se aplicó	5,0		
		No se realizó estudios	10,0		
	Material de construcción	Hormigón Armado	1,0	2,5	25,0
		Ferro cemento	5,0		
		Mampostería de ladrillo	10,0		
		Mampostería de piedra	10,0		
	Antigüedad	0 a 25 años	1,0	1,5	15,0
		25 a 40 años	5,0		
		> de 40 años	10,0		
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna	10,0	1,0	10,0
		Norma IEOS	5,0		
		Norma MIDUVI o local	1,0		
	Mantenimiento	Planificado	1,0	1,5	15,0
		Esporádico	5,0		
		Ninguno	10,0		
	Estado actual	Bueno	1,0	1,0	10,0
		Regular	5,0		
		Malo	10,0		
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1,0	1,5	15,0
		Se planifica pero no se ejecuta	5,0		
		No se planifica ni ejecuta	10,0		
	Índice de vulnerabilidad			**10,0**	**100,0**
Red de distribución	Estudios técnicos para	Se realizó estudios y aplicó	1,0	1,0	10,0
		Se realizó estudios pero no se aplicó	5,0		

	estabilidad del terreno	No se realizó estudios	10,0		
	Material de construcción (tubería)	PVC	5,0	2,5	25,0
		PVC-TOM	1,0		
		Hierro Dúctil (HD)	1,0		
		Politubo	10,0		
		Asbesto o cemento	10,0		
	Antigüedad	0 a 25 años	1,0	1,5	15,0
		25 a 40 años	5,0		
		> de 40 años	10,0		
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna	10,0	1,0	10,0
		Norma IEOS	5,0		
		Norma MIDUVI o local	1,0		
	Mantenimiento	Planificado	1,0	1,5	15,0
		Esporádico	5,0		
		Ninguno	10,0		
	Estado actual	Bueno	1,0	1,0	10,0
		Regular	5,0		
		Malo	10,0		
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1,0	1,5	15,0
		Se planifica pero no se ejecuta	5,0		
		No se planifica ni ejecuta	10,0		
	Índice de vulnerabilidad			**10,0**	**100,0**

Nota: *Adaptado de PNUD (2012) y de* (Moscoso, Paucar, & Solano , 2021)

Los índices de vulnerabilidad fueron categorizados en niveles según los criterios que se presentan en la tabla 6

Tabla 6

Criterios para la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable

Rangos de índice	Nivel de vulnerabilidad
De 1 a 33	Baja
De 34 a 66	Media
De 67 a 100	Alta

Nota: *Adaptado de PNUD (2012) y de* (Moscoso, Paucar, & Solano , 2021)

Para la evaluación de la exposición de los componentes del sistema de agua potable (captación, conducción, tratamiento y distribución) ante la amenaza de deslizamiento que abastece

al sector de Llillohuayco en la comunidad de Pircapamba, se utilizó el mapa de amenaza a movimientos en masa a escala nacional de la SGR (2012) para la exposición de los componentes de captación, conducción, tratamiento y distribución (tanques de almacenamiento y red principal de distribución), mientras que, para identificar con mayor detalle la exposición de la red de distribución de agua que llega a las edificaciones expuestas o afectadas al deslizamiento se empleó el mapa de amenaza a deslizamiento elaborado a escala local (sector Llillohuayco de la comunidad Pircapamba); los niveles de exposición corresponde a baja, moderada, mediana y alta.

Objetivo 3: Propuesta las medidas de reducción de la vulnerabilidad y exposición de los componentes del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento de la comunidad de Pircapamba.

Para el cumplimiento de este objetivo se realizó un análisis integral de los resultados obtenidos en el estudio de susceptibilidad y en la evaluación de vulnerabilidad del sistema de agua potable.

Se identificaron los puntos críticos dentro del área de estudio, considerando las zonas con mayor susceptibilidad a deslizamientos y los componentes del sistema que presentan mayores niveles de vulnerabilidad y exposición.

Se efectuó un análisis comparativo con estudios técnicos y medidas de reducción de riesgos aplicadas en contextos similares, con el propósito de seleccionar alternativas viables para la comunidad de Pircapamba.

Con base en esta información se formularon medidas de mitigación estructurales, no estructurales, operativas y de gestión, orientadas a reducir las condiciones de riesgo identificadas en el sistema de agua potable.

Finalmente, las medidas propuestas fueron organizadas en una matriz de priorización que incluye:

- medida, propuesta, tipo de medida, descripción, responsables, tiempo de ejecución, recursos requeridos, indicador de cumplimiento.

La priorización de las medidas consideró criterios relacionados con el nivel de riesgo, población beneficiada, viabilidad técnica, disponibilidad de recursos y tiempo estimado de implementación.

3.6.1 Modelamiento cuantitativo de la amenaza por deslizamientos

La determinación de la amenaza por deslizamientos se realizó mediante un modelo cuantitativo multicriterio implementado en un Sistema de Información Geográfica (SIG), basado en la integración de factores condicionantes y detonantes asociados a la ocurrencia de movimientos en masa.

Los factores condicionantes considerados fueron geología (G), geomorfología (GM), pendiente (P), humedad (H) y uso y cobertura del suelo (US); mientras que los factores detonantes correspondieron a precipitación (Pr) y sismicidad (S).

El índice de amenaza por deslizamientos (IA) se calculó mediante una combinación lineal ponderada utilizando la siguiente expresión:

$$IA = (G \times 1,8) + (GM \times 1,4) + (P \times 2,3) + (H \times 0,9) + (US \times 1,8) + (Pr \times 0,9) + (S \times 0,9)$$

donde:

IA = Índice de amenaza por deslizamientos.

G = Factor geológico.

GM = Factor geomorfológico.

P = Factor pendiente.

H = Factor humedad.

US = Factor uso y cobertura del suelo.

Pr = Factor precipitación.

S = Factor sismicidad.

Los valores asignados a cada variable corresponden a la escala de valoración definida en la Tabla 3, con rangos comprendidos entre 1 y 10 puntos. Los pesos de ponderación reflejan la influencia relativa de cada factor dentro del proceso de generación de movimientos en masa.

Posteriormente, los valores obtenidos fueron integrados mediante álgebra de mapas para generar el índice de amenaza espacial, cuyos resultados fueron clasificados en cuatro categorías: baja, mediana, moderada y alta susceptibilidad.

3.6.2 Validación estadística del modelo

Con el propósito de evaluar la estabilidad y consistencia del modelo multicriterio utilizado para determinar la amenaza por deslizamientos, se realizó una validación estadística mediante análisis de sensibilidad de las ponderaciones asignadas a las variables del modelo.

El análisis consistió en modificar de manera individual los pesos de ponderación de cada factor en un rango de ±10 % respecto a su valor original y observar el comportamiento del índice final de amenaza. Este procedimiento permitió identificar la influencia relativa de cada variable y verificar la robustez del modelo frente a pequeñas variaciones en los criterios de ponderación.

Los resultados evidenciaron que las modificaciones aplicadas no generaron cambios significativos en la distribución espacial de las categorías de susceptibilidad, manteniéndose la tendencia general del modelo. Esto indica que la metodología empleada presenta una adecuada estabilidad y consistencia para la identificación de zonas susceptibles a deslizamientos en el área de estudio.

Por lo tanto, se considera que el modelo desarrollado constituye una herramienta técnicamente confiable para el análisis de la amenaza por deslizamientos y la evaluación de la exposición de los componentes del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba.

3.7 Análisis de incertidumbre

El presente estudio incorpora un análisis de incertidumbre con la finalidad de reconocer las limitaciones que pueden presentarse durante la obtención, el procesamiento y la interpretación de la información utilizada en la evaluación de la amenaza por deslizamientos, así como en la determinación de la vulnerabilidad y exposición del sistema de agua potable en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco.

La generación de mapas de susceptibilidad mediante Sistemas de Información Geográfica depende directamente de la calidad del Modelo Digital de Elevación y de la precisión de las capas temáticas empleadas, como la pendiente, la geología o la cobertura del suelo. En este sentido, cualquier variación en la resolución espacial puede influir en la delimitación de las zonas de susceptibilidad, por lo que los resultados deben entenderse como una representación aproximada del comportamiento del terreno y no como una condición exacta.

También existe cierta incertidumbre en la forma en que se interpretan los factores condicionantes y en la asignación de valores dentro de las matrices de evaluación. La

clasificación en niveles de vulnerabilidad como baja, media o alta se basa en criterios técnicos y en la observación de campo, lo que introduce un grado inevitable de subjetividad en el análisis.

Elementos como la precipitación, la humedad del suelo o la dinámica del terreno no son constantes en el tiempo, por lo que los resultados obtenidos reflejan el escenario correspondiente al periodo de análisis. Esto implica que, ante cambios climáticos o eventos extremos, las condiciones de susceptibilidad podrían modificarse.

La evaluación de la exposición del sistema de agua potable también presenta cierto nivel de incertidumbre, debido a que depende de la localización de los componentes y de la información disponible sobre su estado físico y operativo. Aunque el trabajo de campo permitió una verificación directa de la infraestructura, siempre existe la posibilidad de que algunas condiciones no hayan sido completamente identificadas o que el sistema experimente cambios posteriores.

En conjunto, los resultados obtenidos deben interpretarse como una aproximación técnica confiable dentro de los límites de la información disponible. Su principal aporte radica en apoyar la toma de decisiones en la gestión del riesgo, más que en representar de forma exacta y definitiva el comportamiento del territorio, por ello, esto muestra de manera transparente las limitaciones propias del proceso de investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Resultados del Objetivo 1: Identificar las zonas y niveles de amenaza de deslizamientos en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco

En esa sección se muestran los resultados de la identificación de las zonas y niveles de amenaza de deslizamientos en el sector de Llillohuayco de la comunidad de Pircapamba. Para cumplir con este propósito, se utilizaron herramientas de análisis geoespacial para caracterizar los factores condicionantes (geológicos, geomorfológicos, pendientes, humedad, uso de suelo y cobertura vegetal) y detonantes (sismicidad y precipitación), que influyen en la amenaza de deslizamiento en el área de estudio.

El resultado de la identificación de la amenaza de deslizamiento a escala local permite reconocer con mayor detalle la exposición de la infraestructura de agua potable que está expuesta y afectada por el deslizamiento en el sector de Llillohuayco de la comunidad de Pircapamba.

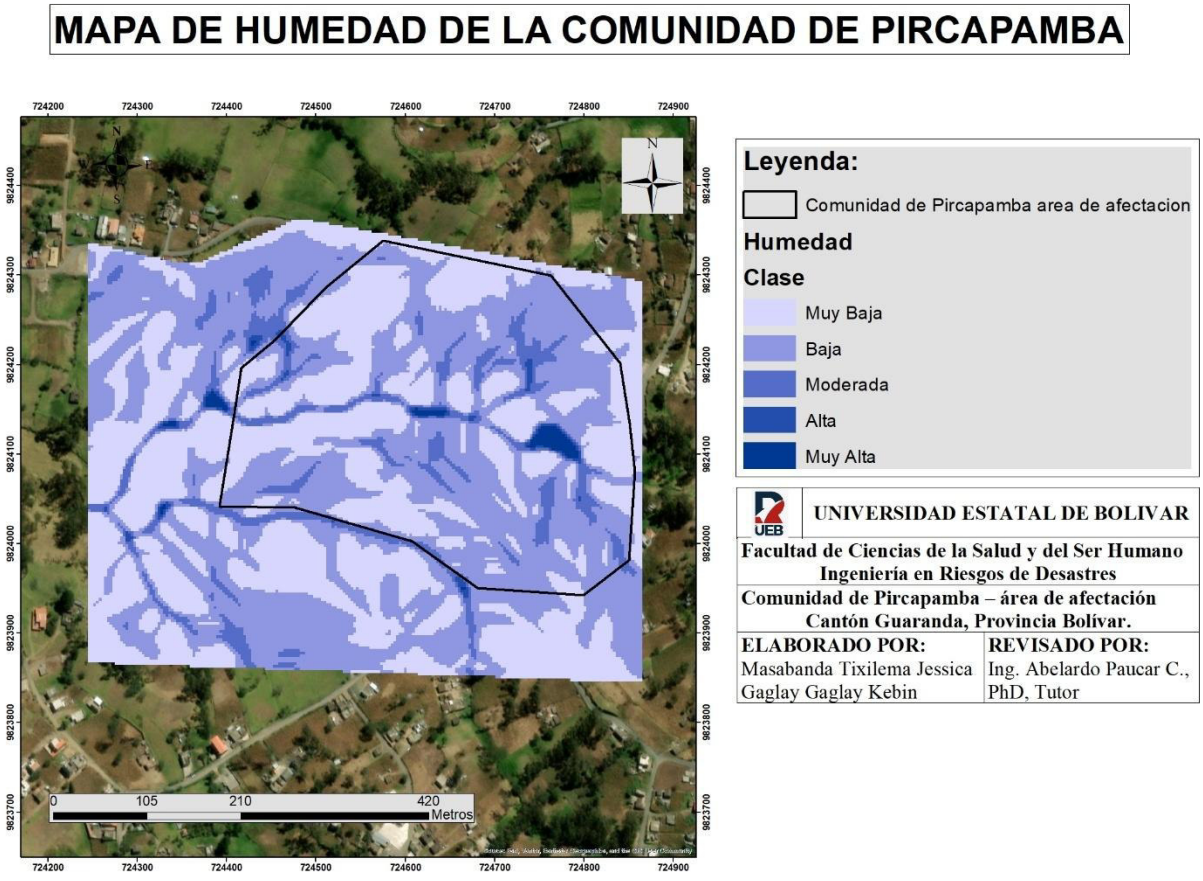
A continuación, se presenta la caracterización de los factores condicionantes y detonantes, así como, la cartografía de la amenaza de deslizamientos en el sector de Llillohuayco de la comunidad Pircapamba, cantón Guaranda.

