

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Plan de Trabajo de Integración Curricular

“Evaluación de riesgo por aluviones en la Quebrada Rumipamba del barrio
San Vicente del Distrito Metropolitano de Quito”

AUTOR:

CHRISTIAN ANDRÉS BASTIDAS CASTILLO

QUITO 28, JUNIO DE 2024

Resumen

La ciudad de Quito, ubicada en una zona de alto riesgo geológico debido a su proximidad a volcanes y su irregular relieve, ha enfrentado históricamente eventos naturales adversos como sismos y precipitaciones extremas, lo que ha resultado en frecuentes derrumbes y aluviones. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el riesgo asociado a aluviones en la Quebrada Rumipamba, en el barrio San Vicente del Distrito Metropolitano de Quito. La investigación, de tipo aplicada y enfoque descriptivo, se basó en análisis documentales y el uso de técnicas cualitativas y cuantitativas, incluyendo un enfoque semicuantitativo basado en la metodología del Project Management Institute (PMI) para el análisis de riesgo. Los resultados indicaron que la Quebrada Rumipamba enfrenta amenazas naturales significativas, con una probabilidad muy alta de ocurrencia de aluviones, alta vulnerabilidad de la comunidad y las estructuras, y un impacto muy alto en caso de eventos de aluvión. Se concluyó que el riesgo total asociado a aluviones es muy alto, subrayando la necesidad de implementar medidas urgentes y estratégicas para proteger la infraestructura y la comunidad.

Palabras clave: aluvión, evaluación de riesgos, probabilidad, vulnerabilidad, impacto

Abstract

The city of Quito, located in a high geological risk zone due to its proximity to volcanoes and irregular relief, has historically faced adverse natural events such as earthquakes and extreme precipitation, resulting in frequent landslides and floods. The main objective of this study was to evaluate the risk associated with floods in Quebrada Rumipamba, in the San Vicente neighborhood of the Metropolitan District of Quito. The research, applied in nature and with a descriptive approach, was based on documentary analysis and the use of qualitative and quantitative techniques, including a semi-quantitative approach based on the Project Management Institute (PMI) methodology for risk analysis. The results indicated that Quebrada Rumipamba faces significant natural threats, with a very high probability of floods, high vulnerability of the community and structures, and a very high impact in the event of flood events. It was concluded that the total risk associated with floods is very high, emphasizing the need to implement urgent and strategic measures to protect the infrastructure and the community.

Keywords: flood, risk assessment, probability, vulnerability, impact

Contenido

1.	Introducción	1
1.1.	Justificación	1
1.2.	Planteamiento del problema	2
1.3.	Objetivo general y específicos.....	3
1.3.1.	Objetivo General.....	3
1.3.2.	Objetivos Específicos	3
1.4.	Alcance	3
2.	Fundamentación teórica	5
2.1.	Geografía y características de la Quebrada Rumipamba.....	5
2.1.1.	Ubicación y descripción geográfica	5
2.1.2.	Historia de eventos naturales en la zona.....	7
2.1.3.	Tipos de suelo y su influencia en la estabilidad del terreno	9
2.1.4.	Topografía	11
2.2.	Factores climatológicos y geológicos.....	15
2.2.1.	Clima de la región y su influencia en los aluviones	15
2.2.2.	Geología y geomorfología del área de estudio	16
2.3.	Factores hidrológicos.....	18
2.3.1.	Características y dinámica del sistema hídrico.....	18
2.3.2.	Gestión y conservación de recursos hídricos.....	19
2.4.	Factores socioeconómicos	20

2.4.1.	Densidad poblacional	20
2.4.2.	Equipamientos	21
2.4.3.	Uso de suelo	22
2.4.4.	Impacto humano en la vulnerabilidad ambiental.....	23
2.4.5.	Desarrollo sostenible y resiliencia comunitaria.....	24
2.4.6.	Estado de infraestructura urbana	24
2.5.	Factores ecológicos.....	26
2.5.1.	Biodiversidad y ecosistemas.....	26
2.5.2.	Conservación y restauración ecológica	26
2.6.	Conceptos para la gestión de riesgos ante un aluvión	27
2.6.1.	Fenómenos de movimiento en masa.....	27
2.6.2.	Quebrada.....	27
2.6.3.	Aluvión	28
2.6.4.	Factores que influyen en la generación de un aluvión.....	28
2.6.5.	Cambio climático.....	30
2.6.6.	Evaluación de riesgos	31
3.	Metodología	36
3.1.	Diseño de investigación.....	36
3.1.1.	Tipo de estudio y enfoque metodológico	36
3.1.2.	Técnicas e instrumentos.....	36
3.1.3.	Procedimiento de recolección de datos	37

3.1.4.	Análisis de datos.....	38
4.	Identificación de peligros y análisis de causas.....	41
4.1.	Análisis de las causas geográficas y geológicas que provocan aluviones.....	41
4.2.	Historial de eventos de aluviones en la Quebrada Rumipamba	43
5.	Evaluación de riesgo	47
5.1.	Evaluación de la probabilidad de ocurrencia de aluviones.....	47
5.2.	Evaluación de la vulnerabilidad de la comunidad y estructuras.....	49
5.3.	Evaluación del impacto de los aluviones.....	51
5.4.	Evaluación integrada del riesgo.....	53
5.4.1.	Pasos para la evaluación integrada del riesgo	54
5.4.2.	Aplicación en el Caso de la Quebrada Rumipamba	56
5.4.3.	Interpretación de Resultados	56
6.	Conclusiones y recomendaciones.....	58
6.1.	Conclusiones.....	58
6.2.	Recomendaciones	59
	Bibliografía.....	60

Lista de figuras

Figura 1 Ubicación geográfica de la Quebrada Rumipamba.....	5
Figura 2 Amenazas naturales en Rumipamba	7
Figura 3 Tipo de suelos en Rumipamba	10
Figura 4 Perfil topográfico del Rucu Pichincha y las Quebradas Rumipamba y Rumihurcu	11
Figura 5 Perfil topográfico del Rucu Pichincha y las Quebradas Rumipamba y Rumihurcu	12
Figura 6 Ubicación del área de estudio	12
Figura 7 Mapa de pendientes del Distrito Metropolitano de Quito.....	13
Figura 8 Paisajes geomorfológicos del Distrito Metropolitano de Quito.....	16
Figura 9 Densidad poblacional y de viviendas en el barrio San Vicente	20
Figura 10 Mapa de equipamientos y radio de influencia en la Quebrada Rumipamba.....	21
Figura 11 Mapa de uso de suelo en el barrio San Vicente	23
Figura 12 Mapa de uso de suelo en el barrio San Vicente	25
Figura 13 Mapa de amenazas naturales y movimientos en masa en el área de la Quebrada Rumipamba.....	41
Figura 14 Mapa de peligro volcánico en la zona de estudio	42
Figura 15 Aluvión en La Gasca.....	44
Figura 16 Aluvión en El Pinar.....	45
Figura 17 Aluvión en La Gasca – Comuna	46
Figura 18 Mapa de riesgo	57

Lista de tablas

Tabla 1	Historial de eventos de aluviones en la Quebrada de Rumipamba.....	43
Tabla 2	Tabla de clasificación del nivel de probabilidad de ocurrencia.....	47
Tabla 3	Tabla de probabilidad de ocurrencia de aluviones	48
Tabla 4	Tabla de clasificación del nivel de vulnerabilidad de la comunidad y estructuras	50
Tabla 5	Tabla de vulnerabilidad de la comunidad y estructuras ante aluviones	50
Tabla 6	Tabla de clasificación del nivel de impacto.....	52
Tabla 7	Tabla de impacto de los aluviones.....	52
Tabla 8	Tabla de clasificación del nivel de riesgo.....	55

1. Introducción

1.1. Justificación

El Distrito Metropolitano de Quito, situado en la zona baja del Complejo Volcánico Pichincha a 2800 msnm, se caracteriza por su topografía accidentada, que incluye micro valles, pendientes pronunciadas y quebradas, como la Quebrada Rumipamba en el barrio San Vicente. Esta área es especialmente susceptible a deslizamientos y aluviones, eventos naturales que han tenido impactos significativos en el pasado (Gobierno de la Provincia de Pichincha, 2022).

El fenómeno más recurrente y perjudicial que afectan a esta zona son los aluviones, como los que se presentaron en los años de 1975, 1983, 2019, 2022 y el último que se registró el 02 de abril del 2024; los cuales fueron perjudiciales principalmente para el sector de Gasca (Zevallos, 2001).

Esta investigación tiene como meta comprender mejor los riesgos asociados a deslizamientos y aluviones en la Quebrada Rumipamba, examinando factores como la geomorfología, la geología, las condiciones hidrológicas y las dinámicas de las masas terrestres en la zona. Este estudio se centra exclusivamente en la caracterización del riesgo en la Quebrada Rumipamba y la justificación radica en la urgencia de entender la magnitud y los factores desencadenantes de estos riesgos para fundamentar futuras investigaciones y decisiones en la gestión del territorio. La revisión histórica de eventos anteriores en esta localidad proporcionará una base para identificar patrones y factores desencadenantes de estos fenómenos.

1.2. Planteamiento del problema

La ciudad de Quito se encuentra ubicada sobre los valles occidentales que pertenecen a las dos subcordilleras de los Andes, por lo que tiene un relieve geográfico irregular debido a su cercanía a volcanes como Pululahua, Cotopaxi, Cayambe, Cotacachi y Pichincha. Debido a esta ubicación, la ciudad está sujeta a sismos provocados por la falla tectónica en la que se encuentra. Además, las precipitaciones intensas originadas por el Fenómeno del Niño durante la temporada de verano también afectan a la ciudad (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2022).

Esta zona ha experimentado diversos eventos geomorfológicos y climáticos como derrumbes, inundaciones y corrientes de lodo. Estos eventos se ven agravados por el uso inadecuado del suelo, que aumenta el riesgo de desastres. La actividad humana, especialmente la urbanización sin medidas de mitigación adecuadas, juega un papel significativo en incrementar este riesgo.

Desde octubre del 2020 hasta febrero del 2022, se han registrado aproximadamente 127 flujos de agua con sedimentos en laderas, quebradas y cauces a nivel nacional, según la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. De estos eventos, el 69% ocurrieron en la región Interandina, lo que equivale a aproximadamente 88 desastres, mientras que en la Amazonía y la Costa se registraron el 19% y el 12%, respectivamente (Borja, 2022).

El último desbordamiento registrado en la Quebrada Rumipamba ocurrió a finales de marzo de 2024, seguido de una precipitación superior a 120 milímetros por metro cuadrado durante los primeros días de abril, específicamente el 2 y 4 de abril. Este volumen de lluvia representa un incremento del 55% en comparación con los promedios históricos para ese periodo, según datos proporcionados por el Municipio de Quito (Primicias, 2024).

1.3. Objetivo general y específicos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el riesgo asociado a aluviones en la Quebrada Rumipamba, en el barrio San Vicente del Distrito Metropolitano de Quito.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las causas geográficas y geológicas que provocan aluviones en la Quebrada Rumipamba, en el barrio San Vicente, Quito.
- Determinar la probabilidad de ocurrencia de aluviones en la Quebrada Rumipamba, en el barrio San Vicente, Quito.
- Determinar la vulnerabilidad de la comunidad y estructuras en el barrio San Vicente ante los aluviones de la Quebrada Rumipamba.
- Determinar el impacto de los aluviones en la Quebrada Rumipamba, en el barrio San Vicente, Quito.

1.4. Alcance

El alcance de este estudio se enfoca en la evaluación del riesgo asociado a aluviones en la Quebrada Rumipamba, ubicada en el barrio San Vicente en Quito. Este análisis será de carácter descriptivo, basándose en la revisión bibliográfica y análisis documental de fuentes confiables, incluyendo informes de institutos nacionales y entidades especializadas. La investigación se apoyará en datos recopilados de investigaciones previas, informes, y mapas para realizar una caracterización detallada y definir el perfil de la zona de estudio.

El estudio abarcará eventos históricos hasta la actualidad, con el objetivo de entender la evolución y comportamiento de los aluviones en la quebrada. Se determinarán las causas geográficas y geológicas que inducen estos fenómenos, basándose en datos ya existentes. La investigación avanzará hacia la determinación precisa de la probabilidad, vulnerabilidad e impacto de los aluviones en la Quebrada Rumipamba, utilizando una matriz de riesgos para evaluar y cuantificar estos aspectos de manera integrada.

De esta manera, la investigación permitirá ofrecer una evaluación de riesgo completa para los aluviones en la Quebrada Rumipamba, proporcionando un entendimiento profundo del riesgo que permita una gestión y mitigación efectiva en la zona.

