



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“Análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de la subcuenca del  
Rio Casacay”**

**CARRIEL MIRANDA CRISTINA LILIANA  
INGENIERA AMBIENTAL**

**BRAVO JARAMILLO MARIA BELEN  
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA  
2025**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de la  
subcuenca del Rio Casacay”**

**CARRIEL MIRANDA CRISTINA LILIANA  
INGENIERA AMBIENTAL**

**BRAVO JARAMILLO MARIA BELEN  
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA  
2025**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

**“Análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de la  
subcuenca del Rio Casacay”**

**CARRIEL MIRANDA CRISTINA LILIANA  
INGENIERA AMBIENTAL**

**BRAVO JARAMILLO MARIA BELEN  
INGENIERA AMBIENTAL**

**PAREDES MORAN JUAN GABRIEL**

**MACHALA  
2025**

# TESIS CORREGIDA-BRAVO Y CARRIEL-ORIGINAL

4%  
Textos  
sospechosos

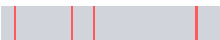


4% Similitudes  
1% similitudes entre  
comillas  
< 1% entre las fuentes  
mencionadas  
0% Idiomas no reconocidos

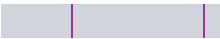
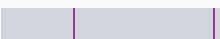
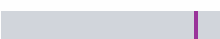
|                                                                     |                                         |                               |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| Nombre del documento: TESIS CORREGIDA-BRAVO Y CARRIEL-ORIGINAL.docx | Depositante: JUAN GABRIEL PAREDES MORAN | Número de palabras: 15.105    |
| ID del documento: 865e0a4a762e8971640c98dc0ce13380f24e236c          | Fecha de depósito: 25/7/2025            | Número de caracteres: 104.904 |
| Tamaño del documento original: 2,69 MB                              | Tipo de carga: interface                |                               |
|                                                                     | fecha de fin de análisis: 25/7/2025     |                               |



## Fuentes principales detectadas

| Nº | Descripciones                                                                                                                                                                                                                                                                           | Similitudes | Ubicaciones                                                                          | Datos adicionales                                                                                                            |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  |  <b>repositorio.utmachala.edu.ec</b><br>https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22820/1/Gómez Bravo, Aaron 01.pdf?u...<br>5 fuentes similares                                             | < 1%        |    |  Palabras idénticas: < 1% (94 palabras)   |
| 2  |  <b>Documento de otro usuario</b> #5572f2<br>Viene de de otro grupo<br>1 fuente similar                                                                                                                | < 1%        |    |  Palabras idénticas: < 1% (66 palabras)   |
| 3  |  <b>institutoicp.edu.ec</b><br>https://institutoicp.edu.ec/wp-content/uploads/2024/07/LEY-ORGANICA-PARA-LA-GESTION-IN...<br>1 fuente similar                                                           | < 1%        |    |  Palabras idénticas: < 1% (63 palabras)   |
| 4  |  <b>repositorio.espe.edu.ec</b>   Propuesta de un plan de manejo integral de la cuenca ...<br>http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/1012/7/T-ESPE-026607.pdf.txt<br>2 fuentes similares | < 1%        |   |  Palabras idénticas: < 1% (83 palabras)  |
| 5  |  <b>www.gestionderiesgos.gob.ec</b><br>https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/05/Resol.SNGR-1...                                                                      | < 1%        |  |  Palabras idénticas: < 1% (55 palabras) |

## Fuentes con similitudes fortuitas

| Nº | Descripciones                                                                                                                                                                                                                                                              | Similitudes | Ubicaciones                                                                          | Datos adicionales                                                                                                            |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  |  <b>repositorio.catie.ac.cr</b>   Sistematización de experiencias de adaptación al cambi...<br>https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11493                                       | < 1%        |  |  Palabras idénticas: < 1% (39 palabras) |
| 2  |  <b>www.edicioneslegales-informacionadicional.com</b><br>https://www.edicioneslegales-informacionadicional.com/webmaster/directorio/EE_2305130-8...                                     | < 1%        |  |  Palabras idénticas: < 1% (34 palabras) |
| 3  |  <b>pdfs.semanticscholar.org</b><br>https://pdfs.semanticscholar.org/3c8b/ffe4522969a11801856e55ae49753dda861f.pdf                                                                      | < 1%        |  |  Palabras idénticas: < 1% (34 palabras) |
| 4  |  <b>repositorio.uasb.edu.ec</b>   La configuración de Consejos de Cuenca como espacio...<br>http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8684/1/T3798-MGD-Lapuerta-La configuracio... | < 1%        |  |  Palabras idénticas: < 1% (22 palabras) |
| 5  |  <b>www.investigacionesgeograficas.com</b><br>https://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/27414                                                                             | < 1%        |  |  Palabras idénticas: < 1% (20 palabras) |

## Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

 Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

|   |                                                                                                                                                                                                    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 |  https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/09/FICHA-PROYECTO-CHECC.pdf                      |
| 2 |  http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22821                                                         |
| 3 |  https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/PNA_Plan-Nacional-de-Adaptacion_2023_2027.pdf |
| 4 |  https://www.casacay.gob.ec/images/diciembre2020/PDyOT_Casacay_2020.pdf                                         |
| 5 |  https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15575                                                        |

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Las que suscriben, CARRIEL MIRANDA CRISTINA LILIANA y BRAVO JARAMILLO MARIA BELEN, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado "Análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de la subcuenca del Rio Casacay", otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



CARRIEL MIRANDA CRISTINA LILIANA

0750071789



BRAVO JARAMILLO MARIA BELEN

0706382652



## **Dedicatoria**

A mi mamá Yovita Jaramillo, a mi papá Franklin Bravo, mis hermanos Jhon Franco Bravo y mi hermana melliza María José Bravo a quien amo con toda mi vida, dedico mi trabajo de titulación por el esfuerzo y apoyo que me han dado en todo el transcurso de mi etapa universitaria. De igual manera a dios por darme el conocimiento y las fuerzas de seguir adelante en mi carrera y poder formarme como profesional.

Junto con el apoyo de las personas que más amo, dedico todo el esfuerzo que logre en toda mi carrera como futura profesional, amo todo lo que Dios me pudo dar en mi vida al igual el apoyo de mis abuelos maternos, a mi mejor amiga Nayely, mi enamorado Juan y a mis gatitos, gracias por todo y confiar en mis capacidades.

*María Belén Bravo Jaramillo*

Mi trabajo de titulación está dirigido principalmente a Dios por la fortaleza y guía constante, a la memoria de mi abuelo Anselmo Carriel cuya partida ha sido muy difícil y su ejemplo de carácter seguirá acompañándome siempre y a mi abuela por su respaldo incondicional. A mis padres y familia en general por haber creído firmemente en mi capacidad. Este logro es especialmente significativo por ser la primera nieta, sobrina y hermana en alcanzar el título de Ingeniera. A mis hermanos menores Alejandra y Onur, a quienes amo profundamente y dedico el esfuerzo con el compromiso de estar siempre para ellos como guía, compañía y ejemplo. A mí misma, por haber enfrentado cada dificultad con resiliencia, determinación y fé, porque a pesar de aquellos desafíos, he sabido mantenerme firme ante la meta.

*Cristina Liliana Carriel Miranda*

## **Agradecimientos**

Mis más sinceros agradecimientos por el apoyo incondicional de parte de mis padres, Yovita y Franklin por apoyarme en cada paso, mi hermana María José por siempre confiar en mí y lo capaz que puedo ser cuando quiera lograr mis objetivos.

A mi tutor de titulación al Ing. Juan Gabriel Paredes Morán quien supo guiarnos en todo el transcurso del trabajo de investigación con su paciencia y conocimientos profesionales, a mi compañera de tesis, a mi amiga Cristina Carriel quien conté con su apoyo siempre y mi compañero de clases y confidente Jordan Matamoros.

*María Belén Bravo Jaramillo*

Un agradecimiento infinito a Dios, por ser mi sustento en momentos de duda, por darme fuerza cuando más la necesitaba e iluminarme con esperanzas. A mi compañera de tesis, María Belén Bravo, por su compromiso durante el proceso académico. A mi amiga y futura colega Nathaly Sánchez, con quien comparto este camino desde el primer semestre, su aval emocional en momentos difíciles ha sido invaluable. A Andrés Campoverde, por su amistad, cercanía y apoyo incondicional durante estos dos últimos años. Finalmente, a todas las personas que de una u otra manera aportaron de forma emotiva a mi crecimiento personal y profesional, les extiendo mi más sincero agradecimiento. Cada palabra de aliento, gesto y acto de fe en mí han sido parte sustancial en este logro.

*Cristina Liliana Carriel Miranda*

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la vulnerabilidad de la subcuenca del río Casacay ante riesgos naturales, mediante la identificación de amenazas específicas y la evaluación de la susceptibilidad del territorio, con el fin de aportar insumos técnicos para la gestión del riesgo. La metodología se desarrolló en tres fases: en primer lugar, se identificaron y cartografiaron tres amenazas naturales prioritarias —incendios forestales, erosión del suelo y sequías— utilizando herramientas SIG. Posteriormente, se dividió la subcuenca en tres zonas altitudinales (alta, media y baja) para diferenciar espacialmente los niveles de exposición. Finalmente, se aplicó un análisis cualitativo de vulnerabilidad por medio de matrices, considerando factores físicos, sociales y ambientales en cada zona.

Los resultados indicaron que los incendios forestales presentan mayor riesgo en la zona media y baja, debido a la presión antrópica y la reducción de la cobertura vegetal. La erosión del suelo se manifestó con alta severidad en la zona media, asociada a la pendiente y a prácticas agrícolas inadecuadas. En el caso de las sequías, se identificó una vulnerabilidad media generalizada en toda la subcuenca, producto de condiciones climáticas homogéneas y una gestión hídrica limitada. Las matrices de vulnerabilidad revelaron que la zona media es la más crítica, al concentrar niveles altos de exposición y sensibilidad para los tres riesgos evaluados, mientras que la zona alta conserva condiciones más favorables para la resiliencia.

En conclusión, la subcuenca del río Casacay presenta un escenario de vulnerabilidad diferencial que debe ser abordado desde un enfoque de gestión territorial integral, priorizando acciones de prevención y adaptación en las zonas más expuestas. El enfoque metodológico adoptado, basado en SIG y análisis multicriterio, constituye una herramienta valiosa para orientar políticas de ordenamiento, conservación ambiental y reducción del riesgo de desastres.

**Palabras Claves:** Vulnerabilidad, riesgos naturales, subcuenca, incendios forestales, SIG.

## ABSTRACT

This research aimed to analyze the vulnerability of the Casacay River sub-basin to natural hazards through the identification of specific threats and the evaluation of the territory's susceptibility, in order to provide technical inputs for risk management. The methodology was developed in three phases: first, three priority natural hazards—forest fires, soil erosion, and droughts—were identified and mapped using Geographic Information System (GIS) tools. Subsequently, the sub-basin was divided into three altitudinal zones (upper, middle, and lower) to spatially differentiate levels of exposure. Finally, a qualitative vulnerability analysis was carried out through the application of matrices, considering physical, social, and environmental factors in each zone.

The results indicated that forest fires pose a greater risk in the middle and lower zones due to anthropogenic pressure and the reduction of vegetation cover. Soil erosion showed high severity in the middle zone, associated with slope conditions and inadequate agricultural practices. In the case of droughts, a generalized medium vulnerability was identified throughout the sub-basin, as a result of homogeneous climatic conditions and limited water management. The vulnerability matrices revealed that the middle zone is the most critical, as it concentrates high levels of exposure and sensitivity for the three risks evaluated, while the upper zone retains more favorable conditions for resilience.

In conclusion, the Casacay River sub-basin presents a scenario of differential vulnerability that must be addressed from an integrated territorial management approach, prioritizing prevention and adaptation actions in the most exposed areas. The methodological approach adopted, based on GIS and multicriteria analysis, provides a valuable tool to guide land-use planning, environmental conservation, and disaster risk reduction policies.

