



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA**

**INFORME DEL PROYECTO DE TITULACIÓN  
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN  
GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN SISTEMAS  
INTEGRADOS DE GESTIÓN**

**MODALIDAD:**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**TEMA:**

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD  
PARA EL DIAGNÓSTICO DEL RIESGO POR DESBORDAMIENTO  
FLUVIAL EN EL CANTÓN FLAVIO ALFARO**

**AUTOR:**

**ERICK YAIR CUEVA SCHETTINI**

**TUTOR:**

**ING. MARCO JAVIER VERA VERA, M.SC.**

**CALCETA, NOVIEMBRE 2024**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Yo, **ERICK YAIR CUEVA SCHETTINI** declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, que se han respetado los derechos de autor de terceros, por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de este, así como ante la reclamación de terceros, conforme a los artículos 4, 5 y 6 de la Ley de Propiedad Intelectual.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido en el artículo 46 de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

**ERICK YAIR CUEVA SCHETTINI**

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

**ERICK YAIR CUEVA SCHETTINI**, con cédula de ciudadanía 131612486-4, autorizo a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del informe de investigación, con la modalidad proyecto de titulación, con el tema: **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD PARA EL DIAGNÓSTICO DEL RIESGO POR DESBORDAMIENTO FLUVIAL EN EL CANTÓN FLAVIO ALFARO**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

---

**ERICK YAIR CUEVA SCHETTINI**

## CERTIFICACIÓN DE TUTOR

**ING. MARCO JAVIER VERA VERA, M.SC.**, certifica haber tutelado el trabajo de titulación **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD PARA EL DIAGNÓSTICO DEL RIESGO POR DESBORDAMIENTO FLUVIAL EN EL CANTÓN FLAVIO ALFARO**, que ha sido desarrollado por **ERICK YAIR CUEVA SCHETTINI**, previo la obtención del título de **MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL MENCIÓN EN SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN**, de acuerdo al Reglamento de unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. MARCO JAVIER VERA VERA, M.SC.**  
**TUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD PARA EL DIAGNÓSTICO DEL RIESGO POR DESBORDAMIENTO FLUVIAL EN EL CANTÓN FLAVIO ALFARO**, que ha sido propuesto, desarrollado y sustentado por **ERICK YAIR CUEVA SCHETTINI**, previa la obtención del título de **MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL MENCIÓN EN SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN**, de acuerdo al Reglamento de la unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Mgs. Jonathan Gerardo Chicaiza Intriago  
**MIEMBRO**

Mgs. Carlos Luis Banchón Bajaña  
**MIEMBRO**

Dra. C. Ana María Aveiga Ortiz  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la fortaleza, sabiduría y perseverancia durante este camino lleno de conocimientos los cuales me permitieron superar cada desafío con fe y determinación.

A mis padres por su amor incondicional, su apoyo en cada paso de mi vida y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación.

A mi tutor el Ing. Marco Vera por su orientación, paciencia, sus enseñanzas y comentarios que me permitieron mejorar y llevar este proyecto a un nivel más alto.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López y su alma mater que, durante este proceso de formación demostraron paciencia y profesionalismo

Finalmente, agradezco de todo corazón a todas las personas que confiaron en mí, brindándome las oportunidades y apoyo a lo largo de mi carrera, su fe en mis capacidades fue una motivación constante para dar lo mejor de mi y seguir adelante

**ERICK YAIR CUEVA SCHETTINI**

## **DEDICATORIA**

A Dios por la salud y bendiciones fuente inagotable, que me permitió llegar hasta este momento con éxito.

A mis padres, por su amor, apoyo y sacrificio a lo largo de mi vida. Este logro es tanto mío como suyo, pues sin sus enseñanzas no habría llegado hasta aquí.

Y a todas las personas que confiaron en mí, que me brindaron su apoyo y creyeron en mis capacidades, este trabajo es también para ustedes.

**ERICK YAIR CUEVA SCHETTINI**

## CONTENIDO GENERAL

<b>DERECHOS DE AUTORÍA</b> .....	ii
<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN</b> .....	iii
<b>CERTIFICACIÓN DE TUTOR</b> .....	iv
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vi
<b>DEDICATORIA</b> .....	vii
<b>CONTENIDO GENERAL</b> .....	viii
<b>CONTENIDO DE TABLAS, FIGURAS Y ANEXOS</b> .....	xiii
<b>RESUMEN</b> .....	xv
<b>PALABRAS CLAVE</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>KEY WORDS</b> .....	xvi
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES</b> .....	1
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	3
<b>1.3. OBJETIVOS</b> .....	5
<b>1.3.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	5
<b>1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	5
<b>1.4. IDEA A DEFENDER</b> .....	5
<b>CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	6

<b>2.1. CONCEPTOS Y DEFINICIONES BÁSICAS.....</b>	<b>6</b>
2.1.1. DEFINICIÓN DE INUNDACIONES Y SUS TIPOS .....	6
2.1.2. ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD (ITH): CONCEPTO, CÁLCULO Y APLICACIONES .....	7
2.1.3. MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (DEM): DEFINICIÓN Y RELEVANCIA EN ESTUDIOS HIDROLÓGICOS.....	7
2.1.4. ANÁLISIS MULTICRITERIO (AMC): DEFINICIÓN Y TÉCNICAS UTILIZADAS .....	8
<b>2.2. CAUSAS Y FACTORES DE INUNDACIONES.....</b>	<b>9</b>
2.2.1. FACTORES NATURALES QUE CAUSAN INUNDACIONES.....	9
2.2.2. FACTORES ANTRÓPICOS: URBANIZACIÓN, DEFORESTACIÓN, MALA PLANIFICACIÓN URBANA .....	10
2.2.3. IMPACTO DE LA GEOMORFOLOGÍA Y USO DEL SUELO EN LAS INUNDACIONES .....	11
<b>2.3. IMPACTOS DE LAS INUNDACIONES.....</b>	<b>12</b>
2.3.1. IMPACTOS SOCIALES .....	12
2.3.2. IMPACTOS ECONÓMICOS.....	12
2.3.3. IMPACTOS AMBIENTALES.....	13
<b>2.4. ESTUDIOS PREVIOS Y CASOS RELEVANTES.....</b>	<b>14</b>
2.4.1. REVISIÓN DE INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE INUNDACIONES Y EL USO DEL ITH .....	14
2.4.2. ESTUDIOS DE CASO DE OTRAS REGIONES SIMILARES A FLAVIO ALFARO	15
2.4.3. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS Y RESULTADOS RELEVANTES PARA EL CONTEXTO LOCAL .....	16
<b>2.5. TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS .....</b>	<b>16</b>
2.5.1. REVISIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y GENERACIÓN DE DEM	16

<b>2.5.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS MULTICRITERIO EN LA GESTIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIONES .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.3. SOFTWARE Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN ESTUDIOS HIDROLÓGICOS Y DE RIESGO.....</b>	<b>18</b>
<b>2.6. MARCO LEGAL Y POLÍTICO .....</b>	<b>19</b>
<b>2.6.1. NORMATIVAS INTERNACIONALES RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES .....</b>	<b>19</b>
<b>2.6.2. POLÍTICAS PÚBLICAS EN ECUADOR SOBRE LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE INUNDACIONES .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6.3. ROL DE LOS PLANES DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL (PDOT) EN LA GESTIÓN DE RIESGOS .....</b>	<b>21</b>
<b>2.7. RESILIENCIA Y MITIGACIÓN DE INUNDACIONES .....</b>	<b>21</b>
<b>2.7.1. ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES .....</b>	<b>21</b>
<b>2.7.2. ENFOQUES DE RESILIENCIA COMUNITARIA Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA.....</b>	<b>22</b>
<b>2.7.3. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN SOSTENIBLE DEL TERRITORIO.....</b>	<b>23</b>
<b>2.8. APLICACIÓN DEL ITH EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL.....</b>	<b>24</b>
<b>2.8.1. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD EN OTROS CONTEXTOS.....</b>	<b>24</b>
<b>2.8.2. BENEFICIOS Y LIMITACIONES DEL USO DEL ITH EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL.....</b>	<b>25</b>
<b>2.8.3. PROPUESTAS DE INTEGRACIÓN DEL ITH EN EL PDOT DE FLAVIO ALFARO</b>	<b>25</b>
<b>2.9. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>26</b>
<b>2.9.1. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES HALLAZGOS DE LA REVISIÓN</b>	<b>26</b>
<b>2.9.2. IDENTIFICACIÓN DE VACÍOS DE CONOCIMIENTO Y ÁREAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.....</b>	<b>27</b>

<b>2.9.3. IMPLICACIONES PARA EL DESARROLLO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1. UBICACIÓN .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.1. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.3. INFORMACIÓN DEMOGRÁFICA Y SOCIOECONÓMICA .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.4. MAPA DE UBICACIÓN .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2. DURACIÓN .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3. MÉTODOS, TÉCNICAS .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.1. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.1.1. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS Y TELEDETECCIÓN.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.1.2. GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (DEM).....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.2. ANÁLISIS MULTICRITERIO (AMC) .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.3. ENTREVISTAS Y ENCUESTAS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4. VARIABLES EN ESTUDIO .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.2. VARIABLES INDEPENDIENTES .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5. PROCEDIMIENTOS .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.1. GENERAR MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (DEM) PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA DEL TERRENO Y CÁLCULO DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.2. DESARROLLAR EL ANÁLISIS MULTICRITERIO (AMC) PARA LA DETERMINACIÓN DE ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN EL CANTÓN DE FLAVIO ALFARO.....</b>	<b>36</b>

<b>3.5.3. ELABORAR UNA PROPUESTA DE MITIGACIÓN POR RIESGO DE INUNDACIÓN CON ENFOQUE A UN PLAN DE DESARROLLO TERRITORIAL PARA EL CANTÓN FLAVIO ALFARO .....</b>	<b>39</b>
<b>3.6. OTROS ASPECTOS .....</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.1. OB1: Generar modelos digitales de elevación (DEM) para la obtención de información básica del terreno y cálculo del escurrimiento superficial.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.2. OB2: Desarrollar el análisis multicriterio para la determinación de zonas de riesgo por inundación en el Cantón de Flavio Alfaro.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1.3. OB3: Elaborar una propuesta de mitigación por riesgo de inundación con enfoque a un Plan de Desarrollo Territorial para el Cantón Flavio Alfaro</b>	<b>73</b>
<b>4.2. DISCUSIÓN.....</b>	<b>98</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>102</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>104</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>116</b>

## CONTENIDO DE TABLAS, FIGURAS Y ANEXOS

<b>Tabla 1.</b> Escala lineal del nivel de amenaza ITH .....	36
<b>Tabla 2.</b> Nivel de amenaza del cantón Flavio Alfaro .....	37
<b>Tabla 3.</b> Densidad poblacional y nivel de vulnerabilidad .....	37
<b>Tabla 4.</b> Escala lineal del uso de suelo y su nivel de vulnerabilidad .....	38
<b>Tabla 5.</b> Criterios e influencia de la densidad poblacional y del uso de suelo .....	38
<b>Tabla 6.</b> Áreas del cantón Flavio Alfaro y Microcuencas.....	44
<b>Tabla 7.</b> Flujo de agua en el territorio en área y porcentaje .....	46
<b>Tabla 8.</b> Tipos de uso de suelo del cantón Flavio Alfaro.....	51
<b>Tabla 9.</b> Densidad poblacional, descripción y observaciones del cantón Flavio Alfaro .....	53
<b>Tabla 10.</b> Nivel de vulnerabilidad.....	57
<b>Tabla 11.</b> Nivel de amenaza del cantón Flavio Alfaro por área en km <sup>2</sup> .....	64
<b>Tabla 12.</b> Nivel de riesgo del cantón Flavio Alfaro por área por km <sup>2</sup> .....	69
 <b>Figura 1.</b> Mapa de Flavio Alfaro con detalle de geomorfología	 29
<b>Figura 2.</b> Mapa de ubicación de Cuencas Hidrográficas con respecto al cantón Flavio Alfaro	39
<b>Figura 3.</b> Mapa coroplético del cantón Flavio Alfaro con respecto a altitud al nivel del mar	41
<b>Figura 4.</b> Mapa de dirección de flujo del cantón Flavio Alfaro	42