2. Fundamentación teórica

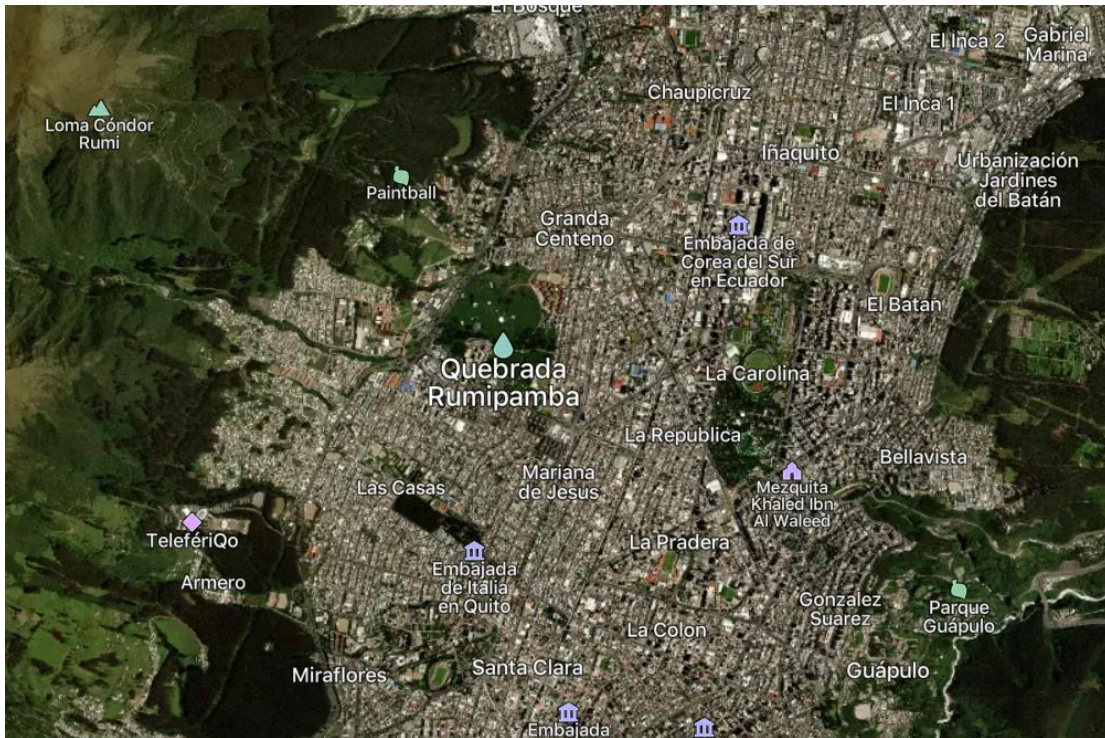
2.1. Geografía y características de la Quebrada Rumipamba

2.1.1. Ubicación y descripción geográfica

La Quebrada Rumipamba se encuentra en Quito, Ecuador, específicamente cerca de la localidad Hacienda Rumipamba y Belisario Quevado, con coordenadas geográficas aproximadas de $0^{\circ}10'53''$ S y $78^{\circ}30'1''$ W, tal como se observa en la Figura 1 (Mapbox, 2024). Con una altura media de 3824.5 msnm, calculada entre las elevaciones de la Loma El Mirador (3654 msnm) y la Loma Cóndor Rumi y Cóndor Huachana (3995 msnm), esta quebrada se extiende desde los páramos del Pichincha hasta el sector conocido como La Granja, cruzando áreas que ahora pertenecen al parque La Carolina (FONAG, 2016).

Figura 1

Ubicación geográfica de la Quebrada Rumipamba



Nota. Vista satelital de la Quebrada Rumipamba. Tomado de: Mapbox (2024).

Históricamente, la quebrada jugaba un papel esencial en abastecer agua potable a Quito, especialmente durante épocas de sequía, al mantener su flujo cuando otras fuentes menores se secaban. Este curso de agua natural estaba vinculado a la laguna de Ñaquito o Añaquito, una formación acuática de forma de luna menguante que se ubicaba en el área donde hoy se encuentra el parque La Carolina. La importancia de la quebrada como fuente de agua era crucial para mantener la laguna y sus alrededores (FONAG, 2016).

Geológicamente, la quebrada parece haber sido formada por una falla geológica y ha sido un canal importante para el desfogue de material volcánico durante las erupciones del volcán Pichincha. Los sedimentos transportados por la quebrada, principalmente ceniza y piedras volcánicas contribuyeron a la formación de un abanico laharítico que extendía desde el actual barrio La Gasca hasta aproximadamente La Y. Este fenómeno ha jugado un rol significativo en la configuración del paisaje actual de Quito (FONAG, 2016).

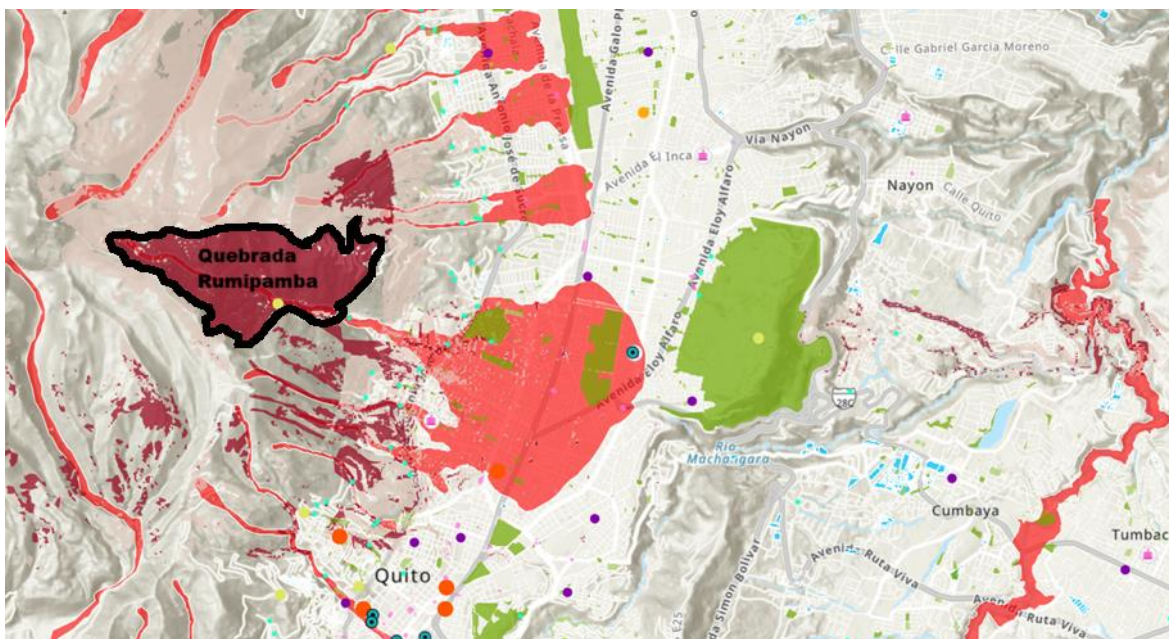
El nombre de Rumipamba, que significa "Valle de Piedras" en quechua, refleja la naturaleza rocosa predominante en el lecho y las riberas de la quebrada, resaltando la riqueza geográfica y la complejidad del área, moldeada por intensos procesos naturales que incluyen tanto aspectos hidrológicos como volcánicos (FONAG, 2016).

2.1.2. Historia de eventos naturales en la zona

La Quebrada Rumipamba, situada en el Distrito Metropolitano de Quito, ha sido escenario de diversos eventos naturales debido a su ubicación geográfica y características geológicas. Esta área enfrenta amenazas volcánicas significativas, especialmente del volcán Guagua Pichincha, que ha generado lahares secundarios en drenajes principales como los ríos Cristal-Cinto, Pichán, Mindo y Nambillo. Estos lahares pueden afectar quebradas importantes como Rumiurcu y Rumipamba, que desembocan en la cuenca de Quito (Secretaria de Hábitat y Ordenamiento Territorial, 2024).

Figura 2

Amenazas naturales en Rumipamba



Nota. Mapa de la Quebrada Rumipamba (en granate) destacando su alta susceptibilidad a lahares del volcán Guagua Pichincha (Secretaria de Hábitat y Ordenamiento Territorial, 2024).

La actividad volcánica en la región incluye la erupción histórica del Guagua Pichincha en el siglo X, con un Índice de Explosividad Volcánica (VEI) de 5. Los modelos numéricos como LaharFlow se utilizan para simular la trayectoria y deposición de estos lahares,

proporcionando información crucial para la gestión de riesgos. Las cabeceras de las quebradas Rumiurcu y Rumipamba son especialmente susceptibles a estos fenómenos, lo que implica un alto nivel de amenaza para la zona (Secretaría de Hábitat y Ordenamiento Territorial, 2024).

La Quebrada Rumipamba también es propensa a movimientos de masa debido a su litología, geomorfología y pendiente. La información generada a partir de la ponderación de estos parámetros indica niveles muy altos de susceptibilidad del terreno a deslizamientos y derrumbes. Estos movimientos de masa representan una amenaza constante, especialmente en la zona rural, donde la inestabilidad del suelo es mayor (Secretaría de Hábitat y Ordenamiento Territorial, 2023).

Dentro de su historial de eventos registra el Aluvión La Gasca (25 de febrero de 1975), que debido a intensas lluvias se erosionó severamente la quebrada de Pambachupa, Sector La Gasca, ocasionando un aluvión que alcanzó el barrio de La Mariscal. Se estiman que 52.000 m³ de sedimentos y escombros cayeron empujados por el aluvión y si se considera el agua que impulsó el aluvión, se calcula que el volumen total de carga sería superior a los 70.000 m³ (Peltre, 1989).

En los últimos años, el impacto de las lluvias extremas ha sido particularmente notorio. Por ejemplo, a finales de marzo de 2024, la zona recibió más de 120 litros de agua por metro cuadrado en tan solo dos días, un volumen que supera en un 55% el registro histórico para estas fechas. Este fenómeno resultó en un desbordamiento crítico del reservorio ubicado en la parte alta de la quebrada, según informes de la Empresa Metropolitana de Agua Potable (Epmaps). Aunque un segundo embalse de contención se mantuvo intacto y sin daños, el exceso de agua y lodo representó un riesgo significativo de deslizamientos de tierra y

aluviones, similares al devastador evento que ocurrió en el barrio La Gasca en 2022, que resultó en la muerte de 28 personas (Primicias, 2024).

La comunidad de La Primavera, situada en la parte baja de la quebrada, vive bajo constante amenaza durante estos eventos. El 2 de abril de 2024, las intensas lluvias causaron que el embalse se llenara rápidamente, generando gran alarma entre los residentes. La capacidad de la represa, suficiente para contener 60.000 metros cúbicos de agua, se puso a prueba esa noche, y aunque estructuras como muros y puentes construidos en 1998 ayudaron a contener el agua, la preocupación entre los vecinos permanece. Estos temen que un aluvión similar al de La Gasca pueda ocurrir nuevamente si las condiciones son las adecuadas (Teleamazonas, 2024).

2.1.3. Tipos de suelo y su influencia en la estabilidad del terreno

La Quebrada Rumipamba, ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito, presenta una variedad de suelos que se clasifican en urbanos y rurales. La clasificación del suelo en esta área se realiza en función de sus características actuales y su aprovechamiento, lo que determina su uso, ocupación y edificabilidad.

Figura 3

Tipo de suelos en Rumipamba



El suelo se clasifica en urbano y rural. En la zona de estudio, se encuentran suelos clasificados como rurales con subclasificación de protección ecológica, lo que implica su conservación y uso restringido principalmente a equipamiento y protección ambiental. Estos suelos, en teoría, deberían estar sujetos a normas específicas para conservar su integridad y evitar su degradación, lo cual es fundamental para la estabilidad del terreno. Sin embargo, la regulación efectiva de estas normativas puede variar.

El aprovechamiento del suelo en la Quebrada Rumipamba ha estado regulado desde la década de 1980 para asegurar su sostenibilidad. Los suelos rurales se utilizan principalmente para protección ecológica y están sujetos a restricciones de edificabilidad. Esto incluye limitaciones en la ocupación del suelo, con edificaciones aisladas y una baja densidad de construcción para minimizar el impacto ambiental y preservar el equilibrio ecológico.

2.1.4. Topografía

La topografía de la Quebrada Rumipamba es notablemente irregular, con variaciones significativas en la altitud y en la inclinación del terreno. Esta quebrada se encuentra en una zona montañosa, lo cual influye en sus características topográficas (Rissier, 1997). La Quebrada de Rumipamba tiene una extensión aproximada de 39 hectáreas, según el Instituto Metropolitano de Patrimonio.

Figura 4

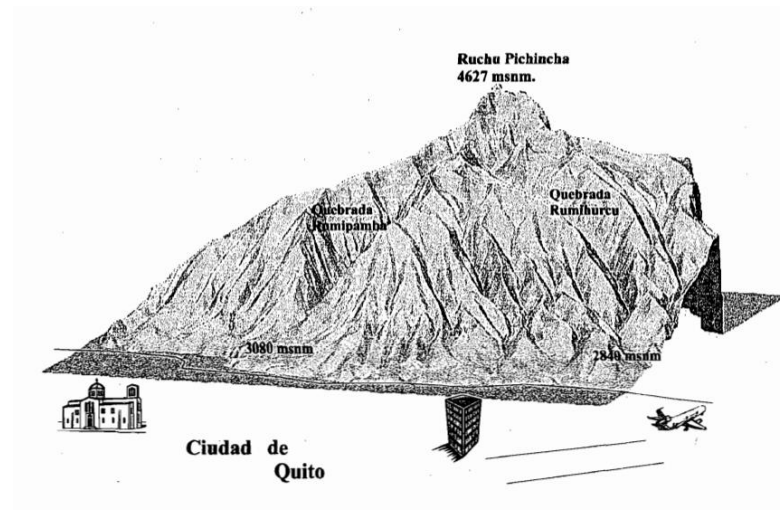
Perfil topográfico del Rucu Pichincha y las Quebradas Rumipamba y Rumihurcu



Nota. De “Estudio de los movimientos de tierras en las laderas del Pichincha”, por Rissier (1997).

Figura 5

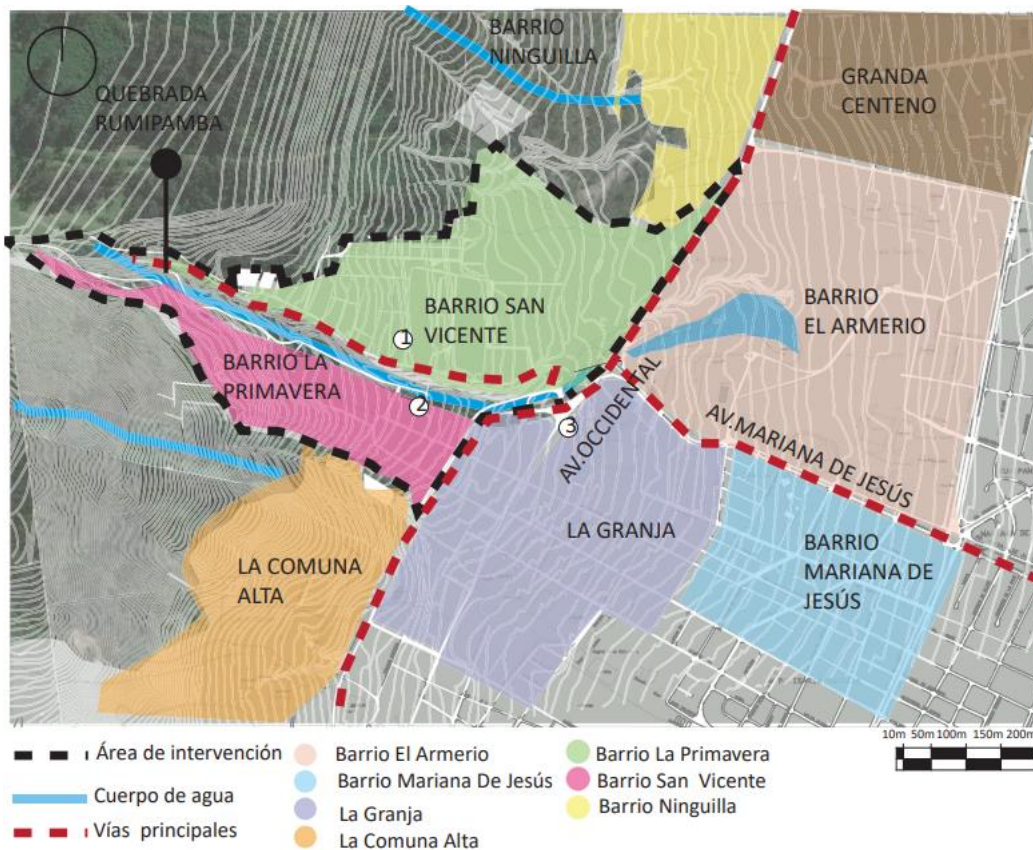
Perfil topográfico del Rucu Pichincha y las Quebradas Rumipamba y Rumihurcu



Nota. De "Estudio de los movimientos de tierras en las laderas del Pichincha", por Rissier (1997).