**Keywords:** Vulnerability, natural hazards, sub-basin, forest fires, GIS.

## Contenido

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN.....                                                                                          | 3  |
| ABSTRACT .....                                                                                        | 4  |
| I. INTRODUCCIÓN.....                                                                                  | 10 |
| II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                                                                   | 12 |
| A. <i>Antecedentes</i> .....                                                                          | 12 |
| III. JUSTIFICACIÓN.....                                                                               | 14 |
| IV. OBJETIVOS .....                                                                                   | 15 |
| A. <i>Objetivo General</i> .....                                                                      | 15 |
| B. <i>Objetivos Específicos</i> .....                                                                 | 15 |
| V. MARCO TEÓRICO .....                                                                                | 16 |
| A. <i>Fundamentos de la Vulnerabilidad ante Riesgos Naturales y definición de sensibilidad.</i><br>16 |    |
| 1) Definición de vulnerabilidad.....                                                                  | 16 |
| 2) Tipos de vulnerabilidad: física, ambiental y económica.....                                        | 16 |
| 3) Factores determinantes de la vulnerabilidad.....                                                   | 17 |
| 4) Sensibilidad.....                                                                                  | 17 |
| B. <i>Concepto de Riesgos Naturales</i> .....                                                         | 18 |
| 1) Definición y clasificación de riesgos naturales.....                                               | 18 |
| 2) Relación entre peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo .....                                         | 19 |
| 3) Impactos de los riesgos naturales en ecosistemas y comunidades .....                               | 19 |
| C. <i>Gestión del Riesgo y Estrategias de Mitigación</i> .....                                        | 20 |
| 1) Marco conceptual de la gestión del riesgo.....                                                     | 20 |
| 2) Planificación territorial y adaptación al cambio climático.....                                    | 20 |
| D. <i>Normativa y Políticas de Gestión del Riesgo en Ecuador</i> .....                                | 21 |
| 1) Legislación nacional e internacional sobre riesgos naturales.....                                  | 21 |
| 2) Instituciones responsables de la gestión de riesgos.....                                           | 21 |
| E. <i>Estrategias de Adaptación y Resiliencia ante Riesgos Naturales</i> .....                        | 22 |
| 1) Adaptación basada en ecosistemas .....                                                             | 22 |
| 2) Implementación de infraestructura resiliente.....                                                  | 23 |
| 3) Fortalecimiento de sistemas de alerta temprana.....                                                | 23 |
| F. <i>Beneficios de la Evaluación de la Vulnerabilidad en la Subcuenca del Río Casacay</i> .....      | 24 |
| 1) Identificación de zonas de alto riesgo .....                                                       | 24 |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2) Implementación de medidas de mitigación efectivas.....                                                        | 24 |
| 3) Reducción de impactos económicos y sociales.....                                                              | 24 |
| VI. METODOLOGÍA .....                                                                                            | 26 |
| A. Área de estudio .....                                                                                         | 26 |
| B. Materiales y métodos .....                                                                                    | 27 |
| VII. RESULTADOS .....                                                                                            | 32 |
| A. <i>Principales riesgos identificados en la Subcuenca del río Casacay</i> .....                                | 32 |
| 1) Incendios Forestales .....                                                                                    | 32 |
| 2) Erosión del suelo .....                                                                                       | 34 |
| 3) Sequías.....                                                                                                  | 36 |
| B. <i>Análisis de la vulnerabilidad</i> .....                                                                    | 38 |
| 1) Resultados del análisis de vulnerabilidad frente a incendios forestales en la subcuenca del río Casacay ..... | 39 |
| 2) Resultados del análisis de vulnerabilidad frente a erosión del suelo en la subcuenca del río Casacay .....    | 41 |
| 3) Resultados del análisis de vulnerabilidad frente a sequías en la subcuenca del río Casacay.....               | 43 |
| C. <i>Nivel de riesgo</i> .....                                                                                  | 44 |
| 1) Resultado del nivel de riesgo frente a incendios forestales en la subcuenca del río Casacay.....              | 44 |
| 2) Resultado del nivel de riesgos frente a erosión de suelo en la subcuenca del río Casacay.....                 | 46 |
| 3) Resultado del nivel de riesgo frente a sequías en la subcuenca del río Casacay.....                           | 47 |
| VIII. DISCUSIÓN .....                                                                                            | 49 |
| CONCLUSIONES.....                                                                                                | 52 |
| RECOMENDACIONES .....                                                                                            | 54 |
| REFERENCIAS.....                                                                                                 | 55 |
| ANEXOS.....                                                                                                      | 61 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig 1 Mapa de ubicación geográfica de la Subcuenca del río Casacay .....         | 27 |
| Fig 2 Diagrama de flujo de la metodología .....                                  | 28 |
| Fig 3 Mapa de riesgos de incendios en la Subcuenca del río Casacay .....         | 34 |
| Fig 4 Mapa de riesgos de erosión del suelo en la Subcuenca del río Casacay ..... | 36 |
| Fig 5 Mapa de riesgo de sequías en la Subcuenca del río Casacay .....            | 38 |
| Fig 6 Mapa de la división altitudinal de la Subcuenca del río Casacay .....      | 39 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA I .....                                                                                                                              | 30 |
| TABLA II ASIGNACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD .....                                                                                      | 30 |
| TABLA III INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD .....                                                                                | 30 |
| TABLA IV NIVEL DE RIESGO POR ZONA DE ACUERDO A LOS RIESGOS NATURALES IDENTIFICADOS .....                                                   | 30 |
| TABLA V INTERPRETACIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO POR ZONA .....                                                                             | 31 |
| TABLA VI RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FRENTE A INCENDIOS FORESTALES PARA LA ZONA ALTA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY .....    | 40 |
| TABLA VII RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A INCENDIOS FORESTALES EN LA ZONA MEDIA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY ..... | 40 |
| TABLA VIII RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A INCENDIOS FORESTALES EN LA ZONA BAJA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY ..... | 41 |
| TABLA IX RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A EROSIÓN DE SUELO PARA LA ZONA ALTA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY .....     | 41 |
| TABLA X RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A EROSIÓN DE SUELO PARA LA ZONA MEDIA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY .....     | 42 |
| TABLA XI RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A EROSIÓN DE SUELO PARA LA ZONA BAJA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY .....     | 42 |
| TABLA XII RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A SEQUÍAS PARA LA ZONA ALTA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY .....             | 43 |
| TABLA XIII RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A SEQUÍA PARA LA ZONA BAJA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY .....             | 43 |
| TABLA XIV RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A SEQUÍAS PARA LA ZONA BAJA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY .....             | 44 |
| TABLA XV NIVEL DE RIESGO FRENTE A INCENDIOS FORESTALES DE LA SUBCUENCA ALTA, MEDIA Y BAJA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY .....            | 44 |

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA XVI NIVEL DE RIESGO FRENTE A EROSIÓN DE SUELO DE LA SUBCUENCA ALTA, MEDIA Y BAJA EN LA SUBUCUENCA DEL RÍO CASACAY ..... | 46 |
| Tabla XVII NIVEL DE RIESGO FRENTE A SEQUÍAS DE LA SUBCUENCA ALTA, MEDIA Y BAJA EN LA SUBUCUENCA DEL RÍO CASACAY .....         | 47 |

## **SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS**

|        |                                                    |
|--------|----------------------------------------------------|
| NBI    | Necesidades básicas Insatisfechas                  |
| INAMHI | Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología    |
| SIG    | Sistema de información geográfica                  |
| ODS    | Objetivo de Desarrollo Sostenible                  |
| GADs   | Gobierno Autónomo Descentralizado                  |
| AbE    | Adaptación Basada en los Ecosistemas               |
| SNGRE  | Sistema Nacional de Gestión de Riesgo y Emergencia |
| UTMACH | Universidad Técnica de Machala                     |

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos globales en la actualidad, ya que altera las relaciones socioambientales y aumenta la frecuencia e intensidad de los desastres naturales [1]. En Ecuador, las subcuencas hidrográficas enfrentan un significativo deterioro debido a la intervención humana y la falta de una gestión integral, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a fenómenos climáticos extremos. La Subcuenca del Río Casacay, ubicada en la provincia de El Oro, es un claro ejemplo de esta situación, donde factores como movimientos en masa, sismos, sequías representan amenazas constantes para los ecosistemas locales y comunidades aledañas.

Los riesgos naturales surgen de la interacción entre las amenazas naturales y la vulnerabilidad de los sistemas humanos o ecológicos. Estas amenazas pueden clasificarse en geológicas, hidrometeorológicas y aquellas derivadas de la degradación ambiental. Por ejemplo, eventos sísmicos y los movimientos en masa que afectan a la estabilidad del suelo, mientras que las sequías, provocadas por el cambio climático, contribuyen a la pérdida de vegetación, creando así incendios forestales [2].

Además, alteraciones en la cobertura vegetal y el uso del suelo en la Subcuenca del Río Casacay han incrementado el flujo superficial, afectando los recursos hídricos y aumentando el riesgo de deslizamientos de tierra. Estos factores agravan la vulnerabilidad de las comunidades locales, cuya economía y calidad de vida dependen en gran medida de la actividad agrícola [3].

Aunque el “Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático” (2023-2027) establece estrategias para fortalecer la resiliencia de las comunidades vulnerables, su implementación en la Subcuenca del Río Casacay ha sido limitada, evidenciando la necesidad de medidas adaptativas más efectivas y contextualizadas [4]. Estudios previos, como el proyecto “Adaptación a los Impactos del Cambio Climático en Recursos Hídricos en los Andes” (2019-2022), destacan que dichas medidas deben considerar factores económicos, socioculturales y ambientales para minimizar los impactos socioambientales en zonas vulnerables como esta subcuenca [5].

En base a lo antes expuesto, el presente estudio tiene como objetivo analizar la vulnerabilidad socioambiental de la Subcuenca del Río Casacay ante riesgos naturales. Para ello, se realizará un análisis integral combinando datos bibliográficos y mapas

generados por Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estas herramientas permitirán identificar los principales riesgos naturales, proporcionando un diagnóstico detallado que respalde el diseño de estrategias de mitigación y resiliencia. Implementando medidas adaptativas para fortalecer la capacidad de la comunidad para enfrentar los diferentes desastres naturales [6].

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

*¿Cómo afecta la limitada gestión en el análisis de riesgo y vulnerabilidad ante desastres naturales en la Subcuenca del Río Casacay al desarrollo socioambiental y a la sostenibilidad hídrica?*

### A. Antecedentes

Los sistemas hidrológicos cumplen un papel primordial en la regulación de los ecosistemas y la provisión de recursos para las comunidades. Sin embargo, la reciente presión del cambio climático y las actividades humanas ha incrementado la vulnerabilidad de estas áreas ante los diferentes riesgos naturales. Esta problemática requiere un análisis integral que considere características físicas, sociales y de gobernanza.

La Subcuenca del Río Casacay, es un área estratégica que abastece de agua potable y de riego agrícola a los cantones; Pasaje, Machala y El Guabo, abasteciendo aproximadamente 870 litros por segundo. Además, cumple funciones claves en la provisión de servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica y la mitigación de riesgos naturales. Sin embargo, su sostenibilidad se encuentra amenazada por fenómenos naturales adversos y presiones humanas, que han alterado la distribución de la vegetación y el uso de los recursos naturales [7].

Esta zona de estudio enfrenta una alta vulnerabilidad socioambiental debido a la deforestación y la expansión de la frontera agrícola, lo que incrementa la erosión del suelo y reduce la capacidad de infiltración, a su vez, las áreas intervenidas presentan un incremento en la sedimentación y contaminación de los cuerpos de agua, afectando la calidad del recurso hídrico y comprometiendo su disponibilidad [8]. Según [9] aproximadamente el 40 % de la comunidad vive en condiciones de necesidades básicas insatisfechas (NBI), lo que limita la capacidad de respuesta ante desastres naturales.

El cambio climático ha intensificado los riesgos en esta zona, incrementando la frecuencia y magnitud de fenómenos extremos, como lluvias torrenciales e incendios forestales. Además, la falta de una gobernanza adecuada y de un enfoque integral para el manejo de amenazas ha dificultado la implementación de medidas efectivas de mitigación. Esto sitúa a la Subcuenca del Río Casacay como una zona vulnerable y crítica ante el estrés hídrico que existe en el país [10].

Ante este panorama, es importante priorizar estrategias de prevención para mitigar los impactos los riesgos naturales. Esto incluye planes de acción ante emergencias, protocolos de evaluación y medidas de contingencia, además de fomentar la capacitación y educación comunitaria. Estas acciones son esenciales para garantizar la protección de vidas humanas y la sostenibilidad de los recursos hídricos frente a eventos catastróficos [11].

### III. JUSTIFICACIÓN

La Subcuenca del Río Casacay enfrenta múltiples desafíos relacionados con la gestión de riesgos naturales, intensificados por las actividades humanas y el cambio climático. Fenómenos como la erosión del suelo, incendios forestales y demás eventos climáticos han afectado la capacidad para garantizar servicios ecosistémicos esenciales. Estas problemáticas han incrementado la vulnerabilidad socioambiental de las comunidades locales y comprometiendo la sostenibilidad de sus diferentes recursos.

Es por lo que, el análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales se torna imprescindible. Este estudio busca identificar los factores críticos que agravan dichos riesgos, sentando las bases para el diseño de estrategias de mitigación. A demás, se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) específicamente con el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y el ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles), fortaleciendo la capacidad de las comunidades y los ecosistemas para enfrentar las amenazas actuales.

La investigación también responde a la necesidad de fortalecer la gobernanza participativa en la subcuenca, integrando los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) y otras entidades clave en la planificación territorial. Esto permitirá establecer medidas preventivas y correctivas que aseguren la conservación de los ecosistemas y la disponibilidad de recursos hídricos para las generaciones futuras, promoviendo un equilibrio sostenible entre el desarrollo económico y la protección ambiental

## IV. OBJETIVOS

### *A. Objetivo General*

Analizar la vulnerabilidad de la Subcuenca del Río Casacay ante riesgos naturales, identificando las amenazas principales, las condiciones de exposición y las capacidades de respuesta de la población, con el fin de proponer medidas de mitigación para reducir los impactos asociados.

### *B. Objetivos Específicos*

- Identificar los principales riesgos naturales que afectan a la Subcuenca del Río Casacay, considerando los factores climáticos, geológicos y antrópicos.
- Examinar la vulnerabilidad física, social y ambiental de las comunidades y ecosistemas en la subcuenca, caracterizando los de mayor significancia, por medio de la matriz de la metodología colombiana.
- Sugerir estrategias de gestión y mitigación de riesgos naturales, orientadas a fortalecer las capacidades locales, reducir los niveles de exposición y la vulnerabilidad identificados en la subcuenca.

## V. MARCO TEÓRICO

### A. *Fundamentos de la Vulnerabilidad ante Riesgos Naturales y definición de sensibilidad.*

#### 1) Definición de vulnerabilidad

La vulnerabilidad ante riesgos naturales hace referencia a la susceptibilidad de una población o territorio frente a eventos adversos, determinada no solo por la presencia de amenazas naturales, sino también por las condiciones socioeconómicas, políticas y ambientales que agravan la exposición al riesgo [12].

En muchas subcuencas a nivel nacional, especialmente en la región Costa, la vulnerabilidad ante riesgos naturales se ve influenciada por diversos factores, como la erosión del suelo, la deforestación y la expansión desordenada de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo [13]. La falta de infraestructura adecuada y la limitada capacidad de respuesta ante eventos como incendios forestales y deslizamientos de tierra aumentan la exposición de la población y la gravedad de los impactos.

Además, la intensificación de las actividades agrícolas sin medidas de conservación del suelo contribuye a su degradación, incrementando el riesgo de sequías y la pérdida de productividad agrícola [14]. Reducir esta vulnerabilidad requiere un enfoque integral que combine estrategias ambientales, sociales y económicas para fortalecer la resiliencia de los territorios y sus comunidades.

#### 2) Tipos de vulnerabilidad: física, ambiental y económica

##### a) *Física*

La vulnerabilidad física se refiere a las condiciones estructurales y geográficas de un territorio que aumentan su susceptibilidad a los riesgos naturales. Incluye aspectos como la ubicación de los asentamientos en zonas propensas a desastres, la calidad de la infraestructura y la disponibilidad de vías de evacuación. En regiones con construcciones informales o edificaciones sin criterios técnicos, el impacto de fenómenos como deslizamientos de tierra, inundaciones o incendios forestales puede ser mucho mayor [15].

##### b) *Ambiental*

La vulnerabilidad ambiental se encuentra relacionada con la degradación de los ecosistemas y la pérdida de servicios ambientales que brindan protección ante desastres naturales. Factores como la deforestación, la erosión del suelo y la contaminación del agua

pueden agravar la exposición de las comunidades al riesgo, reduciendo la capacidad del medio ambiente para mitigar los efectos de eventos extremos [16].

#### *c) Económica*

La vulnerabilidad económica hace referencia a la capacidad financiera de una comunidad para enfrentar y recuperarse de un desastre natural. Las poblaciones con bajos ingresos, acceso limitado a recursos y dependencia de actividades económicas vulnerables, como la agricultura de subsistencia, tienen menos capacidad de respuesta ante eventos adversos [17].

#### 3) Factores determinantes de la vulnerabilidad

Los factores sociales y económicos se presentan de manera determinante en la vulnerabilidad de una población ante los riesgos naturales. La pobreza, la desigualdad, el acceso limitado a educación y la falta de infraestructura básica aumentan la exposición de las comunidades a desastres. La marginación y la ausencia de políticas efectivas de gestión del riesgo también contribuyen a la perpetuación de condiciones vulnerables [18].

En las subcuencas hidrográficas del país, el crecimiento desordenado de los asentamientos humanos, la falta de servicios básicos en algunas áreas y la dependencia de actividades agrícolas sin medidas de adaptación hacen que la población esté más expuesta a los impactos de los fenómenos naturales. La implementación de políticas de desarrollo sostenible y la capacitación en gestión de riesgos son fundamentales para reducir esta vulnerabilidad [19].