<b>Figura 5.</b> Mapa de pendientes del cantón Flavio Alfaro	44
<b>Figura 6.</b> Mapa de Índice Topográfico de Humedad del cantón Flavio Alfaro	47
<b>Figura 7.</b> Cobertura y uso de suelo del cantón Flavio Alfaro	50
<b>Figura 8.</b> Densidad poblacional del cantón Flavio Alfaro	51
<b>Figura 9.</b> Mapa de vulnerabilidad del cantón Flavio Alfaro	53
<b>Figura 10.</b> Nivel de amenaza del cantón Flavio Alfaro	56
<b>Figura 11.</b> Mapa de riesgo del cantón Flavio Alfaro	61

## RESUMEN

Este estudio analiza el riesgo de desbordamiento fluvial en el cantón Flavio Alfaro, Manabí, Ecuador, a través del Índice Topográfico de Humedad (ITH), fundamental en el análisis hidrológico. Utilizando Modelos Digitales de Elevación (DEM), se examinaron patrones de escurrimiento superficial y la pendiente del terreno para identificar áreas vulnerables a inundaciones. La metodología incluyó análisis multicriterio (AMC) y teledetección en sistemas de información geográfica (SIG), con algoritmos especializados para calcular el ITH y su relación con el riesgo fluvial. Una clasificación no supervisada del ITH permitió segmentar el territorio en niveles de riesgo (muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto) según la concentración de escurrimiento. Los resultados indican que aproximadamente 109 km<sup>2</sup> del territorio del cantón Flavio Alfaro tiene un nivel alto de amenaza donde el ITH resultó ser un factor clave, pues las zonas con valores elevados de este índice coincidieron con puntos críticos de acumulación de agua, aumentando proporcionalmente el riesgo de inundación. Con un total de 96,0 km<sup>2</sup> en áreas vulnerables se determinó que el riesgo por inundación en niveles alto y muy alto alcanzan una extensión de 76.9 km<sup>2</sup> del territorio son áreas propensas a acumulación de agua en épocas de lluvias intensas, el diagnóstico refuerza la necesidad de un Plan de Desarrollo Territorial que incorpore medidas de mitigación y gestión sostenible de los recursos hídricos para reducir la exposición a eventos hidrológicos adversos.

## PALABRAS CLAVE

Índices Topográficos; Riesgo de inundación; Modelos digitales de elevación; Análisis multicriterio; Gestión ambiental.

## **ABSTRACT**

This study analyzes the risk of river overflow in the Flavio Alfaro canton, Manabí, Ecuador, using the Topographic Wetness Index (TWI), which is fundamental in hydrological analysis. Digital Elevation Models (DEMs) were used to examine surface runoff patterns and terrain slope to identify areas vulnerable to flooding. The methodology included Multi-Criteria Analysis (MCA) and remote sensing through Geographic Information Systems (GIS), applying specialized algorithms to calculate the TWI and its relationship with river risk. An unsupervised classification of the TWI allowed the segmentation of the territory into risk levels (low, moderate, high, and very high) based on runoff concentration. The results indicate that approximately 76.9 km<sup>2</sup> of the territory fall within high and very high-risk levels, areas prone to water accumulation during periods of heavy rainfall. The TWI proved to be a key factor, as areas with high values of this index coincided with critical water accumulation points, increasing the flood risk. With a total of 96.0 km<sup>2</sup> in highly vulnerable areas, the diagnosis emphasizes the need for a Territorial Development Plan that incorporates mitigation measures and sustainable water resource management to reduce exposure to adverse hydrological events.

## **KEY WORDS**

Topographic Index; Flood risk; Digital Elevation Models; Multicriteria analysis; Environmental management.

# **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Según Belon (2022) las inundaciones, manifestaciones de amenazas globales, surgen de diversas causas como el desbordamiento de ríos y canales, crecidas repentinas a causa de lluvias intensas o fallos en infraestructuras hidráulicas como presas, diques o muros de contención cercanos a áreas urbanas, generando riesgos significativos para las comunidades afectadas. En el año 2020, 1470 millones de personas estuvieron frente a riesgos de inundaciones: un poco más de un tercio de ellos tuvieron efectos devastadores (Paullo y Segovia, 2020).

En su investigación Cala (2019) menciona que globalmente, el aumento del nivel del mar conduce a las inundaciones, las cuales han impactado áreas costeras y cercanas a cuerpos de agua. Ecuador, caracterizado por altas precipitaciones durante la época de lluvias y una escasa planificación gubernamental, se considera altamente vulnerable a este fenómeno (Lobera, 2020).

Es así como Pérez (2000) indica que durante el fenómeno de El Niño entre 1997 y 1998, que no ha vuelto a repetirse desde entonces, Manabí experimentó fuertes tormentas e inundaciones. Las precipitaciones durante estos años superaron en un 50% y 70% el promedio histórico, y el volumen máximo de inundación durante un periodo de tres meses aumentó en un 138% respecto al promedio. Se estima que aproximadamente 2709,2 km<sup>2</sup> de la provincia de Manabí se vieron afectados por las inundaciones durante ese periodo (López, 2015).

De acuerdo con GPM Manabí (PDOT Manabí, 2024) en la provincia de Manabí, se ubica la ciudad de Flavio Alfaro, abarcando una extensión territorial de 1.343,1 km<sup>2</sup>. Como conocimiento general del territorio se indica que es eminentemente ganadero e importante para la producción agrícola, destacando cultivos como el café, cacao, tagua, plátanos y una amplia variedad de frutas tropicales. Durante la estación seca, estos productos son llevados a los principales mercados, sin embargo, la temporada de lluvias conlleva la pérdida de una parte significativa de esta producción debido a las inundaciones y deslizamientos de tierra que provocan enfermedades fúngicas, dificultad para el transporte y bajos precios de los productos agrícolas (Fuentes y Alcívar, 2023).

Según Toala y Mazamba (2023) durante las temporadas de lluvias, la ciudad ha experimentado inundaciones debido al desbordamiento de sus ríos. Estos eventos han causado daños significativos, con 1.900 personas damnificadas y 997 afectadas, además de afectar a 400 comercios en el área urbana, lo que ha resultado en pérdidas económicas superiores a los 2 millones de dólares. También se han registrado pérdidas considerables en otros sectores productivos, incluyendo 440 ha de plátano, 460 ha de cacao y 1.360 ha de pastizales, según reportes de la Prefectura de Manabí en 2022 (PDOT Manabí, 2024).

Una vez expuesta la problemática y considerando las situaciones mencionadas anteriormente, se ha identificado que la población de Flavio Alfaro es vulnerable a las inundaciones provocadas por el desbordamiento del río Pescadillo. Por este motivo, se propone la elaboración de un mapa de zonificación que muestre las áreas susceptibles a riesgos de inundación. Teniendo en cuenta todo lo expuesto, surge la siguiente interrogante: ¿Cuál es el índice topográfico de humedad y el diagnóstico del

riesgo por desbordamiento fluvial en el cantón Flavio Alfaro que sirva para elaborar una propuesta de mitigación por riesgo de inundación con enfoque a ser insertado en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de este?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La investigación se justifica por su importancia para comprender y mitigar el riesgo de desbordamiento fluvial en Flavio Alfaro. Aborda aspectos sociales, económicos y ambientales, contribuyendo al conocimiento en gestión de riesgos. Además, responde a la pertinencia legal y constitucional de Ecuador en la protección ante desastres naturales, tal como lo indica el artículo 261, en el literal 8 (Constitución de la República del Ecuador [CRE], 2008).

Desde una perspectiva social, es fundamental considerar que Ecuador, dadas sus condiciones geomorfológicas y el impacto de las actividades humanas, ha experimentado fenómenos naturales devastadores, especialmente en áreas rurales y comunidades asentadas cerca de cuerpos de agua, como indica Zambrano (2023). Las inundaciones, como señala Gran (2022), representan una amenaza grave que afecta a múltiples sectores de la población, impactando viviendas, infraestructuras, servicios públicos, agricultura, entre otros. Por lo tanto, entender y mitigar este riesgo es crucial para proteger a las comunidades vulnerables.

Desde el punto de vista económico, las inundaciones tienen un impacto significativo en la economía local y nacional, como lo indican Atayupanqui y Espinoza (2022). De igual manera, Lucioni (2022) señala que las pérdidas materiales y económicas derivadas de estos eventos pueden ser considerablemente altas, influyendo en el

desarrollo económico del territorio intervenido y hasta tendría efectos en territorios circundantes.

En términos ambientales, la investigación tiene como fin diseñar futuras políticas o acciones en torno a preservar y proteger los ecosistemas afectados por inundaciones, en línea con los principios de conservación ambiental establecidos en la Constitución de la República del Ecuador (2008). Por todo lo expuesto anteriormente, la determinación del Índice Topográfico de Humedad ayudará a comprender mejor cómo estas amenazas impactan en el entorno natural y cómo mitigar su efecto sobre la biodiversidad.

La investigación impulsará el progreso del conocimiento en gestión de riesgos e ingeniería hidrológica para los gobernantes de Flavio Alfaro. También, ofrece herramientas y métodos para evaluar y prevenir los riesgos de inundación en entornos urbanos y rurales cercanos al sector de estudio. Su enfoque beneficia el desarrollo de estrategias efectivas para abordar los riesgos hídricos en las mencionadas áreas.

Por lo tanto, contribuye así al fortalecimiento de la resiliencia ante desastres naturales en comunidades vulnerables (Tendero, 2023). La pertinencia del tema radica en la necesidad urgente de desarrollar estrategias efectivas de prevención y mitigación de desastres naturales, como lo establece la Constitución de la República del Ecuador (2008), en el artículo 261, literal 8, en el cual indica que una de las competencias exclusivas del Estado se centra en el manejo de desastres naturales.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar el índice topográfico de humedad para el diagnóstico de las zonas de riesgo por desbordamiento fluvial en el Cantón Flavio Alfaro.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Generar modelos digitales de elevación (DEM) para la obtención de información básica del terreno y cálculo del escurrimiento superficial.
- Desarrollar el análisis multicriterio para la determinación de zonas de riesgo por inundación en el Cantón Flavio Alfaro.
- Elaborar una propuesta de mitigación por riesgo de inundación con enfoque a un Plan de Desarrollo Territorial para el Cantón Flavio Alfaro.

## **1.4. IDEA A DEFENDER**

La determinación del índice topográfico de humedad promoverá una base científica y técnica en la elaboración de estrategias de mitigación de las zonas de riesgos por desbordamiento fluvial en el cantón Flavio Alfaro.

## **CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. CONCEPTOS Y DEFINICIONES BÁSICAS**

#### **2.1.1. DEFINICIÓN DE INUNDACIONES Y SUS TIPOS**

Las inundaciones son fenómenos naturales que ocurren cuando un área normalmente seca se ve cubierta temporalmente por una cantidad significativa de agua. Estas pueden clasificarse en varios tipos, dependiendo de su origen. Los desbordamientos de ríos ocurren cuando las lluvias intensas o el deshielo incrementan el caudal de un río, superando la capacidad de su cauce y provocando que el agua se desplace hacia áreas adyacentes (Smith y Ward, 2021).

Por otro lado, las crecidas repentinas son eventos súbitos caracterizados por la rápida acumulación de agua debido a lluvias intensas en áreas pequeñas, lo que resulta en inundaciones rápidas y severas sin aviso previo. Finalmente, los fallos en infraestructuras hidráulicas, como represas o diques, pueden desencadenar inundaciones catastróficas debido a la liberación repentina de grandes volúmenes de agua almacenada (Neal, et al., 2022).