4.1.1 Factores condicionantes

Factor humedad: se presenta en la figura 9 y tabla 7 la caracterización del factor humedad de la comunidad Pircapamba

Figura 9

Factor humedad de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco



Nota. Elaboración propia

Análisis

El análisis del mapa de humedad de la comunidad de Pircapamba permite reconocer una distribución irregular de la humedad en el área evaluada, evidenciando diferencias importantes entre los distintos sectores del territorio. En la mayor parte de la zona predominan valores de humedad entre medios y altos, particularmente hacia la parte central y oriental, donde las tonalidades más intensas indican una mayor presencia de humedad en el suelo.

Estas condiciones pueden relacionarse con factores como la topografía, la retención de agua y las características propias del terreno, en cambio, los niveles bajos de humedad aparecen de manera aislada en áreas más elevadas o con mejor drenaje natural. La información representada en el mapa resulta relevante para el estudio de la estabilidad del terreno, debido a que los sectores con mayor humedad tienden a presentar condiciones más favorables para la ocurrencia de deslizamientos y otros procesos de inestabilidad, ocasionados por la saturación del suelo y la disminución de su capacidad de resistencia.

Tabla 7

Factor humedad de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco

Tabla de Ponderación		
Nivel de Susceptibilidad	Área en km o m	Porcentaje
Muy baja	52249,88	39,92
Baja	64661,31	49,41
Moderada	11614,24	8,87
Alta	1069,70	0,82
Muy alta	1278,00	0,98
Total	130873,13	100

Nota. Elaboración propia

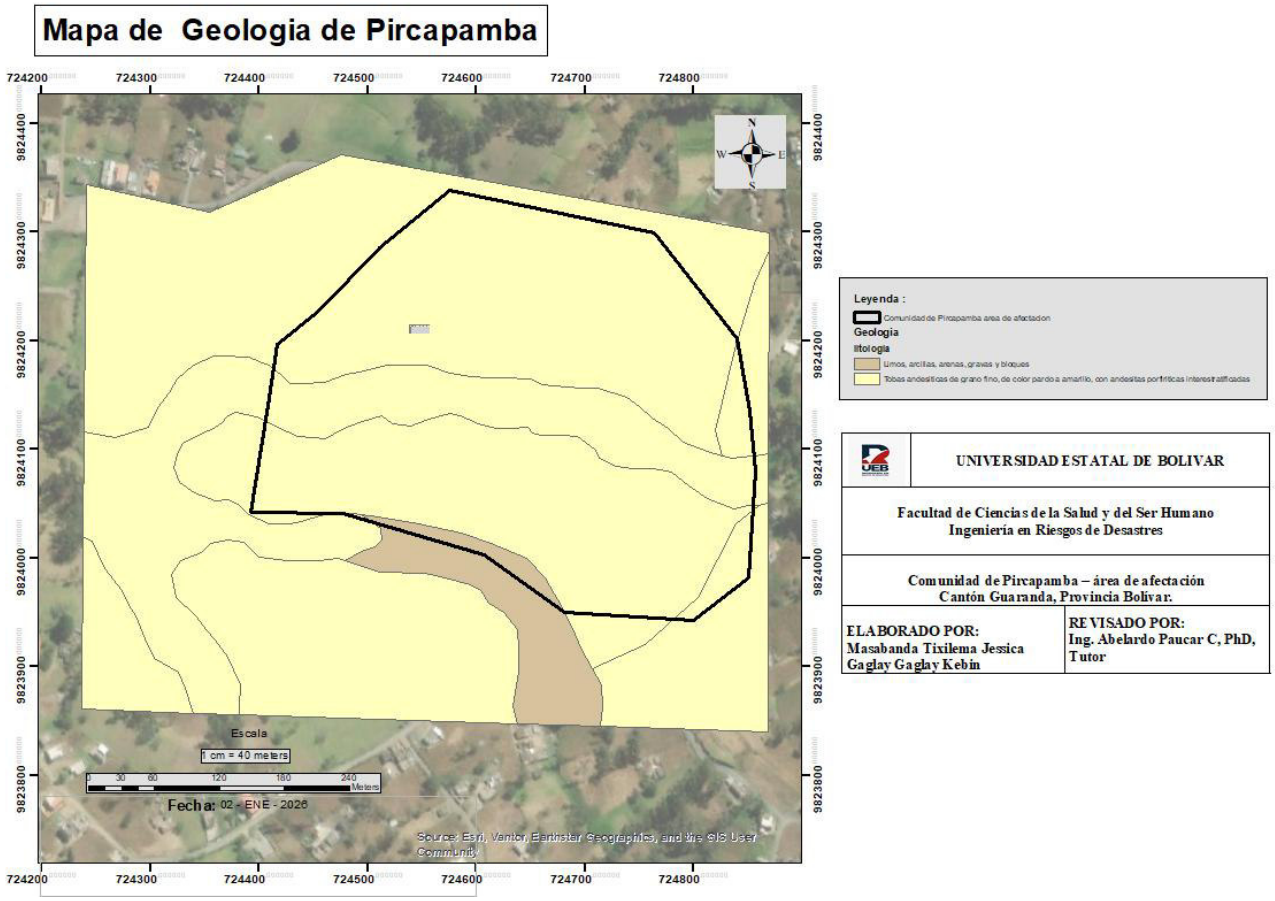
Análisis

En la comunidad de Pircapamba predominan los niveles de susceptibilidad media, baja y muy baja asociados al factor humedad, con porcentajes de 39,92%, 49,41 % y 8,87%, respectivamente, lo que indica que gran parte del territorio presenta condiciones de humedad moderadas, sin embargo, también se identifican sectores con susceptibilidad alta (0,82%) y muy alta (0,98 %), los cuales reflejan una mayor acumulación de humedad en el suelo. Estas condiciones pueden afectar la estabilidad del terreno, ya que la saturación reduce la resistencia natural del suelo y aumenta la probabilidad de deslizamientos y movimientos en masa.

Factor geología: se presenta en la figura 10 y tabla 8 la caracterización del factor geología de la comunidad Pircapamba

Figura 10

Factor geología de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco



Nota. Elaboración propia

Análisis

En Pircapamba se identifican diferentes características geológicas que condicionan el comportamiento del terreno frente a procesos de inestabilidad, cuyo territorio está conformado por depósitos de limos, arcillas, arenas, gravas y bloques, materiales que generalmente presentan menor cohesión y mayor facilidad para degradarse ante la acción del agua y las pendientes. Estas condiciones pueden incrementar la susceptibilidad del suelo a fenómenos como la erosión y los movimientos en masa.

En contraste, hacia el sector sur se localizan formaciones de origen volcánico compuestas por tobas andesíticas y andesitas porfiríticas, las cuales poseen una estructura más firme y

compacta. La presencia de estas dos unidades litológicas genera diferencias en la resistencia y permeabilidad del terreno, influyendo directamente en la dinámica geológica de la zona, por ello, el análisis de la geología resulta esencial para comprender las condiciones físicas del área y evaluar los posibles escenarios de susceptibilidad en la comunidad de Pircapamba.

Tabla 8

Factor geología de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco

Descripción	Área m2	Porcentaje
Tobas andesíticas de grano fino, de color pardo a amarillo, con andesitas porfiriticas interestratificadas	411362,57	98,79
Limos, arcillas, arenas, gravas y bloques	5044,59	1,21
Total	416407,16	100

Nota. Elaboración propia

Análisis

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 5, la composición geológica de la comunidad de Pircapamba se encuentra ampliamente dominada por formaciones volcánicas de tobas andesíticas de grano fino con intercalaciones de andesitas porfiríticas, las cuales cubren el 98,79 % del área total, equivalente a 411.362,57 m². Este comportamiento evidencia que la mayor parte del territorio está constituida por materiales relativamente consolidados y compactos.

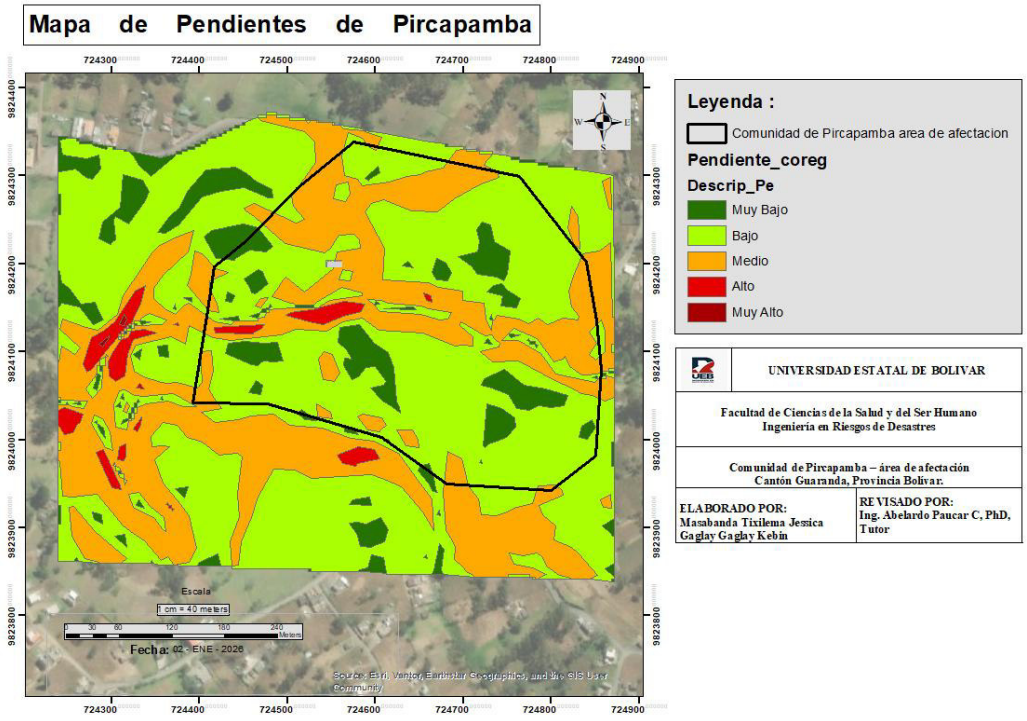
En contraste, los sectores conformados por limos, arcillas, arenas, gravas y bloques ocupan únicamente el 1,21 % del área estudiada, correspondiente a 5.044,59 m², representando depósitos menos compactos y más susceptibles a procesos de desgaste y remoción, aunque su extensión es reducida, estas zonas pueden presentar mayores condiciones de inestabilidad debido a la naturaleza suelta de sus materiales. En consecuencia, las características litológicas identificadas permiten

comprender cómo la composición geológica influye en la dinámica y estabilidad del terreno dentro de la comunidad de Pircapamba.

Factor pendiente: se presenta en la figura 11 y tabla 9 la caracterización del factor pendiente de la comunidad Pircapamba

Figura 11

Factor pendiente de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco



Nota. Elaboración propia

Análisis

La configuración del relieve en la comunidad de Pircapamba presenta una marcada diversidad en los niveles de inclinación del terreno, evidenciando condiciones topográficas variables dentro del área analizada. Las superficies con pendientes suaves y moderadas abarcan la mayor parte del territorio, lo que sugiere zonas con menor grado de inestabilidad geomorfológica. Sin embargo, también se reconocen áreas específicas donde el terreno adquiere inclinaciones pronunciadas, principalmente en sectores localizados del centro y occidente de la comunidad.

Estas condiciones incrementan la susceptibilidad a fenómenos erosivos y movimientos en masa, ya que las fuertes pendientes favorecen el desplazamiento de materiales y la pérdida de estabilidad del suelo, especialmente durante periodos de lluvias intensas. En contraste, las áreas menos inclinadas tienden a presentar procesos más asociados a la acumulación de sedimentos y menor dinámica de erosión, por tanto, el comportamiento de las pendientes constituye un factor determinante para interpretar la estabilidad física del territorio y la posible ocurrencia de deslizamientos en la comunidad de Pircapamba.