#### 4) Sensibilidad

Constituye uno de los componentes importantes en la evaluación de la vulnerabilidad frente a amenazas naturales, junto con la exposición y la capacidad adaptativa o de respuesta [20]. Se refiere al grado en que un sistema natural, social o económico puede ser afectado por la ocurrencia de un fenómeno peligroso, considerando sus condiciones internas o características estructurales

A diferencia de la exposición, que está relacionada con la presencia física ante una amenaza, la sensibilidad alude a la predisposición del sistema a sufrir daños, dependiendo de factores intrínsecos como la cobertura vegetal, uso del suelo, estado de los ecosistemas, características socioeconómicas de la población y condiciones infraestructurales [21].

Por otro lado, desde un enfoque ecológico, la sensibilidad también puede analizarse a través de la capacidad de los ecosistemas para resistir perturbaciones. Un ecosistema degradado, fragmentado o con baja diversidad funcional será más sensible ante eventos extremos como incendios forestales o sequías prolongadas. La evaluación de la sensibilidad ecológica ha sido incorporada en modelos de adaptación basada en ecosistemas (AbE), los cuales consideran la integridad de los ecosistemas como una barrera natural frente a amenazas [22].

### *B. Concepto de Riesgos Naturales*

#### 1) Definición y clasificación de riesgos naturales

El riesgo es el resultado de la interacción entre varios factores, incluyendo la probabilidad de que ocurra un evento peligroso, la exposición de personas o bienes en áreas susceptibles y la vulnerabilidad de estos elementos, lo que determina la magnitud de los daños potenciales [23]. Cuando estos factores se combinan, se genera un nivel de riesgo determinado; en cambio, si alguno de ellos está ausente, el riesgo se reduce a cero.

La expansión de asentamientos humanos en cuencas hidrográficas, frecuentemente sin una planificación territorial adecuada, incrementa significativamente la vulnerabilidad ante desastres naturales [24]. Zonas como quebradas y laderas de alta pendiente suelen albergar asentamientos informales que enfrentan riesgos elevados debido a su ubicación [25].

Además, la construcción sin criterios técnicos adecuados, la falta de acceso a servicios básicos y la limitada gestión del riesgo agravan la vulnerabilidad de las comunidades. A pesar de los esfuerzos por regularizar la tenencia de la tierra, existen políticas que no han abordado de manera efectiva los riesgos naturales asociados, dejando a las poblaciones expuestas a posibles desastres.

La Subcuenca del Río Casacay presenta una serie de posibles riesgos naturales debido a su ubicación geográfica, características ecosistémicas y condiciones climáticas [26]. Entre los posibles riesgos identificados se encuentran los movimientos en masa, las sequías, los sismos, los incendios forestales y la erosión del suelo. La combinación de pendientes pronunciadas, suelo-s de alta susceptibilidad a la inestabilidad y eventos de precipitaciones intensas puede favorecer la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes,

amenazando la infraestructura y la seguridad de las comunidades asentadas en zonas vulnerables [27].

Por otro lado, la variabilidad climática y la reducción de las precipitaciones pueden generar períodos de sequía prolongada, afectando la disponibilidad de agua para el consumo humano, la agricultura y los ecosistemas locales [28]. Asimismo, dada la actividad sísmica en la región andina, la subcuenca no está exenta de la posibilidad de sismos, los cuales pueden intensificar otros riesgos, como los deslizamientos o daños estructurales en edificaciones. Los incendios forestales, muchas veces provocados por la actividad humana o exacerbados por condiciones de sequedad, pueden degradar los ecosistemas y reducir la cobertura vegetal, afectando la capacidad de retención hídrica del suelo [29].

Finalmente, la erosión del suelo, impulsada por la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas y la acción del viento y el agua, puede generar pérdida de fertilidad y contribuir a la sedimentación de los cuerpos de agua [30]. Estos factores hacen evidente la necesidad de una gestión integral del territorio y los recursos hídricos para minimizar los riesgos y garantizar la sostenibilidad ambiental de la subcuenca.

## 2) Relación entre peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo

La relación entre peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo es esencial para comprender y gestionar los desastres naturales en cuencas hidrográficas. La peligrosidad se refiere a la probabilidad de que ocurra un evento natural potencialmente dañino, como inundaciones, deslizamientos o sequías. La vulnerabilidad indica el grado de susceptibilidad de una comunidad o sistema ante estos eventos, considerando factores como la ubicación geográfica, la calidad de las infraestructuras y las condiciones socioeconómicas. El riesgo es el resultado de la interacción entre la peligrosidad y la vulnerabilidad; es decir, un área con alta peligrosidad, pero baja vulnerabilidad puede tener un riesgo moderado, mientras que una zona con alta vulnerabilidad y peligrosidad presenta un riesgo elevado [31].

## 3) Impactos de los riesgos naturales en ecosistemas y comunidades

Los riesgos naturales generan impactos significativos tanto en los ecosistemas como en las comunidades, afectando la estabilidad ambiental y el bienestar humano [32]. En los ecosistemas, eventos como inundaciones, deslizamientos, incendios forestales y sequías alteran la biodiversidad, reducen la cobertura vegetal y modifican la dinámica hidrológica

de las cuencas [33]. Estos cambios pueden disminuir la capacidad de regulación de los ecosistemas, afectando servicios como la provisión de agua, la fertilidad del suelo y la captura de carbono.

Además, la erosión del suelo y la sedimentación en ríos y embalses deterioran la calidad del agua y reducen la capacidad de almacenamiento de estos cuerpos hídricos, afectando el equilibrio ecológico de la región [34]. En las comunidades, los impactos de los riesgos naturales dependen de su nivel de vulnerabilidad y capacidad de respuesta.

Los desastres pueden causar pérdida de vidas humanas, desplazamientos forzados y daños en infraestructura esencial, como viviendas, carreteras y sistemas de abastecimiento de agua. Además, pueden generar crisis económicas al afectar sectores productivos como la agricultura y el turismo [35]. Las comunidades rurales y aquellas ubicadas en zonas de alta pendiente o cercanas a cuerpos de agua suelen ser las más afectadas debido a su mayor exposición y limitada capacidad de adaptación.

### *C. Gestión del Riesgo y Estrategias de Mitigación*

#### **1) Marco conceptual de la gestión del riesgo**

La gestión del riesgo implica la implementación de estrategias y medidas destinadas a prevenir, mitigar y responder a los peligros identificados en una cuenca hidrográfica [36]. Estas acciones incluyen la planificación territorial adecuada, la restauración de ecosistemas, la construcción de infraestructura resiliente y la capacitación de la población en prevención y respuesta ante desastres [37]. Además, se promueve la participación de instituciones gubernamentales, organizaciones comunitarias y actores privados para fortalecer la resiliencia del territorio.

#### **2) Planificación territorial y adaptación al cambio climático**

La planificación territorial desempeña un papel fundamental en la reducción de la vulnerabilidad frente a los riesgos naturales y en la adaptación al cambio climático [38]. Un ordenamiento territorial adecuado permite identificar zonas de alto riesgo, regular el uso del suelo y promover estrategias que minimicen los impactos de fenómenos como inundaciones, deslizamientos, sequías e incendios forestales. La falta de planificación o su inadecuada implementación ha sido un factor determinante en el aumento de la exposición de comunidades y ecosistemas a estos riesgos, especialmente en regiones con alta variabilidad climática y presión antrópica sobre los recursos naturales [39].

En el contexto del cambio climático, la planificación territorial debe incorporar enfoques basados en la resiliencia y la sostenibilidad. Esto implica la conservación de ecosistemas estratégicos, como bosques de páramo y zonas de recarga hídrica, que actúan como reguladores naturales del agua y ayudan a mitigar los efectos de eventos extremos. Asimismo, es crucial fomentar prácticas de construcción seguras, evitar la expansión de asentamientos en áreas de alta pendiente o zonas de inundación, y promover la infraestructura verde, como corredores ecológicos y sistemas agroforestales, que contribuyen a la adaptación al cambio climático.

*D. Normativa y Políticas de Gestión del Riesgo en Ecuador*

1) Legislación nacional e internacional sobre riesgos naturales

*a) La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua establece el marco legal para la gestión del agua en Ecuador, promoviendo la gestión integrada por cuencas y la participación de los diferentes niveles de gobierno y la ciudadanía en la planificación y manejo de los recursos hídricos [40].

*b) Ley Orgánica para la gestión integral del riesgo de desastres*

Esta ley establece un marco normativo integral para la gestión de riesgos derivados de amenazas naturales y antrópicas. Su objetivo es normar los procesos para la planificación, organización y articulación de políticas y servicios para el conocimiento, previsión, prevención, mitigación, respuesta y recuperación ante emergencias, desastres, catástrofes, epidemias y pandemias. Además, regula el funcionamiento del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres, garantizando la seguridad y protección de las personas, las colectividades y la naturaleza [41].

2) Instituciones responsables de la gestión de riesgos

*d) Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR)*

La SNGR es el organismo a cargo del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos. Su misión es identificar riesgos de origen natural o antrópico, reducir la vulnerabilidad en el territorio ecuatoriano y asegurar que tanto instituciones públicas como privadas incorporen la gestión de riesgos en su planificación y operaciones. Además,

promueve la educación y capacitación para fortalecer las capacidades de la ciudadanía en esta materia [42].

*c) Comité de Operaciones de Emergencias*

El COE Nacional es una instancia interinstitucional responsable de coordinar las acciones de respuesta y recuperación ante situaciones de emergencia y desastre a nivel nacional. Está conformado por representantes de diversas instituciones y es dirigido por el presidente de la República o su delegado. Su estructura y funciones están detalladas en el "Manual del Comité de Operaciones de Emergencia" [43].

*d) Servicio integrado de seguridad ECU 911*

Gestiona la atención de situaciones de emergencia reportadas por la ciudadanía a través del número único 911. Coordina con organismos públicos y privados para brindar una respuesta oportuna y eficiente, contribuyendo a la seguridad integral de la población. Su misión es ser una institución líder en la coordinación de servicios de emergencia, utilizando tecnología de punta en sistemas y telecomunicaciones [44].

*e) Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI*

Proporciona datos sobre clima, hidrología y meteorología, fundamentales para predecir y mitigar riesgos relacionados con inundaciones, sequías y eventos climáticos extremos [45].

*E. Estrategias de Adaptación y Resiliencia ante Riesgos Naturales*

La Subcuenca del Río Casacay, ubicada en la provincia de El Oro, Ecuador, enfrenta diversos riesgos naturales, incluyendo deslizamientos de tierra, erosión del suelo e inundaciones. Para mitigar estos riesgos y fortalecer la resiliencia de las comunidades locales, es esencial implementar estrategias de adaptación que integren la gestión de los ecosistemas, el desarrollo de infraestructuras resilientes y el fortalecimiento de sistemas de alerta temprana.

*1) Adaptación basada en ecosistemas*

La Adaptación Basada en Ecosistemas (AbE) se centra en la utilización y restauración de los ecosistemas para reducir la vulnerabilidad ante riesgos naturales [46]. En la Subcuenca del Río Casacay, la conservación y restauración de áreas forestales pueden desempeñar un papel crucial en la estabilización de suelos y la regulación del ciclo

hidrológico. Por ejemplo, la reforestación con especies nativas en zonas de alta pendiente puede disminuir la susceptibilidad a deslizamientos y reducir la erosión [47]. Además, la protección de humedales y áreas ribereñas contribuye a la mitigación de inundaciones al actuar como zonas de amortiguamiento que absorben el exceso de agua durante eventos de lluvias intensas. Estas acciones abordan los riesgos inmediatos, así como también promueven la biodiversidad y mejoran los servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades locales.

## 2) Implementación de infraestructura resiliente

Desarrollar infraestructuras que puedan resistir y adaptarse a los eventos naturales adversos es fundamental para garantizar la seguridad y el bienestar de las poblaciones en la Subcuenca del Río Casacay. Esto incluye la construcción de sistemas de drenaje eficientes que prevengan inundaciones en áreas urbanas y rurales, así como la estabilización de taludes mediante técnicas de bioingeniería que combinen estructuras físicas con plantaciones vegetales para reforzar la cohesión del suelo. Además, es importante diseñar y ubicar infraestructuras críticas, como puentes y carreteras, considerando las zonas de riesgo identificadas, asegurando que puedan soportar eventos extremos y manteniendo su funcionalidad durante y después de dichos eventos [48].

## 3) Fortalecimiento de sistemas de alerta temprana

Los sistemas de alerta temprana son herramientas esenciales para la reducción del riesgo de desastres, ya que permiten monitorear y comunicar de manera oportuna la ocurrencia de eventos naturales adversos [49]. En la Subcuenca del Río Casacay, la implementación de estaciones meteorológicas y sensores de humedad del suelo puede proporcionar datos en tiempo real sobre condiciones que preceden a deslizamientos o inundaciones.

Estos datos deben integrarse en sistemas de información accesibles para las autoridades locales y las comunidades, permitiendo la emisión de alertas tempranas y la ejecución de planes de evacuación o medidas preventivas. La capacitación de la población en la interpretación de estas alertas y en las acciones a seguir es igualmente crucial para garantizar una respuesta efectiva y minimizar las pérdidas humanas y materiales [50]. Implementar estas estrategias de manera integrada y participativa, involucrando a las comunidades locales, autoridades y organizaciones no gubernamentales, fortalecerá la

resiliencia de la Subcuenca del Río Casacay frente a los riesgos naturales, promoviendo un desarrollo sostenible y seguro para sus habitantes.

*F. Beneficios de la Evaluación de la Vulnerabilidad en la Subcuenca del Río Casacay*

1) Identificación de zonas de alto riesgo

La evaluación de la vulnerabilidad en la Subcuenca del Río Casacay permite identificar con precisión las zonas de alto riesgo ante desastres naturales. Este proceso se basa en el análisis de factores como la geología, el uso del suelo, la pendiente del terreno y la exposición de las comunidades e infraestructura. La identificación de estas áreas críticas facilita la toma de decisiones en planificación territorial, permitiendo evitar asentamientos en zonas propensas a deslizamientos, inundaciones y erosión del suelo. Además, proporciona información clave para diseñar estrategias de protección ambiental y uso sostenible del territorio, reduciendo así la exposición a eventos naturales adversos [51].

2) Implementación de medidas de mitigación efectivas

Una vez identificadas las áreas vulnerables, es posible desarrollar e implementar medidas de mitigación efectivas en la Subcuenca del Río Casacay. Estas medidas pueden incluir la reforestación de zonas degradadas para estabilizar el suelo, la construcción de obras hidráulicas para el control de inundaciones, la adecuación de prácticas agrícolas sostenibles y la promoción de asentamientos en áreas más seguras. Asimismo, el fortalecimiento de la gestión del riesgo a través de la educación ambiental y la participación comunitaria es fundamental para garantizar que estas estrategias sean sostenibles a largo plazo. Con una planificación adecuada y el uso de tecnologías innovadoras, se puede reducir significativamente la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas ante amenazas naturales.

3) Reducción de impactos económicos y sociales

La vulnerabilidad ante riesgos naturales afecta los ecosistemas, así como también genera consecuencias económicas y sociales significativas. La pérdida de cultivos, la destrucción de viviendas e infraestructura y la interrupción de actividades productivas pueden afectar gravemente la economía local [52].