Las inundaciones pueden tener impactos devastadores tanto en las comunidades humanas como en los ecosistemas. La planificación urbana y la gestión de recursos hídricos juegan un papel crucial en la mitigación de estos eventos. El entendimiento de los diferentes tipos de inundaciones y sus causas es esencial para desarrollar estrategias efectivas de prevención y respuesta. Estudios recientes han resaltado la importancia de implementar sistemas de alerta temprana y mejorar las infraestructuras para reducir la vulnerabilidad ante inundaciones (Wahlstrom, et al., 2023).

### **2.1.2. ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD (ITH): CONCEPTO, CÁLCULO Y APLICACIONES**

El Índice Topográfico de Humedad (ITH) es una medida utilizada para evaluar la humedad del suelo basada en la topografía de un terreno. Este índice se calcula utilizando variables como la pendiente y el área de contribución de un punto específico en el paisaje, proporcionando una estimación de la acumulación de agua en el suelo (Beven y Kirkby, 2020). El ITH es particularmente útil en estudios hidrológicos y de gestión ambiental, ya que permite identificar áreas propensas a la saturación del suelo y, por ende, más vulnerables a inundaciones y deslizamientos de tierra (Gao, et al., 2021).

El cálculo del ITH implica el uso de Modelos Digitales de Elevación (DEM) para obtener la información topográfica necesaria. Estos modelos proporcionan datos detallados sobre la elevación del terreno, permitiendo un análisis preciso de la distribución de la humedad. Las aplicaciones del ITH son diversas y abarcan desde la planificación agrícola hasta la conservación de ecosistemas y la gestión de riesgos naturales (Sorensen y Seibert, 2022). En la actualidad, la integración del ITH en sistemas de información geográfica (SIG) ha mejorado significativamente la capacidad para predecir y gestionar los efectos de las condiciones hídricas en diferentes paisajes.

### **2.1.3. MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (DEM): DEFINICIÓN Y RELEVANCIA EN ESTUDIOS HIDROLÓGICOS**

Los DEM son representaciones tridimensionales de la superficie terrestre que capturan las variaciones en la elevación del terreno. Estos modelos son esenciales

en estudios hidrológicos porque proporcionan una base precisa para analizar el flujo del agua, la acumulación de escorrentía y la formación de cuencas hidrográficas (Gallant y Wilson, 2021). Los DEM se obtienen generalmente a través de técnicas de teledetección, como la fotogrametría y el uso de sensores LIDAR, que permiten una alta resolución espacial y exactitud en los datos (Farr, et al., 2020).

La relevancia de los DEM en estudios hidrológicos radica en su capacidad para facilitar la modelación y simulación de procesos hidrológicos. Estos modelos son fundamentales para identificar áreas vulnerables a inundaciones, diseñar infraestructuras de gestión del agua y planificar estrategias de mitigación de riesgos naturales (Yang, et al., 2021). Además, los DEM permiten la integración con otros datos geoespaciales, mejorando la precisión y efectividad de los análisis hidrológicos. Investigaciones recientes han subrayado la importancia de actualizar y mantener los DEM para reflejar cambios en la topografía debido a fenómenos naturales o actividades humanas (Hofierka, et al., 2023).

#### **2.1.4. ANÁLISIS MULTICRITERIO (AMC): DEFINICIÓN Y TÉCNICAS UTILIZADAS**

El Análisis Multicriterio (AMC) es una metodología utilizada para evaluar y tomar decisiones en situaciones que involucran múltiples criterios, a menudo conflictivos. Este enfoque es ampliamente empleado en la planificación y gestión de recursos naturales, así como en la evaluación de riesgos y la toma de decisiones en entornos complejos (Greco, et al., 2020). Las técnicas de AMC incluyen métodos como el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), el Método de Preferencia por Ordenamiento (PROMETHEE) y el Método de Ponderación de Criterios, que permiten a los

tomadores de decisiones considerar una variedad de factores y sus interrelaciones (Saaty, 2021).

El AMC es particularmente útil en estudios ambientales y de gestión del agua, donde se deben balancear aspectos económicos, sociales y ecológicos. La integración de datos geoespaciales y modelos matemáticos en el AMC ha permitido mejorar la precisión y relevancia de las evaluaciones (Roy y Vincke, 2022). Por ejemplo, en la gestión de cuencas hidrográficas, el AMC puede ayudar a identificar las mejores estrategias para la distribución del agua, la protección contra inundaciones y la conservación de ecosistemas, considerando todas las variables relevantes y sus posibles impactos (Mendoza, et al., 2023).

## **2.2. CAUSAS Y FACTORES DE INUNDACIONES**

### **2.2.1. FACTORES NATURALES QUE CAUSAN INUNDACIONES**

Las inundaciones son provocadas por una variedad de factores naturales, siendo las lluvias intensas uno de los más comunes. Las precipitaciones excesivas pueden saturar el suelo y exceder la capacidad de absorción, resultando en la acumulación de agua superficial y el desbordamiento de cuerpos de agua. Este fenómeno es particularmente evidente durante eventos de lluvia prolongada o en regiones propensas a tormentas intensas (Merz, et al., 2021). Además, el aumento del nivel del mar debido al cambio climático incrementa la frecuencia y severidad de las inundaciones costeras, afectando especialmente a las comunidades costeras bajas (Nicholls, et al., 2020).

Fenómenos climáticos como El Niño también juegan un papel significativo en la generación de inundaciones. El Niño se caracteriza por un calentamiento anómalo de

las aguas del Océano Pacífico, lo que altera los patrones climáticos globales y provoca lluvias extremas en algunas regiones y sequías en otras (Cai, et al., 2020). Estos eventos pueden desencadenar inundaciones extensas, especialmente en áreas donde las infraestructuras no están diseñadas para manejar precipitaciones extremas. La combinación de estos factores naturales resalta la necesidad de sistemas de alerta temprana y medidas de mitigación para reducir el impacto de las inundaciones.

### **2.2.2. FACTORES ANTRÓPICOS: URBANIZACIÓN, DEFORESTACIÓN, MALA PLANIFICACIÓN URBANA**

Los factores antrópicos, o actividades humanas, también contribuyen significativamente a las inundaciones. La urbanización descontrolada es un factor clave, ya que la construcción de edificios y carreteras reduce la superficie permeable del suelo, disminuyendo la capacidad de absorción de agua y aumentando el escurrimiento superficial (Zevenbergen, et al., 2020). Este proceso intensifica la susceptibilidad de las áreas urbanas a inundaciones, especialmente durante lluvias intensas. Además, la deforestación agrava el problema al eliminar la vegetación que normalmente absorbería el agua de lluvia, lo que incrementa el riesgo de erosión y escorrentía rápida (Lambin y Geist, 2020).

La mala planificación urbana exacerba aún más el riesgo de inundaciones. La falta de infraestructura adecuada, como sistemas de drenaje eficientes y áreas de almacenamiento de agua, deja a las ciudades vulnerables a eventos de inundación. La construcción en zonas inundables y la ausencia de regulaciones estrictas sobre el uso del suelo son prácticas que aumentan la exposición al riesgo de inundaciones (Kuller, et al., 2021). Estos factores subrayan la necesidad de un enfoque integral en

la planificación y gestión urbana que considere las dinámicas hidrológicas y los impactos potenciales del cambio climático.

### **2.2.3. IMPACTO DE LA GEOMORFOLOGÍA Y USO DEL SUELO EN LAS INUNDACIONES**

La geomorfología, o las características físicas del terreno, juega un papel crucial en la determinación de la susceptibilidad a las inundaciones. Las áreas con pendientes pronunciadas tienden a tener un escurrimiento rápido del agua, lo que puede conducir a inundaciones repentinas en zonas bajas (Tarolli, et al., 2020). Por otro lado, las llanuras aluviales, que son áreas planas adyacentes a ríos y cuerpos de agua, son naturalmente propensas a las inundaciones debido a su capacidad para acumular y retener agua. La topografía del terreno influye directamente en la distribución y velocidad del flujo de agua, afectando la magnitud y duración de las inundaciones (Ward, et al., 2022).

El uso del suelo también es un factor determinante en la ocurrencia y severidad de las inundaciones. Las prácticas agrícolas intensivas y la urbanización sin control alteran significativamente la capacidad del suelo para absorber y retener agua. La conversión de tierras naturales a usos urbanos o agrícolas reduce la vegetación natural y compacta el suelo, disminuyendo su permeabilidad y aumentando el escurrimiento superficial (Pielke, y otros, 2020). Este cambio en el uso del suelo, junto con la destrucción de ecosistemas naturales como los humedales, reduce la capacidad del paisaje para mitigar los efectos de las inundaciones, incrementando así el riesgo y la exposición de las comunidades a estos eventos.

## **2.3. IMPACTOS DE LAS INUNDACIONES**

### **2.3.1. IMPACTOS SOCIALES**

Las inundaciones tienen un profundo impacto social, comenzando con el desplazamiento de personas. Cuando las áreas residenciales se inundan, los habitantes deben evacuar sus hogares, lo que puede resultar en desplazamientos temporales o permanentes. Este fenómeno afecta tanto a las comunidades urbanas como rurales, con millones de personas en todo el mundo forzadas a abandonar sus hogares anualmente debido a inundaciones (Pinter, et al., 2020). Además del desplazamiento físico, las inundaciones también pueden tener efectos psicológicos significativos, incluyendo estrés, ansiedad y trauma, especialmente en poblaciones vulnerables (Stanke, et al., 2020).

Los daños a viviendas e infraestructuras son otro impacto social crítico de las inundaciones. Las estructuras residenciales, comerciales e industriales pueden sufrir daños severos debido a la entrada de agua, lo que lleva a reparaciones costosas o, en algunos casos, a la destrucción total. La infraestructura pública, como carreteras, puentes y sistemas de alcantarillado, también puede verse gravemente afectada, interrumpiendo el transporte y los servicios básicos (Jonkman, et al., 2020). Estos daños no solo representan una carga económica, sino que también afectan la calidad de vida de las personas y pueden retrasar significativamente el desarrollo comunitario.

### **2.3.2. IMPACTOS ECONÓMICOS**

Las inundaciones tienen un impacto económico devastador, particularmente en el sector agrícola. Las tierras cultivables pueden ser anegadas, destruyendo cultivos y reduciendo la productividad agrícola. Esto no solo afecta a los agricultores, sino que

también puede tener consecuencias más amplias en la seguridad alimentaria y los precios de los alimentos (Lesk, et al., 2021). Las pérdidas en el sector agrícola pueden ser especialmente severas en regiones donde la agricultura es la principal fuente de sustento y empleo.

El comercio y la infraestructura también sufren significativamente debido a las inundaciones. Los negocios pueden enfrentar interrupciones prolongadas, pérdidas de inventario y daños a las instalaciones, lo que resulta en una disminución de ingresos y, en algunos casos, en el cierre permanente de empresas. La infraestructura dañada, como carreteras y sistemas de transporte, puede impedir el flujo de bienes y personas, afectando negativamente las actividades económicas y la logística (Hallegatte, et al., 2020). La reparación y reconstrucción de infraestructuras dañadas requieren inversiones sustanciales, desviando recursos que podrían haberse destinado a otros sectores de desarrollo.

### **2.3.3. IMPACTOS AMBIENTALES**

Las inundaciones también tienen importantes impactos ambientales. La erosión del suelo es un efecto común, especialmente en áreas con vegetación insuficiente para estabilizar el suelo. La fuerza del agua puede arrastrar grandes cantidades de suelo, reduciendo la calidad de la tierra y su capacidad para soportar vegetación y agricultura en el futuro (Renschler, et a., 2020). Este proceso de erosión puede transformar paisajes y alterar los ecosistemas locales.