Figura 6

Ubicación del área de estudio

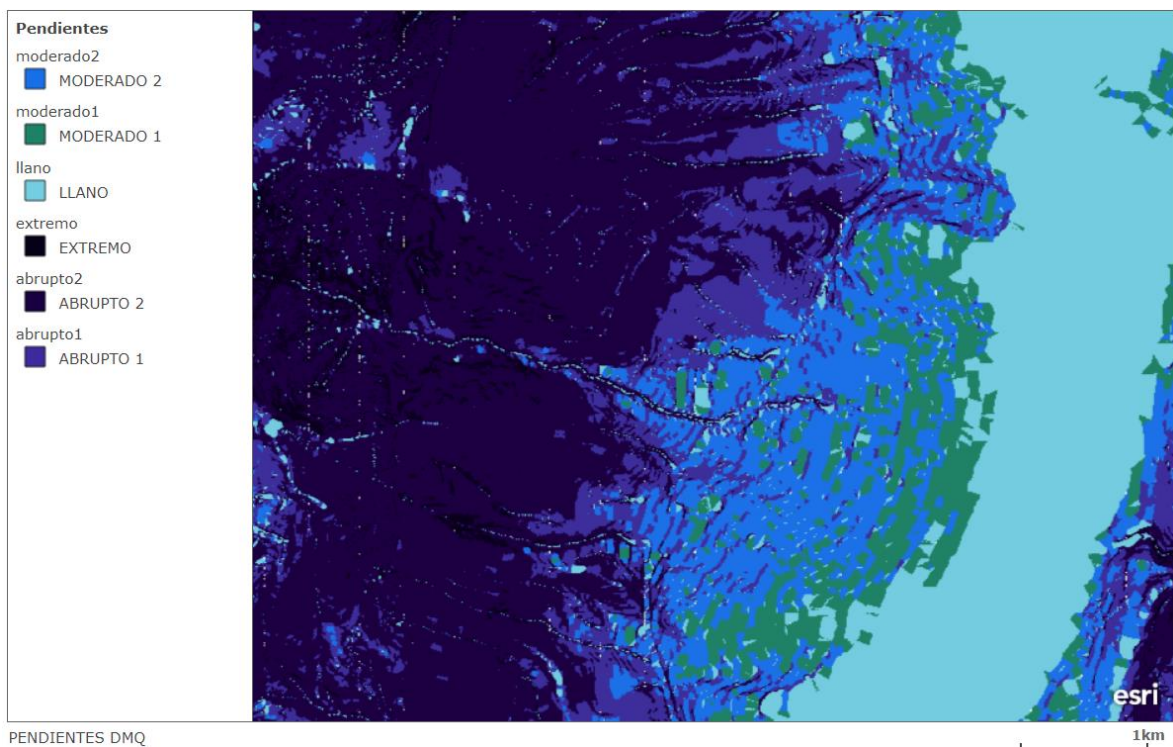


Nota. El mapa muestra la extensión de la Quebrada Rumpamba conformada por los barrios San Vicente y La Primavera. De “Recuperación del borde activo de la Quebrada Rumipamba en Quito, 2022”, por Logroño y Morocho (2022).

En las partes altas de la Quebrada Rumipamba, la topografía está dominada por pendientes muy pronunciadas, generalmente superiores a los 30 grados. Estas áreas altas presentan afloramientos rocosos y son el origen de varios deslizamientos pequeños observados en los estudios aéreos. La roca desnuda es visible en muchos de estos deslizamientos, y las pendientes fuertes contribuyen a la dinámica erosiva regresiva en estas zonas (Rissier, 1997).

Figura 7

Mapa de pendientes del Distrito Metropolitano de Quito



Nota. Este mapa muestra las diferentes categorías de pendiente en el Distrito Metropolitano de Quito. Los colores indican las pendientes desde llano hasta extremo, donde "llano" es el cian, "moderado" es el azul y "abrupto" es el morado oscuro. La categorización de pendientes es esencial para evaluar la susceptibilidad del terreno a fenómenos como deslizamientos y aluviones.

Las partes medias y bajas de la quebrada presentan una topografía menos accidentada comparada con las partes altas. Aunque las pendientes todavía pueden ser significativas, son

generalmente menores que en las partes altas. La vegetación en estas zonas es más densa, y los restos de deslizamientos tienden a ser rápidamente cubiertos por la vegetación. Esto sugiere una menor actividad dinámica en comparación con las áreas altas, aunque todavía ocurren movimientos de tierras a menor escala. Es importante señalar que la parte inicial de la quebrada está actualmente cubierta con asfalto y construcciones, lo que implica que no está descubierta en la actualidad (Rissier, 1997).

La quebrada en su conjunto forma parte de la cuenca hidrográfica de la Quebrada Rumipamba, que tiene un área de 29,33 km², un perímetro de 26,26 km y una longitud de su cauce principal de 6,12 km (Aguilar, 2010). La cuenca está limitada al este por el volcán Guagua Pichincha, y su parte alta constituye páramo. Dentro de la cuenca se ubican la Loma Jarata, Mirador, Ingapirca, y los cerros Campanamachi y Condorhuachana. Su principal afluente es la quebrada Rumipamba, que se alimenta en su recorrido de la quebrada El Pilche y Chuzalongo. Existen otras quebradas que drenan al Machángara por medio de alcantarillas, como son: Miraflores, Ascázubi, Vásconez, El Tejar, La Comunidad, Caicedo, La Concepción, San Vicente y San Isidro.

La topografía está formada por una combinación de laderas empinadas, valles estrechos y áreas más planas en las partes bajas. Esta diversidad topográfica contribuye a la complejidad de los movimientos de tierra y a la variabilidad en los riesgos geológicos en diferentes partes de la cuenca (Rissier, 1997).

La topografía de la Quebrada Rumipamba también afecta la hidrología de la región. Las pendientes pronunciadas facilitan el flujo rápido de aguas superficiales durante las lluvias, lo que puede contribuir a la erosión y a los deslizamientos. La presencia de afloramientos rocosos y zonas de contacto entre ceniza y bedrock en las partes altas proporciona vías para

la circulación de aguas subterráneas, afectando la estabilidad del terreno y la vegetación de la zona (Rissier, 1997).

2.2. Factores climatológicos y geológicos

2.2.1. Clima de la región y su influencia en los aluviones

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se caracteriza por un clima variable debido a su altitud y ubicación geográfica. Durante el año 2021, la temperatura promedio en Quito fue de 14.4 °C, con un máximo de 16.8 °C y un mínimo de 11.3 °C. Las precipitaciones también son un factor significativo, con un promedio anual de 117 mm, siendo Guamaní una de las parroquias con mayores precipitaciones, alcanzando 161.3 mm (Quito Cómo Vamos, 2022).

La variabilidad climática en Quito, combinada con cambios en el uso del suelo y la infraestructura urbana, ha tenido un impacto notable en la ocurrencia de aluviones. En enero de 2022, el incremento de las precipitaciones causó el desbordamiento de la quebrada El Tejado, resultando en un aluvión en el barrio La Gasca. Este evento se vio agravado por la transformación de zonas de protección a áreas edificadas, la pérdida de zonas verdes y la pavimentación con asfalto y hormigón, lo que impide la adecuada absorción y drenaje de agua por el suelo (Quito Cómo Vamos, 2022).

La frecuencia y severidad de eventos climáticos adversos, como inundaciones y deslaves, han aumentado en los últimos años. En 2021, se registraron 369 relacionados con lluvias en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), de los cuales el 60% fueron deslizamientos y el 14.63% inundaciones. Los aluviones, aunque menos frecuentes (1.6% del total de eventos), tienen consecuencias devastadoras, como se evidenció en La Gasca (Quito Cómo Vamos, 2022).

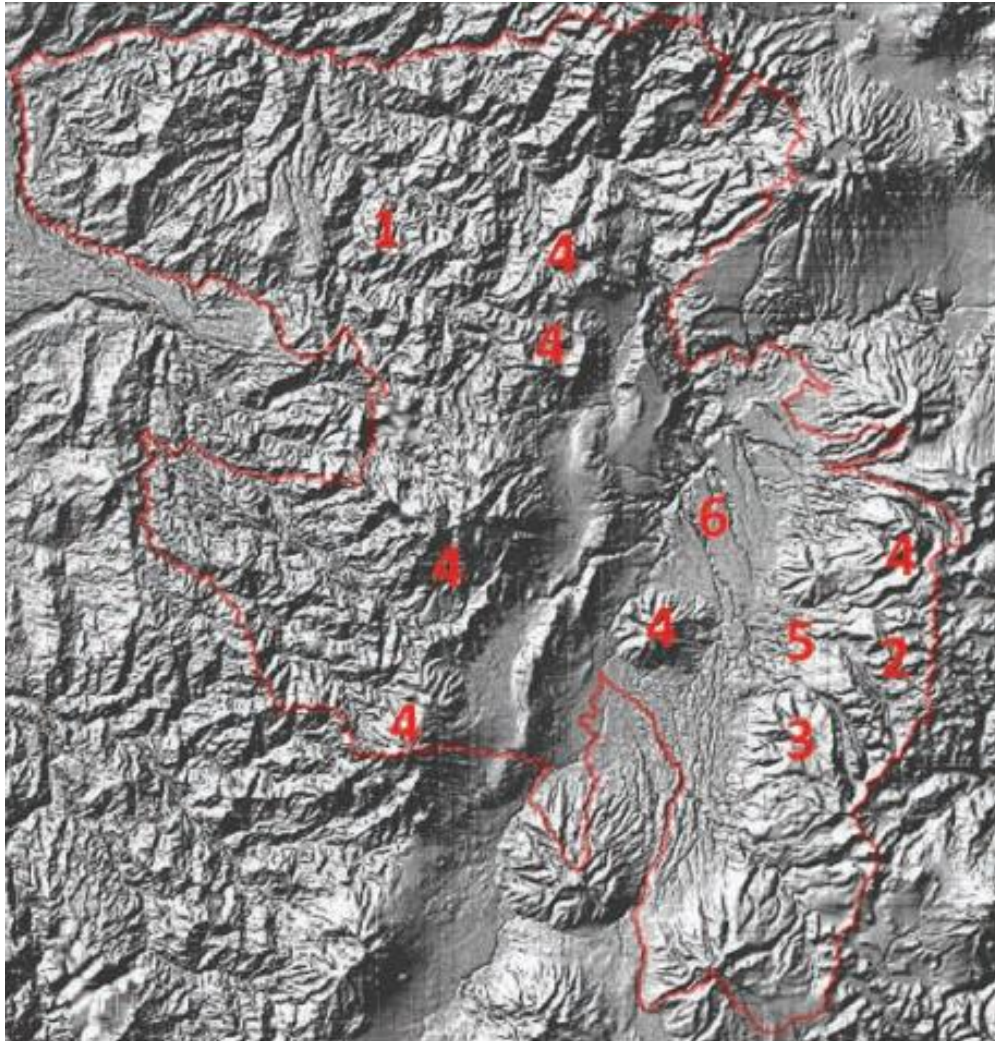
Las inundaciones en Quito han mostrado un incremento del 20.48% en 2021 en comparación con el año anterior, con un total de 647 eventos registrados. Esta tendencia sugiere que, si no se implementan medidas efectivas de planificación urbana y manejo de recursos hídricos, la ciudad seguirá enfrentando riesgos significativos asociados a eventos climáticos extremos (Quito Cómo Vamos, 2022).

2.2.2. Geología y geomorfología del área de estudio

De acuerdo con Rios-Sanchez et al. (2012), la Quebrada de Rumipamba, ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito está situada en el Valle Interandino Central de Ecuador, una región caracterizada por una compleja actividad tectónica y volcánica. Las formaciones geológicas más significativas incluyen la Formación Guayllabamba, la Formación Chiche y la Formación Cangagua. La Formación Guayllabamba, la unidad geológica más antigua, se compone de depósitos de lahares, domos volcánicos, flujos de lava, flujos piroclásticos y avalanchas, culminando con abanicos aluviales. La Formación Chiche, situada sobre la Formación Guayllabamba, consiste en depósitos lacustres y fluviales como limolitas, arcillolitas y areniscas, intercalados con depósitos volcánicos. El espesor de esta formación varía entre 114 y 219 metros. Finalmente, la Formación Cangagua, la unidad superior en los depósitos de los altiplanos, está compuesta por cenizas volcánicas y tufo, con capas intercaladas de arena y arcilla, con un espesor promedio de 60 metros.

Figura 8

Paisajes geomorfológicos del Distrito Metropolitano de Quito



Nota. Esta figura muestra los diversos paisajes geomorfológicos del Distrito Metropolitano de Quito, destacando las principales formaciones y relieves que caracterizan la región. De: “Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito”, por Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2015).