Además, los desastres naturales pueden generar desplazamientos forzados y afectar la calidad de vida de las comunidades. A través de una evaluación adecuada de la vulnerabilidad, se pueden desarrollar políticas públicas y estrategias de inversión que minimicen estos impactos. La reducción de daños mediante acciones preventivas y de adaptación protegen a la población y disminuye los costos asociados a la recuperación y reconstrucción, favoreciendo así un desarrollo sostenible en la Subcuenca del Río Casacay.

## VI. METODOLOGÍA

El presente capítulo describe el enfoque metodológico empleado para desarrollar el análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales en la subcuenca del río Casacay. La metodología se diseñó con el objetivo de identificar, caracterizar y evaluar los riesgos naturales que afectan a las comunidades y ecosistemas del área de estudio, considerando factores físicos, sociales y ambientales. Para ello, se integraron herramientas cualitativas y cuantitativas, incluyendo SIG, información técnica y referenciación bibliográfica. Esta metodología integral permitió diagnosticar las condiciones actuales del territorio y también generar insumos técnicos para la formulación y sugerencia de estrategias de gestión y reducción del riesgo.

### A. Área de estudio

La subcuenca del Río Casacay se encuentra localizada en la parte baja de la cuenca hidrográfica del río Jubones, dentro de la provincia de El Oro, en el sur del Ecuador. Este sistema hídrico abarca territorios pertenecientes a los cantones Pasaje y Chilla, y presenta una extensión aproximada de 12.195,78 ha. La variación altitudinal de la zona es considerable, con un rango que oscila entre los 60 y 3588 msnm, lo que influye directamente en la heterogeneidad climática, la distribución de los ecosistemas y la disponibilidad hídrica del territorio [53].

Entre las localidades rurales de la subcuenca se encuentran las de Bachiquillo, Canta Gallo, Chontas, Dumarí, Guirishio, San Antonio y Verde llano. Estos sectores fueron seleccionados como puntos estratégicos para la recolección de información, debido a su representatividad geográfica, sus condiciones de exposición ante eventos naturales y relevancia en el eje social y ambiental de la subcuenca.

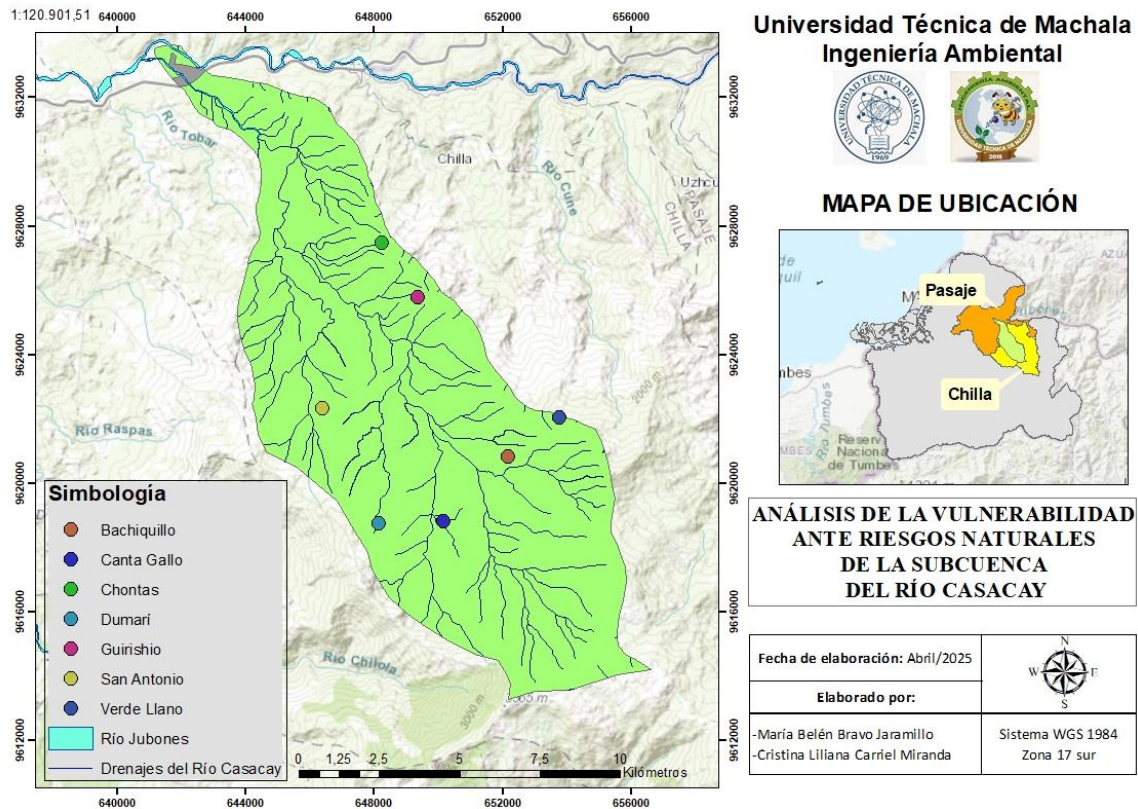


Fig 1 Mapa de ubicación geográfica de la Subcuenca del río Casacay

Fuente: Elaboración propia MAATE, 2022

## B. Materiales y métodos

Para este estudio, se elaboró un diagrama de flujo que detalla de manera estructurada los materiales y métodos empleados en la investigación, con base en los tres objetivos específicos que guiaron el desarrollo del análisis. Este esquema metodológico, ilustrado en la Fig. 2, permite visualizar el proceso integral seguido para evaluar la vulnerabilidad ante los riesgos naturales en la subcuenca del río Casacay.

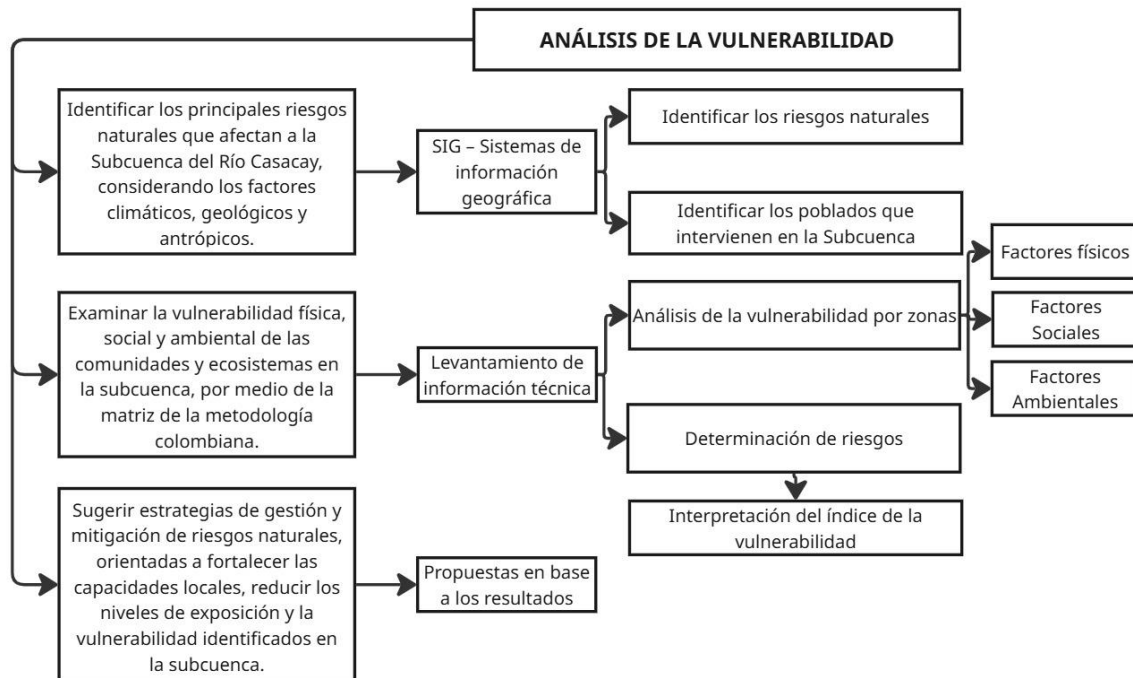


Fig 2 Diagrama de flujo de la metodología

La presente investigación adopta un enfoque integral de gestión de riesgos naturales, combinando el análisis espacial de amenazas con una evaluación cualitativa de la vulnerabilidad. El estudio se desarrolló en tres fases articuladas. En la primera fase, se realizó el levantamiento y análisis de información cartográfica, con el propósito de caracterizar las condiciones físicas y ambientales de la subcuenca del río Casacay. Para ello, se emplearon herramientas de SIG, lo que permitió establecer una base técnica sólida para entender la dinámica del territorio y sus posibles escenarios de riesgo. En esta etapa se identificaron tres amenazas naturales relevantes para la subcuenca: incendios forestales, erosión de suelos y sequías. Se recopilaron y procesaron datos temáticos asociados a cada amenaza, y mediante criterios técnicos se elaboraron mapas de amenaza que clasifican las zonas según su nivel de exposición: alta, media o baja.

Posteriormente, en la segunda fase se desarrolló el análisis de vulnerabilidad por zonas de la subcuenca, divididas en alta, media y baja. Este análisis se abordó considerando tres dimensiones fundamentales: física, social y ambiental. Los factores físicos incluyen aspectos como la pendiente del terreno, los materiales constructivos de las viviendas y el acceso a vías de evacuación; los factores sociales contemplan variables como la densidad poblacional, el nivel de ingresos y el acceso a servicios básicos; mientras que los factores

ambientales se refieren a la cobertura vegetal, la calidad del suelo y los usos predominantes del territorio. Esta clasificación responde a lineamientos normativos y metodologías ampliamente aceptadas en la región, como las establecidas por el Ministerio de Ambiente de Perú, donde la vulnerabilidad es entendida como la susceptibilidad física, social y ambiental frente a eventos peligrosos [54].

Para la evaluación de la vulnerabilidad no se realizaron levantamientos de campo, sino que se recurrió a fuentes secundarias, literatura técnica y criterios de expertos. A partir de esta información, se seleccionaron indicadores representativos de cada dimensión de análisis y se les asignaron valores cualitativos en una escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a una baja vulnerabilidad y 5 a un alta. Las ponderaciones de los indicadores se definieron con base en estudios previos y metodologías comparables. Esta estrategia metodológica permite integrar información cuantitativa y cualitativa a través de matrices, facilitando una valoración sistemática y objetiva del grado de vulnerabilidad por zona.

Una vez calificados todos los indicadores, se procedió a calcular un índice de vulnerabilidad promedio para cada zona de la subcuenca, sumando las calificaciones obtenidas en las tres dimensiones consideradas y dividiendo entre el número de factores analizados. Este índice proporciona un valor sintético del nivel de vulnerabilidad general de cada zona, el cual fue categorizado en tres niveles: bajo, medio y alto, según rangos establecidos en la literatura o criterios técnicos ajustados al contexto local. Esta clasificación permite realizar comparaciones entre áreas y priorizar intervenciones en función del nivel de riesgo.

Finalmente, en la tercera fase del estudio, se integraron los resultados del análisis de amenazas y vulnerabilidad con el fin de determinar el nivel de riesgo en cada zona de la subcuenca. De acuerdo con el enfoque de gestión de riesgos, el riesgo se define como la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad. Para ello, se construyó una matriz de doble entrada que relaciona el nivel de amenaza (alto, medio o bajo) con el nivel de vulnerabilidad obtenido previamente. A partir de esta matriz se asignaron los niveles de riesgo correspondientes, los cuales también fueron clasificados en categorías de bajo, medio y alto riesgo. Esta integración permitió identificar las zonas críticas donde confluyen altos niveles de amenaza y vulnerabilidad, priorizando así las áreas con mayor necesidad de intervención.

TABLA I  
ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR ZONA

| <b>Criterio</b>                 | <b>Descripción zona alta</b>                   | <b>Nivel asignado</b> |
|---------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------|
| Pendiente del terreno           | Fuerte (>30%)                                  | 5 (Muy alta)          |
| Cercanía a cuerpos hídricos     | Muy cercana a quebradas con escorrentía fuerte | 4 (Alta)              |
| Tipo de cobertura vegetal       | Deforestación por expansión agrícola           | 4 (Alta)              |
| Densidad poblacional            | Baja densidad, viviendas dispersas             | 2 (Baja)              |
| Infraestructura y accesibilidad | Caminos rurales poco desarrollados             | 3 (Media)             |
| Servicios básicos               | Acceso limitado a agua potable y electricidad  | 3 (Media)             |
| Presencia de zonas frágiles     | Zona cercana a bosque protector                | 4 (Alta)              |

TABLA II  
ASIGNACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD

| <b>Criterio</b>         | <b>Valor (1–5)</b> |
|-------------------------|--------------------|
| Pendiente               | 5                  |
| Cercanía a quebradas    | 4                  |
| Cobertura vegetal       | 4                  |
| Densidad poblacional    | 2                  |
| Infraestructura/acceso  | 3                  |
| Servicios básicos       | 3                  |
| Zonas frágiles          | 4                  |
| Promedio total (índice) | <b>3.57</b>        |

Se usa esta escala de clasificación

TABLA III  
INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

| <b>Índice promedio</b> | <b>Nivel de vulnerabilidad</b> |
|------------------------|--------------------------------|
| 1.00 – 1.49            | Muy baja                       |
| 1.50 – 2.49            | Baja                           |
| 2.50 – 3.49            | Media                          |
| 3.50 – 4.49            | Alta                           |
| 4.50 – 5.00            | Muy alta                       |

TABLA IV  
NIVEL DE RIESGO POR ZONA DE ACUERDO A LOS RIESGOS NATURALES IDENTIFICADOS

| <b>Zona</b> | <b>Riesgo Natural</b> | <b>Nivel de Amenaza (GIS)</b> | <b>Nivel de Vulnerabilidad (Matriz)</b> | <b>Nivel de Riesgo</b> |
|-------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| Alta        | Erosión de suelo      | Alta/Media/Baja               | Alta/Media/Baja                         | Alta/Media/Baja        |
| Media       | Erosión de suelo      | Alta/Media/Baja               | Alta/Media/Baja                         | Alta/Media/Baja        |
| Baja        | Erosión de suelo      | Alta/Media/Baja               | Alta/Media/Baja                         | Alta/Media/Baja        |

TABLA V  
INTERPRETACIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO POR ZONA

|                      | <b>Vulnerabilidad Baja</b> | <b>Vulnerabilidad Media</b> | <b>Vulnerabilidad Alta</b> |
|----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>Amenaza Baja</b>  | Riesgo Bajo                | Riesgo Bajo                 | Riesgo Medio               |
| <b>Amenaza Media</b> | Riesgo Bajo                | Riesgo Medio                | Riesgo Alto                |
| <b>Amenaza Alta</b>  | Riesgo Medio               | Riesgo Alto                 | Riesgo Muy Alto            |

## VII. RESULTADOS

El presente capítulo expone los principales hallazgos obtenidos a partir del análisis de amenazas, vulnerabilidad y riesgo en la subcuenca del río Casacay. A través del procesamiento de información geoespacial y la aplicación de matrices cualitativas, se identificaron las zonas con mayor susceptibilidad frente a incendios forestales, erosión del suelo y sequías. Asimismo, se determinó el grado de vulnerabilidad física, social y ambiental en las diferentes áreas de la subcuenca, lo que permitió establecer niveles de riesgo diferenciados. Los resultados aquí presentados constituyen una base técnica fundamental para orientar acciones de planificación territorial y gestión integral del riesgo en el ámbito local.