La pérdida de biodiversidad es otro impacto ambiental significativo. Las inundaciones pueden destruir hábitats naturales y poner en peligro a las especies que dependen de ellos. Los ecosistemas acuáticos y terrestres pueden verse gravemente afectados,

resultando en la muerte de plantas y animales y la alteración de las cadenas alimentarias (Poff, et al., 2021). Además, las inundaciones pueden introducir contaminantes en cuerpos de agua, incluyendo productos químicos, desechos y sedimentos, lo que degrada la calidad del agua y afecta a la vida acuática y la salud humana (Schwarzenbach, et al., 2020). La contaminación del agua puede tener efectos duraderos, comprometiendo el acceso a agua potable y los recursos pesqueros.

## **2.4. ESTUDIOS PREVIOS Y CASOS RELEVANTES**

### **2.4.1. REVISIÓN DE INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE INUNDACIONES Y EL USO DEL ITH**

Numerosos estudios han investigado las inundaciones, sus causas, impactos y estrategias de mitigación, destacando el uso del Índice Topográfico de Humedad (ITH) como una herramienta valiosa (Sorensen y Seibert, 2020). El ITH, que combina la topografía y la humedad del suelo, ha demostrado ser eficaz para identificar áreas propensas a la saturación y la acumulación de agua. Investigaciones recientes han utilizado el ITH para mejorar la precisión de los modelos hidrológicos y prever posibles áreas de riesgo de inundación (Beven y Kirkby, 2020). Por ejemplo, un estudio en la cuenca del río Po en Italia utilizó el ITH para mapear zonas de riesgo y desarrollar planes de manejo de inundaciones más efectivos (Sorensen y Seibert, 2020).

El uso del ITH ha sido ampliamente adoptado en estudios de modelación hidrológica debido a su capacidad para integrar datos topográficos y de humedad del suelo en un índice único. Este enfoque ha permitido a los investigadores y gestores de recursos hídricos identificar áreas vulnerables y planificar intervenciones específicas. En un

estudio realizado en la cuenca del río Paraná, se demostró que el ITH es una herramienta crucial para predecir la respuesta hidrológica en diferentes escenarios de uso del suelo y clima (Gao, et al., 2021). La revisión de estas investigaciones muestra que el ITH es una metodología robusta y adaptable para diferentes contextos geográficos y climáticos.

#### **2.4.2. ESTUDIOS DE CASO DE OTRAS REGIONES SIMILARES A FLAVIO ALFARO**

Los estudios de caso de regiones con características similares a Flavio Alfaro, como topografía montañosa y alta pluviosidad, proporcionan información valiosa para la gestión de inundaciones como la que realizó (Cai et al., 2020). En la región de Piura, Perú, un análisis de inundaciones asociadas a eventos de El Niño mostró cómo las lluvias intensas y la deforestación agravan el riesgo de inundaciones (Cai, et al., 2020). Este caso subraya la importancia de combinar datos meteorológicos, hidrológicos y de uso del suelo para desarrollar modelos predictivos y estrategias de mitigación.

Otro estudio relevante es el de la región de Kerala, India, que experimenta monzones intensos similares a los patrones de lluvia de Flavio Alfaro. Aquí, se utilizó un enfoque integrado que combinaba el ITH y los Modelos Digitales de Elevación (DEM) para mapear áreas de riesgo de inundación y planificar infraestructuras de drenaje (Yang, et al., 2021). Los resultados de estos estudios destacan la eficacia de utilizar herramientas como el ITH y los DEM en regiones con condiciones hidrológicas y topográficas complejas, similares a las de Flavio Alfaro.

### **2.4.3. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS Y RESULTADOS RELEVANTES PARA EL CONTEXTO LOCAL**

La comparación de metodologías utilizadas en estudios previos y su adaptación al contexto local es crucial para desarrollar estrategias efectivas de gestión de inundaciones en Flavio Alfaro. El uso del ITH combinado con DEM ha demostrado ser eficaz en diferentes contextos para prever áreas de riesgo y planificar intervenciones. Por ejemplo, en el estudio de la cuenca del río Po, la integración de estas herramientas permitió una identificación precisa de zonas vulnerables y el desarrollo de medidas de mitigación específicas (Sorensen y Seibert, 2022).

En contraste, estudios en Kerala adoptaron un enfoque más centrado en la infraestructura, utilizando datos del ITH y DEM para diseñar sistemas de drenaje y almacenamiento de agua (Yang, et al., 2021). Esta metodología se puede adaptar al contexto de Flavio Alfaro, donde la topografía montañosa y las lluvias intensas requieren soluciones de infraestructura robustas. Comparando estos enfoques, es evidente que una combinación de técnicas de modelación y planificación de infraestructuras puede proporcionar una estrategia integral para la gestión de inundaciones en Flavio Alfaro.

## **2.5. TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS**

### **2.5.1. REVISIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y GENERACIÓN DE DEM**

Las técnicas de teledetección han revolucionado la generación y análisis de Modelos Digitales de Elevación (DEM), proporcionando datos precisos y de alta resolución esenciales para estudios hidrológicos. La teledetección, utilizando satélites y drones,

permite la captura de imágenes y datos topográficos en áreas extensas y de difícil acceso, mejorando la precisión de los DEM y facilitando el monitoreo continuo del terreno (Hofierka et al., 2023). Por ejemplo, el uso de LiDAR (Light Detection and Ranging) ha demostrado ser particularmente eficaz para generar DEM detallados, incluso en áreas con densa vegetación, gracias a su capacidad para penetrar el follaje y captar la superficie del suelo (Yang et al., 2021).

El proceso de generación de DEM a partir de datos de teledetección implica varios pasos, incluyendo la adquisición de datos, el procesamiento y la interpolación de puntos de elevación para crear un modelo continuo de la superficie terrestre. Los DEM resultantes son fundamentales para el análisis hidrológico, ya que permiten la identificación de cuencas hidrográficas, la simulación del flujo de agua y la evaluación de áreas propensas a inundaciones (Farr et al., 2020). Estas capacidades hacen de la teledetección y la generación de DEM herramientas indispensables en la gestión y mitigación de riesgos de inundaciones.

### **2.5.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS MULTICRITERIO EN LA GESTIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIONES**

El análisis multicriterio (AMC) es una técnica esencial en la gestión de riesgos de inundaciones, ya que permite la evaluación de múltiples factores y la toma de decisiones informadas. El AMC integra diversos criterios como la vulnerabilidad, exposición y capacidad de respuesta, proporcionando una visión holística del riesgo y facilitando la priorización de medidas de mitigación (Greco et al., 2020). Métodos como el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y la Técnica de Preferencia por Similitud a la Solución Ideal (TOPSIS) son ampliamente utilizados en este contexto.

El AHP, desarrollado por Saaty, es una técnica que estructura el problema de decisión en una jerarquía de objetivos, criterios y alternativas, permitiendo una comparación par a par de los elementos y la asignación de pesos basados en la importancia relativa (Saaty, 2021). Por otro lado, TOPSIS se basa en el concepto de elegir la alternativa que tenga la menor distancia de una solución ideal y la mayor distancia de una solución negativa ideal, facilitando así la identificación de las mejores opciones de gestión del riesgo (Roy y Vincke, 2022). Estos métodos son especialmente útiles para evaluar y comparar diferentes estrategias de mitigación de inundaciones, asegurando que las decisiones se basen en una evaluación equilibrada de todos los factores relevantes.

### **2.5.3. SOFTWARE Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN ESTUDIOS HIDROLÓGICOS Y DE RIESGO**

El uso de software especializado es crucial en estudios hidrológicos y de gestión de riesgos de inundaciones. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una de las herramientas más utilizadas, ya que permiten la visualización, análisis y modelado de datos espaciales. SIG como ArcGIS y QGIS facilitan el mapeo de áreas propensas a inundaciones, la simulación de escenarios de inundación y la evaluación de impactos potenciales (Zevenbergen et al., 2020). Estas herramientas también permiten la integración de datos de teledetección y DEM, proporcionando una plataforma completa para el análisis espacial.

Además de los SIG, otros softwares como NVivo y SPSS juegan un papel importante en el análisis cualitativo y cuantitativo de datos. NVivo es particularmente útil para el análisis de entrevistas y encuestas, permitiendo la codificación y análisis temático de datos cualitativos, mientras que SPSS se utiliza para el análisis estadístico de datos

cuantitativos (Silver y Lewins, 2022). Estas herramientas complementan las capacidades de los SIG, proporcionando un enfoque integral para la investigación y gestión de riesgos de inundaciones. La combinación de estas tecnologías permite una evaluación exhaustiva y precisa de los riesgos, apoyando la toma de decisiones informadas y efectivas en la mitigación de inundaciones.

## **2.6. MARCO LEGAL Y POLÍTICO**

### **2.6.1. NORMATIVAS INTERNACIONALES RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES**

La gestión de riesgos de desastres está regulada por un marco legal y político robusto tanto a nivel nacional como internacional. A nivel internacional, acuerdos como el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 proporcionan directrices y objetivos para reducir la mortalidad, el número de personas afectadas y las pérdidas económicas y ambientales causadas por desastres naturales (UNISDR, 2020). El Marco de Sendai enfatiza la necesidad de una cooperación internacional y la implementación de políticas integrales y multisectoriales para abordar los riesgos de desastres.

En el ámbito nacional, muchos países han desarrollado leyes y regulaciones específicas para la gestión de riesgos de desastres. Estas normativas suelen incluir la creación de organismos especializados, la asignación de recursos y la definición de responsabilidades a nivel local y nacional. Por ejemplo, en Estados Unidos, la Ley Stafford establece un marco para la asistencia federal en respuesta a desastres y emergencias (FEMA, 2022). Del mismo modo, en la Unión Europea, la Directiva de Inundaciones de 2007 establece un marco para la evaluación y gestión del riesgo de

inundaciones, obligando a los estados miembros a realizar evaluaciones de riesgo y desarrollar planes de gestión de riesgos de inundaciones (European Commission, 2020).

## **2.6.2. POLÍTICAS PÚBLICAS EN ECUADOR SOBRE LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE INUNDACIONES**

En Ecuador, la gestión de riesgos de inundaciones está guiada por un conjunto de políticas públicas y regulaciones diseñadas para prevenir y mitigar los impactos de estos eventos. La Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) es el organismo encargado de coordinar las acciones relacionadas con la prevención, preparación, respuesta y recuperación ante desastres naturales, incluidas las inundaciones (SGR, 2023). Ecuador ha adoptado un enfoque integral que incluye la identificación de zonas de riesgo, la construcción de infraestructuras de mitigación y la educación y capacitación de las comunidades vulnerables.

Una de las políticas más destacadas es el Plan Nacional de Gestión de Riesgos, que establece estrategias y acciones específicas para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de las comunidades ante inundaciones. Este plan incluye la construcción de obras hidráulicas, la implementación de sistemas de alerta temprana y la promoción de prácticas sostenibles de uso del suelo (MAE, 2021). Además, el gobierno ecuatoriano ha fomentado la colaboración con organismos internacionales y el sector privado para financiar y llevar a cabo proyectos de mitigación de inundaciones.

### **2.6.3. ROL DE LOS PLANES DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL (PDOT) EN LA GESTIÓN DE RIESGOS**

Los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) juegan un papel crucial en la gestión de riesgos de inundaciones en Ecuador. Estos planes son instrumentos de planificación que integran la gestión de riesgos en el desarrollo urbano y rural, asegurando que las actividades humanas y el uso del suelo se realicen de manera sostenible y segura (SENPLADES, 2020). Los PDOT incluyen evaluaciones de riesgos y vulnerabilidades, lo que permite a los municipios identificar áreas propensas a inundaciones y tomar medidas preventivas.

El PDOT de cada municipio debe alinearse con las políticas nacionales de gestión de riesgos y desarrollo sostenible. En el caso de Flavio Alfaro, por ejemplo, el PDOT debe considerar la topografía montañosa y las características hidrológicas del cantón para planificar adecuadamente el uso del suelo y la infraestructura (GAD Flavio Alfaro, 2022). Esto incluye la zonificación de áreas de riesgo, la construcción de drenajes y la regulación de la urbanización en zonas vulnerables. La implementación efectiva de los PDOT puede reducir significativamente los impactos de las inundaciones, proteger vidas y propiedades y promover el desarrollo sostenible.