La geomorfología de la Quebrada de Rumipamba según Rios-Sanchez et al. (2012) está dominada por una serie de altiplanos orientados en dirección noroeste, separados por profundos barrancos. Los altiplanos presentan pendientes suaves menores de 5° , mientras que los barrancos alcanzan profundidades de hasta 300 metros en el Río Guayllabamba, con pendientes laterales de 40° a 50° , y en algunos lugares hasta 60° . La región está marcada por fallas significativas, como la Falla de San Pedro, que influyen en la morfología y la hidrogeología de los altiplanos. Los lineamientos tectónicos generan estructuras

morfotectónicas como depresiones y pendientes asimétricas, afectando el drenaje y la red de fracturas subterráneas. Los manantiales se encuentran principalmente en los barrancos, donde los lineamientos se intersectan, y su ubicación está influenciada tanto por la tectónica como por la topografía de los altiplanos, sirviendo como importantes fuentes de agua para el área metropolitana de Quito.

2.3. Factores hidrológicos

2.3.1. Características y dinámica del sistema hídrico

El sistema hídrico del Distrito Metropolitano de Quito (QAS) se encuentra en una región tectónicamente activa en el Valle Interandino Central de Ecuador, caracterizada por depósitos volcánicos y sedimentarios del Pleistoceno. La geología de la región incluye formaciones como la Pisque, San Miguel, Guayllabamba y Chiche, que contienen lavas, brechas, tobas y depósitos lacustres y fluviales. La topografía presenta mesetas planas separadas por barrancos profundos, con pendientes pronunciadas en sus lados. Los estudios geofísicos han identificado numerosas fracturas y fallas, que influyen significativamente en la hidrología del área.

La dinámica del sistema hídrico está controlada por la interacción entre la tectónica y la topografía. Las fracturas y fallas actúan como caminos preferenciales para la infiltración y el flujo del agua, con manantiales ubicados principalmente en los barrancos donde intersectan los lineamientos NW y NE. Los manantiales tienden a situarse en las laderas a media elevación, y sus caudales varían considerablemente. La inclinación de las mesetas y la presencia de fallas activas facilitan la recarga y descarga del acuífero, afectando la disponibilidad y calidad del agua subterránea en la región.

2.3.2. Gestión y conservación de recursos hídricos

La gestión y conservación de recursos hídricos en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se enfrenta a desafíos complejos debido a la diversidad ecológica y las variaciones altitudinales de la región. Las políticas implementadas buscan cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 y 15, que se centran en el acceso al agua y el saneamiento, y la gestión sostenible de los bosques, respectivamente. La administración local, junto con actores no gubernamentales, ha desarrollado estrategias para mejorar la eficacia en la gestión de recursos hídricos, considerando la capacidad institucional y la complejidad biológica del área. Sin embargo, las limitaciones en recursos y capacidades institucionales frecuentemente restringen el éxito de estas iniciativas (Cabrera-Barona & Cisneros, 2021).

En este contexto, la percepción de la efectividad de las políticas hídricas varía entre las diferentes parroquias rurales del DMQ. Estudios indican que la complejidad institucional, medida por el número de actores involucrados en la gestión del agua, influye significativamente en la percepción de su efectividad. Además, se han identificado "puntos calientes" y "puntos fríos" de gestión efectiva del agua, reflejando la influencia de la expansión urbana y las dinámicas de desarrollo local. Las parroquias más urbanizadas tienden a reportar una gestión menos efectiva, mientras que aquellas con mayores áreas forestales y menos presión urbanística muestran mejores resultados en la conservación de recursos hídricos (Cabrera-Barona & Cisneros, 2021).

2.4. Factores socioeconómicos

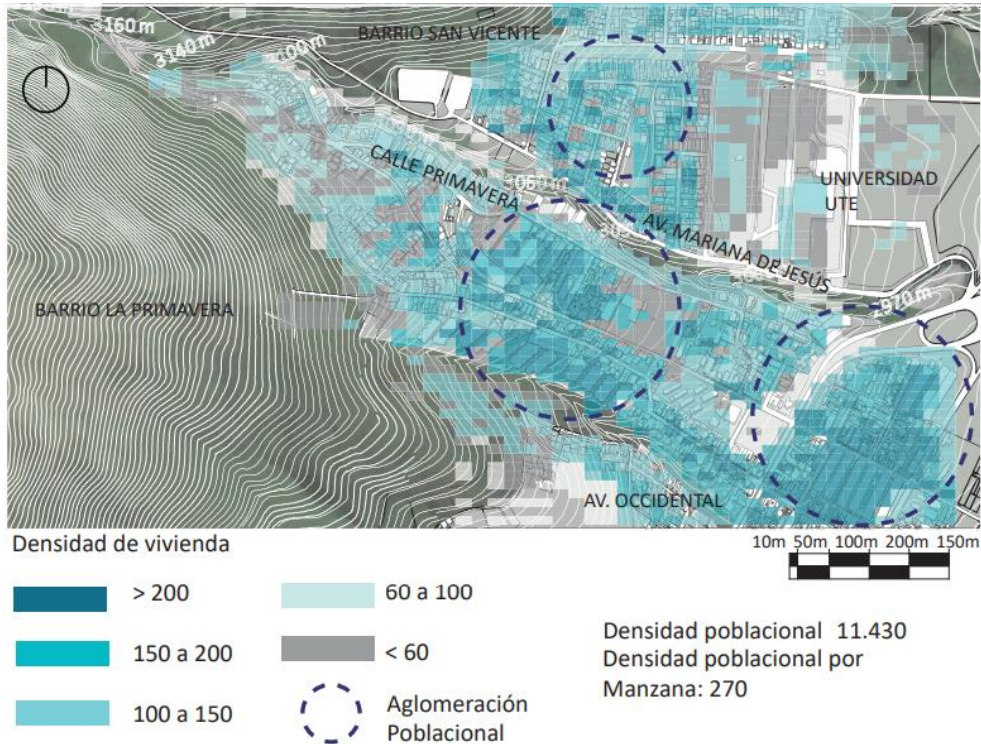
2.4.1. Densidad poblacional

La población del barrio San Vicente está dividida en un 51% de mujeres y un 49% de hombres (Logroño & Morocho, 2022). Además, el 85% de la población es local y el 15% son extranjeros. En cuanto a la distribución por edades, la población se divide en:

- De 0 a 7 años: alrededor del 13%
- De 8 a 18 años: aproximadamente el 16%
- De 31 a 45 años: cerca del 19%
- De 46 a 60 años: alrededor del 25%

Figura 9

Densidad poblacional y de viviendas en el barrio San Vicente



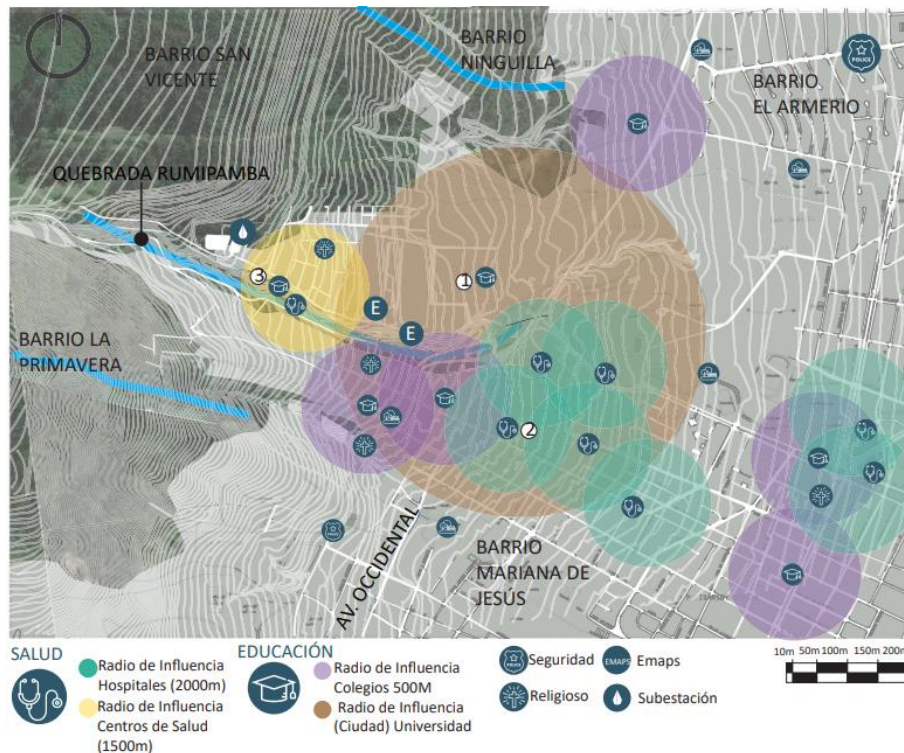
Nota. El mapa muestra la densidad de vivienda y la densidad poblacional por manzana en el Barrio San Vicente. Las áreas en color más oscuro indican mayor densidad de viviendas (>200), mientras que las áreas en color más claro representan menor densidad (<60). Además, se señala la aglomeración poblacional en círculos punteados. La densidad poblacional total es de 11,430 habitantes, con una densidad poblacional por manzana de 270. De “Recuperación del borde activo de la Quebrada Rumipamba en Quito, 2022”, por Logroño y Morocho (2022).

2.4.2. Equipamientos

En la Quebrada Rumipamba, el uso del suelo es variado, destacándose una notable carencia de equipamientos educativos y de seguridad en las periferias, con la zona 2 siendo la más afectada. La zona 1, que incluye el barrio Mariana de Jesús, cuenta con la mayor aglomeración de equipamientos, incluyendo varios centros de salud y atracciones turísticas como el parque arqueológico Rumipamba. La distribución de los equipamientos es la siguiente: 40% de salud, 30% de colegios, 20% de universidades y 10% de uso religioso.

Figura 10

Mapa de equipamientos y radio de influencia en la Quebrada Rumipamba



Nota. El mapa muestra la distribución de equipamientos en salud y educación en el área de la Quebrada Rumipamba, indicando sus radios de influencia. Los hospitales tienen un radio de influencia de 2000 metros, los centros de salud de 1500 metros, los colegios de 500 metros y las universidades de 1500 metros. Las áreas sombreadas indican las zonas de influencia para cada tipo de equipamiento, destacando la ubicación de las principales instalaciones y su accesibilidad para la comunidad. De “Recuperación del borde activo de la Quebrada Rumipamba en Quito, 2022”, por Logroño y Morocho (2022).

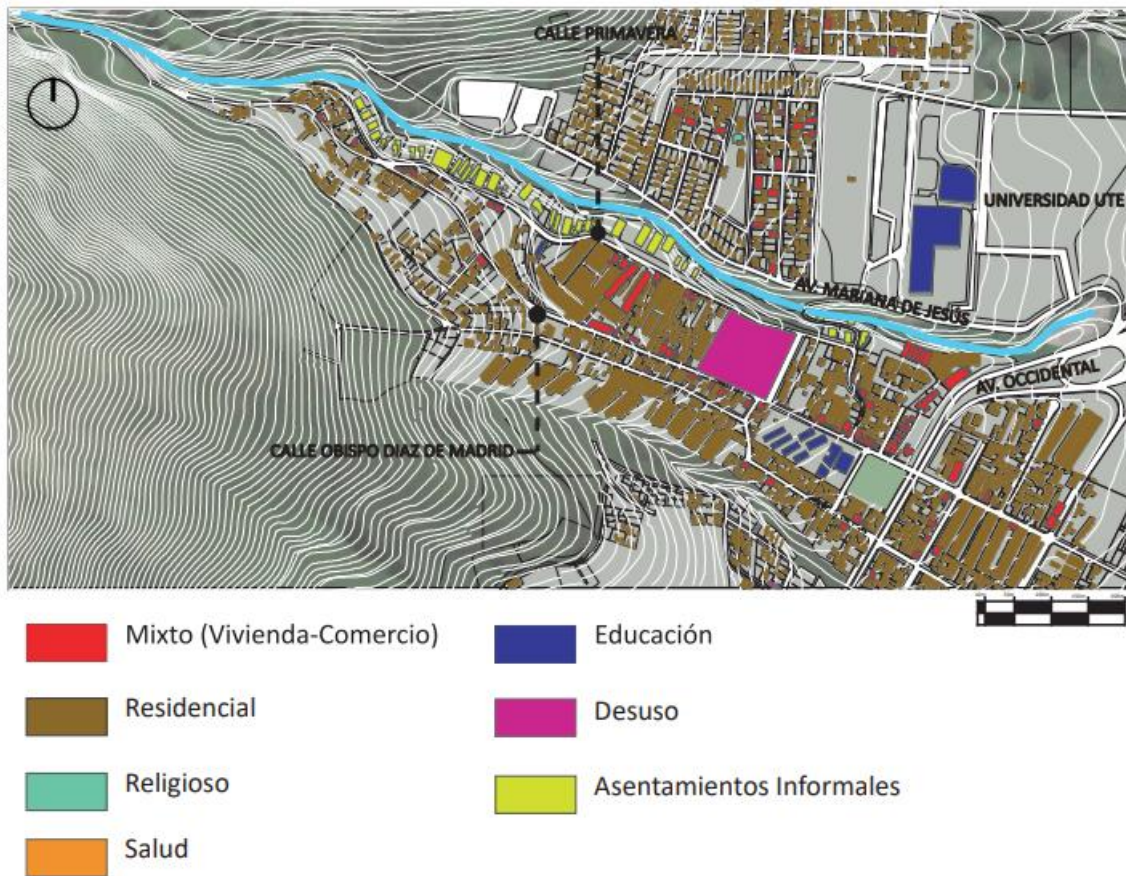
Esta distribución refleja la necesidad de mejorar la infraestructura educativa y de seguridad en las áreas periféricas para equilibrar el acceso a los servicios esenciales en toda la región.

2.4.3. Uso de suelo

El Barrio San Vicente muestra una variedad en el uso de suelo, con una predominancia de uso residencial. La mayoría de las edificaciones están destinadas a viviendas, aunque también se identifican comercios formales e informales. El comercio formal representa el 91.3%, con tiendas (70%), centros de belleza (5%), fondas (10%), librerías (3%) y mecánicas (12%). El comercio informal es mínimo (3%), predominando los puestos ambulantes. Los servicios ocupan el 5.7%, destacando centros culturales y hoteles (Logroño & Morocho, 2022).

Figura 11

Mapa de uso de suelo en el barrio San Vicente



Nota. El mapa muestra la distribución del uso de suelo en el Barrio San Vicente, destacando áreas mixtas (vivienda-comercio), residenciales, educativas, de salud, religiosas, de desuso y asentamientos informales. La diversidad de usos refleja la complejidad y multifuncionalidad del barrio, con una predominancia de zonas residenciales y mixtas. De “Recuperación del borde activo de la Quebrada Rumipamba en Quito, 2022”, por Logroño y Morocho (2022).