Tabla 9

Factor pendiente de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco

Nivel de Susceptibilidad	Área m2	Porcentaje
Muy bajo	24874,97	7,48
Bajo	179395,14	53,91
Medio	97349,56	29,25
Alto	6277,58	1,89
Muy Alto	24874,97	7,48
Total	332772,22	100

Nota. Elaboración propia

Análisis

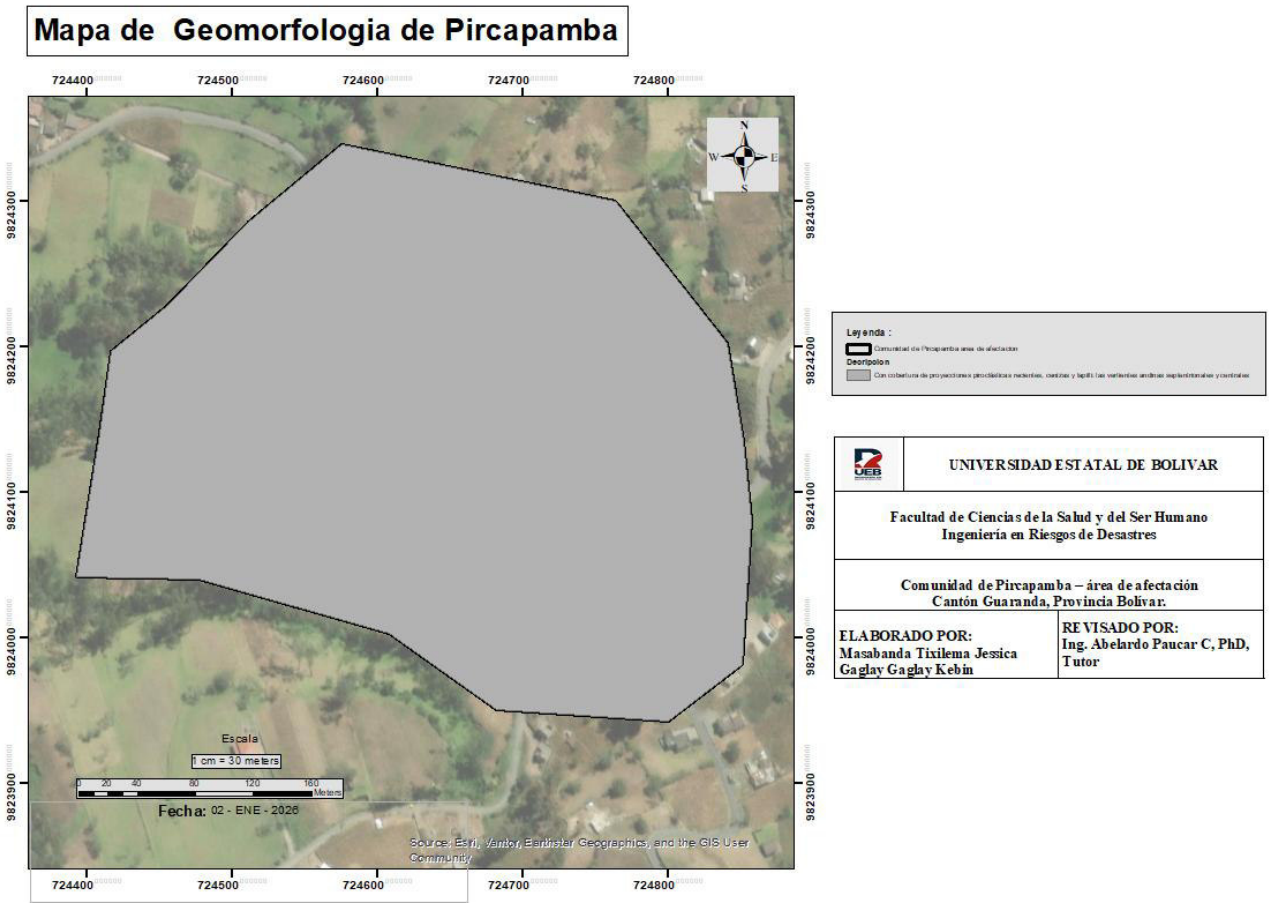
Los datos de la Tabla 9 reflejan que las condiciones topográficas de la comunidad de Pircapamba están dominadas principalmente por terrenos con inclinaciones reducidas y moderadas. La categoría de susceptibilidad baja concentra el mayor porcentaje del área estudiada con 53,91 %, seguida por la susceptibilidad media con 29,25 %, lo que evidencia un predominio de superficies relativamente estables dentro del territorio.

En contraste, las zonas catalogadas con susceptibilidad muy baja y muy alta alcanzan cada una el 7,48 %, mientras que la categoría alta representa apenas el 1,89 % del total analizado. Aunque las pendientes más pronunciadas ocupan una extensión menor, estas áreas adquieren importancia debido a que presentan mayores posibilidades de erosión y desestabilización del suelo, especialmente ante precipitaciones intensas o acumulación de humedad.

Factor geomorfología: se presenta en la figura 12 y tabla 10 la caracterización del factor pendiente de la comunidad Pircapamba.

Figura 12

Factor geomorfología de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco



Nota. Elaboración propia

Análisis

El relieve de la comunidad de Pircapamba se encuentra conformado principalmente por acumulaciones coluviales originadas por procesos naturales de gravedad, evidenciando una dinámica constante de transporte y depósito de materiales sobre las laderas. Estas formaciones son

el resultado de la movilización progresiva de fragmentos de suelo y roca que, con el tiempo, han modelado la superficie del territorio.

Debido a que los depósitos coluviales suelen estar constituidos por materiales heterogéneos y con baja compactación, el terreno puede presentar condiciones favorables para fenómenos de inestabilidad, especialmente en presencia de lluvias intensas o altos niveles de humedad. Además, la interacción entre la topografía y los procesos erosivos contribuye a modificar continuamente las características del paisaje.

Tabla 10

Factor geomorfología de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco

Descripción	Área m2	Porcentaje
Con cobertura de proyecciones piroclásticas recientes, cenizas y lapilli: las vertientes andinas septentrionales y centrales	1100000000	100,00
Total	1100000000	100

Nota. Elaboración propia

Análisis

La caracterización geomorfológica de la comunidad de Pircapamba indica que todo el territorio estudiado corresponde a superficies formadas por depósitos volcánicos recientes, compuestos principalmente por cenizas y fragmentos de lapilli. Esta condición demuestra que el relieve de la zona ha sido modelado significativamente por procesos eruptivos ocurridos en el pasado, los cuales dejaron una amplia cobertura de materiales piroclásticos sobre el terreno.

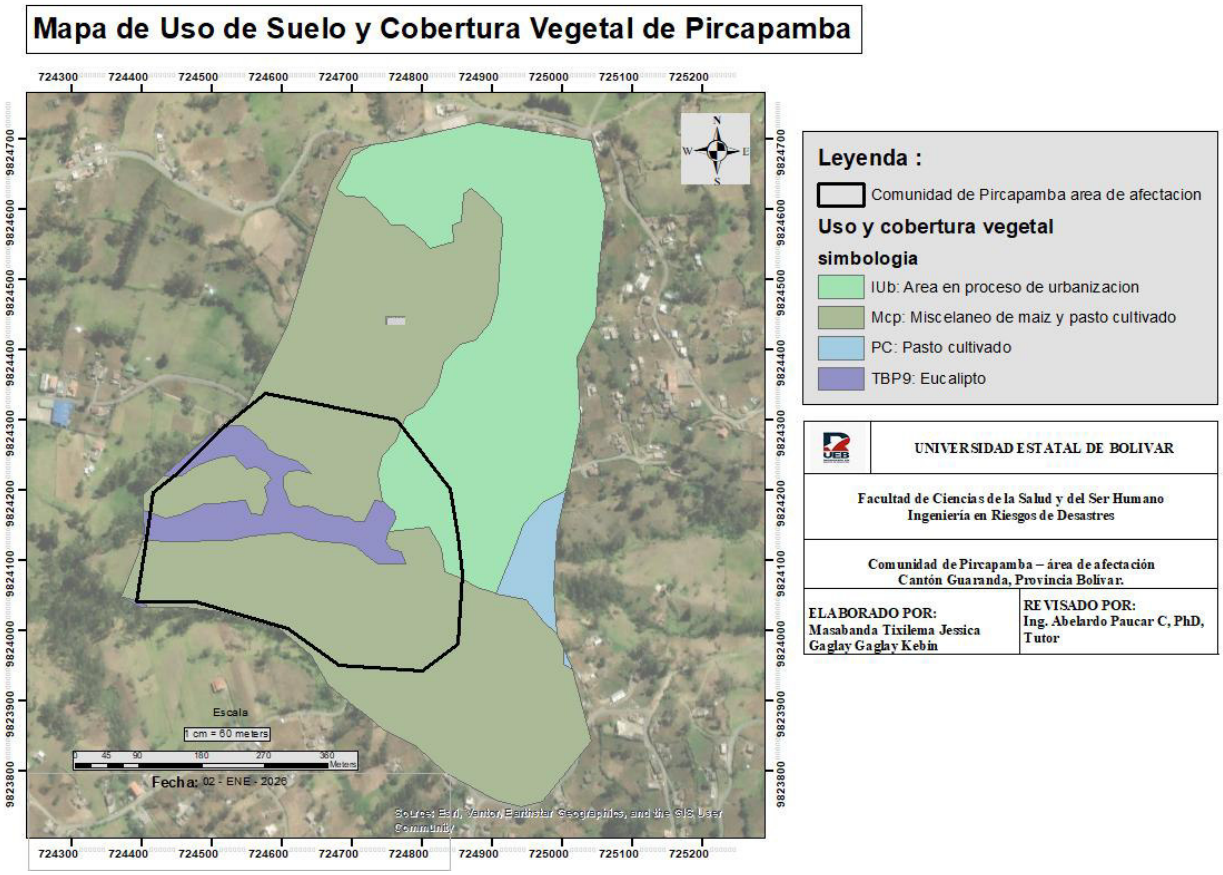
Debido a la naturaleza de estos depósitos, el comportamiento del suelo puede variar según factores como la humedad, el grado de compactación y la inclinación del relieve, llegando a favorecer procesos de erosión e inestabilidad en determinadas áreas. Además, la presencia

continua de cenizas volcánicas influye en las propiedades físicas y mecánicas del suelo, condicionando la dinámica natural del territorio.

Factor uso de suelo y cobertura vegetal: se presenta en la figura 13 y tabla 11 la caracterización del factor pendiente de la comunidad Pircapamba.

Figura 13

Factor uso de suelo y cobertura vegetal de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco



Nota. Elaboración propia

En el territorio de la comunidad de Pircapamba se observa una combinación de coberturas vegetales y actividades antrópicas que han modificado progresivamente el paisaje natural. Las áreas destinadas al cultivo de maíz y a los pastizales ocupan gran parte de la superficie analizada,

evidenciando el predominio de actividades agropecuarias dentro de la zona. Asimismo, se distinguen espacios que actualmente atraviesan procesos de urbanización, lo que refleja un crecimiento paulatino de la infraestructura y de los asentamientos humanos.

De igual manera, existen sectores con presencia de eucalipto y otras coberturas vegetales que intervienen en la dinámica ambiental del suelo, cuyas condiciones influyen directamente en el comportamiento del terreno, ya que la vegetación ayuda a controlar la erosión y aporta estabilidad mediante la retención de humedad y la protección superficial del suelo. Sin embargo, las transformaciones derivadas del cambio de uso del suelo pueden alterar el equilibrio natural del área y favorecer procesos de degradación e inestabilidad en determinados sectores de la comunidad de Pircapamba.

Tabla 11

Factor uso de suelo y cobertura vegetal de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco

Descripción	Área m2	Porcentaje
Área en proceso de urbanización	140000	33,79
Eucalipto	24607,38	5,94
Misceláneo de maíz y pasto cultivado	240000	57,92
Pasto cultivado	9769,28	2,36
Total	414376,66	100

Nota. Elaboración propia

Análisis

Más de la mitad del área estudiada, correspondiente al 57,92 %, está ocupada por asociaciones de maíz y pasto cultivado, lo que demuestra el amplio aprovechamiento del suelo para fines productivos. A su vez, el 33,79 % del territorio corresponde a espacios en proceso de urbanización, evidenciando una transformación progresiva del paisaje debido al crecimiento de viviendas e infraestructura.

En menor escala se localizan las plantaciones de eucalipto con el 5,94 % y las áreas de pasto cultivado con el 2,36 %. La presencia de estas coberturas modifica las condiciones naturales del terreno y puede influir en su estabilidad, ya que la expansión urbana y ciertas prácticas de uso del suelo tienden a reducir la protección vegetal y a incrementar procesos de erosión y degradación ambiental.

4.1.2 Factores detonantes

Factor sismicidad. - En el área de Pircapamba, la actividad sísmica se reconoce como un elemento que influye en la estabilidad del terreno, aunque su efecto no siempre sea evidente en la superficie. Este tipo de fenómeno forma parte de las condiciones naturales del entorno y puede modificar el comportamiento del suelo cuando interactúa con otros factores físicos (Hernández et al, 2022).

Los registros representados en el mapa permiten identificar que existen sectores donde el terreno presenta señales de debilitamiento, como grietas y pequeños escarpes, cuyas características podrían estar asociadas a la acción de movimientos sísmicos, los cuales generan vibraciones capaces de alterar la estructura interna del suelo y reducir su resistencia. Este efecto se vuelve más relevante cuando el terreno ya presenta condiciones desfavorables, como alta humedad o pendientes pronunciadas, ya que estas situaciones incrementan la probabilidad de inestabilidad y posibles deslizamientos (García, 2023).

En el caso de la comunidad de Pricapamba se ubica en la Zona IV de peligro sísmico con un valor Z de 0,40 g (gals) considerado de peligro alto, lo que incidiría como factor detonante para un posible deslizamiento (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

Factor precipitación. - Las lluvias constituyen uno de los elementos que más influyen en la estabilidad del terreno, ya que su presencia constante favorece la infiltración de agua y el aumento de la humedad en el suelo, condiciones que pueden reducir su resistencia natural.

En el caso de Pircapamba, el comportamiento de la lluvia se caracteriza por ser relativamente uniforme durante el año, lo que implica una exposición continua del suelo a procesos de humectación. Esta condición climática tiene un impacto progresivo en el equilibrio del terreno (Jiménez y López, 2024).

Aunque el nivel de precipitación anual, cercano a 614,14 mm, no es extremadamente alto ni presenta grandes variaciones, el efecto acumulativo del agua con el tiempo puede generar saturación en ciertos sectores. Esto es más crítico en áreas donde el suelo ya muestra signos de inestabilidad o alteraciones previas.

Asimismo, estas condiciones coinciden en algunos casos con zonas ocupadas por viviendas o infraestructura, lo que incrementa la vulnerabilidad ante posibles movimientos de masa. En este sentido, la precipitación debe entenderse no solo como una variable climática, sino como un factor que, en combinación con otras condiciones del terreno, puede contribuir al desencadenamiento de deslizamientos (Haro, 2022).