## **2.7. RESILIENCIA Y MITIGACIÓN DE INUNDACIONES**

### **2.7.1. ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES**

Las estrategias de mitigación de inundaciones han evolucionado para incluir enfoques sostenibles y resilientes, como la infraestructura verde y el mejoramiento de infraestructuras existentes. La infraestructura verde, que incluye soluciones basadas en la naturaleza como humedales, parques inundables y techos verdes, ayuda a

absorber y retrasar el flujo de agua, reduciendo el riesgo de inundaciones (Ahern, 2020). Estas soluciones no solo mitigan las inundaciones, sino que también mejoran la calidad del aire y el agua, proporcionan hábitats para la biodiversidad y ofrecen espacios recreativos para las comunidades urbanas.

El mejoramiento de infraestructuras existentes, como la modernización de diques y embalses, la construcción de drenajes pluviales y la implementación de sistemas de bombeo, es otra estrategia crucial. Estas medidas buscan aumentar la capacidad de las infraestructuras para manejar volúmenes mayores de agua y mejorar su resistencia a eventos extremos. Por ejemplo, en Japón, la renovación de diques y la construcción de sistemas de túneles subterráneos han demostrado ser eficaces para reducir el impacto de inundaciones en áreas urbanas densamente pobladas (Hashimoto, et al., 2021). La combinación de infraestructuras verdes y grises ofrece una solución integrada y más resiliente para la gestión de riesgos de inundaciones.

### **2.7.2. ENFOQUES DE RESILIENCIA COMUNITARIA Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA**

La resiliencia comunitaria y la participación ciudadana son fundamentales para la gestión efectiva de riesgos de inundaciones. Las comunidades resilientes son aquellas capaces de anticipar, resistir, adaptarse y recuperarse de los impactos de las inundaciones. Esto se logra mediante la educación y capacitación de los ciudadanos, la implementación de sistemas de alerta temprana y la promoción de prácticas de construcción seguras y sostenibles (Cutter, et al., 2020). La participación ciudadana en la planificación y ejecución de medidas de mitigación es esencial, ya que asegura que las soluciones sean culturalmente apropiadas y socialmente aceptables.

Programas de participación ciudadana, como los comités locales de gestión de riesgos, permiten a los residentes colaborar con las autoridades en la identificación de riesgos y la implementación de estrategias de mitigación. En Bangladesh, la creación de estos comités ha resultado en una mayor conciencia y preparación ante inundaciones, reduciendo significativamente las pérdidas humanas y materiales (Islam et al., 2021). La inclusión de la comunidad en el proceso de toma de decisiones no solo fortalece la resiliencia, sino que también fomenta un sentido de propiedad y responsabilidad compartida.

### **2.7.3. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN SOSTENIBLE DEL TERRITORIO**

La planificación y gestión sostenible del territorio es crucial para la mitigación de riesgos de inundaciones. Una planificación adecuada considera los riesgos de inundación en el diseño y desarrollo de infraestructuras y asentamientos humanos, asegurando que las construcciones se realicen en áreas seguras y que se implementen medidas de protección adecuadas (Smith y Petley, 2022). La zonificación del uso del suelo y la regulación de la urbanización en áreas de alto riesgo son estrategias clave para reducir la vulnerabilidad.

La gestión sostenible del territorio también implica la conservación y restauración de ecosistemas naturales que actúan como barreras naturales contra las inundaciones, como manglares, bosques ribereños y llanuras de inundación. Estos ecosistemas absorben y retienen grandes cantidades de agua, reduciendo el flujo y mitigando los impactos de las inundaciones (Mitsch y Gosselink, 2020). En países como los Países Bajos, la integración de la gestión del agua en la planificación territorial ha sido fundamental para proteger a las comunidades de las inundaciones recurrentes (van

den Brink et al., 2021). La adopción de un enfoque holístico y sostenible en la planificación territorial es esencial para garantizar la seguridad y la resiliencia de las comunidades frente a los riesgos de inundaciones.

## **2.8. APLICACIÓN DEL ITH EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

### **2.8.1. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD EN OTROS CONTEXTOS**

El Índice Topográfico de Humedad (ITH) se ha utilizado ampliamente en la planificación territorial y en la gestión de recursos hídricos en diversas regiones del mundo. En Europa, por ejemplo, el ITH ha sido empleado para identificar áreas propensas a la acumulación de agua y para planificar el uso del suelo de manera que se minimicen los riesgos de inundaciones (Beven y Kirkby, 2020). En Italia, el ITH se ha utilizado en la gestión forestal y en la planificación de infraestructuras agrícolas para evitar la erosión del suelo y mejorar la eficiencia del riego (Tosoni et al., 2021).

En América del Norte, el ITH ha sido aplicado en la gestión de cuencas hidrográficas y en la restauración de humedales. Por ejemplo, en Canadá, el índice ha ayudado a identificar zonas de alta humedad que son ideales para la conservación de humedales y para la implementación de proyectos de restauración ecológica (Western et al., 2022). Estos ejemplos demuestran la versatilidad y utilidad del ITH en diferentes contextos y su potencial para mejorar la gestión del agua y la planificación territorial.

## **2.8.2. BENEFICIOS Y LIMITACIONES DEL USO DEL ITH EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

El uso del Índice Topográfico de Humedad (ITH) en la planificación territorial ofrece varios beneficios. Entre ellos, destaca la capacidad del ITH para identificar áreas con alta acumulación de agua, lo que es crucial para la prevención de inundaciones y la gestión de recursos hídricos (Beven y Kirkby, 2020). Además, el ITH puede integrarse con otras herramientas de planificación y análisis, como los SIG, lo que facilita un enfoque holístico y basado en datos para la toma de decisiones (Western et al., 2022).

Sin embargo, el ITH también presenta algunas limitaciones. Una de las principales es que el índice se basa en datos topográficos y de elevación, lo que puede no capturar completamente las dinámicas complejas de la humedad del suelo, especialmente en áreas urbanas o altamente modificadas (Tosoni et al., 2021). Además, la precisión del ITH depende de la calidad y resolución de los datos topográficos utilizados, lo que puede ser un desafío en regiones con datos limitados o desactualizados. A pesar de estas limitaciones, el ITH sigue siendo una herramienta valiosa para la planificación territorial, especialmente cuando se complementa con otros métodos y datos.

## **2.8.3. PROPUESTAS DE INTEGRACIÓN DEL ITH EN EL PDOT DE FLAVIO ALFARO**

La integración del Índice Topográfico de Humedad (ITH) en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de Flavio Alfaro puede proporcionar múltiples beneficios para la gestión de riesgos de inundaciones y la planificación sostenible del territorio. Una propuesta clave es utilizar el ITH para identificar áreas de alta vulnerabilidad a inundaciones y orientar el desarrollo urbano hacia zonas más

seguras. Esto puede incluir la zonificación de usos del suelo que restrinjan la construcción en áreas de alto riesgo y promuevan la conservación de zonas verdes y humedales naturales (GAD Flavio Alfaro, 2022).

Otra propuesta es emplear el ITH para diseñar y ubicar infraestructuras verdes, como parques inundables y sistemas de drenaje sostenibles, que ayuden a mitigar los efectos de las inundaciones y mejorar la resiliencia de la comunidad. Además, el ITH puede ser una herramienta útil para planificar la agricultura y la gestión forestal, asegurando que estas actividades se realicen en áreas adecuadas y de manera sostenible (MAE, 2021). La integración del ITH en el PDOT no solo mejorará la gestión de riesgos de inundaciones, sino que también contribuirá al desarrollo sostenible y a la protección del medio ambiente en Flavio Alfaro.

## **2.9. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.9.1. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES HALLAZGOS DE LA REVISIÓN**

La revisión bibliográfica ha proporcionado una visión amplia y detallada sobre las inundaciones y la planificación territorial. Se ha identificado que las inundaciones pueden ser causadas por factores naturales, como lluvias intensas y fenómenos climáticos, así como por factores antrópicos, incluyendo la urbanización y la deforestación. Los impactos de las inundaciones abarcan aspectos sociales, económicos y ambientales, afectando a comunidades, infraestructuras y ecosistemas. Se ha destacado la importancia de herramientas como el Índice Topográfico de Humedad (ITH) y los Modelos Digitales de Elevación (DEM) en la evaluación de riesgos de inundaciones, así como la relevancia del análisis multicriterio y las técnicas de teledetección en la gestión de estos riesgos.

## **2.9.2. IDENTIFICACIÓN DE VACÍOS DE CONOCIMIENTO Y ÁREAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES**

A pesar de los avances en el estudio de las inundaciones, se han identificado varios vacíos de conocimiento. Por ejemplo, existe la necesidad de mejorar la precisión y resolución de los datos utilizados en el cálculo del ITH, especialmente en áreas urbanas. También se requiere una mayor investigación sobre la integración efectiva de infraestructuras verdes y grises en la planificación urbana. Además, se ha identificado la necesidad de estudios longitudinales que evalúen el impacto a largo plazo de las estrategias de resiliencia comunitaria y participación ciudadana en la reducción de riesgos de inundaciones.

## **2.9.3. IMPLICACIONES PARA EL DESARROLLO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN**

Los hallazgos de la revisión bibliográfica tienen varias implicaciones para el desarrollo de la presente investigación. Por un lado, sugieren la importancia de considerar múltiples factores en la evaluación de riesgos de inundaciones y en la planificación territorial. Además, señalan la necesidad de utilizar herramientas y técnicas avanzadas, como el ITH y los DEM, para mejorar la precisión de los análisis. También resaltan la importancia de la participación comunitaria y la planificación sostenible del territorio en la mitigación de riesgos. Estas implicaciones guiarán el desarrollo de una metodología sólida y contextualmente relevante para abordar los desafíos de las inundaciones en el contexto específico de Flavio Alfaro.

## **CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **3.1. UBICACIÓN**

#### **3.1.1. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA**

El cantón Flavio Alfaro se encuentra situado en la provincia de Manabí, Ecuador en las coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) aproximadas de 640000 este (E) y 9960000 norte (N). Limita al norte con los cantones Chone y El Carmen, al este con el cantón El Carmen, al sur con el cantón Bolívar, y al oeste con los cantones Chone y Bolívar. La extensión territorial del cantón es de aproximadamente 1,343.1 km<sup>2</sup>. El terreno es predominantemente montañoso, con valles fértiles y ríos que atraviesan el territorio, siendo el río Pescadillo uno de los más importantes. La topografía variada incluye colinas, planicies y áreas bajas propensas a inundaciones durante la temporada de lluvias.

#### **3.1.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS**

El clima en Flavio Alfaro es tropical monzónico, caracterizado por temperaturas cálidas durante todo el año, con una temperatura promedio anual que oscila entre los 24°C y 28°C. La precipitación anual promedio varía entre 1,500 mm y 2,000 mm, concentrándose principalmente entre los meses de diciembre y mayo, lo que corresponde a la temporada de lluvias. Durante este periodo, las lluvias intensas y continuas pueden provocar el desbordamiento de los ríos y causar inundaciones significativas en las áreas bajas y valles. La temporada seca, que abarca los meses de junio a noviembre, se caracteriza por una notable reducción en las precipitaciones, afectando la disponibilidad de agua y la productividad agrícola.

### 3.1.3. INFORMACIÓN DEMOGRÁFICA Y SOCIOECONÓMICA

El cantón Flavio Alfaro tiene una población aproximada de 25,000 habitantes, distribuidos entre áreas urbanas y rurales. La economía local se basa principalmente en la agricultura y la ganadería. Los cultivos más importantes incluyen el café, cacao, tagua, plátanos y una variedad de frutas tropicales, que son comercializados tanto a nivel local como nacional. Además, la ganadería es una actividad económica significativa, contribuyendo con la producción de carne y productos lácteos. La infraestructura del cantón incluye carreteras, sistemas de riego, escuelas, centros de salud y mercados, aunque las inundaciones durante la temporada de lluvias pueden afectar gravemente estos servicios, interrumpiendo el transporte y el comercio.