2.4.4. Impacto humano en la vulnerabilidad ambiental

El impacto humano en la vulnerabilidad ambiental del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es significativo y multifacético. La huella de carbono de las actividades humanas, especialmente diferenciada entre clases sociales, revela un incremento notable en las emisiones de CO₂, con un aumento del 11% entre 2011 y 2015, lo que subraya la necesidad de estrategias para reducir estas emisiones (Recalde et al., 2017). Además, la reforestación

en las quebradas del norte de Quito muestra un esfuerzo para mitigar el impacto urbano, aunque los resultados iniciales indican un cumplimiento bajo del objetivo de reforestación, con solo un 5.05% de las plantas esperadas sobreviviendo (Argüello et al., 2012).

2.4.5. Desarrollo sostenible y resiliencia comunitaria

Para promover el desarrollo sostenible y aumentar la resiliencia comunitaria en Rumipamba, es importante integrar prácticas de manejo sostenible del agua y del suelo que consideren tanto las necesidades agrícolas como la conservación ambiental. La implementación de técnicas de conservación del suelo, reforestación de áreas degradadas y sistemas de recogida y almacenamiento de agua puede ayudar a mitigar los efectos de la erosión y la desertificación. Adicionalmente, fortalecer la educación ambiental y la participación comunitaria en proyectos de conservación asegura que la población local esté equipada y motivada para proteger sus recursos naturales.

2.4.6. Estado de infraestructura urbana

El estado de la infraestructura urbana en el barrio San Vicente presenta varias deficiencias. Se observa una notable presencia de asentamientos informales, especialmente en áreas cercanas a la Quebrada Rumipamba. Las vías y aceras se encuentran en mal estado, con numerosas zonas sin un adecuado abastecimiento, lo cual dificulta la movilidad y el acceso seguro de los residentes (Logroño & Morocho, 2022).

Además, se identifican zonas verdes descuidadas y paradas de buses en condiciones precarias, lo que afecta negativamente la calidad de vida de los habitantes. Los lotes vacíos en desuso son otra problemática, ya que representan espacios subutilizados que podrían ser destinados a proyectos de desarrollo urbano o áreas recreativas. La falta de mantenimiento

y la insuficiencia de equipamientos básicos, como servicios de salud y educación, agravan la vulnerabilidad de la comunidad ante fenómenos naturales y contribuyen a la inseguridad en la zona (Logroño & Morocho, 2022).

Figura 12

Mapa de uso de suelo en el barrio San Vicente



Nota. El mapa muestra las problemáticas físicas del barrio San Vicente, incluyendo asentamientos informales, vías y aceras en mal estado, zonas verdes descuidadas, paradas de buses descuidadas y lotes vacíos en desuso. De “Recuperación del borde activo de la Quebrada Rumipamba en Quito, 2022”, por Logroño y Morocho (2022).

2.5. Factores ecológicos

2.5.1. Biodiversidad y ecosistemas

La biodiversidad en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es variada, abarcando bosques húmedos y secos, arbustos húmedos y secos, herbazales húmedos y secos, vegetación en regeneración natural, cultivos y pastizales. Los bosques húmedos constituyen el 29.44% del área y se encuentran principalmente en las vertientes externas de la cordillera occidental, mientras que los bosques secos representan el 0.17%, localizándose en valles interandinos secos. Los arbustos y herbazales, tanto húmedos como secos, cubren áreas significativas en las laderas y montañas del DMQ (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

Las áreas semi naturales y cultivadas también son esenciales para la biodiversidad del DMQ. La vegetación en regeneración natural, que representa el 9.68%, indica procesos de sucesión tras perturbaciones. Las plantaciones de latifoliadas y coníferas constituyen el 2.22% del área, mientras que los cultivos y pastos ocupan el 18.95%, siendo fundamentales para la agricultura y ganadería. Además, existen espacios abiertos y áreas artificiales, incluyendo suelos desnudos e infraestructuras, que aunque representan un pequeño porcentaje del área total, muestran la interacción entre actividades humanas y el medio ambiente. La gestión sostenible y conservación de estos ecosistemas es crucial para mantener la biodiversidad y la resiliencia ante amenazas como la urbanización y el cambio climático (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

2.5.2. Conservación y restauración ecológica

La conservación y restauración ecológica en Rumipamba es fundamental debido a las amenazas antrópicas como la contaminación de ríos y la degradación de hábitats por

actividades agrícolas y ganaderas. Es importante implementar estrategias de protección para los ecosistemas más vulnerables, particularmente en las zonas de intervención donde la agricultura y la ganadería prevalecen.

2.6. Conceptos para la gestión de riesgos ante un aluvión

2.6.1. Fenómenos de movimiento en masa

Los movimientos en masa son sucesos que alteran la forma del terreno y se refieren a cualquier caída de una masa de rocas, escombros o suelo debido a la fuerza de la gravedad (Cruden, 1993). Estos movimientos pueden ser causados por diversos factores meteorológicos, geológicos, químicos y mecánicos, los cuales desestabilizan las laderas y modifican el relieve haciéndolo más plano. Existen varios tipos de movimientos en masa: Caída de roca, volcamiento de roca, deslizamiento de roca, propagación lateral, flujo (detritos, lodo, tierra, turba, avalancha, deslizamiento), reptación y deformaciones gravitacionales profundas (PMA, 2007).

2.6.2. Quebrada

Es una garganta o cañón angosto y empinado que atraviesa y divide formaciones montañosas, creando un valle profundo con laderas que descienden bruscamente hacia el fondo (Jara & Ramos, 2021).

De acuerdo con Guerrero et al. (2021), las quebradas están formadas por la erosión fluvial en zonas montañosas. Estas formaciones son comunes en regiones donde la erosión hídrica de las montañas ha creado cauces por donde fluyen ríos de pequeño caudal, usualmente alimentados por aguas de lluvia. La quebrada puede estar seca fuera de la temporada de lluvias y activarse durante períodos de precipitaciones intensas. Asimismo, las quebradas

son importantes en la hidrología de una región y pueden ser foco de riesgos naturales, como inundaciones y deslizamientos, especialmente en condiciones de cambio climático que intensifican los eventos climáticos extremos.

2.6.3. Aluvión

Es un deslizamiento terrestre que ocurre cuando la acción del agua (normalmente agua de lluvia) desplaza el material suelto de una zona a través de una pendiente o hacia un valle. Estos eventos pueden tener graves consecuencias en áreas habitadas, incluyendo pérdidas de vidas, daños a la propiedad, viviendas, sistemas de comunicación y otros bienes (Díaz, 2009).

Según Paredes et al. (2022), este tipo de fenómeno es especialmente peligroso en áreas de pendientes pronunciadas donde la vegetación es escasa o el suelo ha sido alterado por actividades humanas, como la deforestación. Los aluviones pueden resultar en desastres, arrasando con todo a su paso, incluyendo estructuras humanas y son capaces de modificar dramáticamente el paisaje en cuestión de minutos.

2.6.4. Factores que influyen en la generación de un aluvión

a) Flujos

Este fenómeno se refiere a un tipo de desplazamiento en el que los materiales muestran un comportamiento fluido, pudiendo manifestarse a través de otros tipos de movimiento, como deslizamiento o caída (Díaz, 2009). Estos movimientos de agua tienen la capacidad para transportar y depositar materiales sólidos como sedimentos en su curso. Este proceso es importante para entender fenómenos como los aluviones, que son acumulaciones de material detrítico transportadas y depositadas por corrientes de agua (Turabián & Pérez, 2018).

b) Cubierta vegetal

La pérdida de la cubierta vegetal juega un papel crítico en la generación de aluviones, especialmente en zonas susceptibles a la degradación del suelo. La vegetación natural protege el suelo, minimizando la erosión y la formación de costras superficiales que impiden la infiltración del agua. Cuando la cubierta vegetal se elimina, el suelo queda expuesto a los agentes erosivos, facilitando la movilidad del limo y otras partículas finas que pueden sellar la superficie y reducir la porosidad. Esto resulta en un aumento del escurrimiento superficial, contribuyendo a la formación de aluviones durante episodios de lluvias intensas. Los suelos desnudos, al perder su protección vegetal, se vuelven más susceptibles a la degradación física y química, exacerbando el proceso de desertificación y aumentando el riesgo de aluviones (Muñoz-Iniestra et al., 2009).

c) Deslizamientos de tierras altas

Cuando se producen en terrenos con pendientes pronunciadas, estos deslizamientos se aceleran al descender sobre la superficie terrestre y, en algunos casos, se pueden combinar con otros deslizamientos para formar flujos más grandes (Díaz, 2009).

Los deslizamientos de tierras altas pueden ser provocados por varios factores, incluyendo la erosión, las lluvias intensas, la saturación del suelo, o cambios en las condiciones geológicas subyacentes. Este fenómeno puede ser peligroso porque a menudo sucede repentinamente y pueden desplazar grandes volúmenes de tierra y roca. Esto representa un riesgo para las estructuras, carreteras y comunidades que se encuentran en o cerca de estas áreas elevadas. Además, los deslizamientos pueden bloquear ríos y causar inundaciones aguas abajo o alterar significativamente el paisaje natural (Moreno, 2022).

2.6.5. Cambio climático

Se refiere a los cambios duraderos en el sistema climático global, conformado por la atmósfera, los océanos, las capas de hielo, la corteza terrestre y los ecosistemas, que perduran por períodos prolongados hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio (Jara & Ramos, 2021).

El cambio climático para Barrera-Hernández et al. (2020), es impulsado principalmente por actividades humanas que incluyen el uso excesivo de automóviles y aires acondicionados, así como procesos industriales, en un contexto de un sistema capitalista y consumista que fomenta un uso insostenible de los recursos. Otros factores que contribuyen al cambio climático son la sobrepoblación, la falta de educación ambiental y la corrupción que impide la implementación efectiva de políticas ambientales. Estos elementos causan un deterioro en los ecosistemas, una reducción en la biodiversidad y un aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos.

Como consecuencia, Barrera-Hernández et al. (2020) observan un incremento en las enfermedades respiratorias y otras afecciones de salud exacerbadas por la contaminación y alteraciones climáticas. El impacto socioeconómico es considerable, afectando la agricultura, la economía y la vida cotidiana, especialmente en comunidades vulnerables que podrían verse forzadas a desplazarse debido al aumento del nivel del mar y otras condiciones adversas. Además, los cambios en el ambiente también influyen en el comportamiento y el estado de ánimo de las personas, incrementando los niveles de estrés y ansiedad frente a la incertidumbre de estos cambios. La educación y la sensibilización sobre el cambio climático son cruciales para mitigar sus efectos y adaptarse eficazmente a esta realidad global.

2.6.6. Evaluación de riesgos

a) Riesgo

El riesgo se define como la posibilidad de pérdida o daño debido a la probabilidad de un evento no deseado y sus consecuencias adversas. En esta investigación, se ha adoptado una metodología semicuantitativa basada en la guía del Project Management Institute (PMI). Esta metodología combina análisis cualitativos y cuantitativos para proporcionar una evaluación precisa del riesgo.

El cálculo del riesgo se realiza multiplicando tres factores clave: impacto, probabilidad y vulnerabilidad. Cada factor es evaluado en una escala de 1 a 5, donde 1 representa un riesgo muy bajo y 5 un riesgo muy alto. Este enfoque permite priorizar los riesgos y determinar cuáles requieren atención inmediata (Cox, 2008).

Para identificar los riesgos, se analizan tanto factores naturales (como la topografía y geología) como actividades humanas (como el uso del suelo y la infraestructura). Las medidas de mitigación propuestas buscan reducir la probabilidad y/o el impacto de los riesgos identificados, e incluyen acciones estructurales y no estructurales.

b) Impacto

Son las consecuencias o resultados adversos de los eventos de riesgo, como los desastres naturales o antrópicos, sobre las comunidades y los sistemas afectados. Se considera el efecto directo de las amenazas socioeconómicas y medioambientales, donde el impacto es el daño o la pérdida resultante de la materialización de un riesgo (Rojas & Martínez, 2011).

De acuerdo con Rojas y Martínez (2011), el impacto se refiere al resultado de la ocurrencia de un evento, incluyendo pérdidas inmediatas, a corto y largo plazo, directas e indirectas.

Esto puede incluir bajas humanas, daños monetarios y económicos, y impacto ambiental. También puede incluir efectos menos tangibles y, por lo tanto, menos cuantificables como repercusiones políticas, disminución de la moral, reducciones en la efectividad operativa u otros impactos.

c) Probabilidad

Se llama a la posibilidad de ocurrencia de una amenaza. La definición de riesgo implica calcular estas probabilidades, lo cual solo es posible con datos adecuados. Cuando estos datos no están disponibles, se genera incertidumbre (Rojas & Martínez, 2011).

Maertens et al. (2022), la definen como una expectativa basada en conocimiento parcial, donde una comprensión completa transformaría esta expectativa en certeza, eliminando la necesidad de una teoría de probabilidades. Se categoriza en tres tipos: la probabilidad clásica o axiomática, basada en la relación entre el número de resultados favorables y el total de posibles resultados; la probabilidad empírica, que se refiere a la frecuencia observada de un evento a través de repetidos experimentos; y la probabilidad subjetiva, que representa el grado de creencia ajustado por el teorema de Bayes, reflejando una perspectiva personal sobre la probabilidad.

La metodología empleada para determinar la probabilidad de ocurrencia de aluviones se basa en la recopilación y análisis de datos históricos, estudios geológicos y geomorfológicos, y observaciones climáticas. Se utilizan mapas de pendientes y peligros volcánicos para identificar áreas de alta susceptibilidad. La información recopilada se clasifica de manera cualitativa en términos de "Muy alta", "Alta", "Media", "Baja" y "Muy baja" probabilidad.

d) Vulnerabilidad

Se trata de la propensión a sufrir pérdidas de elementos o grupos ante una amenaza específica. Es un componente esencial de los peligros, entendida como la predisposición de personas, comunidades o regiones a diversos riesgos naturales o tecnológicos. Se manifiesta en dimensiones económicas, sociales y ecológicas, correspondiendo a las características diferenciadoras de la sociedad o sus subgrupos que los hacen propensos a sufrir daños frente a un evento físico, dificultando su posterior recuperación (Rojas & Martínez, 2011).