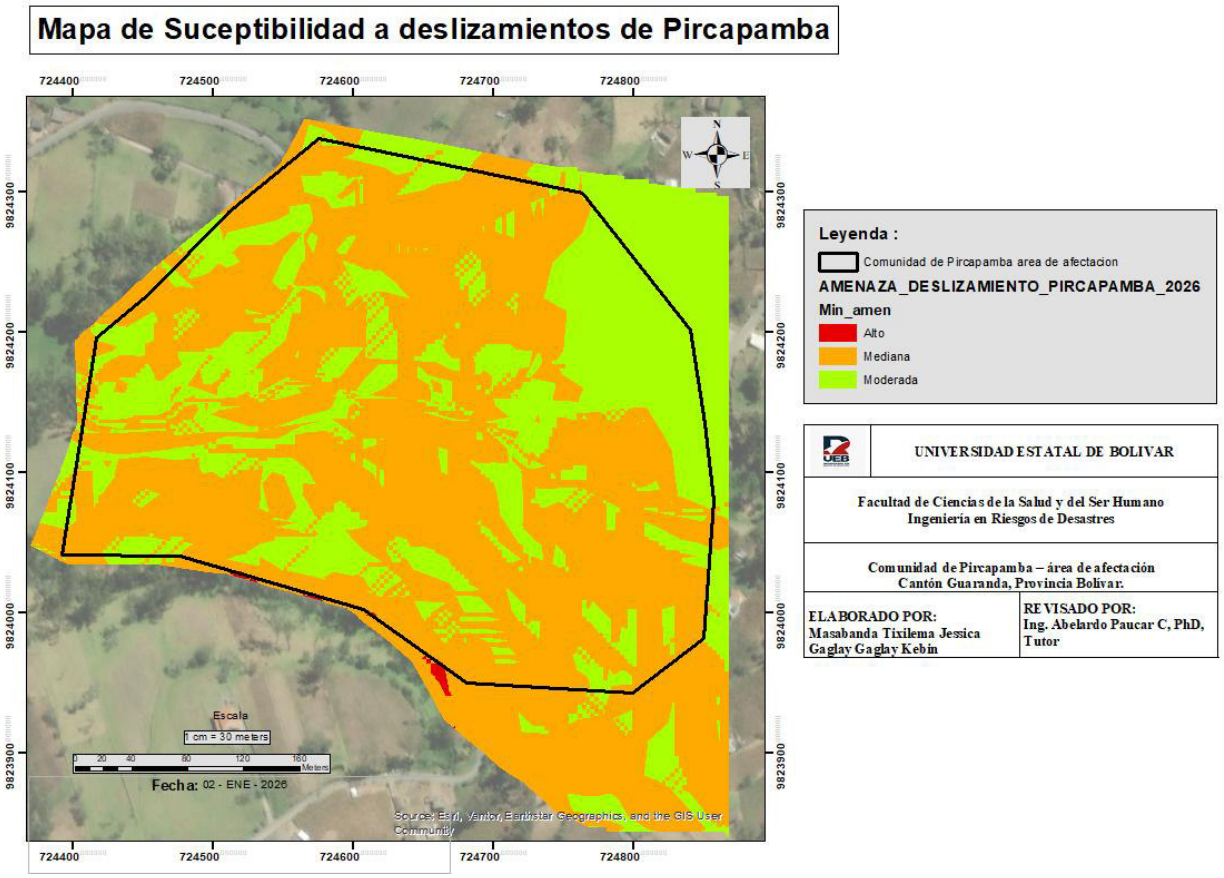
Según el estudio de Paucar (2016) con base a la información disponible de la estación meteorológica San Simón (M030) que tendría incidencia en el área urbana de Guaranda se considera como valor de precipitación de 745,18 mm promedio anual, por consiguiente, este valor fue considerado para la zona de estudio de la comunidad de Pircapamba, que equivale a una alta precipitación que incidiría en la amenaza de deslizamiento en el área de estudio.

4.1.2 Cartografía de amenaza de deslizamiento en la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco

A partir de la caracterización y la correlación de los factores condicionantes y detonantes que fueron ponderados en base a los criterios de la tabla 5, fueron procesados en Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS), como resultado se obtuvo la cartografía de amenaza de deslizamiento en la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco a escala 1:5.000, la misma que se representa en la Figura 14.

Figura 14

Susceptibilidad a deslizamientos de la comunidad de Pircapamba



Nota. Elaboración propia

Análisis

El análisis del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco, permite identificar que el territorio presentan niveles mediana y moderada de amenaza de deslizamiento, esto se debe principalmente, en la zona de estudio en los factores condicionantes predominan: en la humedad los niveles bajos y medios, en geología, son tobas, pendientes bajas y medianas, en la geomorfología áreas con formas de proyecciones piroclásticas, uso de suelo con cultivos de maíz y urbanizada (viviendas); como factores detonantes: la sismicidad, se localiza en la zona IV de peligro sísmico alto (NEC-2015) y la precipitación alta con 745,18 mm promedio anual (estación meteorológica San Simón).

Tabla 12

Susceptibilidad a deslizamientos de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco

Nivel de Susceptibilidad	Area en km o m	Porcentaje
Muy alto	0,00	0,00
Alto	291,25	0,17
Mediana	108779,79	64,52
Moderada	59535,05	35,31
Bajo	0,00	0,00
Total	168606,09	100,00

Nota. Elaboración propia

Análisis

La mayor parte del territorio de la comunidad de Pircapamba se encuentra dentro de un nivel de susceptibilidad media a deslizamientos, concentrando más de la mitad del área evaluada con un 64,52 %. Este comportamiento refleja que existen condiciones naturales que podrían favorecer procesos de inestabilidad del terreno, especialmente en épocas de lluvias fuertes o frente a modificaciones realizadas por actividades humanas.

De igual manera, una parte importante del territorio corresponde a la categoría moderada, que representa el 35,31 %, evidenciando sectores donde el riesgo es menor, aunque todavía es necesario mantener medidas de prevención y control territorial. En contraste, las zonas con susceptibilidad alta abarcan una extensión muy reducida, equivalente apenas al 0,17 %, por lo que los puntos con mayor peligro se presentan de manera aislada y específica. Además, no se identificaron áreas con susceptibilidad muy alta ni baja, lo que permite interpretar que la comunidad mantiene, en términos generales, un nivel intermedio de exposición ante posibles deslizamientos.

4.2 Resultados de Objetivo 2: Evaluar el nivel de vulnerabilidad y exposición de los componentes (captación, tratamiento, almacenamiento y distribución) del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamientos

En este apartado se analiza el nivel de vulnerabilidad y exposición de los componentes del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba, en el cantón Guaranda. Este análisis es clave, ya que permite comprender qué tan propensas están las infraestructuras a verse afectadas por deslizamientos, considerando las condiciones del terreno y la ubicación en la que se encuentran.

Para desarrollar esta evaluación, se revisaron los componentes del sistema de agua potable, entre ellos la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución. Se tomó en cuenta el estado en el que se encuentran las estructuras, su funcionamiento, el mantenimiento que reciben y si cuentan o no con medidas de protección, cuya información se obtuvo mediante recorridos de campo, aplicación de fichas técnicas y entrevistas, lo que permitió tener una visión más cercana de la realidad del sistema.

A partir de este análisis, fue posible identificar qué componentes presentan mayores niveles de vulnerabilidad y cuáles están más expuestos frente a la amenaza de deslizamientos. Estos resultados sirven como base para plantear acciones que ayuden a reducir los riesgos y mejorar la capacidad de respuesta del sistema de agua potable ante este tipo de eventos.

4.2.1 Evaluación de la vulnerabilidad en el componente captación

A continuación, en la tabla 13 se representa la captación del sistema del agua potable de la comunidad de Pircapamba.

Tabla 13

Vulnerabilidad en el componente captación

Componente: captación	Número de tanques	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Valor máximo
Tanque de captación	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	1,0
		Material de construcción	Hormigón	1	2,5	2,5
		Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	1,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	5	1,0	5,0
		Mantenimiento	Esporádico	5	1,5	7,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	1,5
Total	1	Índice de vulnerabilidad			10,0	20,0
		Nivel de vulnerabilidad				**Bajo**

Nota. Elaboración propia

Análisis

El análisis del componente de captación, en este caso el tanque ubicado en la comunidad de Pircapamba, en el cantón Guaranda, muestra que se encuentra en condiciones favorables frente

a la amenaza de deslizamientos. El índice de vulnerabilidad obtenido es de 10 sobre 20, lo que lo ubica en un nivel bajo. Esto permite entender que, en general, la infraestructura presenta características que ayudan a disminuir el riesgo de afectación.

Entre los aspectos que aportan a esta condición se encuentra la realización de estudios técnicos para la cimentación, lo que brinda mayor seguridad a la estructura. A esto se suma el uso de hormigón como material principal, así como su antigüedad relativamente reciente y el buen estado en el que se encuentra actualmente. También se evidencia que se han considerado normas de diseño y que existen acciones orientadas a la reducción de riesgos, lo cual contribuye a mejorar el desempeño del sistema frente a posibles eventos.

Sin embargo, se identifica que el mantenimiento no se realiza de forma continua, sino de manera ocasional, lo que podría convertirse en una debilidad con el tiempo. Si bien esto no afecta de forma significativa el resultado actual, sí es un aspecto que debería fortalecerse. Mantener una rutina más constante permitiría conservar las buenas condiciones del sistema y reducir aún más la posibilidad de daños ante deslizamientos.

4.2.2 Evaluación de la vulnerabilidad en el componente conducción

A continuación, en la tabla 14 se representa la conducción del sistema del agua potable de la comunidad de Pircapamba.

Tabla 14

Vulnerabilidad en el componente conducción

Componente: conducción	Longitud en km	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Valor máximo
Tubería de conducción	6,89	Estudios técnicos para estabilidad del terreno	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	1,0
		Material de construcción (tubería)	Hierro Dúctil (HD)	1	2,5	2,5
		Antigüedad	0 a 25 años (año 2007)	1	1,5	1,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	5	1,0	5,0
		Mantenimiento	Esporádico	5	1,5	7,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	1,5
Total	**6,89**	**Indice de vulnerabilidad**			10,0	20,0
		Nivel de vulnerabilidad				**Bajo**

Nota. Elaboración propia

Análisis

El análisis del componente de conducción, correspondiente a la tubería con una longitud aproximada de 6,89 km en la comunidad de Pircapamba, en el cantón Guaranda, refleja que se encuentra en condiciones favorables frente a la amenaza de deslizamientos. El valor obtenido en el índice de vulnerabilidad es de 10 sobre 20, lo que lo ubica en un nivel bajo. Esto permite interpretar que, en general, la infraestructura presenta un buen comportamiento y no muestra una alta susceptibilidad a sufrir daños.

Entre los elementos que influyen en este resultado se encuentra la existencia de estudios técnicos para la estabilidad del terreno, lo cual facilita una mejor adaptación de la tubería a las condiciones del entorno. De igual forma, el uso de hierro dúctil como material aporta resistencia ante posibles esfuerzos, mientras que su antigüedad y estado actual indican que el sistema aún se mantiene en condiciones adecuadas de funcionamiento. A esto se suma el cumplimiento de normas técnicas en su diseño, lo que refuerza su confiabilidad.

Sin embargo, se observa que el mantenimiento se realiza de forma ocasional, lo que podría representar una limitación si no se mejora con el tiempo. Aunque este aspecto no incide de manera significativa en el resultado actual, es importante considerarlo, ya que un mantenimiento más constante ayudaría a conservar el buen estado del sistema y a prevenir posibles fallas ante eventos de deslizamientos.

4.2.3 Evaluación de la vulnerabilidad en el componente de planta de tratamiento

A continuación, en la tabla 15 se representa el componente de planta de tratamiento del sistema del agua potable de la comunidad de Pircapamba

Tabla 15

Vulnerabilidad en el componente de planta de tratamiento de agua potable

Componente: plantas de tratamiento	Número de plantas	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Valor máximo
Planta antigua de hormigón armado	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	1,0
		Material de construcción	Hormigón	1	2,5	2,5
		Antigüedad	25 a 40 años	5	1,5	7,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	5	1,0	5,0
		Mantenimiento	Planificado	1	1,5	1,5

		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	1,5
		Índice de vulnerabilidad			10,0	20,0
		Nivel de vulnerabilidad				**Bajo**
Planta metálica prefabricada	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	1,0
		Material de construcción	Metálica	5	2,5	12,5
		Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	1,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	5	1,0	5,0
		Mantenimiento	Planificado	1	1,5	1,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	1,5
		Índice de vulnerabilidad			10,0	24,0
		Nivel de vulnerabilidad				**Bajo**
Planta nueva DAFFI	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	1,0
		Material de construcción	Acero Inoxidable-Aceros, Hormigón	1	2,5	2,5
		Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	1,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	5	1,0	5,0
		Mantenimiento	Planificado	1	1,5	1,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	1,5
		Índice de vulnerabilidad			10,0	14,0
		Nivel de vulnerabilidad				**Bajo**
Total	**3**	**Promedio del Índice de Vulnerabilidad**				**19,3**
		Nivel de vulnerabilidad				**Bajo**

Nota. Elaboración propia

Análisis

El análisis del componente de tratamiento, conformado por tres plantas en la comunidad de Pircapamba, muestra que en general estas infraestructuras presentan un comportamiento adecuado frente a la amenaza de deslizamientos. Los resultados indican que las tres plantas la

antigua de hormigón armado, la metálica prefabricada y la nueva tipo DAFFI se ubican dentro de un nivel de vulnerabilidad bajo, lo que permite entender que el sistema, en conjunto, mantiene condiciones favorables.