### 3.1.4. MAPA DE UBICACIÓN

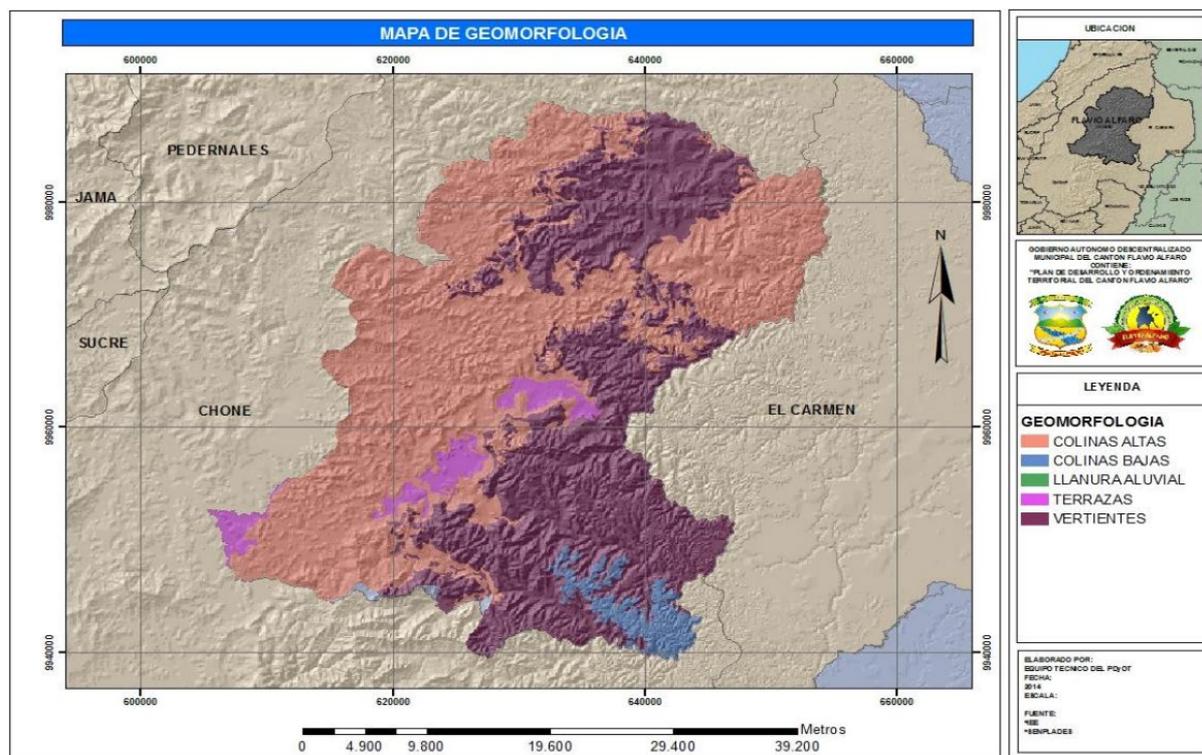


Figura 1. Mapa de Flavio Alfaro con detalle de geomorfología

Fuente: (PDOT Flavio Alfaro 2019-2023, 2019)

## **3.2. DURACIÓN**

La duración total de la investigación será de cinco meses, comenzando con la planificación y preparación en el primer mes, donde se revisarán antecedentes y se diseñará el plan de investigación. En el segundo mes se recopilarán datos topográficos, geoespaciales e hidrológicos, además de realizar entrevistas y encuestas. El tercer mes estará dedicado al procesamiento de datos y análisis multicriterio para identificar zonas de riesgo. Durante el cuarto mes se elaborarán mapas de zonificación y propuestas de mitigación, y en el quinto mes se revisarán los resultados y se presentarán a las autoridades locales, integrándolos en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón Flavio Alfaro.

## **3.3. MÉTODOS, TÉCNICAS**

Este apartado explica los métodos y técnicas que se utilizarán para llevar a cabo la investigación, asegurando una recopilación y análisis de datos completos y precisos para la elaboración del Índice Topográfico de Humedad (ITH) y la propuesta de mitigación de riesgos de inundación en el cantón Flavio Alfaro.

### **3.3.1. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.3.1.1. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS Y TELEDETECCIÓN**

- **Levantamientos topográficos:** Se utilizarán equipos de GPS de alta precisión para medir las elevaciones y características del terreno. Los puntos de control serán establecidos en áreas estratégicas para asegurar la exactitud de los datos recolectados.

- **Teledetección:** Se emplearán imágenes satelitales y fotografías aéreas para obtener una vista amplia y detallada del área de estudio. Estas imágenes proporcionarán información crucial sobre el uso del suelo, cobertura vegetal y características hidrológicas.
- **Uso de drones:** Los drones equipados con cámaras de alta resolución y sensores LIDAR se utilizarán para captar datos topográficos detallados, especialmente en áreas de difícil acceso. Esto permitirá generar modelos tridimensionales precisos del terreno.

### 3.3.1.2. GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (DEM)

- **Proceso de creación de DEM:** Los datos recopilados mediante levantamientos topográficos, teledetección y drones serán procesados utilizando software especializado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) como ArcGIS o QGIS. Estos programas permiten la integración de datos y la generación de Modelos Digitales de Elevación de alta resolución.
- **Herramientas y software:** Se utilizarán herramientas de procesamiento de datos como Global Mapper, y herramientas de análisis LIDAR para limpiar, interpolar y convertir los datos crudos en DEM precisos. Los DEM resultantes proporcionarán una base sólida para el análisis del escurrimiento superficial y la identificación de áreas susceptibles a inundaciones.

### 3.3.2. ANÁLISIS MULTICRITERIO (AMC)

- **Selección de criterios:** Los criterios a considerar incluirán factores topográficos, hidrológicos, climatológicos, socioeconómicos y de infraestructura. Cada criterio se ponderará según su importancia relativa en la contribución al riesgo de inundación.

- **Proceso de análisis:** Se utilizarán técnicas de análisis multicriterio, como el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y el método de Ponderación Lineal, para integrar los diferentes factores. Estos métodos permiten evaluar la interacción y el impacto combinado de múltiples variables.
- **Software de análisis:** Se utiliza el software de Sistemas de información geográfica (SIG) con extensiones de análisis espacial y multicriterio. Serán empleadas para realizar el AMC, generando mapas que identifiquen las zonas de mayor riesgo de inundación en el cantón Flavio Alfaro.

### 3.3.3. ENTREVISTAS Y ENCUESTAS

- **Entrevistas a expertos:** Se realizaron entrevistas semiestructuradas con expertos en hidrología, gestión de riesgos y planificación territorial. Estas entrevistas proporcionarán conocimientos técnicos y contextuales valiosos para complementar los datos cuantitativos.
- **Encuestas a la comunidad local:** Se diseñaron encuestas para recopilar información de los residentes locales sobre su experiencia y percepción del riesgo de inundaciones. Las encuestas se administrarán en áreas urbanas y rurales para obtener una visión completa del impacto de las inundaciones.
- **Análisis de datos cualitativos:** Los datos recopilados mediante entrevistas y encuestas fueron analizados utilizando software de análisis cualitativo como NVivo, facilitando la identificación de patrones, temas y perspectivas clave.

### **3.4. VARIABLES EN ESTUDIO**

#### **3.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

- **Riesgo por desbordamiento fluvial:** Esta es la variable que se intenta explicar o predecir. Representa la probabilidad y el impacto de las inundaciones causadas por el desbordamiento de ríos en el cantón Flavio Alfaro. Se puede medir a través de indicadores como la frecuencia de inundaciones, la extensión de las áreas afectadas y la severidad de los daños ocasionados.

#### **3.4.2. VARIABLES INDEPENDIENTES**

- **Índice topográfico de humedad (ITH):** Medida derivada de la topografía del terreno que indica las áreas propensas a la acumulación de agua. Es una variable clave que influye directamente en el riesgo de desbordamiento fluvial.

### **3.5. PROCEDIMIENTOS**

#### **3.5.1. GENERAR MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (DEM) PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA DEL TERRENO Y CÁLCULO DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL**

- **Actividad 1 - Obtención de DEM:** Se obtuvo el modelo digital de elevación (DEM) con una resolución de 10mX10m, donde se definió la zona de estudio en un archivo shapefile mediante un software GIS delimitando al cantón Flavio Alfaro para luego mediante el programa Global Mapper obtener nuestra imagen de alta resolución (Farr, et al., 2020).

- **Actividad 2 - Procesamiento de DEM:** Se procesó el DEM corrigiendo imperfecciones para obtener mapas que representen direcciones del flujo, acumulación del flujo y mapa de pendiente, todo esto realizado mediante las extensiones del software SIG
- **Actividad 3 – Determinar el ITH:** Se determino el ITH delimitando zonas que por su morfología indican que son potencial de acumulación de agua, con los datos obtenidos se procedió a:

El cálculo de la acumulación del escurrimiento superficial se basa en un conteo acumulativo de las áreas que contribuyen al drenaje hacia una determinada dirección (área de drenaje acumulada ( $\alpha$ )) y al sitio de acumulación del flujo ( $\alpha_f$ ), lo que permite definir tanto el patrón como la intensidad del drenaje. Esto se realizó mediante la creación de un ráster de dirección de flujo utilizando los algoritmos de orden de Strahler, determinados a través de un sistema de información geográfica, y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$(1) \quad Q = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S}$$

Dónde:

- $Q$ = representa el escurrimiento medio,
- $P$ = Es la precipitación
- $S$ = es el potencial geográfico.

El siguiente paso implica convertir los datos en radianes, de acuerdo con Lucas (2018) y Cárdenas (2019). Para el cálculo de la pendiente en radianes, se introdujo la fórmula en la Raster Calculator (Slope - radians) del sistema de información geográfica, y el

procesamiento generó una representación cartográfica de las pendientes en el área de estudio. La fórmula utilizada fue:

$$(2) \textit{Pendiente en radianes} = (\textit{Pendiente en Grados} * 1.570796) / 90$$

Luego de obtener nuestra pendiente en radianes procedemos a transfórmala a tangente, de la misma manera introducimos la formula en el ráster calculator de nuestro software SIG (Tarolli, et al., 2020). La fórmula utilizada es la siguiente:

$$\textit{Pendiente tan} = \text{Con} ((\textit{Pendiente en Grados}) > 0, \text{Tan} (\textit{Pendiente en Grados}), 0.001)$$

Una vez calculada la pendiente en tangente, se procedió a determinar el índice topográfico de humedad (ITH) para la subcuenca de Flavio Alfaro, calculando en la acumulación de flujo y la pendiente en tangente mediante la Raster Calculator. La fórmula utilizada fue:

$$(3) \quad ITH = \ln \left[ \frac{ACU_i}{[\tan(\beta_i)]} \right]$$

Dónde:

- **AC=** es el área drenante acumulada,
- **tan(βi)=** es la pendiente local de la celda.

A partir de esta fórmula, se obtuvo el Índice Topográfico de Humedad (ITH), lo cual fue fundamental para identificar, mediante datos cartográficos, las zonas de la subcuenca con diferentes potenciales para generar escorrentías: alto, medio o bajo. Este índice permitió no solo localizar las áreas con mayor susceptibilidad a la acumulación de agua, sino también comprender cómo la combinación de la pendiente

y la acumulación de flujo influye en el comportamiento hidrológico de la región. La visualización de estos resultados en un mapa facilitó la interpretación espacial de las áreas críticas, apoyando la planificación de medidas preventivas.

### 3.5.2. DESARROLLAR EL ANÁLISIS MULTICRITERIO (AMC) PARA LA DETERMINACIÓN DE ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN EL CANTÓN DE FLAVIO ALFARO

- **Actividad 4 – Determinar amenaza:** Se procedió a determinar los factores relevantes que contribuyen al riesgo del cantón Flavio Alfaro de acuerdo a los rangos y criterios que emplean el Ministerio del ambiente en los Modelos de los regímenes de inundación (2013), la Secretaria de Gestión de Riesgos - SGR con su metodología para elaborar agendas de riesgos (2018), la metodología para la elaboración de planes de riesgo en el sistema educativo del ministerio de educación (2023) , las cuales distribuyen el riesgos en 5 niveles siendo 5 el valor más alto de y 1 el valor más bajo .