### *A. Principales riesgos identificados en la Subcuenca del río Casacay*

#### 1) Incendios Forestales

Dentro del análisis espacial realizado en la subcuenca del río Casacay, ubicada en la provincia de El Oro, se identificaron distintas zonas con niveles diferenciados de susceptibilidad a incendios forestales. Este estudio permitió establecer un mapa de riesgo que delimita claramente las áreas según su grado de vulnerabilidad ante la ocurrencia de eventos de esta naturaleza. La delimitación se efectuó utilizando información geoespacial bajo el sistema de referencia WGS 1984 UTM, zona 17S, considerando factores físicos y ambientales relevantes como la cobertura vegetal, la topografía y la incidencia histórica de incendios, de acuerdo con datos proporcionados por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGR) al 27 de diciembre de 2016.

En la zona central de la subcuenca se concentran áreas con altos niveles de susceptibilidad. Estas regiones, caracterizadas por una combinación de pendiente, material vegetal seco y condiciones climáticas propensas, presentan una mayor probabilidad de que se originen y propaguen incendios forestales. La intensidad del riesgo en estas áreas exige una atención prioritaria para la implementación de medidas de mitigación, tales como campañas de prevención, patrullajes constantes durante épocas secas, y planes de manejo forestal específicos.

Hacia el sur del área de estudio se detecta una zona con la más alta susceptibilidad. Esta franja, relativamente extensa, está influenciada por una alta carga de combustible

vegetal, escasa humedad ambiental y posiblemente presión antrópica, como la práctica de quemas agrícolas o el avance de la frontera agrícola. Esta combinación de factores incrementa significativamente el riesgo de incendios, representando un punto crítico dentro del análisis general. Dicha zona requiere una intervención urgente, tanto desde el ámbito institucional como comunitario, para frenar el deterioro ambiental y garantizar la seguridad de los ecosistemas locales.

En contraposición, existen también sectores con niveles bajos de susceptibilidad distribuidos de forma más localizada, principalmente en zonas donde la densidad vegetal es menor, o donde la humedad relativa y otros factores climáticos contribuyen a reducir la probabilidad de ignición. Estas áreas, aunque presentan menor riesgo, no deben ser descartadas del plan de monitoreo y gestión, ya que su condición puede variar con el tiempo debido a factores como el cambio climático, el uso del suelo o la intervención humana.

Un porcentaje significativo del territorio de la subcuenca presenta susceptibilidad media, lo cual indica una condición intermedia de riesgo. Estas áreas pueden pasar a una categoría de mayor peligrosidad si no se controla adecuadamente el uso del suelo o si se incrementan las condiciones propicias para incendios. Por lo tanto, resulta fundamental desarrollar estrategias integradas de gestión del paisaje que permitan mantener y reducir los niveles de riesgo en estas zonas.

En resumen, el mapa de riesgo generado permite visualizar con claridad la distribución espacial de la susceptibilidad a incendios forestales en la subcuenca del río Casacay. Los resultados obtenidos son clave para la toma de decisiones en materia de prevención y manejo ambiental, ya que ofrecen una herramienta técnica valiosa para la planificación territorial y la reducción de riesgos. La priorización de las áreas más vulnerables contribuirá a fortalecer las capacidades de respuesta ante emergencias y a preservar los recursos naturales de la región.

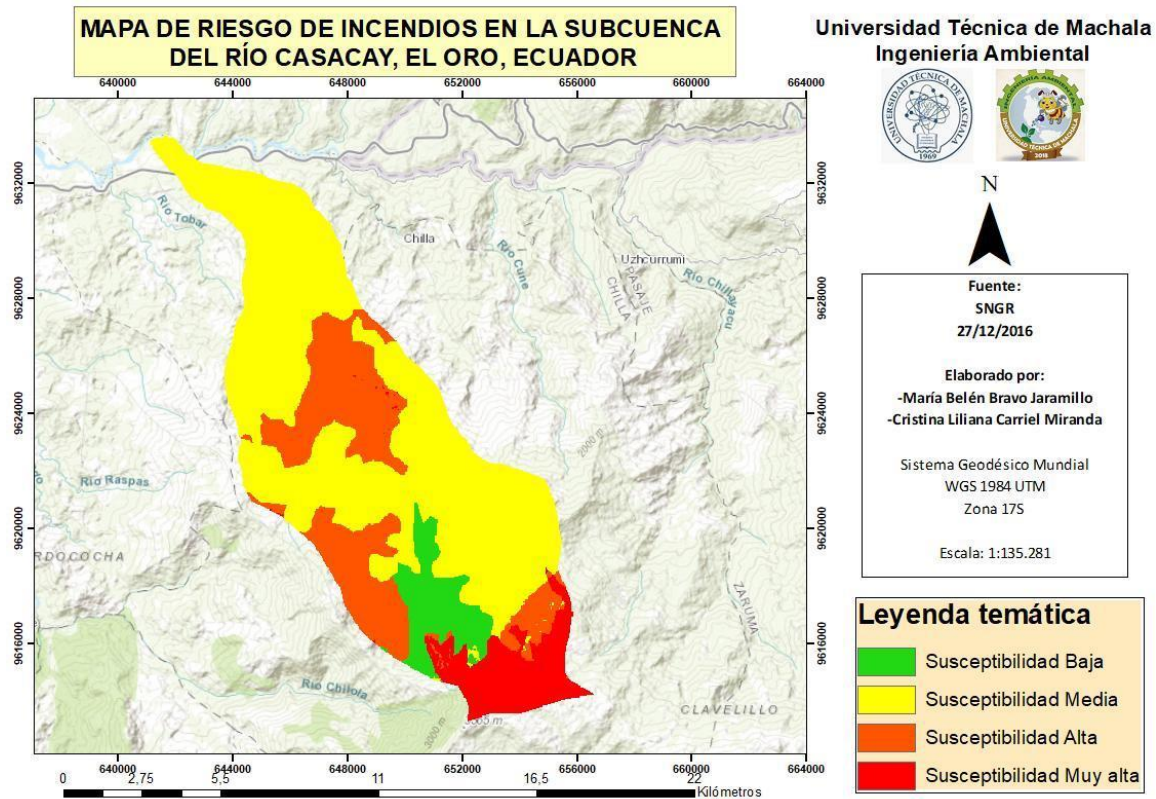


Fig 3 Mapa de riesgos de incendios en la Subcuenca del río Casacay

## 2) Erosión del suelo

El análisis de susceptibilidad a la erosión del suelo en la subcuenca del río Casacay permitió identificar zonas con distintos niveles de vulnerabilidad frente a este proceso de degradación, el cual representa una amenaza significativa para la estabilidad ecológica y productiva del territorio.

La mayor parte del área evaluada presenta un nivel de susceptibilidad clasificado como fuerte. Estas zonas abarcan una amplia extensión del territorio central y suroccidental de la subcuenca, evidenciando una condición crítica que podría favorecer la pérdida acelerada de capas superficiales del suelo. La combinación de factores como la inclinación del terreno, la escasa cobertura vegetal en ciertas franjas y posiblemente prácticas agrícolas inadecuadas, contribuye a incrementar este riesgo. Este resultado pone en evidencia la necesidad de aplicar prácticas de manejo sostenible y técnicas de conservación de suelos con urgencia.

Se identificaron también sectores con susceptibilidad muy fuerte, distribuidos principalmente en la parte suroriental de la subcuenca. Estas áreas se localizan en zonas

donde las condiciones físicas del terreno y la intensidad de uso del suelo agravan el fenómeno erosivo. La presencia de pendientes pronunciadas, sumada a la intervención humana, crea condiciones altamente propicias para procesos de remoción de masa y arrastre de partículas, lo que repercute negativamente en la fertilidad del suelo, incrementa la sedimentación en cuerpos de agua y afecta la productividad agrícola. La condición de estas zonas requiere medidas de control estructurales y biológicas urgentes.

Por otro lado, se registraron pequeñas zonas con susceptibilidad media a media-fuerte, ubicadas de forma discontinua. Estas áreas pueden considerarse de transición y representan zonas de alerta temprana. Aunque el riesgo es menor en comparación con las zonas previamente mencionadas, su ubicación estratégica podría permitir la implementación de planes de restauración que actúen como barreras de contención, evitando la expansión del proceso erosivo hacia áreas de menor afectación.

Las zonas con susceptibilidad baja y muy baja son escasas dentro de la subcuenca y se concentran principalmente en el extremo norte. Estas áreas, al contar con condiciones físicas más estables y posiblemente mejor cobertura vegetal, representan espacios de valor para la conservación y monitoreo, ya que su estabilidad puede verse comprometida a futuro si no se mantienen medidas de protección adecuadas.

En general, los resultados reflejan una alta presión erosiva en gran parte del territorio, lo que compromete la funcionalidad de los suelos y su capacidad de soporte para actividades agrícolas, forestales y ecosistémicas. La delimitación de las zonas más vulnerables constituye una herramienta clave para la planificación territorial, permitiendo priorizar intervenciones y desarrollar estrategias enfocadas en la restauración de áreas críticas, el uso racional del suelo y la protección de recursos naturales esenciales.



por las mismas limitaciones de humedad edáfica y disponibilidad de caudales superficiales o subterráneos.

Cabe destacar que dentro del área delimitada no se identificaron zonas clasificadas como de muy baja o alta susceptibilidad, lo que permite establecer que los factores ambientales y climáticos actúan de forma uniforme en términos de incidencia de sequías. Esta situación puede estar relacionada con la distribución espacial de la precipitación, la temperatura media anual y la capacidad de retención de humedad de los suelos presentes en la subcuenca, factores que, combinados, determinan la respuesta hidrológica del sistema ante la escasez de lluvias.

La ausencia de contrastes marcados dentro del territorio evaluado indica que cualquier estrategia de mitigación y adaptación frente a sequías debe contemplar un enfoque integral que abarque toda la subcuenca por igual. Se vuelve crucial implementar prácticas de gestión eficiente del recurso hídrico, promover cultivos resistentes a condiciones de menor humedad y fortalecer los sistemas de almacenamiento y distribución de agua. Asimismo, resulta prioritario monitorear los cambios en las variables climáticas que puedan alterar el actual estado de susceptibilidad, dado que incluso un leve incremento de la temperatura media o una reducción de las precipitaciones podría convertir el nivel de riesgo de medio a alto.

En síntesis, la subcuenca del río Casacay enfrenta un riesgo constante, aunque no extremo, de sufrir afectaciones por sequías. Esta condición debe ser tomada en cuenta en la planificación territorial, especialmente en sectores vinculados a la agricultura y al abastecimiento de agua potable. La implementación de medidas preventivas, tales como el uso racional del recurso hídrico, la reforestación con especies nativas y la optimización de sistemas de riego, contribuirá a minimizar los impactos negativos de este fenómeno, garantizando la sostenibilidad del ecosistema y de las actividades socioeconómicas asociadas.

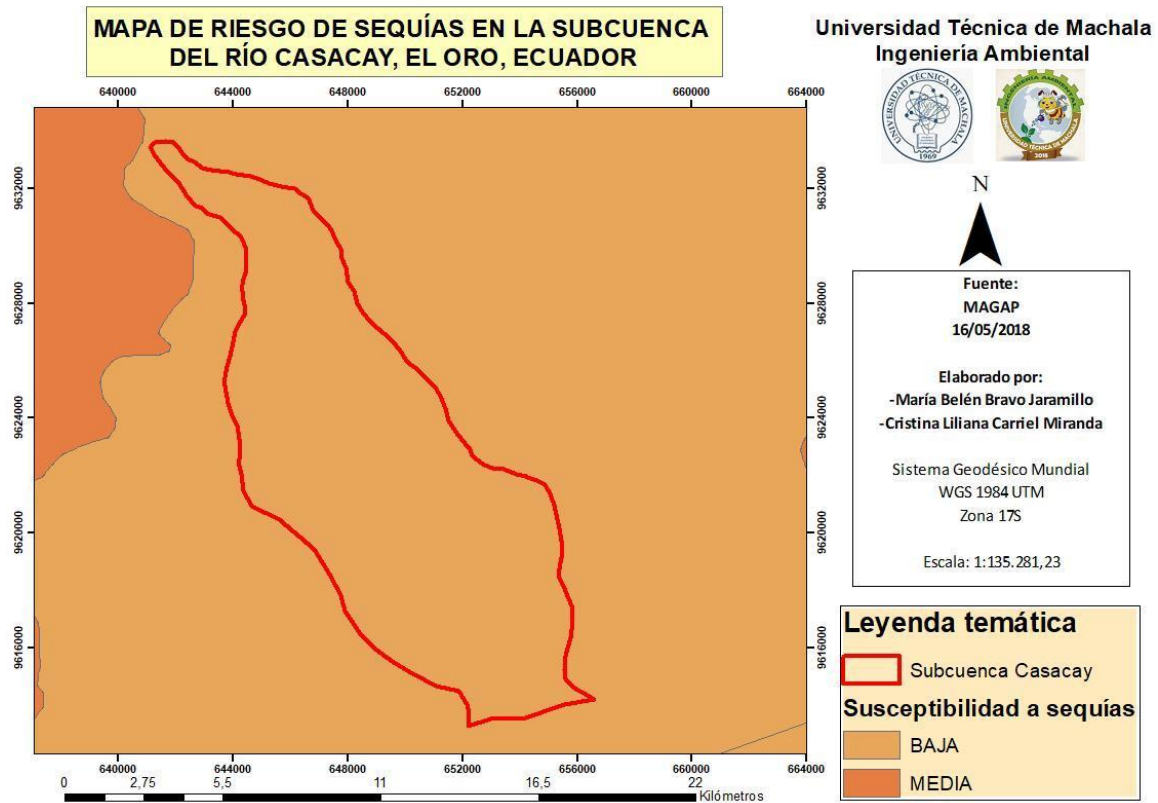


Fig 5 Mapa de riesgo de sequías en la Subcuenca del río Casacay

### B. Análisis de la vulnerabilidad

Para poder determinar el análisis de la vulnerabilidad según la metodología se deberá dividir la zona de estudio en tres sectores principales que en este caso por ser una subcuenca hidrográfica y por medio de SIG se lo realizó de la siguiente manera



*a) Zona Alta – Subcuenca del río Casacay*

TABLA VI  
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FRENTE A INCENDIOS FORESTALES  
PARA LA ZONA ALTA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| <b>Criterio</b>                 | <b>Descripción zona alta</b>                                 | <b>Nivel asignado</b> |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Pendiente del terreno           | Fuerte (>30%), relieve abrupto                               | 5 (Muy alta)          |
| Cercanía a cuerpos hídricos     | Cercanía media a quebradas, baja escorrentía superficial     | 3 (Media)             |
| Tipo de cobertura vegetal       | Conservación media de vegetación, escasa deforestación       | 3 (Media)             |
| Densidad poblacional            | Muy baja densidad, asentamientos dispersos                   | 1 (Muy baja)          |
| Infraestructura y accesibilidad | Acceso rural limitado, caminos secundarios sin mantenimiento | 3 (Media)             |
| Servicios básicos               | Acceso restringido a agua potable y energía eléctrica        | 3 (Media)             |
| Presencia de zonas frágiles     | Áreas cercanas a bosque nativo y zonas de conservación       | 4 (Alta)              |