Según Guerrero et al. (2021), la vulnerabilidad social engloba factores como la calidad de vida, salud, educación y seguridad, identificando cómo las deficiencias en estos aspectos aumentan el riesgo en comunidades menos desarrolladas. La vulnerabilidad económica analiza la estructura económica de una región, destacando la dependencia de actividades susceptibles a desastres y la capacidad económica para recuperarse de sus efectos. Por último, la vulnerabilidad ambiental considera la resiliencia de los ecosistemas y la gestión de recursos naturales, evaluando cómo el entorno natural puede mitigar o agravar los efectos de los desastres. Estas dimensiones se cuantifican mediante matrices de vulnerabilidad que permiten desarrollar estrategias efectivas para reducir los riesgos y mejorar la capacidad de respuesta de las comunidades afectadas.

e) Control del riesgo

Tiene como finalidad el evaluar la eficacia y el desempeño sobre las medidas de protección, detectar y corregir cualquier falla. Las acciones del procedimiento deben ser integradas en un plan de operaciones de la organización que establezca los puntos de intervención y los responsables de la ejecución.

Es importante mantener registros de la ejecución de las tareas, los incidentes de riesgo y los resultados obtenidos, para medir la eficacia de las medidas de seguridad. Estos registros deben ser analizados regularmente. Si se detectan incumplimientos graves, se deben aplicar sanciones institucionales contra los responsables.

Las conclusiones del proceso de gestión de riesgos son una fuente valiosa de información para retroalimentar el análisis de riesgos en curso (Erb & Kliebeinstein, 2020).

f) Mapa de riesgo

Es una herramienta utilizada para reconocer los elementos de riesgo que podrían surgir en una organización. Además, proporciona la oportunidad de evaluar y clasificar estos riesgos según su potencial de daño, utilizando categorías como alta, media o baja, y estimar la probabilidad de que ocurran. Es importante tener en cuenta que existen tres herramientas posibles que pueden emplearse como mapas de riesgo: (Erb & Kliebeinstein, 2020).

g) Mapa de factores de riesgo

En este registro se incluyen todos los posibles riesgos que pueden surgir en la organización y que tienen el potencial de causar daño o perturbar los objetivos establecidos. Se proporciona una breve descripción de cada riesgo para facilitar su identificación de manera directa. Además, se establecen medidas de prevención básicas para cada uno de ellos. Esta herramienta también es conocida como mapa de condiciones de trabajo (Erb & Kliebeinstein, 2020).

h) Mapa de los expuestos a riesgo

Su objetivo principal es prevenir las posibles consecuencias que podrían afectar a la población expuesta a diferentes riesgos. También es conocido como mapa de condiciones de

salud de la población y brinda la oportunidad de identificar y comprender los riesgos que podrían surgir tanto interna como externamente (Erb & Kliebeinstein, 2020).

i) Mapa de daños

En este registro se almacena toda la información sobre las alteraciones que han ocurrido o podrían ocurrir. En conjunto con los otros dos mapas previamente mencionados, permite recopilar la información necesaria para seguir con el estudio y determinar qué riesgos son más prioritarios que otros. Es fundamental considerar la importancia de cada riesgo sin descuidar ninguno de ellos (Erb & Kliebeinstein, 2020).

3. Metodología

3.1. Diseño de investigación

3.1.1. Tipo de estudio y enfoque metodológico

El plan de trabajo fue del tipo aplicado, de acuerdo con Castro et al. (2022), el estudio aplicado utiliza conocimientos prácticos dirigidos a resolver problemas específicos, en este caso evaluar riesgos asociados a aluviones en la Quebrada Rumipamba, ubicada en el barrio San Vicente del Distrito Metropolitano de Quito. Se realizó análisis documentales de la zona para desarrollar soluciones prácticas que pudieran aplicarse directamente para mejorar la gestión y mitigación de riesgos naturales en la comunidad.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque descriptivo. Tal como indica Ramos (2020), esta metodología busca exponer las características y la presencia de un fenómeno en un grupo humano específico, en base a esto, se centró en exponer detalladamente las características y evolución de los aluviones a lo largo del tiempo, utilizando para ello una revisión bibliográfica y análisis documental de fuentes confiables.

3.1.2. Técnicas e instrumentos

En el estudio sobre la evaluación del riesgo asociado a aluviones en la Quebrada Rumipamba, ubicada en el barrio San Vicente de Quito, se empleó la revisión documental como técnica central. Según Guevara et al. (2020). este método implica el estudio de materiales y documentos existentes para obtener información relevante sobre un tema específico, lo cual permitió analizar y sintetizar informes de instituciones nacionales, estudios previos y mapas, para obtener una comprensión detallada de las características geográficas y geológicas de la zona.

Dentro de esta técnica, el instrumento específico empleado fue el análisis de contenido. Este instrumento permitió una exploración detallada y sistemática de datos existentes, facilitando la identificación de tendencias, la formación de hipótesis relevantes y la contextualización de los hallazgos en relación con el riesgo de aluviones en la zona estudiada. El análisis de contenido proporcionó un marco para evaluar y sintetizar la información recopilada de fuentes confiables, como informes de institutos nacionales y estudios previos, lo cual fue fundamental para definir el perfil de la zona y avanzar en la determinación de la probabilidad, vulnerabilidad e impacto de los aluviones.

3.1.3. Procedimiento de recolección de datos

La recolección de datos para la investigación sobre la Quebrada Rumipamba se llevó a cabo mediante una revisión documental, utilizando una variedad de fuentes confiables para asegurar una comprensión del tema. Los documentos y datos fueron seleccionados a partir de varias bases de datos y repositorios institucionales, siguiendo criterios de inclusión basados en la relevancia para el tema de aluviones y su impacto, así como criterios de exclusión que eliminaron fuentes no científicas o no verificadas.

Fuentes de datos consultadas:

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI): Proporciona datos climáticos y meteorológicos importantes para entender las condiciones que pueden precipitar aluviones.
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE): Ofrece informes y análisis sobre vulnerabilidades y emergencias anteriores que incluyen aluviones, útiles para identificar áreas de riesgo y antecedentes de eventos.

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC): Fuente de datos demográficos y socioeconómicos que ayudan a evaluar la vulnerabilidad de la población frente a desastres naturales.
- Ministerio del Ambiente y Agua: Proporciona acceso a estudios y reportes sobre la conservación de recursos hídricos y la gestión ambiental que pueden influir en la prevalencia y mitigación de aluviones.
- Universidades y Centros de Investigación Académica: Artículos y tesis de universidades o institutos que realizan investigaciones relacionadas con geología, hidrología y gestión de riesgos naturales.
- Publicaciones científicas y bases de datos académicas como Scopus o Web of Science: Para acceder a investigaciones previas revisadas por pares sobre temas similares o metodologías aplicables.

3.1.4. Análisis de datos

El análisis de datos en la investigación sobre la evaluación del riesgo asociado a aluviones en la Quebrada Rumipamba se realizó mediante una combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas, complementadas con un enfoque semicuantitativo basado en la metodología del Project Management Institute (PMI). A continuación, se describen los elementos y técnicas utilizadas:

a) Análisis de contenido

La técnica central para el análisis cualitativo fue el análisis de contenido. Este proceso involucró una revisión sistemática de documentos y materiales relevantes, como informes de instituciones nacionales, estudios previos y mapas geográficos. El análisis de contenido

permitió identificar y categorizar las causas geográficas y geológicas de los aluviones, así como las condiciones socioeconómicas que contribuyen a la vulnerabilidad de la comunidad. Se realizó una codificación de la información para destacar temas recurrentes y patrones significativos relacionados con la ocurrencia y el impacto de los aluviones.

b) Análisis semicuantitativo

El análisis semicuantitativo de gestión de riesgos se basó en la metodología del Project Management Institute (PMI). De acuerdo con Doria et al. (2020), esta metodología utiliza un enfoque estructurado para evaluar el impacto y la frecuencia de ocurrencia de los riesgos.

A continuación, se describen los elementos clave de esta metodología:

Identificación del Riesgo:

- Identificar las fuentes, causas y consecuencias potenciales de los riesgos inherentes.
- Establecer el contexto de la organización y responder preguntas clave para identificar los riesgos potenciales.

Análisis del Riesgo:

- Priorizar el riesgo mediante una valoración cualitativa y cuantitativa.
- Evaluar el impacto del riesgo cualitativamente en una escala de muy bajo a muy alto, con ponderaciones de 1 a 5.
- Clasificar la frecuencia de ocurrencia de manera similar, desde improbable hasta muy probable.

Evaluación del Riesgo:

- Utilizar una matriz de riesgo que combine el impacto y la frecuencia para determinar la criticidad del riesgo.
- Priorizar los riesgos y determinar cuáles requieren atención inmediata.

Tratamiento del Riesgo:

- Implementar acciones para modificar el riesgo, ya sea reduciendo su probabilidad o impacto.
- Estrategias pueden incluir mitigación, aceptación, transferencia o eliminación del riesgo.

Monitoreo y Revisión:

- El proceso es cíclico e implica la evaluación continua de los riesgos y la efectividad de las acciones implementadas.

c) Integración de datos

La integración de datos cualitativos y cuantitativos fue crucial para formar una evaluación coherente del riesgo. Se utilizó una matriz de riesgos que combinó las evaluaciones de probabilidad, vulnerabilidad e impacto. Cada uno de estos aspectos fue calificado y ponderado para crear un índice de riesgo compuesto. Esta matriz permitió una visualización clara de las áreas de mayor riesgo dentro de la Quebrada Rumipamba y proporcionó una base sólida para la formulación de estrategias de mitigación.

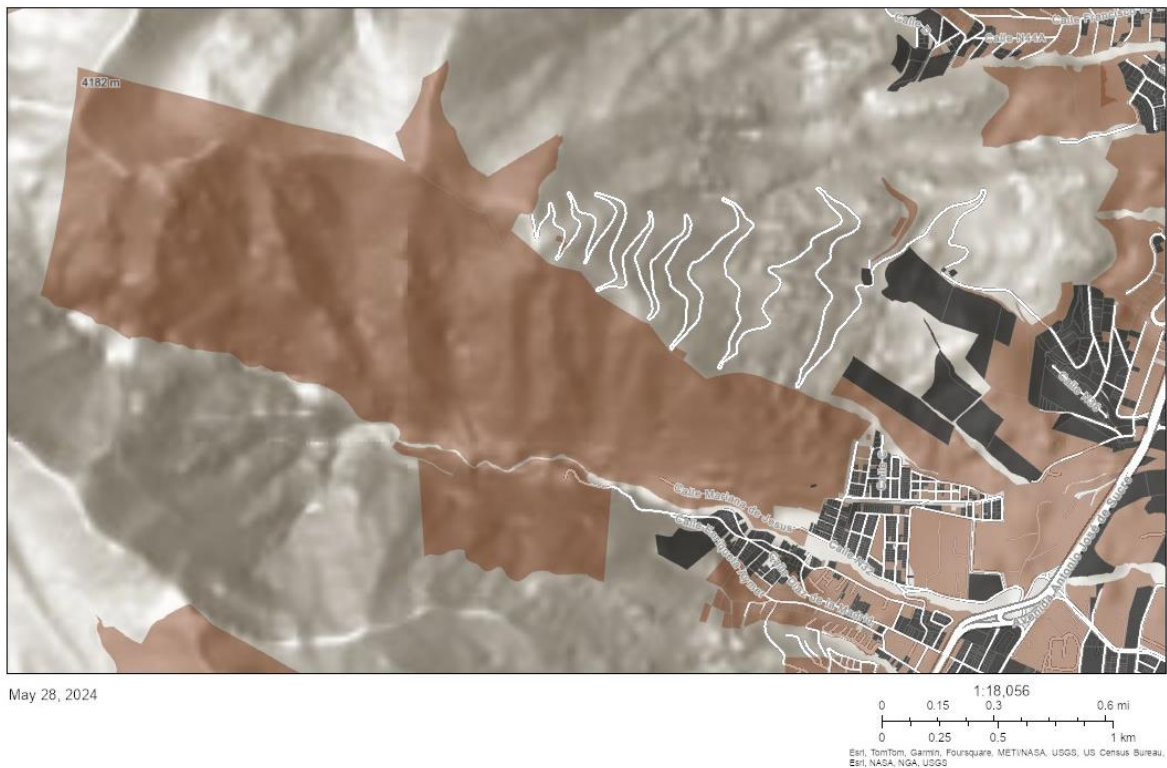
4. Identificación de peligros y análisis de causas

4.1. Análisis de las causas geográficas y geológicas que provocan aluviones

La Quebrada Rumipamba, situada en el área centro norte de Quito, enfrenta varias amenazas naturales que contribuyen a la ocurrencia de aluviones. Entre estas amenazas destacan los movimientos en masa y la caída de ceniza volcánica. Los movimientos en masa se desencadenan principalmente en laderas empinadas y márgenes de quebradas. Estos movimientos son impulsados tanto por factores naturales, como la gravedad y las lluvias torrenciales, como por factores antrópicos, incluyendo la deforestación y las construcciones inadecuadas en pendientes pronunciadas.

Figura 13

Mapa de amenazas naturales y movimientos en masa en el área de la Quebrada Rumipamba



Nota. El área sombreada en marrón indica que la zona de la Quebrada de Rumipamba predomina las cenizas de volcán.

De acuerdo con Mendoza (2020), los deslizamientos en la Quebrada Rumipamba se generan en áreas con pendientes mayores a 30°, particularmente tras lluvias intensas que saturan el suelo y reducen su resistencia al deslizamiento.

La interacción entre la geología de la zona, caracterizada por depósitos volcánicos y flujos piroclásticos, y las actividades humanas, como la urbanización sin medidas de mitigación adecuadas, aumenta la susceptibilidad a estos fenómenos. Adicionalmente, la proximidad al volcán Guagua Pichincha expone la quebrada a la caída de ceniza y lahares secundarios, que pueden ser transportados por los ríos Cristal-Cinto, Pichán, Mindo y Nambillo, así como por las quebradas Rumiurcu y Rumipamba. Estos flujos volcánicos contribuyen a la inestabilidad del terreno y al riesgo de aluviones en la zona (Secretaría de Hábitat y Ordenamiento Territorial, 2024).