Al revisar cada caso, se puede notar que la planta de hormigón, a pesar de tener más años de funcionamiento, se conserva en buen estado y cuenta con mantenimiento planificado, lo que ayuda a compensar su antigüedad. En el caso de la planta metálica, el tipo de material puede hacerla un poco más sensible en comparación con las otras; sin embargo, este aspecto no llega a ser determinante, ya que se equilibra con su estado actual, su menor antigüedad y el cumplimiento de normas técnicas. Por otro lado, la planta DAFFI, al ser más reciente y estar construida con materiales más resistentes, presenta condiciones favorables que aportan a su buen desempeño.

En términos generales, el promedio del índice de vulnerabilidad confirma que el sistema de tratamiento se mantiene en un nivel bajo. Aun así, es importante no descuidar el mantenimiento y continuar con las acciones orientadas a reducir riesgos, ya que esto permitirá conservar las condiciones actuales y evitar problemas a futuro.

4.2.4 Evaluación de la vulnerabilidad en el componente de distribución

A continuación, en la tabla 16 se representa el componente de distribución del sistema del agua potable de la comunidad de Pircapamba.

Tabla 16

Vulnerabilidad en el componente de distribución (tanques de almacenamiento)

Componente: tanques de Reserva principal (distribución)	Número de tanques	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Valor máximo
Tanques: Almacenamiento de Pircapamba	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios, pero no se aplicó	5	1,0	5,0
		Material de construcción	Hormigón	1	2,5	2,5
		Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	1,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	5	1,0	5,0
		Mantenimiento	Planificado	1	1,5	1,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	1,5
		Índice de vulnerabilidad			10,0	18,0
		Nivel de vulnerabilidad				**Bajo**

Elaborado por: Gaglay, Kebin y Masabanda, Jessica

Análisis

Al revisar los tanques de reserva del sistema de distribución, se observa que, en términos generales, presentan condiciones favorables y un nivel bajo de vulnerabilidad. Los tanques ubicados en San Pedro y Santísima Trinidad registran el valor más bajo (18,0), lo cual se debe principalmente a su antigüedad reciente, al uso de hormigón como material de construcción y a la ejecución de medidas orientadas a reducir riesgos. Sin embargo, su mayor antigüedad influye en un ligero incremento del índice, aunque sin representar una condición crítica.

Seguidamente, se detalla en la tabla 17 la red de distribución del sistema de agua potable de la comunidad Pircapamba.

Tabla 17

Vulnerabilidad en el componente de distribución (red de tubería de distribución primaria y secundaria)

Componente: red distribución	Longitud en km	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Valor máximo
Red principal de distribución nueva (tubería con PVC)	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios, pero no se aplicó	5	1,0	5,0
		Material de construcción	PVC	5	2,5	12,5
		Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	1,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	5	1,0	5,0
		Mantenimiento	Planificado	1	1,5	1,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	No se planifica ni ejecuta	10	1,5	15,0
		Índice de vulnerabilidad			10,0	41,5
		Nivel de vulnerabilidad				**Medio**
Red principal de distribución nueva (tubería con PVC-TOM)	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios, pero no se aplicó	5	1,0	5,0
		Material de construcción	PVC – TOM	1	2,5	2,5
		Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	1,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	5	1,0	5,0
		Mantenimiento	Planificado	1	1,5	1,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	No se planifica ni ejecuta	10	1,5	15,0
		Índice de vulnerabilidad			10,0	31,5
		Nivel de vulnerabilidad				**Bajo**
Red secundaria de distribución antigua (tubería de asbesto cemento)	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios, pero no se aplicó	5	1,0	5,0
		Material de construcción	asbesto cemento	10	2,5	25,0
		Antigüedad	Mayor a 40 años	10	1,5	15,0

		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	5	1,0	5,0
		Mantenimiento	Planificado	1	1,5	1,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	No se planifica ni ejecuta	10	1,5	15,0
		Índice de vulnerabilidad			10,0	67,5
		Nivel de vulnerabilidad				**Alto**
Red secundaria de distribución antigua (tubería de politubo)	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios, pero no se aplicó	5	1,0	5,0
		Material de construcción	Politubo	10	2,5	25,0
		Antigüedad	De 25 a 40 años	5	1,5	7,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	5	1,0	5,0
		Mantenimiento	Planificado	1	1,5	1,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	No se planifica ni ejecuta	10	1,5	15,0
		Índice de vulnerabilidad			10,0	60,0
		Nivel de vulnerabilidad				**Medio**
Total	**4**	**Promedio del Índice de Vulnerabilidad**				**50,1**
		Nivel de vulnerabilidad				**Medio**

Nota. Elaboración propia

Análisis

A partir de la evaluación de la red de distribución del sistema de agua potable, se evidencia que el nivel de vulnerabilidad varía según el material de las tuberías, su antigüedad y la gestión aplicada en cada caso. La red nueva con tubería de PVC presenta una vulnerabilidad media (41,5), ya que, aunque se encuentra en buen estado y cuenta con mantenimiento planificado, los estudios técnicos no fueron completamente aplicados y no existen medidas de reducción de riesgos. En cambio, la red con tubería PVC-TOM muestra la condición más favorable, con un nivel de vulnerabilidad bajo (31,5), debido a las mejores características del material y su adecuado estado operativo, aunque mantiene la misma debilidad en cuanto a la falta de acciones preventivas.

Por otro lado, las redes antiguas presentan mayores niveles de vulnerabilidad. La red de asbesto cemento alcanza un nivel alto (67,5), siendo la más crítica, principalmente por su antigüedad superior a 40 años y la fragilidad del material frente a movimientos de masa. De manera similar, la red de politubo registra una vulnerabilidad media (60,0), ya que, aunque posee cierta flexibilidad, su antigüedad y la ausencia de medidas de mitigación incrementan el riesgo de afectación. En ambos casos, las condiciones actuales y el mantenimiento no son suficientes para compensar estas limitaciones estructurales.

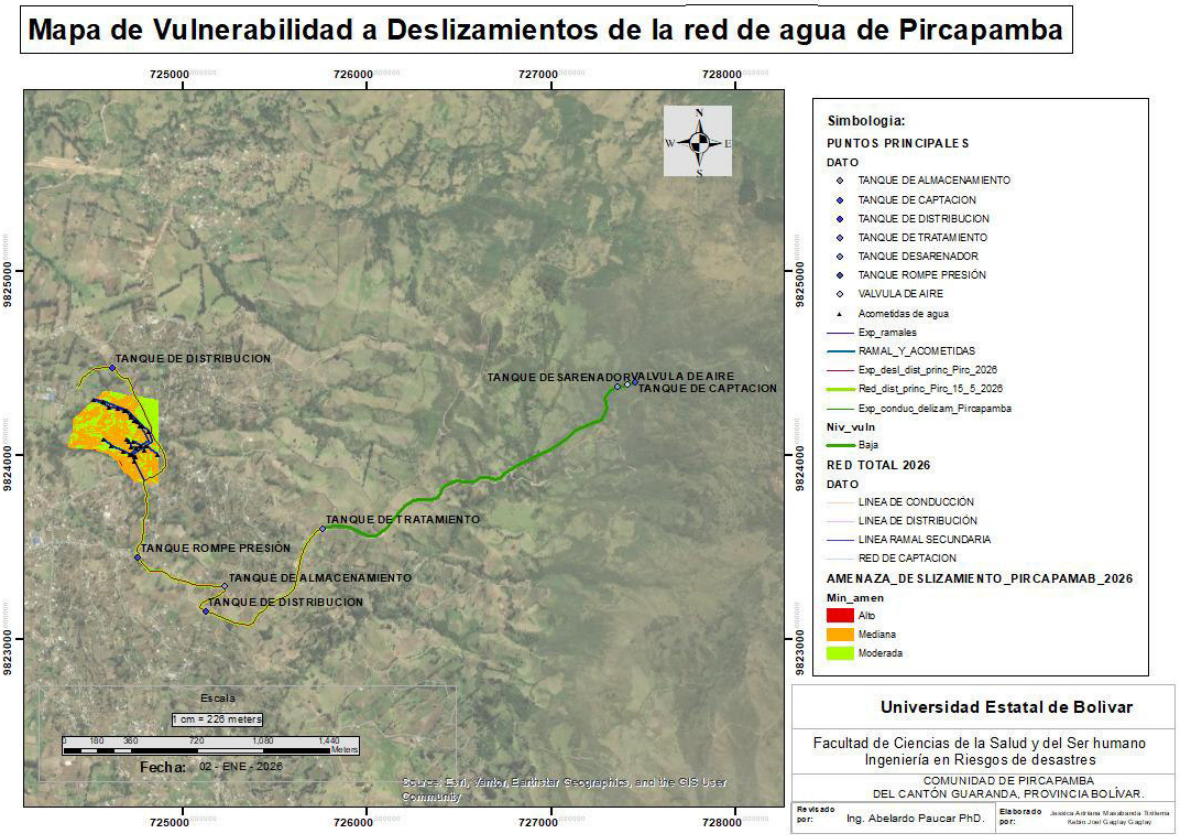
En términos generales, el índice promedio de vulnerabilidad de la red de distribución es de 50,1, lo que corresponde a un nivel medio. Esto indica que el sistema combina tramos en buenas condiciones con otros que presentan debilidades importantes, lo cual podría afectar la continuidad del servicio ante deslizamientos. Como aspecto común, se identifica la falta de implementación de medidas de reducción de riesgos en todos los tipos de tubería, lo que evidencia una debilidad en la gestión del sistema y la necesidad de fortalecer su resiliencia mediante acciones preventivas y correctivas.

4.2.5 Cartografía de la vulnerabilidad de los componentes de agua potable a la amenaza de deslizamiento en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco

En la figura 15 se representa la infraestructura de los componentes del sistema de agua potable con niveles de vulnerabilidad ante la amenaza de deslizamiento de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco.

Figura 15

Mapa de vulnerabilidad de deslizamientos de la red de agua potable de Pircapamba, sector Llillohuayco



Nota. Elaboración propia.

Análisis

El mapa permite comprender cómo la amenaza de deslizamientos podría influir directamente sobre el funcionamiento del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba. A partir de la distribución espacial de los componentes hidráulicos, se evidencia que la infraestructura se encuentra instalada en sectores donde predominan niveles de amenaza media y moderada, lo que representa una condición de vulnerabilidad para la red.

Elementos esenciales como los tanques, las líneas de conducción y los ramales de distribución podrían verse comprometidos ante procesos de remoción en masa ocasionados por lluvias intensas o por la degradación natural del terreno, además, la ubicación de ciertos componentes cerca de zonas más inestables incrementa la posibilidad de daños físicos en las tuberías y estructuras, generando riesgos de suspensión parcial o total del servicio de abastecimiento de agua. En este sentido, la cartografía desarrollada no solo facilita la identificación de los sectores más sensibles, sino que también aporta información clave para la toma de decisiones orientadas a la prevención, el mantenimiento de la infraestructura y la reducción del riesgo dentro de la comunidad.

4.2.6 Evaluación de la exposición de los componentes de agua potable a la amenaza de deslizamiento en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco

Se presenta los resultados de la evaluación de la exposición de los componentes del sistema de agua potable (captación, conducción, tratamiento y distribución) ante la amenaza de deslizamiento que abastece al sector de Llillohuayco en la comunidad de Pircapamba.

Para evaluar la exposición de los componentes de captación, conducción, tratamiento y distribución (tanques de almacenamiento y red principal de distribución), se utilizó el mapa de amenaza a movimientos en masa a escala nacional de la SGR (20212); mientras que, para identificar con mayor detalle la exposición de la red de distribución de agua que llega a las edificaciones expuestas o afectadas al deslizamiento se empleó el mapa de amenaza a deslizamiento elaborado a escala local (sector Llillohuayco de la comunidad Pircapamba) como resultado del primer objetivo específico.

En la tabla 18 y figura 16, se presentan los resultados de la exposición a la amenaza de deslizamientos de los componentes del sistema de agua potable evaluados en el presente estudio.

Tabla 18

Exposición a la amenaza de deslizamiento del sistema de agua de la comunidad Pircapamba, sector Llillohuayco

Componentes del sistema de agua	Nivel exposición a movimiento en masa									Total
	Alta		Mediana		Moderada		Baja			
	Long. en km ó metros	%	Long. en km ó metros	%	Long. en km ó metros	%	Long. en km ó metros	%	Long. en km ó metros	%
Tanques de captación	1,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	1,00	100,0
Línea de conducción	1249,60	60,2	0,00	0,0	824,49	39,8	0,000	0,0	2074,09	100,0
Válvula de aire	1,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	1,00	100,0
Tanques de desarenador	1,0	100,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,000	0,0	1,00	100,0
Tanque de tratamiento	1,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	1,00	100,0
Red distribución principal	2546,2	83,2	245,9	8,0	269,0	8,8	0,000	0,0	3061,11	100,0
Tanques de distribución	1,0	33,3	1,0	33,3	1,0	33,3	0,000	0,0	3,00	100,0
Tanques de almacenamiento	1,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	100,0
Tanques de rompe presión	0,0	0,0	1,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	100,0
Red de distribución secundaria	0,0	0,0	58307,28	87,68	8195,53	12,32	0,0	0,0	66502,81	100,0

Nota. Elaboración propia

Análisis

El análisis de la información muestra que la infraestructura del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba mantiene diferentes niveles de exposición frente a la amenaza de movimientos en masa, siendo más vulnerables los componentes estratégicos destinados a la captación, tratamiento y almacenamiento del agua. La totalidad de los tanques de captación, desarenadores, de tratamiento y almacenamiento, así como las válvulas de aire, se encuentran ubicados en zonas de exposición alta, lo que evidencia una condición de riesgo considerable ante posibles deslizamientos que podrían comprometer el funcionamiento del sistema.