**Tabla 1.** Escala lineal del nivel de amenaza ITH

Nivel de Amenaza ITH	Escala Lineal
Índice topográfico de humedad Muy bajo	1
Índice topográfico de humedad Bajo	2
Índice topográfico de humedad Moderado	3
Índice topográfico de humedad Alto	4
Índice topográfico de humedad Muy alto	5

Elaborador por: autor

Para determinar la amenaza luego del análisis de las metodologías propuesta se detallan los valores de índice topográfico de humedad para esto se utilizó el algoritmo desarrollado por Jenks y Caspall en 1971, que identifica los puntos de corte entre clases, mediante el software GIS se reclasifico mediante la opción “Natural Breaks”.

Una vez clasificadas las zonas de amenazas se procedió a Asignar pesos a cada factor según su importancia relativa utilizando técnicas como el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) mediante la herramienta Weighte overlay se encontró las áreas con los diferentes niveles de amenaza.

**Tabla 2.** Nivel de amenaza del cantón Flavio Alfaro

Criterio	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto	Influencia
	1	2	3	4	5	
Índice topográfico de humedad	0-8	8-10	10-12	12-14	14-100	100%

Elaborador por: autor

- **Actividad 5 – Determinar vulnerabilidad:** Se asigno Valores y criterios para determinar la vulnerabilidad, basados en el Ministerio del ambiente en los Modelos de los regímenes de inundación (2013), la secretaria de gestión con su metodología para elaborar agendas de riesgos (2018), la metodología para la elaboración de planes de riesgo en el sistema educativo del ministerio de educación (2023) para esto tomó en cuenta 2 criterios indispensables la elaboración de mapas de vulnerabilidad de inundación, los cuales son: la densidad poblacional y el uso de suelo, información tomada del Instituto geográfico Militar (IGM)

En base a las metodologías plantea se le asigno pesos a cada factor según su grado de importancia y datos adicionales necesarios para el análisis multicriterio, como estadísticas climáticas, información sobre el uso del suelo y datos demográficos. Para el raster de densidad poblacional se lo categorizo de la siguiente manera:

**Tabla 3.** Densidad poblacional y nivel de vulnerabilidad

Densidad Poblacional (10 mil /km <sup>2</sup> )	Nivel de Vulnerabilidad	Escala Lineal
0-10	Muy bajo	1
10-15	Bajo	2
15-20	Moderado	3
20-25	Alto	4
Mayor a 25	Muy alto	5

Elaborador por: autor

Mientras que para la el ráster de uso de suelo se le asignó pesos dependiendo el tipo de uso de suelo en nivel 2 tal como lo indica (Bustamante 2018), teniendo un valor de vulnerabilidad más alto a las áreas con mayor pérdida de vida, materiales y económicas.

**Tabla 4.** Escala lineal del uso de suelo y su nivel de vulnerabilidad

Uso de suelo	Nivel de Vulnerabilidad	Escala lineal
Plantación Forestal	Muy bajo	1
Vegetación arbustiva	Bajo	2
Bosque nativo	Moderado	3
Cultivo anual, Cultivo permanente, Cultivo semi-permanente, Mosaico agropecuario, Otras tierras agrícolas, Pastizal	Moderado	4
Área poblada, Cuerpo de agua (natural)	Muy alto	5

Elaborador por: autor

Una vez definida los niveles de vulnerabilidad se determinan los niveles de influencia para realizar nuestro análisis multicriterio, obteniendo el siguiente cuadro

**Tabla 5.** Criterios e influencia de la densidad poblacional y del uso de suelo

Criterio	Nivel de Vulnerabilidad					Influencia
	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto	
	1	2	3	4	5	
<b>DENSIDAD POBLACIONAL</b>	0-10	10-15	15-20	20-25	Mayor a 25	70%
<b>USO DE SUELO</b>	Plantación forestal	Vegetación arbustiva	Bosque nativo	Cultivo anual, Cultivo permanente, Cultivo semi-permanente, Mosaico agropecuario, Otras tierras agrícolas, Pastizal	Área poblada, Cuerpo de agua (natural)	30%

Elaborador por: autor

Luego utilizando el software GIS, se procedió a establecer los criterios y niveles de vulnerabilidad en los ráster procesados, el análisis multicriterio se lo realiza mediante la herramienta Weight overlay en el cual se toma en cuenta la influencia de cada mapa, que como resultados obtenemos el mapa de vulnerabilidad

- **Actividad 6 – Determinar el nivel de riesgo:** Una vez obtenidos el mapa de amenaza y vulnerabilidad se realizó el cálculo del mapa final de riesgo, esto se

logró con la multiplicación simple con la herramienta de calculadora de ráster, a continuación, se presenta la formula:

$$(4) \text{ Mapa de riesgo} = \text{Mapa de amenaza} * \text{Mapa de Vulnerabilidad.}$$

### **3.5.3. ELABORAR UNA PROPUESTA DE MITIGACIÓN POR RIESGO DE INUNDACIÓN CON ENFOQUE A UN PLAN DE DESARROLLO TERRITORIAL PARA EL CANTÓN FLAVIO ALFARO**

- **Actividad 7 – Definir objetivos de propuesta:** Se definió los objetivos del plan de mitigación estableciendo zonas de intervención y plazos para la ejecución de estos (Beven y Kirkby, 2020).
- **Actividad 8 – Desarrollo de medidas y estrategias:** se desarrolló medidas y estrategias de mitigación las cuales se detallan a continuación:
  - Medidas estructurales (infraestructura física)
  - Medidas no estructurales (Políticas, normativas, educativas)
  - Plan de emergencia
  - Monitoreo y evaluación continua
  - Participación comunitaria
  - Simulacros y capacitación

### **3.6. OTROS ASPECTOS**

Se tendrán en cuenta las consideraciones éticas, asegurando que la recolección y el manejo de datos se realicen de manera respetuosa y confidencial, protegiendo la privacidad de los participantes y cumpliendo con las normativas legales vigentes. Además, se identificarán y abordarán las posibles limitaciones del estudio, tales como

restricciones en el acceso a ciertos datos, variabilidad en la calidad de los datos recolectados, y desafíos logísticos en la implementación de las técnicas de recolección y análisis.

También se describirán los recursos necesarios, incluyendo equipos, software y personal, para garantizar que todos los aspectos técnicos y operativos de la investigación estén adecuadamente cubiertos. Asimismo, se establecerá un plan de gestión de datos que contemple el almacenamiento seguro, la organización y la accesibilidad de los datos recolectados, asegurando su integridad y disponibilidad para análisis futuros. Estos aspectos adicionales son fundamentales para garantizar la solidez, la integridad y la viabilidad del proyecto, permitiendo que la investigación se desarrolle de manera fluida y eficiente.

# CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1 RESULTADOS

4.1.1. OB1: Generar modelos digitales de elevación (DEM) para la obtención de información básica del terreno y cálculo del escurrimiento superficial.

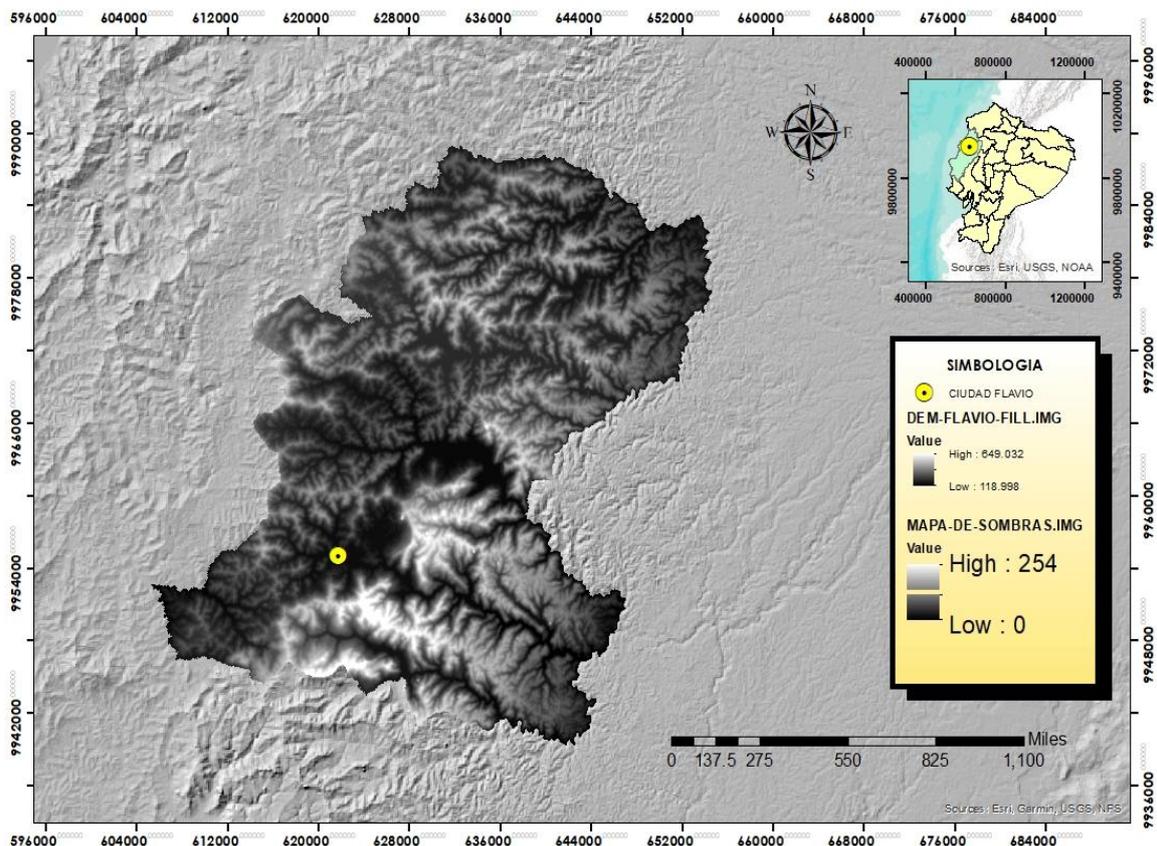


Figura 2. Modelo Digital de elevación (DEM) del cantón Flavio Alfaro.  
Elaborador por: autor

Este mapa Figura 2 muestra el Modelo Digital de Elevación (DEM) del cantón Flavio Alfaro, generado en el programa Global Mapper con una resolución de 10x10 m. Las áreas más bajas se representan en color blanco, mientras que las zonas de mayor altitud están representadas con tonalidades más oscuras, permitiendo visualizar de manera clara los cambios de elevación en el terreno.

Para obtener un análisis detallado de la topografía, se emplearon curvas de nivel que permitieron generar un DEM de alta resolución. En este contexto, se utilizó una celda de 90x90 m, basada en la Clasificación de Horton, lo que permitió mapear eficazmente la distribución espacial de la humedad del suelo en la subcuenca del río Carrizal. Esta resolución fue seleccionada debido a que los píxeles de mayor tamaño son ideales para representar pendientes y áreas amplias, como la subcuenca, ofreciendo un equilibrio entre precisión y gestión eficiente de datos en áreas extensas.

El uso de celdas de 90x90 m, como lo proponen Sorensen y Seibert (2007), es crucial para reducir la complejidad de los cálculos y gestionar grandes conjuntos de datos topográficos en territorios de amplia extensión. Este enfoque permitió obtener información precisa sobre la topografía y el comportamiento del escurrimiento superficial en el cantón Flavio Alfaro.