Promedio del índice: 3.14 → Vulnerabilidad Media

*b) Zona Media – Subcuenca del río Casacay*

TABLA VII  
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A INCENDIOS FORESTALES  
EN LA ZONA MEDIA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| <b>Criterio</b>                 | <b>Descripción zona media</b>                                  | <b>Nivel asignado</b> |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Pendiente del terreno           | Pendiente moderada, zonas onduladas                            | 4 (Alta)              |
| Cercanía a cuerpos hídricos     | Quebradas cercanas con escorrentía en época lluviosa           | 4 (Alta)              |
| Tipo de cobertura vegetal       | Fragmentación por actividades agropecuarias                    | 4 (Alta)              |
| Densidad poblacional            | Población rural dispersa con presencia moderada                | 3 (Media)             |
| Infraestructura y accesibilidad | Caminos rurales de acceso intermitente                         | 3 (Media)             |
| Servicios básicos               | Abastecimiento irregular de servicios básicos                  | 3 (Media)             |
| Presencia de zonas frágiles     | Presencia de áreas intervenidas colindantes a bosque protector | 4 (Alta)              |

Promedio del índice: 3.57 → Vulnerabilidad Media-Alta

c) Zona Baja – Subcuenca del río Casacay

TABLA VIII  
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A INCENDIOS FORESTALES  
EN LA ZONA BAJA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| Criterio                        | Descripción zona baja                                            | Nivel asignado |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------|
| Pendiente del terreno           | Pendiente fuerte e inestable, escarpes                           | 5 (Muy alta)   |
| Cercanía a cuerpos hídricos     | Muy cercana a quebradas con escurrimiento superficial fuerte     | 4 (Alta)       |
| Tipo de cobertura vegetal       | Alta deforestación por cultivos y pastizales extensivos          | 5 (Muy alta)   |
| Densidad poblacional            | Asentamientos dispersos con actividad agrícola intensiva         | 3 (Media)      |
| Infraestructura y accesibilidad | Accesibilidad limitada, sin vías pavimentadas                    | 3 (Media)      |
| Servicios básicos               | Deficiencia en redes de agua y energía                           | 3 (Media)      |
| Presencia de zonas frágiles     | Colindancia directa con áreas protegidas y ecosistemas sensibles | 5 (Muy alta)   |

Promedio del índice: 4.00 → Vulnerabilidad Alta

2) Resultados del análisis de vulnerabilidad frente a erosión del suelo en la subcuenca del río Casacay

a) Zona Alta de la Subcuenca del río Casacay

TABLA IX  
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A EROSIÓN DE SUELO PARA LA ZONA ALTA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| Criterio                     | Descripción zona alta                                                                | Nivel asignado |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Pendiente del terreno        | Predominan pendientes muy pronunciadas (>30%), favoreciendo escorrentía superficial. | 5 (Muy alta)   |
| Cobertura vegetal            | Áreas deforestadas por agricultura extensiva, cobertura muy reducida.                | 5 (Muy alta)   |
| Uso del suelo                | Actividades agrícolas intensas, sin prácticas de conservación.                       | 5 (Muy alta)   |
| Intensidad de lluvias        | Alta incidencia de lluvias estacionales.                                             | 4 (Alta)       |
| Intervención antrópica       | Alta: caminos no planificados, desmontes, cultivos en laderas.                       | 4 (Alta)       |
| Proximidad a cuerpos de agua | Cercanía directa con quebradas que reciben sedimentos y aumentan la erosión.         | 4 (Alta)       |
| Presencia de zonas frágiles  | Zonas de amortiguamiento de bosque protector degradadas.                             | 4 (Alta)       |

Índice promedio de vulnerabilidad: 4.42 → Muy alta

*b) Zona Media de la Subcuenca del río Casacay*

TABLA X  
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A EROSIÓN DE SUELO PARA  
LA ZONA MEDIA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| <b>Criterio</b>              | <b>Descripción zona media</b>                                                          | <b>Nivel asignado</b> |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Pendiente del terreno        | Pendientes medias (15–30%), con escorrentía moderada.                                  | 4 (Alta)              |
| Cobertura vegetal            | Fragmentada por expansión de cultivos.                                                 | 4 (Alta)              |
| Uso del suelo                | Agricultura mixta; algunas zonas aplican técnicas básicas de conservación.             | 3 (Media)             |
| Intensidad de lluvias        | Alta, pero con mejor drenaje que en zonas altas.                                       | 4 (Alta)              |
| Intervención antrópica       | Presente: uso del suelo sin planificación, pero con menos intensidad que en zona alta. | 3 (Media)             |
| Proximidad a cuerpos de agua | Algunas zonas adyacentes a quebradas sin barreras naturales.                           | 4 (Alta)              |
| Presencia de zonas frágiles  | Espacios naturales degradados parcialmente.                                            | 4 (Alta)              |

Índice promedio de vulnerabilidad: 3.71 → Alta

*c) Zona Baja de la Subcuenca del río Casacay*

TABLA XI  
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A EROSIÓN DE SUELO PARA  
LA ZONA BAJA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| <b>Criterio</b>              | <b>Descripción zona baja</b>                                              | <b>Nivel asignado</b> |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Pendiente del terreno        | Pendientes suaves (<15%), riesgo de erosión más bajo.                     | 2 (Baja)              |
| Cobertura vegetal            | Mayor presencia de vegetación natural o reforestación.                    | 3 (Media)             |
| Uso del suelo                | Uso agrícola con menor intensidad, prácticas conservacionistas presentes. | 3 (Media)             |
| Intensidad de lluvias        | Menor concentración de precipitaciones.                                   | 3 (Media)             |
| Intervención antrópica       | Moderada, asentamientos dispersos.                                        | 3 (Media)             |
| Proximidad a cuerpos de agua | Alejada o con protección natural (cobertura vegetal ribereña).            | 3 (Media)             |
| Presencia de zonas frágiles  | Pocas o bien conservadas, con bajo grado de intervención.                 | 4 (Alta)              |

Índice promedio de vulnerabilidad: 3.00 → Media

3) Resultados del análisis de vulnerabilidad frente a sequías en la subcuenca del río Casacay.

a) Zona Alta de la Subcuenca del río Casacay: Vulnerabilidad ante Sequía

TABLA XII  
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A SEQUÍAS PARA LA ZONA ALTA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| Criterio               | Descripción de la Zona Alta                                                                                                                                                                      | Nivel Asignado |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Exposición             | En esta zona se mantiene una altitud considerable, con bosques remanentes que favorecen la captación de humedad; sin embargo, los suelos de textura más gruesa presentan baja retención hídrica. | 3(Media)       |
| Sensibilidad           | Las actividades agropecuarias presentes son vulnerables a la reducción temporal del caudal hídrico; los cultivos no son resistentes a la sequía y hay dependencia de fuentes superficiales.      | 3(Media)       |
| Capacidad de respuesta | La cobertura vegetal aún cumple una función importante en el ciclo hidrológico, pero existen limitaciones en infraestructura de riego y almacenamiento de agua para enfrentar periodos secos.    | 3(Media)       |

Índice promedio de vulnerabilidad: 3.00 → Media

b) Zona Media de la Subcuenca del Río Casacay: Vulnerabilidad ante Sequía

TABLA XIII  
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A SEQUÍA PARA LA ZONA BAJA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| Criterio               | Descripción de la Zona Media                                                                                                                                                                  | Nivel Asignado |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Exposición             | Área de transición con uso intensivo de suelo agrícola. Aunque posee cierta cobertura vegetal, las condiciones climáticas y la escasa infiltración incrementan la exposición a sequías.       | 3(Media)       |
| Sensibilidad           | Alta dependencia de cultivos de ciclo corto y de fuentes de agua estacionales. El uso ineficiente del recurso hídrico incrementa el riesgo en periodos de escasez.                            | 3(Media)       |
| Capacidad de respuesta | Los sistemas de captación y almacenamiento son escasos o ineficientes, y no existen planes comunitarios de respuesta ante sequías. La falta de tecnificación del riego limita su resiliencia. | 3(Media)       |

Índice promedio de vulnerabilidad: 3.00 → Media

c) Zona Baja de la Subcuenca del río Casacay: Vulnerabilidad ante Sequía

TABLA XIV  
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A SEQUÍAS PARA LA ZONA BAJA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| Criterio               | Descripción de la Zona Baja                                                                                                                                            | Nivel Asignado |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Exposición             | Zona de menor altitud con temperaturas más elevadas y menor cobertura boscosa. Los suelos muestran mayor compactación y menor capacidad de retención hídrica.          | 3 (Media)      |
| Sensibilidad           | Cultivos comerciales con alta demanda hídrica predominan, además de usos urbanos crecientes que elevan la presión sobre el recurso.                                    | 3 (Media)      |
| Capacidad de respuesta | Deficiente planificación hídrica, escasa infraestructura de riego y limitada educación ambiental agravan la posibilidad de implementar acciones correctivas en sequía. | 3 (Media)      |

Índice promedio de vulnerabilidad: 3.00 → Media

El análisis por zonas demuestra una homogeneidad en los niveles de vulnerabilidad ante sequía, con un predominio de condiciones de vulnerabilidad media en toda la subcuenca del río Casacay. Esto es coherente con los hallazgos cartográficos y se relaciona con la distribución uniforme de los factores climáticos, edáficos y de uso del suelo. Si bien no se identifican áreas críticas, la vulnerabilidad media generalizada implica que la subcuenca carece de condiciones robustas de resiliencia hídrica, lo que requiere acciones coordinadas y multisectoriales para fortalecer la seguridad hídrica frente a escenarios de variabilidad climática futura.

C. Nivel de riesgo

- 1) Resultado del nivel de riesgo frente a incendios forestales en la subcuenca del río Casacay.

TABLA XV  
NIVEL DE RIESGO FRENTE A INCENDIOS FORESTALES DE LA SUBCUENCA ALTA, MEDIA Y BAJA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| Zona  | Riesgo Natural       | Nivel de Amenaza (GIS) | Nivel de Vulnerabilidad (Matriz) | Nivel de Riesgo |
|-------|----------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------|
| Alta  | Incendios Forestales | Baja                   | Media                            | Bajo            |
| Media | Incendios Forestales | Media                  | Media                            | Medio           |
| Baja  | Incendios Forestales | Media                  | Alta                             | Alto            |

En la zona alta de la subcuenca, el nivel de amenaza por incendios forestales fue clasificado como bajo, lo cual responde en gran medida a la mayor cobertura vegetal natural, condiciones climáticas más húmedas y una menor presión antrópica. A este escenario se le suma una vulnerabilidad media, determinada por factores físicos como la accesibilidad limitada y el tipo de cobertura forestal presente, que, aunque ofrece cierta resiliencia, también implica dificultades logísticas ante una eventual emergencia. Como resultado de esta combinación, el nivel de riesgo fue clasificado como bajo, lo que indica que si bien existen ciertos elementos de susceptibilidad, la ocurrencia y propagación de incendios en esta zona es menos probable y controlable en relación con otras áreas de la subcuenca.

En contraste, la zona media presentó un nivel de amenaza medio, debido a una menor densidad de cobertura vegetal, el incremento de actividades agropecuarias y la posible utilización de fuego como herramienta agrícola. A esto se suma una vulnerabilidad media, ya que en esta zona coexisten infraestructuras dispersas, caminos rurales y fragmentación del paisaje, lo que eleva la exposición y sensibilidad frente a incendios. Esta combinación deriva en un nivel de riesgo medio, que refleja una condición intermedia en cuanto a la probabilidad y el impacto potencial del evento, por lo que esta área debe ser priorizada en estrategias de monitoreo y control preventivo.

Finalmente, la zona baja de la subcuenca mostró una situación más preocupante. Si bien el nivel de amenaza se mantiene en media, al igual que en la zona media, la vulnerabilidad en este sector fue evaluada como alta. Esta alta vulnerabilidad se atribuye a la presencia significativa de asentamientos humanos, actividades productivas intensivas y una cobertura vegetal más degradada, lo cual incrementa notablemente la sensibilidad del territorio ante incendios. En consecuencia, el cruce de ambos factores determinó un nivel de riesgo alto, lo que implica una alta probabilidad de ocurrencia del evento y un impacto potencial considerable sobre las personas, los ecosistemas y los medios de vida locales.

Estos resultados evidencian que el riesgo por incendios forestales en la subcuenca del río Casacay no es uniforme, sino que varía significativamente entre las diferentes zonas altitudinales. La zona baja concentra la mayor urgencia de intervención, mientras que la zona alta ofrece condiciones más estables, aunque no exentas de vigilancia. Esta diferenciación territorial es esencial para la planificación de medidas de prevención,

control y respuesta ante incendios, especialmente en un contexto de variabilidad climática creciente y expansión de la frontera agrícola.

2) Resultado del nivel de riesgos frente a erosión de suelo en la subcuenca del río Casacay.

TABLA XVI  
NIVEL DE RIESGO FRENTE A EROSIÓN DE SUELO DE LA SUBCUENCA ALTA, MEDIA Y BAJA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| <b>Zona</b> | <b>Riesgo Natural</b> | <b>Nivel de Amenaza (GIS)</b> | <b>Nivel de Vulnerabilidad (Matriz)</b> | <b>Nivel de Riesgo</b> |
|-------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| Alta        | Erosión de suelo      | Alto                          | Alta                                    | Alto                   |
| Media       | Erosión de suelo      | Alto                          | Alta                                    | Alto                   |
| Baja        | Erosión de suelo      | Alto                          | Media                                   | Alto                   |

En la zona alta, el análisis cartográfico evidenció un nivel de amenaza alto a la erosión, relacionado principalmente con la marcada pendiente del terreno, la presencia de suelos frágiles y la disminución de cobertura vegetal en áreas intervenidas. A ello se sumó una vulnerabilidad alta, determinada por factores como el uso inadecuado del suelo en laderas, la limitada implementación de prácticas conservacionistas y la escasa infraestructura para el control hídrico superficial. Esta conjunción de factores resultó en un nivel de riesgo alto, lo que pone en evidencia que esta zona es crítica en términos de degradación edáfica, siendo urgente la implementación de medidas correctivas que frenen el deterioro del recurso suelo.

La zona media replicó la misma clasificación de riesgo. En este sector, las condiciones geomorfológicas y el uso intensivo del suelo agrícola acentuaron la amenaza alta identificada. Sumado a esto, la vulnerabilidad también fue alta, dado que en esta zona se concentra una gran cantidad de cultivos sin manejo adecuado, prácticas de arado en sentido de pendiente, y procesos de deforestación progresiva. El riesgo alto derivado de esta combinación representa una amenaza directa para la productividad de los suelos, el equilibrio ecológico y la disponibilidad hídrica, debido al aumento en los procesos de escorrentía y sedimentación en quebradas y cauces secundarios.