Figura 14

Mapa de peligro volcánico en la zona de estudio



Nota. El área sombreada en rosa indica una alta probabilidad de peligro volcánico debido a la proximidad del volcán Guagua Pichincha.

4.2. Historial de eventos de aluviones en la Quebrada Rumipamba

El historial de eventos de aluviones en la Quebrada Rumipamba proporciona una visión sobre la frecuencia, causas y consecuencias de estos fenómenos en la región. Esta información es crucial para la planificación y mitigación de riesgos en el área.

A lo largo de los años, la Quebrada Rumipamba ha sido escenario de varios aluviones significativos que han afectado tanto a la infraestructura como a la población local. Estos eventos han sido impulsados por diversos factores geológicos y climáticos, incluyendo precipitaciones intensas y la inestabilidad del terreno.

Tabla 1

Historial de eventos de aluviones en la Quebrada de Rumipamba

Fecha	Causa Principal	Consecuencias	Área Afectada	Comentarios
25/02/1975	Intensas lluvias	Aluvión severo, erosión y daños significativos	Barrio La Gasca	Se movilizaron aproximadamente 52,000 m ³ de sedimentos
1983	Precipitaciones intensas	Deslizamientos de tierra, destrucción de viviendas	Parte baja de la quebrada	-
2019	Lluvias extremas	Daños a la infraestructura, deslizamientos	Barrio La Primavera	-
31/01/2022	Lluvias torrenciales	Aluvión con 28 víctimas mortales	Barrio La Gasca	Similar en intensidad a eventos anteriores
02/04/2024	Precipitaciones superiores a 120 mm/m ²	Desbordamiento del reservorio, riesgo significativo de deslizamientos	Barrio La Primavera	Incremento del 55% en la cantidad de precipitación en comparación con promedios históricos

La Tabla 1 indica una tendencia a eventos más severos y frecuentes, resaltando la necesidad de medidas de mitigación y gestión de riesgos. La tabla subraya el alto nivel de

vulnerabilidad de las áreas afectadas y la gravedad de las consecuencias, como pérdidas humanas y daños a la infraestructura.

Figura 15

Aluvión en La Gasca



Nota. La fotografía muestra el aluvión ocurrido en La Gasta en el año 1975. De “Aluvión en Quito: ¿Desastre natural o desastre capitalista?”, por Bermeo et al. (2022).

Figura 16

Aluvión en El Pinar



Nota. La fotografía muestra el aluvión ocurrido en El Pinar en el año 2019. De “Aluvión en Quito: ¿Desastre natural o desastre capitalista?”, por Bermeo et al. (2022).

Figura 17

Aluvión en La Gasca – Comuna



Nota. La fotografía muestra el aluvión ocurrido en La Gasca – Comuna en el año 2022. De “Aluvión en Quito: ¿Desastre natural o desastre capitalista?”, por Bermeo et al. (2022).

5. Evaluación de riesgo

5.1. Evaluación de la probabilidad de ocurrencia de aluviones

La evaluación de la probabilidad de ocurrencia de aluviones en la Quebrada Rumipamba se basa en una metodología de evaluación de riesgos semicuantitativa. Este enfoque permite identificar y calificar varios factores clave que influyen en la ocurrencia de aluviones, utilizando una escala de probabilidad que va de insignificante a muy alta. A continuación, se presenta una descripción detallada de estos factores y su clasificación en la tabla correspondiente.

Tabla 2

Tabla de clasificación del nivel de probabilidad de ocurrencia

Nivel	Rango de Puntos	Descripción
Probabilidad insignificante	0-7	No se requieren medidas especiales.
Probabilidad baja	8-12	Requiere medidas de monitoreo y mantenimiento básico.
Probabilidad moderada	13-17	Se recomiendan medidas de mitigación específicas.
Probabilidad alta	18-22	Requiere intervenciones significativas y planes de emergencia.
Probabilidad muy alta	23-25	Acciones urgentes y estratégicas son necesarias para minimizar el impacto.

Nota. La clasificación del nivel de probabilidad se basa en una combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas, complementadas con un enfoque semicuantitativo adaptado de la metodología del Project Management Institute (PMI).

Tabla 3

Tabla de probabilidad de ocurrencia de aluviones

Factor	Descripción	Probabilidad	Valor Numérico
Topografía	Pendientes mayores a 30°, especialmente en las partes altas de la quebrada	Muy alta	5
Geología	Predominio de depósitos volcánicos y flujos piroclásticos que facilitan el movimiento de masas	Alta	4
Clima	Precipitaciones intensas y variabilidad climática con lluvias torrenciales frecuentes	Muy alta	5
Actividad Volcánica	Proximidad al volcán Guagua Pichincha, con riesgo de caída de ceniza y lahares secundarios	Muy alta	5
Uso del Suelo	Urbanización sin medidas adecuadas de mitigación, deforestación y construcción en pendientes	Alta	4

Nota. La clasificación y valores numéricos asignados a cada factor se basan en estudios realizados por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2015) y análisis de mapas geológicos y climáticos de la región por la Secretaria de Hábitat y Ordenamiento Territorial (2024).

Para calcular la probabilidad total de ocurrencia de aluviones en la Quebrada de Rumipamba utilizando la tabla de factores y los rangos proporcionados, seguiremos los siguientes pasos:

Paso 1: Asignar puntos a cada probabilidad

- Muy Alta = 5 puntos
- Alta = 4 puntos
- Media = 3 puntos
- Baja = 2 puntos
- Muy Baja = 1 punto

Paso 2: Sumar los puntos de los factores

- Topografía (Muy Alta) = 5 puntos
- Geología (Alta) = 4 puntos
- Clima (Muy Alta) = 5 puntos
- Actividad Volcánica (Muy Alta) = 5 puntos
- Uso del Suelo (Alta) = 4 puntos

Total de Puntos = 5 + 4 + 5 + 5 + 4 = **23** puntos

Paso 3: Calificar la probabilidad total

- Muy Baja: 0-7 puntos
- Baja: 8-12 puntos
- Media: 13-17 puntos
- Alta: 18-22 puntos
- Muy Alta: 23-25 puntos

Con un total de **23 puntos**, la probabilidad de ocurrencia de aluviones en la Quebrada de Rumipamba se clasifica como **Muy Alta** (Ver Tabla 2 para detalle del nivel de probabilidad).

La evaluación confirma que la probabilidad de ocurrencia de aluviones en la Quebrada de Rumipamba es Muy Alta. Esta clasificación se basa en una combinación de factores geográficos, geológicos, climáticos y de uso del suelo.

5.2. Evaluación de la vulnerabilidad de la comunidad y estructuras

La evaluación de la vulnerabilidad de la comunidad y estructuras en la Quebrada Rumipamba se basa en una metodología de evaluación de riesgos semicuantitativa. Este enfoque permite identificar y calificar varios factores clave que afectan la capacidad de la

comunidad para enfrentar aluviones y otros desastres naturales. Los factores se califican en términos de su impacto en la vulnerabilidad utilizando una escala que va de muy baja a muy alta. A continuación, se presenta una descripción detallada de estos factores y su clasificación en la tabla correspondiente.

Tabla 4

Tabla de clasificación del nivel de vulnerabilidad de la comunidad y estructuras

Nivel	Rango de Puntos	Descripción
Vulnerabilidad insignificante	0-7	La comunidad y estructuras están bien preparadas y protegidas. No se requieren medidas adicionales.
Vulnerabilidad baja	8-12	Requiere medidas de monitoreo y mantenimiento básico.
Vulnerabilidad moderada	13-17	Se recomiendan medidas de mitigación específicas.
Vulnerabilidad alta	18-22	Requiere intervenciones significativas y planes de emergencia.
Vulnerabilidad muy alta	23-25	Acciones urgentes y estratégicas son necesarias para minimizar el impacto.

Nota. La clasificación del nivel de vulnerabilidad se basa en una combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas, complementadas con un enfoque semicuantitativo adaptado de la metodología del Project Management Institute (PMI).

Tabla 5

Tabla de vulnerabilidad de la comunidad y estructuras ante aluviones

Factor	Descripción	Vulnerabilidad	Valor Numérico
---------------	--------------------	-----------------------	-----------------------

Uso del Suelo	Predominio de uso residencial, con comercio formal e informal limitado y escasos servicios.	Alta	4
Estado de Infraestructura Urbana	Presencia de asentamientos informales, vías y aceras en mal estado, zonas verdes descuidadas, paradas de buses precarias.	Muy alta	5
Densidad Poblacional	Alta densidad poblacional con un total de 11,430 habitantes y una densidad por manzana de 270.	Muy alta	5
Equipamientos	Carencia de equipamientos educativos y de seguridad en las periferias; concentración en el barrio Mariana de Jesús.	Alta	4
Desarrollo Sostenible y Resiliencia Comunitaria	Necesidad de prácticas de manejo sostenible del agua y del suelo, y de fortalecer la educación ambiental.	Media	3

Nota. La clasificación y valores numéricos asignados a cada factor se basan en estudios realizados por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2015) y análisis de mapas geológicos y climáticos de la región por la Secretaria de Hábitat y Ordenamiento Territorial (2024).

Valoración Total de Vulnerabilidad

Sumando los valores numéricos asignados a cada factor, se obtiene una puntuación total de vulnerabilidad de **21 puntos**, según la escala definida previamente (véase Tabla 4 para detalles de la escala de vulnerabilidad). Esta escala se basa en una metodología semicuantitativa que permite evaluar y categorizar los factores de riesgo en niveles de vulnerabilidad que van desde muy baja hasta muy alta.

Esta evaluación destaca la necesidad de implementar estrategias de mitigación y mejora en los aspectos identificados para reducir la vulnerabilidad ante futuros eventos de aluvión.

5.3. Evaluación del impacto de los aluviones

La evaluación del impacto de los aluviones en la Quebrada de Rumipamba se realiza considerando diversos factores que determinan las consecuencias de estos eventos sobre la

comunidad y las infraestructuras. Se utiliza una metodología de evaluación de riesgos semicuantitativa para analizar estos factores, proporcionando una clasificación del impacto desde muy bajo hasta muy alto. A continuación, se presenta una tabla que sintetiza estos factores, su descripción, el nivel de impacto asociado y un valor numérico correspondiente:

Tabla 6

Tabla de clasificación del nivel de impacto

Nivel	Rango de Puntos	Descripción
Impacto insignificante	0-7	No requiere medidas especiales.
Impacto bajo	8-12	Requiere medidas de monitoreo y mantenimiento básico.
Impacto moderado	13-17	Se recomiendan medidas de mitigación específicas.
Impacto alto	18-22	Requiere intervenciones significativas y planes de emergencia.
Impacto muy alto	23-25	Acciones urgentes y estratégicas son necesarias para minimizar el impacto.

Nota. La clasificación del nivel de vulnerabilidad se basa en una combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas, complementadas con un enfoque semicuantitativo adaptado de la metodología del Project Management Institute (PMI).

Tabla 7

Tabla de impacto de los aluviones

Factor	Descripción	Impacto	Valor Numérico
---------------	--------------------	----------------	-----------------------

Daños a la Infraestructura	Destrucción y deterioro de viviendas, carreteras, puentes y otras estructuras.	Muy alto	5
Pérdidas Humanas	Número de fallecidos y heridos debido a los aluviones.	Muy alto	5
Impacto Económico	Costos asociados a la reconstrucción y recuperación, pérdida de ingresos y productividad.	Alto	4
Impacto Ambiental	Degradación de ecosistemas, erosión del suelo, y contaminación de cuerpos de agua.	Alto	4
Disrupción Social	Desplazamiento de personas, interrupción de servicios básicos, y afectación a la vida cotidiana.	Muy alto	5

Nota. La clasificación y valores numéricos asignados a cada factor se basan en estudios realizados por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2015) y análisis de mapas geológicos y climáticos de la región por la Secretaria de Hábitat y Ordenamiento Territorial (2024).

Valoración Total de Impacto

Sumando los valores numéricos asignados a cada factor, se obtiene una puntuación total de impacto de **23 puntos**, lo que clasifica el impacto de los aluviones como **muy alto** (Ver Tabla 6).

Esta evaluación resalta la necesidad de adoptar medidas preventivas y de mitigación para minimizar los efectos devastadores de los aluviones en la comunidad y las infraestructuras de la Quebrada de Rumipamba.

5.4. Evaluación integrada del riesgo

La evaluación integrada del riesgo combina la probabilidad de ocurrencia de los aluviones, la vulnerabilidad de la comunidad y estructuras, y el impacto potencial de los aluviones para

determinar un índice de riesgo total. Esta metodología proporciona una visión holística del riesgo, permitiendo priorizar las acciones de mitigación necesarias.

5.4.1. Pasos para la evaluación integrada del riesgo

Recopilación de Datos: Se reunió la información relevante para cada uno de los factores considerados (probabilidad, vulnerabilidad e impacto).

Asignación de Valores Numéricos: Se asignaron valores numéricos a cada factor según la escala definida previamente:

- Muy Alta = 5 puntos
- Alta = 4 puntos
- Media = 3 puntos
- Baja = 2 puntos
- Muy Baja = 1 punto

Cálculo del Índice de Riesgo:

Se multiplicaron los valores asignados a la probabilidad, vulnerabilidad e impacto.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Impacto}$$

Clasificación del Nivel de Riesgo: Se utilizó la siguiente tabla para clasificar el nivel de riesgo total basado en el valor numérico obtenido:

Tabla 8

Tabla de clasificación del nivel de riesgo

Nivel	Rango de Puntos	Descripción
Riesgo insignificante	0-3	No requiere medidas especiales.
Riesgo bajo	4-17	Medidas de monitoreo y mantenimiento básico.
Riesgo moderado	18-47	Se recomiendan medidas de mitigación específicas.
Riesgo alto	48-99	Requiere intervenciones significativas y planes de emergencia.
Riesgo muy alto	100-125	Acciones urgentes y estratégicas son necesarias para minimizar el impacto.

Nota. La clasificación del nivel de vulnerabilidad se basa en una combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas, complementadas con un enfoque semicuantitativo adaptado de la metodología del Project Management Institute (PMI).