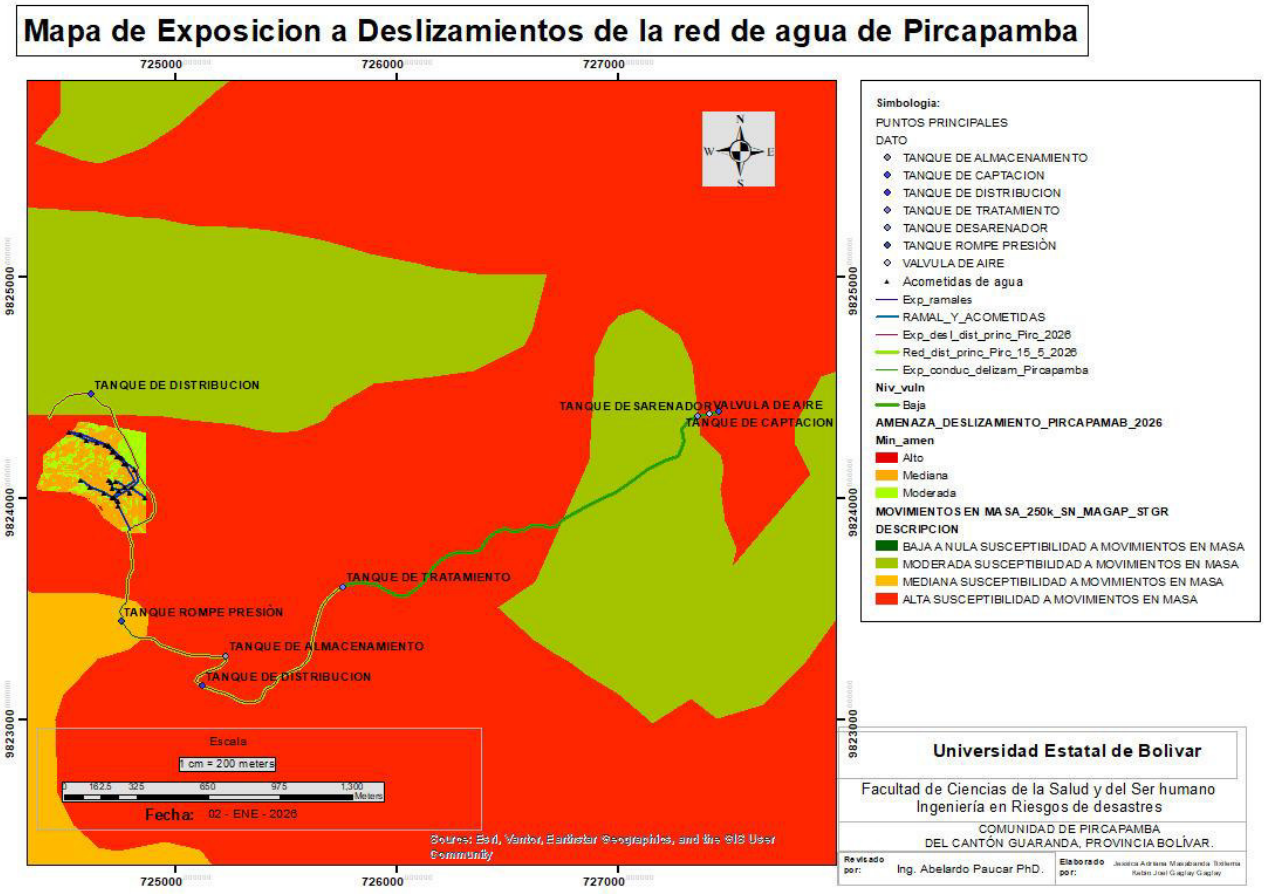
De igual manera, la red principal y la línea de conducción atraviesan en gran proporción sectores con alta susceptibilidad, situación que incrementa la posibilidad de daños estructurales y afectaciones en la distribución del servicio. Por otro lado, la red secundaria presenta una exposición predominante de nivel mediano, lo que refleja un escenario menos crítico en comparación con otros componentes, aunque no exento de posibles afectaciones. Además, los tanques de distribución se encuentran repartidos entre niveles alto, mediano y moderado, mientras que el tanque rompe presión se localiza únicamente en una zona de exposición mediana.

En términos generales, los resultados permiten comprender que el sistema de abastecimiento de agua presenta condiciones importantes de vulnerabilidad territorial, por lo que resulta indispensable fortalecer medidas de prevención, monitoreo y mantenimiento para reducir el impacto que podrían generar los procesos de remoción en masa sobre la infraestructura y el suministro de agua a la comunidad.

En la figura 16 se representa los componentes de captación, conducción, tratamiento y distribución (tanques de almacenamiento y red principal de distribución) que se localizan en el mapa de amenaza a movimientos en masa a escala nacional de la SGR, en tanto que, la red de distribución de agua secundaria que representa las acometidas a las viviendas está localizadas en el mapa de amenaza de deslizamiento modelado para el sector de Llillohuayco, comunidad Pircapamba.

Figura 16

Cartografía de exposición de los componentes de agua potable a la amenaza de deslizamiento en



la comunidad de Pircapamaba, sector Llillohuayco

Nota. Elaboración propia

Análisis

La representación cartográfica permite observar que la infraestructura del sistema de agua potable de Pircapamba se desarrolla, en su mayoría, sobre áreas con elevados niveles de susceptibilidad a deslizamientos. La predominancia del color rojo en el mapa evidencia que varios componentes esenciales del sistema hídrico están emplazados en terrenos donde existe una mayor probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

Esta condición podría generar afectaciones directas en tuberías, tanques y demás estructuras que forman parte de la red, especialmente durante temporadas de fuertes precipitaciones o procesos de degradación del suelo. Aunque también se identifican sectores con susceptibilidad media y moderada, estas áreas ocupan una menor proporción dentro del territorio analizado.

Por tanto, la distribución espacial de la amenaza demuestra que el sistema de abastecimiento mantiene un nivel considerable de exposición, lo que podría comprometer tanto la continuidad del servicio como la seguridad de la infraestructura. En consecuencia, el mapa aporta información relevante para priorizar intervenciones preventivas, fortalecer el monitoreo técnico y orientar medidas de reducción del riesgo en los sectores más críticos de la comunidad.

4.3 Resultados del Objetivo 3: Proponer medidas de reducción de la vulnerabilidad y exposición de los componentes del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento de la comunidad de Pircapamba.

Estas propuestas surgen a partir de los resultados obtenidos en los análisis de los objetivos 1 y 2, los cuales permitieron identificar tanto los componentes más críticos como las zonas con mayor nivel amenaza, vulnerabilidad y exposición del sistema de agua potable. A partir de este análisis, se definen acciones enfocadas principalmente en los elementos más expuestos, como la captación y la línea de conducción, así como, en aquellos que presentan mayores niveles de vulnerabilidad, especialmente las tuberías antiguas de asbesto cemento y politubo. De igual manera, se consideran otros componentes que, pese a encontrarse en condiciones más favorables, presentan debilidades en su gestión, como la falta de aplicación de estudios técnicos.

Por ello, las medidas propuestas se estructuran en una matriz que contempla aspectos fundamentales para su implementación, tales como el tipo de medida, su descripción, los responsables de su ejecución, el tiempo estimado de implementación, los recursos requeridos y los indicadores de cumplimiento. Esta herramienta permite organizar de manera sistemática las acciones planteadas, facilitando su ejecución, monitoreo y evaluación por parte de la Junta Administradora de Agua Potable de Vinchoa, con el apoyo del GAD Municipal del cantón Guaranda y de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR).

Tabla 19

Medidas de reducción de la vulnerabilidad y exposición ante deslizamientos para el sistema de agua potable del sector Llillohuayco, comunidad Pircapamba.

Condición actual de la variable	Medidas a implementar	Tipo de Medida	Descripción de la Medida	Relación con resultados del mapa	Responsables	Tiempo de Ejecución	Recursos Necesarios	Indicador de Cumplimiento
Alta susceptibilidad por pendiente >60 %, erosión y movimientos en masa.	Protección de la captación en zonas críticas	Estructural	Implementar obras de protección, como muros de contención y drenaje, para reducir el impacto de deslizamientos	Captación localizada en áreas de susceptibilidad alta y muy alta, según el mapa de susceptibilidad	GAD / Junta de Agua Vinchoa	Corto plazo	Materiales, maquinaria	Número de obras ejecutadas

Alta exposición por terreno irregular y pendientes pronunciadas.	Estabilización de taludes en la línea de conducción	Estructural	Mejorar la estabilidad de los taludes mediante obras de contención y revegetación	Tramos ubicados en áreas con pendientes elevadas y alta susceptibilidad, según los mapas de pendiente y susceptibilidad	GAD / SNGR	Mediano plazo	Estudios técnicos, maquinaria	Taludes intervenidos
Alta vulnerabilidad por tuberías de asbesto-cemento envejecidas.	Sustitución de tuberías de asbesto cemento	Correctiva	Reemplazar progresivamente las tuberías antiguas por materiales más seguros y resistentes	Sectores en áreas de susceptibilidad media a alta, con mayor probabilidad de afectación	GAD / Junta de Agua de Vinchoa	Mediano plazo	Materiales, mano de obra	Porcentaje de tubería reemplazada

Alta vulnerabilidad: tubería de polietileno expuesta a riesgo de colapso por cargas del terreno.	Mejoramiento de tuberías de polietileno además de colocar válvulas de arete en algunos sectores	Correctiva	Reforzar o sustituir tramos deteriorados para disminuir el riesgo de fallas	Tramos localizados en áreas de susceptibilidad media y alta, según el mapa final	GAD	Mediano plazo	Materiales, herramientas	Longitud intervenida
Red con exposición variable (alta, media y moderada) por heterogeneidad del terreno.	Refuerzo de la red en zonas críticas	Estructural	Fortalecer los tramos más expuestos mediante anclajes y elementos de protección	Sectores de la red en áreas de susceptibilidad alta y muy alta	GAD cantón Guaranda	Mediano plazo	Materiales, personal técnico	Tramos reforzados
Exposición media-moderada por planicies y pendientes con posible saturación del suelo.	Construcción de drenajes en sectores vulnerables	Preventiva	Implementar drenajes para evitar acumulación de agua y mejorar la estabilidad del suelo	Áreas con alta humedad, identificadas en el mapa de TWI y asociadas a susceptibilidad media a alta	GAD cantón Guaranda / Comunidad	Corto plazo	Materiales, mano de obra	Metros de drenaje construidos

	Sectorización de la red de distribución	Operativa	Dividir la red para mejorar el control y reducir el impacto de fallas	Aplicado en sectores con mayor exposición, identificados en el mapa de susceptibilidad	GAD cantón Guaranda	Mediano plazo	Equipos, válvulas	Sectores implementados
Exposición a deslizamientos por saturación del suelo y socavamiento.	Aplicación de estudios geotécnicos	Preventiva	Incorporar estudios de suelo en el diseño y ejecución de obras	Zonas con materiales inestables y alta susceptibilidad, según los mapas de litología y susceptibilidad	GAD cantón Guaranda / Consultores	Corto plazo	Personal técnico	Proyectos con estudios aplicados

	Incorporación de medidas de reducción de riesgos	Gestión	Integrar acciones preventivas en la planificación del sistema de agua potable	Enfocado en áreas de susceptibilidad media, alta y muy alta, según el mapa final	GAD cantón Guaranda / Junta de Agua Vinchoa	Mediano plazo	Planificación técnica	Medidas implementadas
Sistema de agua con exposición variable y diseño no técnico, sin obras de control ni proyección poblacional.	Monitoreo en zonas de mayor exposición	Preventiva	Realizar inspecciones periódicas para detectar fallas y prevenir daños	Áreas de susceptibilidad alta y muy alta	Junta de Agua Vinchoa	Corto plazo	Personal, fichas técnicas	Número de inspecciones
	Mantenimiento enfocado en zonas críticas	Operativa	Priorizar el mantenimiento en los sectores más vulnerables	Sectores con susceptibilidad media a muy alta, según el mapa de susceptibilidad	Junta de Agua Vinchoa	Permanente	Herramientas, personal	Frecuencia de mantenimiento

Sistema de agua potable antiguo, sin normativa ni proyección poblacional, vulnerable a deslizamientos.	Elaboración de un plan de contingencia	Gestión	Definir acciones para responder ante emergencias por deslizamientos	Considerando escenarios en áreas de alta y muy alta susceptibilidad	Junta de Agua Vinchoa / GAD cantón Guaranda	Corto plazo	Asesoría técnica	Plan aprobado
	Capacitación a la comunidad	No estructural	Fortalecer capacidades en prevención y respuesta ante riesgos	Dirigido a población en áreas de susceptibilidad media a muy alta	SNGR / GAD cantón Guaranda	Corto plazo	Material didáctico	Número de capacitaciones

Nota. Elaboración propia.

4.4 Discusión de resultados

El análisis realizado permitió identificar que la mayor parte del territorio de la comunidad de Pircapamba se concentra en categorías de susceptibilidad media y moderada frente a la amenaza de deslizamientos, mientras que las áreas clasificadas con susceptibilidad alta ocupan una extensión reducida dentro de la zona de estudio. Al respecto, Rahman et al. (2022) señalan que la combinación de variables físicas y ambientales influye directamente en la estabilidad de las laderas, incrementando la probabilidad de deslizamientos en zonas montañosas.

Por otro lado, la inexistencia de áreas con susceptibilidad muy alta o muy baja refleja una distribución relativamente homogénea de las condiciones que favorecen la ocurrencia de deslizamientos. Este comportamiento coincide con lo señalado por Zambrano et al. (2025), quienes indican que en muchas comunidades rurales andinas predominan niveles intermedios de susceptibilidad debido a la influencia conjunta de factores naturales y actividades humanas que modifican progresivamente el entorno.