En la zona baja, a pesar de que el nivel de amenaza sigue siendo alto, el nivel de vulnerabilidad fue catalogado como media, lo que llevó a que el riesgo se mantenga

igualmente en la categoría alta. En este caso, la amenaza corresponde a procesos de erosión hídrica derivados de la pendiente acumulativa de las partes altas y medias, así como de la degradación de la vegetación ribereña. No obstante, una mejor cobertura vegetal y suelos con mayor capacidad de retención en ciertas áreas explican la disminución relativa en la vulnerabilidad. Aun así, el riesgo elevado implica que este sector también requiere acciones de manejo integrado de cuencas, especialmente en áreas colindantes con cuerpos de agua y zonas agrícolas intensivas.

En conjunto, los resultados reflejan que la erosión del suelo constituye el riesgo más uniforme y severo en toda la subcuenca, afectando transversalmente a las tres zonas altitudinales con niveles de riesgo altos. Este hallazgo alerta sobre un proceso de degradación acelerado que, de no ser gestionado con medidas estructurales y no estructurales adecuadas, podría derivar en impactos severos sobre la funcionalidad ecológica del ecosistema, la seguridad alimentaria local y la resiliencia ante otros eventos naturales. La priorización de prácticas de conservación de suelos, reforestación de zonas críticas y control del uso del suelo son acciones claves que deben incorporarse en cualquier estrategia de intervención territorial en la subcuenca del río Casacay.

### 3) Resultado del nivel de riesgo frente a sequías en la subcuenca del río Casacay.

Tabla XVII  
NIVEL DE RIESGO FRENTE A SEQUÍAS DE LA SUBCUENCA ALTA, MEDIA Y BAJA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY

| <b>Zona</b> | <b>Riesgo Natural</b> | <b>Nivel de Amenaza (GIS)</b> | <b>Nivel de Vulnerabilidad (Matriz)</b> | <b>Nivel de Riesgo</b> |
|-------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| Alta        | Sequías               | Baja                          | Media                                   | Bajo                   |
| Media       | Sequías               | Baja                          | Media                                   | Bajo                   |
| Baja        | Sequías               | Baja                          | Media                                   | Bajo                   |

En la zona alta de la subcuenca, las condiciones climáticas y topográficas favorecen una mayor captación de humedad, presencia de fuentes hídricas permanentes y cobertura vegetal más densa. Estas características contribuyen a que el nivel de amenaza frente a sequías sea bajo, ya que el territorio muestra resiliencia natural ante periodos secos. Sin embargo, la vulnerabilidad fue clasificada como media, debido a que, si bien existen condiciones naturales favorables, el acceso desigual al recurso hídrico y la limitada infraestructura para almacenamiento y distribución de agua afectan a ciertas comunidades

y sistemas productivos. Este contexto explica el riesgo bajo, que no debe interpretarse como ausencia de peligro, sino como una condición manejable si se mantienen prácticas sostenibles.

La zona media mostró una situación similar. El análisis SIG determinó un nivel de amenaza bajo frente a sequías, gracias a la relativa regularidad en las precipitaciones y la existencia de suelos con moderada capacidad de retención hídrica. No obstante, esta zona presenta una vulnerabilidad media, asociada al uso intensivo del recurso agua en actividades agrícolas, escasa tecnificación del riego y baja eficiencia en el manejo del suelo. A pesar de estos factores, el nivel de riesgo se mantuvo bajo, indicando que, si se fortalecen las capacidades adaptativas locales y se optimiza la gestión del recurso hídrico, es posible reducir aún más la susceptibilidad ante futuros escenarios de escasez.

En la zona baja, a pesar de encontrarse aguas abajo y por tanto depender del caudal proveniente de las zonas superiores, también se registró un nivel de amenaza bajo, reflejando la baja probabilidad actual de eventos de sequía severa. Sin embargo, al igual que en las otras zonas, la vulnerabilidad fue catalogada como media, debido a la presencia de áreas agrícolas vulnerables a déficits hídricos y a la falta de sistemas de captación y almacenamiento eficientes. Esto se tradujo en un riesgo bajo, que, si bien no representa una alerta inmediata, debe ser monitoreado continuamente, considerando la posibilidad de que el cambio climático altere el régimen de lluvias y disponibilidad de agua superficial y subterránea.

En conjunto, los resultados del análisis de riesgo por sequías muestran una condición de baja amenaza y vulnerabilidad media, lo que genera un riesgo bajo de manera uniforme en toda la subcuenca del río Casacay. Esta situación representa una oportunidad para el diseño e implementación de estrategias de adaptación temprana, que incluyan la promoción del uso eficiente del recurso hídrico, el fortalecimiento de la infraestructura de riego, la capacitación a los productores locales y el fomento de prácticas agrícolas resilientes al clima. Aunque el riesgo actual no es alto, el enfoque preventivo debe prevalecer en las políticas de gestión del agua, con el fin de evitar que estas condiciones se agraven en el futuro ante escenarios de variabilidad climática más extremos.

## VIII. DISCUSIÓN

La subcuenca del río Casacay, constituye una unidad hidrográfica que aporta al desarrollo ambiental, social y económico de la zona. El presente estudio permitió evaluar la vulnerabilidad territorial frente a tres amenazas naturales prioritarias: incendios forestales, erosión del suelo y sequías, utilizando herramientas SIG como base para determinar a las mismas. La integración de datos geoespaciales, variables biofísicas y sociales, y la diferenciación de zonas alta, media y baja, ofreció una lectura territorial precisa del nivel de exposición y sensibilidad ante estos fenómenos.

Uno de los hallazgos centrales del análisis es que la vulnerabilidad no se distribuye de manera homogénea, sino que está condicionada por variables topográficas, de uso del suelo y cobertura vegetal, así como por las prácticas antrópicas en cada zona altitudinal. La diferenciación entre zonas permitió detectar patrones particulares de afectación que deben ser considerados en planes de ordenamiento territorial y estrategias de adaptación.

### Riesgo de incendios forestales y vulnerabilidad territorial

El riesgo por incendios forestales reveló una alta susceptibilidad en la zona baja de la subcuenca, caracterizada por extensas áreas de cobertura vegetal degradada y una alta presencia de asentamientos humanos con actividad agropecuaria. En esta zona, la combinación de cobertura vegetal seca, elevadas temperaturas y prácticas agrícolas sin control técnico aumenta el potencial de ignición y propagación de incendios. El análisis de vulnerabilidad aquí evidenció un nivel muy alto, dado que la sensibilidad ecológica y social se encuentra comprometida por la pérdida de servicios ecosistémicos, entre ellos la capacidad de regulación hídrica y la biodiversidad local.

La zona media presentó una vulnerabilidad media a alta, con menor densidad de focos críticos pero una alta exposición estacional. En cambio, la zona alta mostró una vulnerabilidad moderada, debido a su altitud, cobertura boscosa más estable y menor presión antrópica directa, aunque las variaciones climáticas y la reducción de humedad pueden convertirse en factores que eleven el riesgo a futuro.

Como lo dice [55] este patrón de vulnerabilidad demuestra la necesidad de implementar sistemas de alerta temprana, planes de manejo de combustibles vegetales, y promover la educación ambiental comunitaria, sobre todo en las zonas más expuestas. Además, el riesgo de incendios afecta directamente la estructura de los suelos,

promoviendo indirectamente la erosión, lo que indica que estos eventos no deben analizarse de manera aislada.

#### Riesgo de erosión del suelo y consecuencias en la estabilidad ambiental

El análisis de erosión identificó como zonas más susceptibles a la parte central y suroriental de la subcuenca. La zona media concentra la mayor superficie con nivel de susceptibilidad fuerte a muy fuerte, debido a pendientes abruptas, escasa cobertura vegetal y usos intensivos del suelo para fines agrícolas sin medidas conservacionistas. Este hallazgo se alinea con el estudio de [56] relacionan prácticas de cultivo en laderas con el aumento en la pérdida de suelo superficial y nutrientes esenciales para la productividad agrícola.

La vulnerabilidad en esta zona es muy alta, al tratarse de áreas con baja capacidad de regeneración natural, alta tasa de escorrentía superficial y poblaciones rurales dependientes de los servicios ecosistémicos del suelo. En la zona alta, aunque también se identificaron áreas con erosión severa, su vulnerabilidad fue clasificada como media, ya que aún se conservan áreas boscosas y prácticas agrícolas menos intensivas.

La zona baja, en cambio, presentó vulnerabilidad media a baja, al encontrarse en zonas de acumulación de sedimentos, con pendientes suaves y menor intervención directa sobre áreas susceptibles. Sin embargo, la acumulación de sedimentos aguas abajo representa un impacto indirecto importante, afectando cuerpos de agua, canales de riego y sistemas de drenaje.

Así como lo plantea [57] este resultado pone en evidencia que la degradación del suelo no solo tiene consecuencias locales, sino que incide en la dinámica hidrológica general de la subcuenca. Por tanto, es fundamental fomentar la reforestación con especies nativas, implementar terrazas de cultivo, barreras vivas y otras prácticas de conservación de suelos, especialmente en las zonas más vulnerables.

#### Riesgo de sequías: una amenaza transversal

En concordancia con [58], la sequía mostró una distribución homogénea en cuanto a nivel de susceptibilidad, presentando una condición media en toda la subcuenca. Esta homogeneidad sugiere que las características climáticas y edáficas inciden de manera uniforme en la disponibilidad de agua, lo cual constituye un riesgo transversal que puede afectar simultáneamente a los tres sectores altitudinales.

Aunque no se detectaron zonas con alta o muy baja susceptibilidad, el hecho de que toda la subcuenca mantenga un nivel medio implica un estado de alerta permanente. Las sequías, incluso de corta duración, pueden generar importantes impactos en la producción agrícola, la disponibilidad de agua potable y la estabilidad ecológica de los ecosistemas locales.

La vulnerabilidad identificada para este riesgo fue media a alta en todos los sectores, con especial énfasis en zonas donde el uso del suelo no está orientado a la captación o retención de agua. La ausencia de infraestructura adecuada para almacenamiento hídrico, como reservorios o zanjas de infiltración, agrava esta condición. Además, el cambio climático puede actuar como amplificador del riesgo, incrementando la frecuencia y duración de eventos secos.

Este resultado debe considerarse como una alerta para planificar la gestión integral del recurso hídrico, incluyendo medidas como cosecha de agua de lluvia, restauración de zonas húmedas, y promoción de cultivos resistentes a sequía. La prevención y adaptación ante este fenómeno no puede postergarse, dado su carácter estructural.

## CONCLUSIONES

Esta investigación se enfocó en analizar la distribución de la vulnerabilidad frente a amenazas naturales como incendios forestales, erosión del suelo y sequías en la Subcuenca del río Casacay en diferentes zonas; zona alta, media y baja. Acorde con los resultados, factores como la altitud, las pendientes, la cobertura vegetal, el uso y cobertura de suelo y las prácticas humanas inciden de forma heterogénea en cada zona identificada (alta, media y baja). Esto implica que, las estrategias de intervención no pueden ni deben ser generalizadas, sino que deben responder a las especificaciones y necesidades particulares de cada sector.

La zona baja de la Subcuenca del río Casacay presenta una alta presión antrópica y una vegetación degradada; mientras que, la zona alta conserva aún cobertura boscosa y presenta una menor intervención humana directa. Puesto que, esta diversidad de condiciones ecológicas y sociales requieren enfoques diferenciados en el ordenamiento territorial y en la implementación de políticas de prevención y adaptación. Sin embargo, la zona baja presenta una alta vulnerabilidad frente a los incendios forestales debido a la combinación de factores como vegetación seca, temperaturas elevadas y actividades agropecuarias sin control técnico, lo que compromete la garantía de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica y biodiversidad.

Los incendios forestales no deben analizarse de forma aislada debido que sus consecuencias aumentan la vulnerabilidad a otros fenómenos como la erosión del suelo. Por tanto, la gestión del riesgo de incendios forestales debe incluir medidas integradas como sistemas de alerta temprana, educación ambiental comunitaria y manejo de combustibles vegetales, priorizando las zonas de mayor exposición, o aquellas zonas que debido a la combinación de factores pudieran resultar más afectadas.

Por otra parte, la erosión del suelo afecta con mayor intensidad a la zona media de la subcuenca del río Casacay, donde convergen pendientes pronunciadas, escasa cobertura vegetal y prácticas agrícolas inadecuadas. Esto acelera la pérdida de tierras cultivables y de cobertura boscosa y afecta directamente a la productividad agrícola y la seguridad alimentaria de comunidades aledañas que dependan directamente de estos recursos. Además, la escorrentía superficial, la baja capacidad de regeneración del suelo y la falta de

medidas de conservación aumentan el riesgo de erosión, alterando así la calidad del agua y la obstrucción de canales de riego y drenaje.

En contraste con los incendios forestales y la erosión del suelo, la susceptibilidad a sequías tiene una representatividad homogénea a nivel medio de la Subcuenca del río Casacay. Es decir que, los factores climáticos y edáficos alteran de forma similar a los distintos sectores, lo que hace que esta amenaza sea transversal. El impacto de las sequías se refleja en la disminución de la disponibilidad de agua para consumo humano, riego y conservación ecológica. A pesar de que no se identificaron zonas críticas o de susceptibilidad extrema, la ausencia de infraestructura adecuada para la retención y almacenamiento del agua, sólo incrementa el riesgo.

## RECOMENDACIONES

Para la gestión del riesgo frente a incendios forestales:

- Reforestar con especies nativas aquellas zonas donde el suelo es desnudo.
- Realizar un inventario de las actividades antrópicas desarrolladas sobre la Subcuenca Casacay y determinar cuáles están regularizadas y/o cumplen con requisitos mínimos que permitan conservar los ecosistemas.
- Se debería incluir una planificación de ordenamiento territorial diferenciado para cada zona altitudinal considerando las características únicas ecológicas y sociales.

Para la gestión del riesgo frente a la erosión del suelo:

- Implementar terrazas o barreras vivas como mecanismos de protección del suelo cultivable.
- Reforestar con especies nativas, especialmente aquellas zonas de mayor pendiente y en las que haya un uso agrícola intensivo.
- Implementar corredores ecológicos que conecten las zonas boscosas de la zona alta con aquellas áreas en recuperación de la zona media y baja.
- Capacitar al sector agropecuario en buenas prácticas agropecuarias y agroecológicas.

Para la gestión del riesgo frente a las sequías:

- Implementar una gestión integrada del recurso hídrico con acciones preventivas tales como: Restauración de zonas húmedas, promoción de cultivos resistentes a la sequía y el fortalecimiento institucional para una planificación hídrica integral y sostenible.
- Implementar infraestructura para el almacenamiento de agua para aquellas comunidades que pudieran verse más afectadas durante las épocas de sequías.
- Promover la gestión participativa del territorio involucrando a las comunidades, juntas de agua y gobiernos locales en la toma de decisiones adaptadas al contexto de cada zona (alta, media y baja).