5.4.2. Aplicación en el Caso de la Quebrada Rumipamba

Basado en los valores previamente asignados:

- Probabilidad Total: Muy alta (5)
- Vulnerabilidad Total: Alta (4)
- Impacto Total: Muy alta (5)

El cálculo del riesgo total sería:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Impacto}$$

$$\text{Riesgo} = 5 \times 4 \times 5 = 100$$

5.4.3. Interpretación de Resultados

De acuerdo con la clasificación propuesta:

Riesgo Total = 100 corresponde a un **riesgo muy alto**, lo cual indica que se requieren acciones urgentes y estratégicas para minimizar el impacto.

El siguiente mapa de riesgo muestra las áreas de la Quebrada Rumipamba que están más expuestas a aluviones y otros fenómenos naturales adversos. Este mapa fue desarrollado tomando en cuenta la información recopilada sobre topografía, uso del suelo, actividad volcánica, y otros factores que influyen en la probabilidad y el impacto de estos eventos.

Figura 18

Mapa de riesgo



Nota. El mapa de riesgo se ha elaborado utilizando datos geográficos y de riesgo obtenidos de fuentes oficiales y estudios previos. Las áreas en rojo indican zonas de alto riesgo, donde se recomienda implementar medidas de mitigación y planes de emergencia para reducir la vulnerabilidad de la comunidad y las infraestructuras.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Se concluye que la Quebrada Rumipamba enfrenta varias amenazas naturales, principalmente movimientos en masa y caída de ceniza volcánica. Estos eventos, impulsados por lluvias intensas y la actividad del volcán Guagua Pichincha, resaltan la necesidad de medidas de mitigación para proteger la infraestructura y la comunidad.
- La **probabilidad de ocurrencia** de aluviones en la Quebrada de Rumipamba se clasifica como Muy Alta. Esta clasificación requiere la implementación de medidas estratégicas y urgentes para minimizar el impacto de los aluviones en la comunidad.
- La **vulnerabilidad** de la comunidad y las estructuras en la Quebrada Rumipamba se clasifica como alta. Esto destaca la necesidad de implementar estrategias de mitigación y mejora en los aspectos identificados para reducir la vulnerabilidad ante futuros eventos de aluvión.
- El **impacto** de los aluviones en la Quebrada Rumipamba se clasifica como Muy Alto. La evaluación resalta la necesidad de adoptar medidas preventivas y de mitigación para minimizar los efectos devastadores de los aluviones en la comunidad y las infraestructuras.
- Finalmente, el **riesgo** total asociado a aluviones en la Quebrada Rumipamba es Muy Alto. Este nivel de riesgo indica que se requieren acciones urgentes y estratégicas para minimizar el impacto y proteger a la comunidad y la infraestructura.

6.2. Recomendaciones

- **Programas de reforestación y estabilización de laderas:** Implementar programas de reforestación y estabilización de laderas para reducir el riesgo de deslizamientos y mejorar las infraestructuras de drenaje y contención para gestionar mejor el flujo de agua y sedimentos.
- **Sistemas de alerta temprana y monitoreo:** Establecer sistemas de alerta temprana y monitoreo constante de las condiciones climáticas y geológicas, además de realizar campañas de concientización comunitaria sobre la importancia de mantener limpias las quebradas y no construir en áreas de riesgo.
- **Fortalecimiento de la infraestructura urbana:** Para reducir la vulnerabilidad de la comunidad y las estructuras, fortalecer la infraestructura urbana mediante la pavimentación adecuada de calles y aceras y la construcción de áreas verdes que puedan absorber el agua de lluvia.
- **Planes de Emergencia y evacuación:** Desarrollar y mantener planes de emergencia y evacuación claros y accesibles para la comunidad es vital, así como invertir en infraestructura resiliente que pueda soportar eventos aluvionales, como puentes reforzados y sistemas de contención.
- **Creación de un comité de gestión de riesgos:** Crear un comité de gestión de riesgos que incluya a representantes de la comunidad, autoridades locales y expertos en geología y climatología para coordinar las medidas de prevención y respuesta. Buscar financiamiento y apoyo técnico de instituciones nacionales e internacionales es fundamental para implementar estas recomendaciones.

Bibliografía

- Aguilar Alegria, A. G. (2010). *Modelación Hidrológica de Crecidas en la Cuenca del Río Machángara en la Ciudad de Quito*. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2212>
- Argüello, A., Arboleda, D., Menoscal, J., Maldonado, D., & Urresta, S. (2012). Monitoreo de la reforestación en las quebradas en el Norte de Quito. *Enfoque UTE*, 3(2), 42-63. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/5722/572260836004.pdf>
- Barrera-Hernández, L. F., Murillo-Parra, L. D., Ocaña-Zúñiga, J., Cabrera-Mendéz, M., Echeverría-Castro, S. B., & Sotelo-Castillo, M. A. (2020). CAUSAS, CONSECUENCIAS Y QUÉ HACER FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 25(87), 1103-1122.
- Bermeo Álvarez, S. A., Guamán, W., & Pérez Jimbo, B. (2022). Aluvión en Quito: ¿Desastre natural o desastre capitalista? *La Gasca: entre incertidumbres*, 1-7. Obtenido de https://repositorio.uce.edu.ec/archivos/aralvear/OA-CITYS/Noticias/PDFs/6_LA_GASCA_final.pdf
- Borja, D. (2 de Febrero de 2022). *127 aluviones se registraron en Ecuador desde octubre de 2020*. Obtenido de Vistazo: <https://www.vistazo.com/actualidad/nacional/127-aluviones-se-registraron-en-ecuador-desde-octubre-de-2020-KM1295194>
- Cabrera-Barona, P., & Cisneros, P. (2021). EXPLAINING THE EFFECTIVENESS OF FOREST AND WATER MANAGEMENT AND ITS SPATIAL DISTRIBUTION IN THE METROPOLITAN DISTRICT OF QUITO. *Geography, Environment, Sustainability*, 14(1), 53-62. doi:10.24057/2071-9388-2020-106

- Cargua, E. (2023). *Estudio geo-histórico de la quebrada el Tejado: una aproximación al Aluvión del 31 de enero del 2022 en los Barrios La Comuna y La Gasca*. Fac. Ciencias de la Educación, Humanas y Tecnologías. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2022). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174.
doi:10.14483/22487638.19171
- Cox, L. A. (2008). Some Limitations of “Risk = Threat × Vulnerability × Consequence” for Risk Analysis of Terrorist Attacks. *Risk Analysis*, 28(6), 1-13.
doi:10.1111/j.1539-6924.2008.01142.x
- Cruden, D. M. (1993). *Multilingual Landslide Glossary*. Richmond, Canada: BiTech Publishers Ltd.
- Díaz. (2009). *Deslizamientos: Análisis geotécnico*. Colombia: Publicaciones UIS.
- Doria Parra, A., López Benavides, L., Bonilla Ferrer, M., & Parra Cera, G. (2020). Metodología para la implementación de la gestión de riesgo en un sistema de gestión de calidad. *Signos*, 12(1), 123-135. doi:10.15332/24631140.5424
- Erb, M., & Kliebeinstein, D. (2020). Plant Secondary Metabolites as Defenses, Regulators, and Primary Metabolites: The Blurred Functional Trichotomy. *Plant Physiol*, 184(1), 39-52. doi:doi: 10.1104/pp.20.00433
- FONAG. (Febrero de 2016). El 2016: año del fortalecimiento para el FONAG. *Agua a fondo*(31), págs. 1-12. Obtenido de https://www.fonag.org.ec/web/wp-content/uploads/2019/09/AGUA_A_FONDO31-min.pdf

GAD Parroquial Rural Rumipamba. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Rumipamba (2020-2024)*. GAD Parroquial Rural Rumipamba.

Gobierno de la Provincia de Pichincha. (28 de Junio de 2022). *Distrito Metropolitano de Quito*. Obtenido de EcuRed:
https://www.ecured.cu/Distrito_Metropolitano_de_Quito#:~:text=de%20Pichincha%2C%20Ecuador.,L%C3%ADmites,Cayambe%20y%20Provincia%20del%20Napo.

Guerrero Padilla, A. M., Rodríguez Rodríguez, E. F., & Leiva González, S. (2021).
Desastres naturales: evaluación del riesgo y el flujo de derrubios en la quebrada San Idelfonso, Trujillo, La Libertad, Perú. *Arnaldoa*, 28(3), 557-576.
doi:10.22497/arnaldoa.283.28305

Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., & Castro Molina, N. E. (2020).
Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163-173.
doi:10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173

HSE Tools. (2022). *Estrategias de control de peligros y estrategias de control de exposición*. Obtenido de Blog HSE: <https://hse.software/2022/09/22/estrategias-de-control-de-peligros-y-estrategias-de-control-de-exposicion/>

Jara, G., & Ramos, G. (2021). *Propuesta de un modelo de gestión de riesgos para prevenir desastres naturales ocasionado por huaycos en el sector de la Quebrada del Diablo-Tacna 2021*. Universidad Privada de Tacna, Esc. Prof. Ingeniería Civil. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12969/1745>

- Logroño , D. S., & Morocho, K. C. (2022). *Recuperación del borde activo de la Quebrada Rumipamba en Quito, 2022*. Tesis de pregrado, Universidad Indoamérica, Fac. Cie. Arq. y Cons. , Quito. Obtenido de <https://repositorio.uti.edu.ec//handle/123456789/5480>
- Maertens, A., Golden, E., Luechtefeld, T., Hoffmann, S., Tsaioun, K., & Hartung, T. (2022). Probabilistic Risk Assessment – The Keystone for the Future of Toxicology. *ALTEX*, 39(1), 3-29. doi:10.14573/altex.2201081
- Mapbox. (2024). *Quebrada Rumipamba*. Obtenido de Mapcarta: <https://mapcarta.com/es/19650124>
- Mendoza Zambrano, N. E. (2020). *Agenda participativa para la adaptación al cambio climático y reducción del riesgo de desastres en el barrio La Primavera: el caso de la quebrada Rumipamba (2010 - 2020)*. FLACSO Andes, Departamento de Asuntos Públicos. Quito: Facultad Lationamericana de Ciencias Sociales. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10469/16805>
- Moreno, L. C. (2022). Identificación de tipos de deslizamientos en la zona de acantilados entre Ancón y Anconcito, Santa Elena, Ecuador. *Manglar*, 19(3), 247-255. doi:10.17268/manglar.2022.031
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *ATLAS DE AMENAZAS NATURALES Y EXPOSICIÓN DE INFRAESTRUCTURA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO*. Quito: Secretaria de Seguridad. Obtenido de <https://www.quito.gob.ec/index.php/municipio/218->
- Muñoz-Iniestra, D. J., López, G. F., Hernández, M. M., Soler, A. A., & López, G. J. (2009). IMPACTO DE LA PÉRDIDA DE LA VEGETACIÓN SOBRE LAS

PROPIEDADES DE UN SUELO ALUVIAL. *TERRA LATINOAMERICANA*,
27(3), 237-246. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v27n3/v27n3a8.pdf>

Paredes, M. F., Molina, M. E., & Cerón, M. P. (2022). Aluvión de Quito: una mirada comunicacional del desastre. *TSAFIQUI / Revista Científica en Ciencias Sociales*(18), 89-102. Obtenido de <https://revistas.ute.edu.ec/index.php/tsafiqui/index>

Peltre, P. (1989). Quebradas y riesgos naturales en Quito, periodo 1900-1988. *Estudios de geografía*, 2, 45-65. Obtenido de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/31649.pdf

PMA. (2007). *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. INGEMMET, Repositorio Institucional INGEMMET . Publicación Geológica Multinacional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>

Primicias. (5 de Abril de 2024). *Quebrada Rumipamba está al límite: Municipio de Quito hace obras para evitar otro aluvión*. Obtenido de Primicias: <https://www.primicias.ec/noticias/quito/aluvion-quebrada-rumipamba-lluvias-gasca/>

Quito Cómo Vamos. (2022). *Informe de calidad de vida 2022*. Quito: National Endowment for Democracy (NED). Obtenido de https://quitocomovamos.org/wp-content/uploads/2022/10/INFORME-CALIDAD-DE-VIDA-QUITO-2022_compressed.pdf

Ramos Galarza, C. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciaAmérica*, 9(3), 1-5. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7746475.pdf>

Recalde, F., Páez Egüez, J. C., & Torres Vargas, W. P. (2017). La huella de carbono de las clases sociales de mayor y menor poder adquisitivo en el Distrito Metropolitano de Quito y su impacto en el calentamiento global. *Revista Publicando*, 10(2), 89-110.

Obtenido de

https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/412/pdf_305

Rios-Sanchez, M., Gierke, J. S., & Muños-Martínez, T. (2012). HYDROGEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE PLATEAUS REGION OF THE QUITO AQUIFER SYSTEM USING REMOTE SENSING, DIGITAL GEOMORPHOLOGY, AND GEOPHYSICS. *World Environmental and Water Resources Congress 2012* (págs. 85-97). Selcuk Universitesi.

doi:10.1061/9780784412312.010

Rissier, V. (1997). *Estudio de los movimientos de tierras en las laderas del Pichincha. Informe del año 1996*. Quito: Misión ORSTOM. Obtenido de

https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers19-12/010054573.pdf

Rojas, O., & Martínez, C. (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*, 20, 83-116. Obtenido de

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383239103004>

Secretaria de Hábitat y Ordenamiento Territorial. (12 de Mayo de 2024). Map Viewer.

Distrito Metropolitano de Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de

<https://geoquito.quito.gob.ec/portal/home/webmap/viewer.html>

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2022). *SGR confirma la presencia del Fenómeno del Niño en Ecuador*.

Teleamazonas. (2024). *Moradores de La Primavera preocupados por incremento de agua en la quebrada Rumipamba*. Obtenido de Teleamazonas:

<https://www.teleamazonas.com/moradores-primavera-preocupados-incremento-agua-quebrada-rumipamba/>

Turabián, J. L., & Pérez, B. (2018). Aluvión. *LIBRETA DE VIAJE DEL MÉDICO DE FAMILIA*, 11(1), 23-24.

Villacis, E., & Marrero, N. (2017). Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha - Ecuador. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 38(2), 102-113. Obtenido de <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/384>

Zevallos, O. (2001). *Ocupación de laderas e incremento en el riesgo de desastres en el Distrito Metropolitano de Quito*. Obtenido de UNDRR - Oficina Regional de Las Américas y El Caribe: <https://www.eird.org/bibliovirtual/riesgourbano/pdf/spa/doc15344/doc15344-contenido.pdf>