Los resultados muestran que los componentes de captación, conducción y planta de tratamiento presentan bajos niveles de vulnerabilidad, lo que indica que, en términos generales, mantienen condiciones físicas y operativas favorables. Sin embargo, varios de estos elementos se encuentran ubicados en sectores con una exposición considerable a la amenaza de deslizamientos. Un resultado similar fue reportado por Moscoso et al. (2021), quienes identificaron que determinados componentes del sistema de agua potable Culebrillas presentaban baja vulnerabilidad física, pero permanecían expuestos a movimientos en masa.

En contraste, la red principal y especialmente la red secundaria de distribución registraron niveles de vulnerabilidad que varían entre media y alta, cuya condición podría estar relacionada con aspectos como la antigüedad de ciertos tramos, el material utilizado en las

tuberías y la extensión de la red dentro del área de estudio. Según Di Nardo et al. (2023), los sistemas de distribución suelen ser los componentes más sensibles de los sistemas de abastecimiento de agua debido a que se encuentran dispersos en amplias áreas y están sometidos de forma permanente a las condiciones del entorno.

Asimismo, la investigación permitió evidenciar que existe una relación entre la amenaza por deslizamientos y la exposición de los componentes del sistema de agua potable, lo que respalda la hipótesis planteada inicialmente. Esta relación resulta coherente con lo expuesto por Borzì (2023), quien sostiene que las infraestructuras de abastecimiento de agua incrementan su nivel de riesgo cuando se encuentran emplazadas en zonas sujetas a amenazas geológicas. En este sentido, la ubicación de varios componentes dentro de sectores susceptibles a deslizamientos incrementa la probabilidad de sufrir daños o interrupciones en el servicio, independientemente de que su condición estructural sea adecuada.

Las medidas planteadas en esta investigación responden a las condiciones identificadas durante el análisis de la amenaza, vulnerabilidad y exposición de los diferentes componentes del sistema de agua potable. En este contexto, la Secretaría de Gestión de Riesgos del Ecuador (2024) destaca que la evaluación de riesgos constituye un elemento fundamental para la formulación de estrategias que permitan fortalecer la resiliencia de los servicios básicos frente a eventos naturales. Bajo esta perspectiva, las propuestas desarrolladas buscan contribuir a la protección de la infraestructura y a la continuidad del abastecimiento de agua para la población de Pircapamba.

De igual manera, las acciones relacionadas con el mantenimiento preventivo, la vigilancia de zonas críticas, la estabilización de áreas susceptibles y el fortalecimiento de la participación comunitaria adquieren una relevancia especial debido a la importancia que tiene el

sistema de agua potable para el bienestar de la población. Grasham et al. (2022) señala que los deslizamientos asociados a eventos de precipitación constituyen una de las principales amenazas para las infraestructuras críticas ubicadas en regiones montañosas, por lo que las medidas de mitigación deben orientarse no solo a reducir los daños potenciales, sino también a incrementar la capacidad de adaptación de las comunidades.

4.5 Comprobación de la hipótesis

La hipótesis del estudio se contrastó mediante el análisis de consistencia espacial entre el mapa de susceptibilidad a deslizamientos y la ubicación de los componentes del sistema de agua potable en la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante operaciones de superposición (overlay).

Este análisis permitió relacionar las zonas clasificadas con susceptibilidad media y moderada con la localización de los componentes del sistema, incluyendo captación, conducción, planta de tratamiento y redes de distribución, evidenciando la existencia de correspondencia espacial entre la amenaza identificada y la infraestructura evaluada.

Los resultados muestran que los componentes del sistema de agua potable se encuentran influenciados por las condiciones geomorfológicas del área, previamente identificadas en el modelo de susceptibilidad, lo que respalda la relación planteada en la hipótesis de investigación.

En consecuencia, a partir de la evidencia obtenida mediante el análisis espacial, se determina que la hipótesis planteada en el estudio se acepta.

Cabe destacar que, en la investigación no se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales, debido a que las variables analizadas corresponden a información de carácter espacial y semicuantitativo, derivada de modelos de susceptibilidad y matrices de evaluación. En este sentido, el análisis se basó en técnicas SIG, mediante superposición espacial (overlay) y criterios de consistencia geográfica, los cuales son adecuados para estudios de amenaza, vulnerabilidad y exposición.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La elaboración del mapa de susceptibilidad y amenaza por deslizamientos permitió representar espacialmente las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia del evento dentro de la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco, para lo cual se integraron y correlacionaron factores condicionantes (humedad, geología, pendiente, uso de suelo y cobertura vegetal) y detonantes (sismicidad y precipitación), se evidenció que gran parte del territorio de la zona de estudio presenta niveles de susceptibilidad de nivel mediana y moderada a la que estaría expuesta el sistema de agua potable, principalmente, la red de distribución secundaria que son acometidas a las viviendas del sector de Llillohuayco .

En relación con la vulnerabilidad y exposición de la infraestructura del sistema de agua potable, se determinó que el tanque de captación, la red de conducción y la planta de tratamiento presentan bajos niveles de vulnerabilidad, aunque se encuentran expuestos en gran medida a la amenaza por deslizamientos. Asimismo, la red de distribución principal y los tanques de almacenamiento evidencian una vulnerabilidad media, ubicándose gran parte de estos componentes en zonas de alta exposición, por otro lado, la red de distribución secundaria muestra niveles de vulnerabilidad baja, media y alta, los cuales dependen principalmente del material y la antigüedad de las tuberías, además de presentar una exposición predominantemente mediana y moderada frente a los deslizamientos.

Con base en el análisis realizado, se plantearon varias medidas destinadas a reducir la vulnerabilidad y exposición ante la amenaza de deslizamiento para los componentes el sistema de

agua potable para la comunidad de Pircapamba, sector Llillohuayco; entre las principales acciones propuestas se incluyen: la mejora de los sistemas de drenaje, la estabilización de taludes en sectores críticos, el mantenimiento periódico de tuberías y estructuras, así como, el monitoreo permanente de las zonas más vulnerables, además, se destacó la importancia de fortalecer las actividades preventivas y la capacidad de respuesta ante posibles emergencias, con el propósito de disminuir el nivel de riesgo existente.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que la cartografía de susceptibilidad y amenaza por deslizamientos elaborada en esta investigación sea utilizada como insumo técnico para la planificación y gestión territorial de la comunidad de Pircapamba. Su aplicación permitirá identificar las zonas con mayor nivel de amenaza y apoyar la toma de decisiones relacionadas con el uso y ocupación del suelo.

Se debe enfocar mayores esfuerzos en la protección de los componentes del sistema de agua potable que se encuentran emplazados en sectores con niveles elevados de exposición a deslizamientos; para ello, es recomendable desarrollar programas continuos de evaluación y mantenimiento de la infraestructura, especialmente en las líneas de conducción, distribución y estructuras de captación y almacenamiento, de manera que se puedan prevenir daños que afecten el funcionamiento normal del sistema y el suministro de agua hacia la población.

Es importante promover la aplicación de medidas preventivas y correctivas destinadas a disminuir la vulnerabilidad de la infraestructura hídrica frente a procesos de remoción en masa. Entre las acciones prioritarias se incluyen el control de escorrentías mediante sistemas de drenaje, la intervención de taludes inestables y la vigilancia permanente de las zonas identificadas como críticas en el estudio, asimismo, se debe fortalecer la participación comunitaria mediante actividades de capacitación y sensibilización orientadas a mejorar la preparación y respuesta de la población ante posibles emergencias relacionadas con deslizamientos.

BIBLIOGRAFÍA

Allstadt, K. E., McBride, S. K., Godt, J. W., Slaughter, S. L., Baxstrom, K. W., Sobieszczyk, S., y Stull, A. (2025). Preliminary field report of landslide hazards following Hurricane Helene. U.S. *Geological Survey, 1*(2). doi: https://doi.org/10.3133/ofr20251028

Alonso et al. (2024). Sustainable management of landslides in Ecuador: Leveraging geophysical surveys for effective risk reduction. *Sustainability, 16*(24). doi:https://doi.org/10.3390/su162410797

Borzì, I. (2023). Vulnerability assessment of water supply infrastructures through multiple indicator methodology. *Journal of Water & Climate Change, 14*(11), 3967–3984. doi:https://doi.org/10.2166/wcc.2023.148

Comisión Económica para América Latina y el Caribe . (08 de Febrero de 2025). *Aumentan los desastres naturales en Amperica Latina* . Obtenido de https://es.statista.com/grafico/34024/numero-de-desastres-naturales-en-america-latina/

CONALI . (21 de junio de 2023). Divisipon de parroquias del cantón Guaranda. Quito, Ecuador.

Corominas, J., van Westen, C. J., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J. P., & Fotopoulou, S. (2024). (2024). Landslide susceptibility and hazard assessment: Advances in semi-quantitative and quantitative methods. *Engineering Geology*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795224000607?via%3Dihub

Dahal, H., Huser, R. y Lombardo, L. (2024). *At the junction between deep learning and statistics of extremes: Formalizing the landslide hazard definition [Preprint]. arXiv.* Obtenido de https://arxiv.org/abs/2401.14210

Di Nardo, A., Di Natale, M., Santonastaso, G. F., & Tzatchkov, V. G. (2023). Vulnerability assessment of water supply infrastructures through multiple indicator methodology. Water, 15(18), 3298. https://doi.org/10.3390/w15183298

Ehlert, A. (2025). *The Lasting Effects of Overgrazing on Rangeland Ecosystems.* Obtenido de https://extension.sdstate.edu/lasting-effects-overgrazing-rangeland-ecosystems

Engelenburg, J., van Slobbe, E., Teuling, A. J., Uijlenhoet, R. y Hellegers, P. (2021). Sustainability characteristics of drinking water supply in the Netherlands. *Drinking Water Engineering and Science, 14*, 1–43. doi:https://doi.org/10.5194/dwes-14-1-2021

Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. (2026). *IFRC*. Obtenido de https://www.ifrc.org/es/nuestro-trabajo/desastres-clima-y-crisis/que-es-desastre/deslizamiento-tierras

Flores, I., Nápoles, N., Rodriguez, J. y Gonzáles, J. (2023). Efecto de la porosidad y la permeabilidad en la estabilidad de taludes bajo el efecto de la lluvia. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 44*(3). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382023000300030

GAD cantón Guaranda. (2021). Límite Urbano de Guaranda (archivos shapefile) del Plan de Uso y Gestión del Suelo -PUGS del cantón Guaranda. Guaranda, Ecuador.

García, A. y Pérez, M. (2021). mpacto de los deslizamientos de tierra en la infraestructura de agua potable en zonas rurales de América Latina. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 15*(2), 45-58. Obtenido de https://www.revista-latina.org/impacto-deslizamientos-agua-potable-rurales

Grasham et al. (2022). (Re-)orienting the concept of water risk to better understand inequities in water security. *Frontiers in Water, 4*. doi:https://doi.org/10.3389/frwa.2021.799515

Gobernación de Boyacá. (14 de Marzo de 2025). *Durante la visita, se constató un deslizamiento traslacional con caída de flujo de tierra debido a la saturación del terreno.* Obtenido de https://www.boyaca.gov.co/secretaria-de-infraestructura-publica-de-boyaca-evalua-afectaciones-por-deslizamientos-de-tierra-en-tasco/

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda. (2023). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Guaranda 2023–2027. Guaranda, Ecuador.*

Gómez y Fernández. (2020). *Reptación del suelo. En M. A. Martínez (Ed.), Física del suelo y procesos geoambientales.* ditorial Científica Multimodal.

Gomez, P., & Acquaviva, L. (2002). *Mitigacion de desastres en sistemas de agua potable y saneamiento.* Lima. Obtenido de https://iris.paho.org/server/api/core/bitstreams/69a20293-4f89-41a8-9651-ebdefc6301c2/content

González et al. (2023). Identificación espacial del riesgo por deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México. *Revista Geográfica de América Central, 70*(1). doi:http://dx.doi.org/10.15359/rgac.70-1.13

Grasham et al. (2022). (Re-)orienting the concept of water risk to better understand inequities in water security. *Frontiers in Water, 4*. doi:https://doi.org/10.3389/frwa.2021.799515

Gursoy et al. (2025). Assessing disaster vulnerability and proposing an adaptive disaster risk reduction framework. *Natural Hazards*. doi:https://doi.org/10.1007/s11069-025-07308-x

Guzzetti, F., Reichenbach, P., Rossi, M., & Malamud, B. D. (2023). *A review of landslide susceptibility modelling approaches.*

Haro. (2021). *Tipos de roca o suelo.* Primera edición.