## REFERENCIAS

- [1] C. N. Zambrano Sanchez, "Ficha Informativa de Proyecto 2015 MAE-Ministerio del Ambiente," 2015. Accessed: Nov. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/09/FICHA-PROYECTO-CHECC.pdf>
- [2] B. Tamang, "Global Climate Change: Challenges, Opportunities, and Multilateral Strategies for Sustainable Development," *NPRC Journal of Multidisciplinary Research*, vol. 1, no. 4, pp. 65–76, Oct. 2024, doi: 10.3126/nprcjmr.v1i4.70947.
- [3] S. M. LOAIZA AJILA and J. A. JAPON ELIZALDE, "Efectos del cambio de cobertura vegetal en el caudal superficial de la Subcuenca del río Casacay, El Oro," Machala, 2023. Accessed: Nov. 25, 2024. [Online]. Available: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22821>
- [4] G. Manrique Miranda, "PNA\_Plan-Nacional-de-Adaptacion\_2023\_2027," 2023. Accessed: Nov. 24, 2024. [Online]. Available: [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/PNA\\_Plan-Nacional-de-Adaptacion\\_2023\\_2027.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/PNA_Plan-Nacional-de-Adaptacion_2023_2027.pdf).
- [5] J. V. Mena, "Análisis de la subcuenca del río Machángara bajo el enfoque de paisaje como una estrategia de gestión adaptativa de los recursos naturales y del cambio climático," 2022.
- [6] P. Liu *et al.*, "Risk Analysis and Mitigation Strategy of Power System Cascading Failure Under the Background of Weather Disaster," *Processes*, vol. 13, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.3390/pr13010045.
- [7] A. Gomez, "Estudio de factibilidad para la implementación de un fondo de agua en la subcuenca del río Casacay," Machala, 2023.
- [8] L. Morocho and R. Javier, "MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES PARA EL MEJORAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA SUBCUENCA DEL CASACAY, PROVINCIA EL ORO," Machla, Feb. 2019.
- [9] PDOT CASACAY, "PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2019-2023," 2019. Accessed: Nov. 25, 2024. [Online]. Available: [https://www.casacay.gob.ec/images/diciembre2020/PDyOT\\_Casacay\\_2020.pdf](https://www.casacay.gob.ec/images/diciembre2020/PDyOT_Casacay_2020.pdf)
- [10] R. Paredes and K. Augusto, "APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DEL RECURSO HÍDRICO DE LA SUBCUENCA RÍO CASACAY PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA EN MACHALA, EL GUABO Y PASAJE," Machala, Mar. 2020. Accessed: Nov. 25, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15575>
- [11] M. Esperanza, N. Jaramillo, S. X. Guerrón Enríquez, M. Andrés, V. Rosero, and G. Enríquez, "IN THE PRESENCE OF NA-TURAL DISASTERS IN THE EL TIMBRE

COMMUNITY," *Revista Conrado*, pp. 391–96, 2021, [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0002-2025-2075>

- [12] T. Raduszynski and M. Numada, "Measure and spatial identification of social vulnerability, exposure and risk to natural hazards in Japan using open data," *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, pp. 1–13, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-27831-w.
- [13] I. Andrade, D. Delgado, and M. Guillén, "Evaluación de la vulnerabilidad del suelo por erosión hídrica en la provincia de Manabí (Ecuador) mediante la aplicación de un modelo geoespacial," *Investigaciones Geográficas*, no. 83, pp. 109–128, Jan. 2025, doi: 10.14198/INGEO.27414.
- [14] B. Cárceles, V. H. Durán, M. Soriano, I. F. García, B. Gálvez, and S. Cuadros, "Conservation Agriculture as a Sustainable System for Soil Health: A Review," *Soil Syst*, vol. 87, no. 6, pp. 1–37, Dec. 2022, doi: 10.3390/soilsystems6040087.
- [15] M. Fatemi, S. Okyere, S. Diko, M. Kita, M. Shimoda, and S. Matsubara, "Physical vulnerability and local responses to flood damage in peri-urban areas of Dhaka, Bangladesh," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 3957, May 2020, doi: 10.3390/SU12103957.
- [16] Y. Walz *et al.*, "Disaster-related losses of ecosystems and their services. Why and how do losses matter for disaster risk reduction?," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 63, pp. 1–16, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.ijdrr.2021.102425.
- [17] F. A. Suprpto, B. Juanda, E. Rustiadi, and K. Munibah, "Study of Disaster Susceptibility and Economic Vulnerability to Strengthen Disaster Risk Reduction Instruments in Batu City, Indonesia," *Land (Basel)*, vol. 2041, no. 11, pp. 1–43, Nov. 2022, doi: 10.3390/land11112041.
- [18] N. Guerrero, M. Contreras, A. Chamorro, C. Martínez, and T. Echaveguren, "Social Vulnerability in Chile: Challenges for multi-scale analysis and disaster risk reduction," vol. 117, pp. 3067–3102, Aug. 2022, doi: 10.21203/rs.3.rs-1986141/v1.
- [19] A. Jiménez, E. Castillo, L. Jiménez, and D. Pucha, "Adaptación de sistemas naturales y sociales al cambio climático en el Ecuador: una revisión," *Bosques Latitud Cero*, vol. 12, no. 1, pp. 54–71, Jul. 2022, doi: 10.54753/blc.v12i1.1300.
- [20] A. Hyman *et al.*, "Exposure, sensitivity, or adaptive capacity? Reviewing assessments that use only two of three elements of climate change vulnerability," *Conserv Sci Pract*, pp. 1–14, Jan. 2025, doi: 10.1111/csp2.13293.
- [21] V. Núñez, "Sensitivity maps in Environmental impact studies," *Herald Journal of Geography and Regional Planning*, no. 2, pp. 122–136, 2013, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/281554754>

- [22] Eiopa, "SENSITIVITY ANALYSIS OF CLIMATE-CHANGE RELATED TRANSITION RISKS," 2020. doi: 10.2854/63535.
- [23] C. Accastello, S. Cocuccioni, and M. Teich, "The Concept of Risk and Natural Hazards," *Protective Forests as Ecosystem-based Solution for Disaster Risk Reduction (Eco-DRR)*, pp. 1–15, Dec. 2022, doi: 10.5772/intechopen.99503.
- [24] PACC, *Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo*, Primera. Quito, 2009. Accessed: Feb. 07, 2025. [Online]. Available: <https://adaptacionandes.org/wp-content/uploads/2022/08/Estudio-de-vulnerabilidad-actual-a-los-riesgos-climaticos-Ecu.pdf>
- [25] C. Werthmann *et al.*, "Insights into the development of a landslide early warning system prototype in an informal settlement: the case of Bello Oriente in Medellín, Colombia," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 24, no. 5, pp. 1843–1870, May 2024, doi: 10.5194/nhess-24-1843-2024.
- [26] A. Carbo and J. Illescas, "SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA COMO ABASTECIMIENTO PARA LOS SECTORES ALEDAÑOS A LA PARTE MEDIA-ALTA DE LA SUBCUENCA CASACAY," Universidad Técnica de Machala, Machala, 2022. Accessed: Feb. 07, 2025. [Online]. Available: [https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18819/1/T-27149\\_CARBO%20CORONEL%20ANDY%20REINALDO%20%2008.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18819/1/T-27149_CARBO%20CORONEL%20ANDY%20REINALDO%20%2008.pdf)
- [27] Mujiyo, T. Pratingkas, O. Cahyono, and D. Ariyanto, "Landslides Hazard Assessment Using Soil Physics Approaches as a Determinant Factor on Agricultural Land in Hilly Area," *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, vol. 14, no. 3, pp. 566–577, 2024, doi: 10.29244/jpsl.14.3.566.
- [28] A. Vishwakarma, M. Choudhary, and M. Chauhan, "Impact of projected climate variability on agricultural water demand of key crops in drought-prone central India region," *Journal of Water and Climate Change*, vol. 15, pp. 4329–4342, Sep. 2024, doi: 10.2166/wcc.2024.057.
- [29] M. J. Baur, A. Friend, and A. Pellegrini, "Widespread and systematic effects of fire on plant–soil water relations," *Nat Geosci*, vol. 17, no. 11, pp. 1115–1120, Nov. 2024, doi: 10.1038/s41561-024-01563-6.
- [30] A. Ghosh *et al.*, "Integration of GIS and Remote Sensing with RUSLE Model for Estimation of Soil Erosion," *Land (Basel)*, vol. 12, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/land12010116.
- [31] M. Gardiol, M. Morresi, L. Grand, M. Cardoso, and N. Finelli, "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE AMENAZAS DE ORIGEN HÍDRICO EN LA CUENCA DEL ARROYO LAS TURBIAS, ARGENTINA," *REDER*, vol. 5, no. 1, pp. 70–86, Jan. 2020,

Accessed: Feb. 08, 2025. [Online]. Available:  
<https://www.revistareder.com/ojs/index.php/reder/article/view/62/73>

- [32] R. Pratiti, "An Ecological Approach to Disaster Mitigation: A Literature Review," *Cureus*, vol. 15, pp. 1–6, Sep. 2023, doi: 10.7759/cureus.45500.
- [33] A. Rogers *et al.*, "Valuing non-market economic impacts from natural hazards," *Natural Hazards*, vol. 99, no. 2, pp. 1131–1161, Nov. 2019, doi: 10.1007/s11069-019-03761-7.
- [34] T. Lopez, A. Cazenave, M. Manda, and J. Benveniste, "Guest Editorial: International Space Science Institute (ISSI) Workshop on Geohazards and Risks Studied from Earth Observations," *Surv Geophys*, vol. 41, no. 6, pp. 1179–1183, Nov. 2020, doi: 10.1007/s10712-020-09617-1.
- [35] R. Ali, A. Kuriqi, and O. Kisi, "Human–Environment Natural Disasters Interconnection in China: A Review," *Climate*, vol. 8, no. 4, pp. 1–28, Apr. 2020, doi: 10.3390/cli8040048.
- [36] F. Stefano, S. Chiappini, M. Sanità, R. Pierdicca, and E. Malinverni, "Geomatics-enabled Interdisciplinary Approach Based on Geospatial Data Processing for Hydrogeological Risk-analysis," *Geomatics and Environmental Engineering*, vol. 18, no. 3, pp. 63–80, 2024, doi: 10.7494/geom.2024.18.3.63.
- [37] L. Oksuz and J. Brlek, "Risk mitigation strategies in extensive cascade hydropower projects," *International Journal of Hydropower and Civil Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 20–23, Jan. 2023, doi: 10.22271/27078302.2023.v4.i1a.21.
- [38] Cecadesu, "Adaptación al cambio climático, fundamentos desde el manejo de cuencas y del proceso de fortalecimiento de capacidades," México, 2016.
- [39] M. Rosa, K. Haines, T. Cruz, and F. Forman, "A binational social vulnerability index (BSVI) for the San Diego-Tijuana region: mapping trans-boundary exposure to climate change for just and equitable adaptation planning," *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*, vol. 28, no. 2, pp. 1–23, Feb. 2023, doi: 10.1007/s11027-023-10045-w.
- [40] LORH, "Ley Orgánica Recursos hídricos usos aprovechamiento agua," Quito, 2014. Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Ley-Org%C3%A1nica-Recursos-h%C3%ADricos-usos-aprovechamiento-agua.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Ley-Org%C3%A1nica-Recursos-h%C3%ADricos-usos-aprovechamiento-agua.pdf)
- [41] LOGIRD, "LEY ORGÁNICA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES," Quito, Jan. 2024. [Online]. Available: [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- [42] Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, "Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos." Accessed: Jan. 26, 2025. [Online]. Available: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/>

- [43] Comité de Operaciones de Emergencia (COE) Nacional, "COE." Accessed: Jan. 26, 2025. [Online]. Available: <https://manualcoe.gestionderiesgos.gob.ec/comite-de-operaciones-de-emergencia-nacional-coe-n/>
- [44] ECU, "Servicio Integrado de Seguridad ECU 911." Accessed: Jan. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.ecu911.gob.ec/>
- [45] INAMHI, "Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)." Accessed: Jan. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.inamhi.gob.ec/>
- [46] T. Sherpa, "Integration of urban ecosystem-based adaptation in Nepal: A policy landscape analysis," *PLoS One*, vol. 19, no. 1 January, Jan. 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0297786.
- [47] J. Villarreal, J. Rhodes, L. Sonter, H. Possingham, and A. Vogl, "Optimal allocation of nature-based solutions to achieve climate mitigation and adaptation goals," *People and Nature*, vol. 5, no. 3, pp. 1034–1045, Jun. 2023, doi: 10.1002/pan3.10481.
- [48] S. Rafi, S. Meng, J. Santos, and P. Mozumder, "Extreme Weather Events and the Performance of Critical Utility Infrastructures: A Case Study of Hurricane Harvey," *Res Sq*, May 2023, doi: 10.21203/rs.3.rs-2928569/v1.
- [49] N. Poudel, A. Mani Dixit, Y. Shiga, Y. Cao, Y. Zhang, and R. Shaw, "Big Data Challenges and Opportunities for Disaster Early Warning System," *Prevention and Treatment of Natural Disasters*, vol. 3, no. 1, Jun. 2024, doi: 10.54963/ptnd.v3i1.283.
- [50] A. Singh, A. Solanki, A. Barve, and S. Lokhande, "EARLY LANDSLIDE WARNING SYSTEM," *INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, vol. 08, no. 05, pp. 1–5, May 2024, doi: 10.55041/IJSREM35201.
- [51] S. Chen *et al.*, "Mapping Potential Soil Water Erosion and Flood Hazard Zones in the Yarlung Tsangpo River Basin, China," *Atmosphere (Basel)*, vol. 14, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/atmos14010049.
- [52] N. Silva, F. Almeida, R. Sales, W. Souza, and J. Galvêncio, "Vulnerabilidade ambiental e socioeconômica aos eventos extremos de precipitação relacionados a seca no semiárido nordestino-Estudo de caso da Bacia Hidrográfica de Terra Nova-Pernambuco, Brasil," *Revista Brasileira de Geografia Física*, no. 3, pp. 1490–1510, 2023.
- [53] F. Jumbo, "Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA," *Enfoque UTE*, vol. 6, no. 1390-6542, pp. 81–97, Dec. 2015, [Online]. Available: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- [54] O. Lozano, "Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos," 2008.

- [55] Y. T. Prasetyo, D. B. Senoro, J. D. German, R. A. C. Robielos, and F. P. Ney, "Confirmatory factor analysis of vulnerability to natural hazards: A household Vulnerability Assessment in Marinduque Island, Philippines," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 50, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.ijdrr.2020.101831.
- [56] M. Piva and L. Da Silva, "Análise da Vulnerabilidade Natural da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú, com Apoio de Geotecnologia," *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol. 11, no. 4, pp. 1442–1457, 2018, [Online]. Available: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)
- [57] S. L. Cutter, B. J. Boruff, and W. L. Shirley, "Social Vulnerability to Environmental Hazards," *Soc Sci Q*, vol. 84, no. 2, pp. 242–261, 2003, Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=462723ad16de7f9ae0914ec5d0b7958594ef8ba8>
- [58] Y. García, "ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO CON FINES DE RIEGO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO NARANJO, CUBA," *Revista Geográfica de América Central*, vol. 1, no. 58, p. 315, Jun. 2017, doi: 10.15359/rgac.58-1.13.
- [59] SNGR, 2016. GEOPORTAL.EC AVAILEBLE: <https://srvportal.gestionderiesgos.gob.ec/portal/home/>
- [60] SIGTIERRAS, 2020. <https://www.sigtierras.gob.ec/>
- [61] MAGAP, 2018. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>
- [62] MAATE, 2020. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>

## ANEXOS