Heraldo. (2023). *Desprendimientos de rocas en varias carreteras del Pirineo por la lluvia, que vuelve a ser intensa.* Obtenido de https://www.heraldo.es/noticias/aragon/huesca/2023/10/30/desprendimientos-rocas-varias-carreteras-pirineo-lluvia-vuelve-intensa-1687618.html

Hernández, I., Aceves, J. y Legorreta, G. (2023). Inventario de caídas de rocas, análisis estadístico y mapeo geomorfológico de la Localidad Área Nueva en la porción NE de la Sierra de Guadalupe, Estado de México. *Investigaciones geográficas, 110*(1). doi:https://doi.org/10.14350/rig.60677

Heumer et al.,. (2024). Water supply security risk management instruments in a piped drinking water system. *Water, 16*(13). doi:https://doi.org/10.3390/w16131814

Hidalgo y Vega. (2021). Probabilistic landslide risk assessment in water supply basins: La Liboriana River Basin (Salgar-Colombia). *Natural Hazards, 109*(1), 273–301. doi:https://doi.org/10.1007/s11069-021-04836-0

Hidalgo y Vega. (2021). Probabilistic landslide risk assessment in water supply basins: La Liboriana River Basin (Salgar–Colombia). *Natural Hazards, 109*(1), 273–301. doi:https://doi.org/10.1007/s11069-021-04836-0

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2022). *Reporte de evaluación sobre los flujos de lodos.* Obtenido de https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/729-reporte-de-evaluaci%C3%B3n-sobre-los-flujos-de-lodo-ocurridos-el-01-de-diciembre-de-2012

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (Febrero de 2023). *Las obras de mitigación frente a lahares primarios del volcán Cotopaxi, antecedentes y perspectivas.* Obtenido de https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/2017-las-obras-de-mitigacion-frente-a-lahares-primarios-del-cotopaxi-antecedentes-y-perspectivas

Javed et al. (2025). Leak management in water distribution networks through deep reinforcement learning: A review. *Water, 17*(13). doi:https://doi.org/10.3390/w17131928

Kekes et al. (2023). Drinking and natural mineral water: Treatment and quality–safety assurance. *Water, 15*(13). doi:https://doi.org/10.3390/w17131928

Macías et al. (2023). Characterization and geophysical evaluation of the recent 2023 Alausí landslide in the northern Andes of Ecuador. *Landslides*, 529–540. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-023-02185-6

Ministerio de Energías y Minas de Perú. (Marzo de 2023). *Evaluación del Peligro geológico por deslizamiento en el caserío San Juan de Dios.* Obtenido de . Vista panorámica del deslizamiento, se puede apreciar la carretera destruida por el movimiento (líneas azul discontinua) y la nueva carretera (línea anaranjada discontinua): https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/16103_informe-tecnico-n0-a7365-evaluacion-de-peligros-geologicos-por-deslizamiento-en-el-caserio-distrito-san-jose-de-lourdes-provincia-san-ignacio-departam.pdf

Moragues et al. (2021). Caracterización y reconstrucción del deslizamiento Agassiz mediante el uso de datos geoespaciales. Patagonia Austral, Argentina. *Andean geology, 48*(3). doi:http://dx.doi.org/10.5027/andgeov48n3-3350

Moreno, L. (2022). Identificación de tipos de deslizamientos en la zona de acantilados entre Ancón y Anconcito, Santa Elena, Ecuador. *Manglar, 19*(3). doi:http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2022.031

Moscoso, G., Paucar, J., & Solano , J. (2021). Vulnerabilidad física y exposición a la amenaza de movimientos de masas de los Sistemas de Agua Potable Culebrillas de la Ciudad de Cuenca. *Ciencia Digital*. doi:https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i2.1573

Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios . (2025). *Ecuador: Flooding and oil spill in Esmeraldas province.* Obtenido de https://www.acaps.org/fileadmin/Data_Product/Main_media/20250414_ACAPS_Briefinf_note_Ecuador_flooding.pdf

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNDRR]. (2017). *Cuadro de indicadores de resiliencia ante desastres para ciudades.* Obtenido de https://mcr2030.undrr.org/disaster-resilience-scorecard-cities?utm_source=chatgpt.com

Ortiz et al. (2023). An integral assessment of landslide dams generated by the occurrence of rainfall-induced landslide and debris flow hazard chain. *Frontiers in Earth Science, 11*(1). doi:https://doi.org/10.3389/feart.2023.1157881

Paucar, A., Vallejo, M. y Villacís, L. (2025). Vulnerabilidad de edificaciones y socioeconómica de familias ante deslizamiento a escala local. Caso comunidad Pircapamba, cantón Guaranda, Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI, 18*(48), 91 - 107. Obtenido de Revista Ciencia UNEMI: https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/2216/2016

Paucar, J. (2016). *Modelo para la articulación de la gestión del riesgo en el proceso de ordenamiento territorial de la ciudad de Guaranda / Ecuador.* Obtenido de [Tesis doctoral, Universitat de València]. RODERIC – Universitat de València: https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=119195&utm_source=chatgpt.com

Plan Ahead for Disasters. (04 de Julio de 2025). *Deslizamientos de tierra y avalanchas de escombros.* Obtenido de https://www.ready.gov/es/deslizamientos-de-tierra-y-avalanchas

Rahman, G., Zhang, Y., Chen, X., & colaboradores. (2022). Landslide susceptibility mapping using machine learning approaches and environmental conditioning factors in mountainous regions. Frontiers in Earth Science, 10, 953627. https://doi.org/10.3389/feart.2022.953627

Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2023). review of statistically based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*. doi:https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104401

Romero, C. (2022). Manejo privado y público de los sistemas de abastecimiento urbano de agua y saneamiento: De la privatización a la remunicipalización. *Ingeniería y competitividad, 24*(1). doi:https://doi.org/10.25100/iyc.24i1.11042

Salehi, M. (2022). Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International, 158*. doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106936

Santacruz, G. y Alzate, B. (2025). *Caracterización del escenario de riesgo del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Trujillo, Valle del Cauca.* Obtenido de Tesis de pregrado. Universidad Libre Seccional Pereira:

https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/31646/SANTACRUZ%20EDUARDO%20JOSE%20%28Junio%2020%20de%202025%29.pdf?isAllowed=y&sequence=2

Sapountzaki. (2022). Risk mitigation, vulnerability management, and resilience under disasters. *Sustainability, 14*(6). doi:https://doi.org/10.3390/su14063589

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2024). *Reporte de deslizamientos a escala nacional* .

Shano, L., Raghuvanshi, T. K. y Meten, M. (2020). Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques – a review. *Geoenvironmental Disasters, 7*(18). doi:https://doi.org/10.1186/s40677-020-00152-0

Solís, B. y Serebrisky, T. (2022). *Bajo presión: Efectos, impactos y adaptación al cambio climático en operadores de agua de América Latina y el Caribe.* Obtenido de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Bajo-presion-efectos-impactos-y-adaptacion-al-cambio-climatico-en-operadores-de-agua-de-America-Latina-y-el-Caribe.pdf

Van Westen, C. J., & Castellanos, E. (2024). Quantitative landslide hazard and risk assessment using GIS-based modeling approaches. Engineering Geology.

Weisser y Sinisi. (2021). *Guidance on water supply and sanitation in extreme weather and climate conditions. UNECE / WHO.* Obtenido de https://unece.org/sites/default/files/2021-01/WHOGuidanceFVLR.pdf

Zambrano, J., Cárdenas, M., & colaboradores. (2025). Evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos mediante factores condicionantes y detonantes en zonas andinas del Ecuador. Revista Científica CzamBos, 4(1), 45-62.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de observación y entrevista para trabajo de campo para evaluación de la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba, sector Llilohuayco

Ficha de criterios para la ponderación de la vulnerabilidad física de los componentes del sistema de agua potable Pircapamba

Componente	Indicadores	Escala cualitativa	Valor indicador	Peso ponderación	Valor máximo
Captación	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó			
		Se realizó estudios pero no se aplicó			
		No se realizó estudios			
	Material de construcción	Hormigón			
		Asbesto cemento			
		Mampostería de piedra y/o de ladrillo			
	Antigüedad	0 a 25 años			
		25 a 50 años			
		> de 50 años			
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna			
		Norma IEOS			
		Norma MIDUVI o local			
	Mantenimiento	Planificado			
		Esporádico			
		Ninguno			
	Estado actual	Bueno			
		Regular			
		Malo			
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta			
		Se planifica pero no se ejecuta			
		No se planifica ni ejecuta			
Conducción	Estudios técnicos para estabilidad del terreno	Se realizó estudios y aplicó			
		Se realizó estudios pero no se aplicó			
		No se realizó estudios			
	Material de construcción (tubería)	PVC			
		Hierro Dúctil (HD)			
		Asbesto o cemento			
	Antigüedad	0 a 25 años			
		25 a 50 años			
		> de 50 años			
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna			
		Norma IEOS			

		Norma MIDUVI o local			
	Mantenimiento	Planificado			
		Esporádico			
		Ninguno			
	Estado actual	Bueno			
		Regular			
		Malo			
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta			
		Se planifica pero no se ejecuta			
		No se planifica ni ejecuta			
Tratamiento	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó			
		Se realizó estudios pero no se aplicó			
		No se realizó estudios			
	Material de construcción	Planta de hormigón			
		Planta de asbesto cemento			
		Planta de mampostería de ladrillo			
		Planta prefabricado			
		Planta metálica			
		Planta DAFFI: Acero Inoxidable-Aceros y hormigón			
	Antigüedad	0 a 25 años			
		25 a 40 años			
		> de 40 años			
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna			
		Norma IEOS			
		Norma MIDUVI o local			
	Mantenimiento	Planificado			
		Esporádico			
		Ninguno			
	Estado actual	Bueno			
		Regular			
		Malo			
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta			
		Se planifica pero no se ejecuta			
		No se planifica ni ejecuta			
Tanques de distribución	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó			
		Se realizó estudios pero no se aplicó			
		No se realizó estudios			
	Material de construcción	Hormigón Armado			
		Ferro cemento			
		Mampostería de ladrillo			

		Mampostería de piedra			
	Antigüedad	0 a 25 años			
		25 a 40 años			
		> de 40 años			
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna			
		Norma IEOS			
		Norma MIDUVI o local			
	Mantenimiento	Planificado			
		Esporádico			
		Ninguno			
	Estado actual	Bueno			
		Regular			
		Malo			
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta			
		Se planifica pero no se ejecuta			
		No se planifica ni ejecuta			
Red de distribución	Estudios técnicos para estabilidad del terreno	Se realizó estudios y aplicó			
		Se realizó estudios pero no se aplicó			
		No se realizó estudios			
	Material de construcción (tubería)	PVC			
		PVC-TOM			
		Hierro Dúctil (HD)			
		Politubo			
		Asbesto o cemento			
	Antigüedad	0 a 25 años			
		25 a 40 años			
		> de 40 años			
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna			
		Norma IEOS			
		Norma MIDUVI o local			
	Mantenimiento	Planificado			
		Esporádico			
		Ninguno			
	Estado actual	Bueno			
		Regular			
		Malo			
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta			
		Se planifica pero no se ejecuta			
		No se planifica ni ejecuta			
	Índice de vulnerabilidad				

Anexo 2. Memoría fotográfico del trabajo de campo para evaluación de la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba, sector Llilohuayco

Foto 1: Captación (fecha: 05 de febrero de 2026)





Foto 2: Conducción (fecha: 05 de febrero de 2026)





Foto 3: Tratamiento (fecha: 05 de febrero de 2026)





Foto 4: Almacenamiento (fecha: 05 de febrero de 2026)







Foto 5: Distribución (fecha: 05 de febrero de 2026)





Anexo 3. Solicitud a Presidente de la Junta Administradora de Agua Potable de Vinchoa para información y trabajo de campo para evaluación de la vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable de la comunidad de Pircapamba sector Llilluhuayco.

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLIVAR — CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGO DE DESASTRES — FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO

MEMORANDO No. 037 -2025-PIRD-UEB

Para: Sr. Wilmer Pilamunga
PRESIDENTE DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE REGIONAL VINCHOA

De: Ing. José Abelardo Paucar Camacho, PhD.
PROFESOR CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS EN DESASTRES – IRD/UEB

Fecha: 11 de diciembre del 2025

ASUNTO: Permiso para información para trabajo de titulación "Análisis de vulnerabilidad exposición del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento en la comunidad de Pircapamba del cantón Guaranda, provincia Bolívar"

Señor Presidente:

Luego de expresarle un cordial saludo, por medio de presente nos permitimos informar que, debido a la importancia de proteger las infraestructuras esenciales como los sistemas de agua potable ante las afectaciones de posibles desastres; por tal razón, nos entramos realizando el trabajo de titulación denominado "Análisis de vulnerabilidad exposición del sistema de agua potable ante la amenaza de deslizamiento en la comunidad de Pircapamba del cantón Guaranda, provincia Bolívar", elaborado por los estudiantes: Sr. Kebin Gaglay Gaglay y Srta. Jessica Masabanda Tixilema, bajo la dirección del profesor Dr. Abelardo Paucar, de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, por tal motivo, solicitamos comedidamente autorice lo siguiente:

1. Facilite una copia en formato digital e impreso, así como, formatos shapefile o AutoCAD de los planos de localización georeferenciados sobre los componentes: captación, línea de conducción, planta de tratamiento y red de distribución del sistema de agua potable que abastece a la comunidad de Pircapamba.
2. Autorice a un técnico u operador del sistema de agua potable de la regional Vinchoa para realizar la entrevista y recorrido de campo para la toma de información de las condiciones de la infraestructura de los componentes: captación, línea de conducción, planta de tratamiento y red de distribución del sistema de agua potable que abastece a la comunidad de Pircapamba

Cabe mencionar que, la investigación solo tiene interés académico y tiene por objeto identificar posibles afectaciones y disponer de datos técnicos necesarios para evaluar las condiciones de vulnerabilidad ante posibles deslizamientos y plantear medidas de reducción para proteger el sistema de agua potable; además, los resultados del trabajo de investigación serán entregados a su persona como presidente de la Regional Vinchoa para el uso que consideren necesario.

Agradecemos de antemano su atención y quedo a la espera de su aprobación.

Atentamente,

Ing. José Abelardo Paucar, PhD.
Profesor, IRD-UEB
Universidad Estatal de Bolívar
c.c. Archivo

Sr. Kebin Gaglay
Estudiante, IRD-UEB

Srta. Jessica Masabanda
Estudiante, IRD-UEB

11-12-2025
a las 12:26

Dirección: Av. Ernesto Che Guevara y Gabriel Secaira
Guaranda-Ecuador
Teléfono: (593) 3220 6059
www.ueb.edu.ec