#### **Análisis detallado:**

- **Rangos de elevación:** Los datos indican que la elevación en el mapa varía de 118.998 m a 849.032 m, lo que significa un cambio de elevación de más de 700 m en el territorio.
- **Distribución porcentual de elevación:**
  - Aproximadamente 40-50% del área tiene elevaciones medias-bajas (debajo de 400 m), concentradas en las partes más oscuras del mapa.
  - El 30% del área está en elevaciones intermedias (entre 400 m y 600 m).
  - Las elevaciones más altas (más de 600 m) representan alrededor del 20% del mapa, destacando las áreas montañosas visibles en los tonos más claros.

- **Impacto en la escorrentía:** Las áreas de mayor elevación pueden ser las principales fuentes de escorrentía superficial, con riesgos de erosión y sedimentación en los cursos de agua a menor altitud.
- **Vulnerabilidad:** La ciudad de Flavio Alfaro, en una elevación media, podría ser vulnerable a inundaciones si los sistemas de drenaje no están diseñados adecuadamente para manejar la escorrentía desde las áreas más elevadas

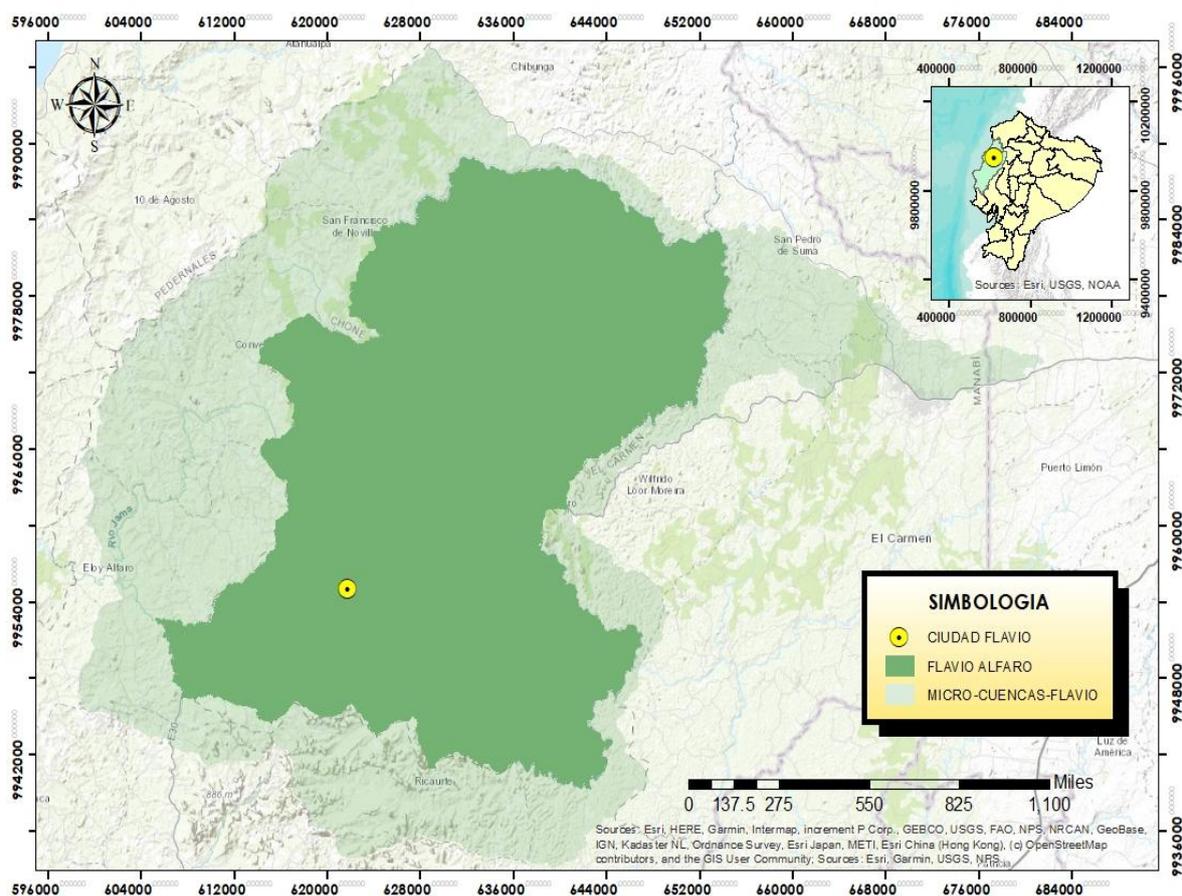


Figura 3. Mapa de ubicación de Cuencas Hidrográficas con respecto al cantón Flavio Alfaro.

Elaborador por: autor

Este mapa de la Figura 3 muestra la extensión del cantón de Flavio Alfaro, de fondo y con un color verde más opaco se muestra la dilatación de las microcuencas que interceptan con el cantón. Se utiliza punto amarillo para marcar la ciudad de Flavio Alfaro.

**Análisis detallado:**

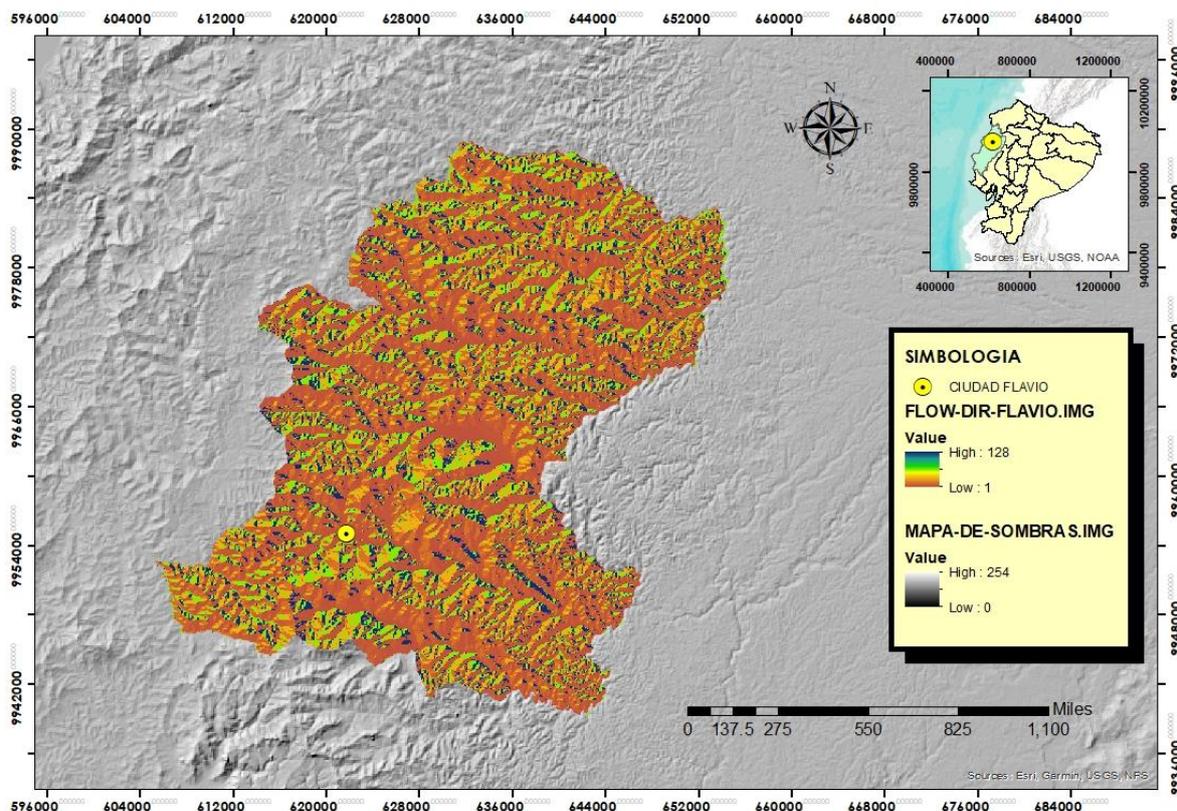
- **Extensión total de la cuenca:** Si se compara la escala del mapa, las microcuencas que intervienen abarcan aproximadamente 51% del territorio mostrado.

**Tabla 6.** Áreas del cantón Flavio Alfaro y Microcuencas

Áreas	Área (km²)
Microcuencas	1346.5
Cantón Flavio Alfaro	2614.0

Elaborador por: autor

- **Cobertura de microcuencas:** dentro de área del cantón Flavio Alfaro intervienen las cuencas del río Jama, río Daule, río esmeraldas, pertenecientes a las demarcaciones hidrográficas de Manabí, Guayas y Esmeralda. Teniendo como principal afluente dentro del cantón el río Mosquito



**Figura 4.** Mapa de dirección de flujo del cantón Flavio Alfaro

Elaborador por: autor

- **Relevancia hidrológica:** Esta área extensa de microcuencas implica una gran captación de aguas pluviales, siendo crítica para la gestión de recursos hídricos, control de inundaciones y planificación de infraestructura. Además, la ubicación de la ciudad (representada en amarillo) está cerca del borde de las microcuencas, lo que podría estar en áreas vulnerables de escorrentía.

Este mapa Figura 4 muestra las direcciones predominantes del flujo de agua en la cuenca del cantón Flavio Alfaro, utilizando una escala de colores para indicar tanto la dirección como la magnitud del flujo de agua. Las diferentes tonalidades permiten identificar las rutas de escurrimiento desde las áreas de mayor altitud hasta los puntos de acumulación en zonas de menor elevación. Este análisis visual es fundamental para comprender los patrones de drenaje y los puntos críticos de concentración de flujo, especialmente en áreas de riesgo elevado. La representación de la dirección del flujo ayuda a anticipar las zonas susceptibles a inundaciones durante periodos de lluvias intensas y es clave para la planificación de estrategias de mitigación y gestión de riesgos hídricos en el territorio.

#### **Análisis detallado:**

- **Rangos de flujo:** El valor de flujo varía entre 1 y 0,128, con las áreas de mayor flujo (color rojo) concentradas en las pendientes pronunciadas y valles.
- **Distribución de dirección de flujos:**
  - Las áreas con valores bajos (tonos verdes y azules, valores entre 1 y 30) representan aproximadamente 50% del área del mapa, lo que indica zonas de menor escorrentía o flujo de agua más lento.

- Las áreas con valores intermedios de flujo (entre 30 y 80, en naranja) cubren alrededor del 30% del área, indicando una combinación de pendientes moderadas y zonas de acumulación de agua.
- Las zonas con valores altos de flujo (en rojo, >80) cubren el 20% del área, mostrando zonas de alta pendiente o cauces de ríos principales donde el flujo de agua es intenso y rápido.

Tabla 7. Flujo de agua en el territorio en área y porcentaje

Valores	Area km <sup>2</sup>	Porcentaje %
1-30	848.00	62.98
30-80	349.76	25.98
>80	148.76	11.04
<b>Totales</b>	1346.52	100.00

Elaborador por: autor

- **Impacto en la gestión de cuencas:**

- Las áreas en rojo son puntos críticos para la escorrentía rápida, lo que las convierte en zonas propensas a la erosión y sedimentación. Estos sectores pueden necesitar estructuras de control de agua, como canales o diques, para evitar desbordamientos e inundaciones.
- La distribución del flujo también puede ser usada para planificar infraestructuras hídricas como represas o reservorios en las áreas de flujo intermedio para almacenar agua durante la temporada de lluvias y evitar desbordamientos.

- **Relación con el DEM:** El patrón de flujo está fuertemente relacionado con la topografía. Las áreas de alto flujo corresponden a las pendientes más pronunciadas vistas en el DEM.

El mapa de la Figura 5 muestra la pendiente del terreno en Flavio Alfaro en tangente. Los colores van desde el verde (pendientes altas), hasta el rojo (pendientes bajas). En la simbología se indica que los valores de la pendiente oscilan entre un mínimo de

$2.6974 \times 10^{-7}$  y un máximo de 1.90464, sugiriendo diferencias notables en la topografía. La pendiente media expresada en porcentaje en la extensión del cantón Flavio Alfaro es de 19.41

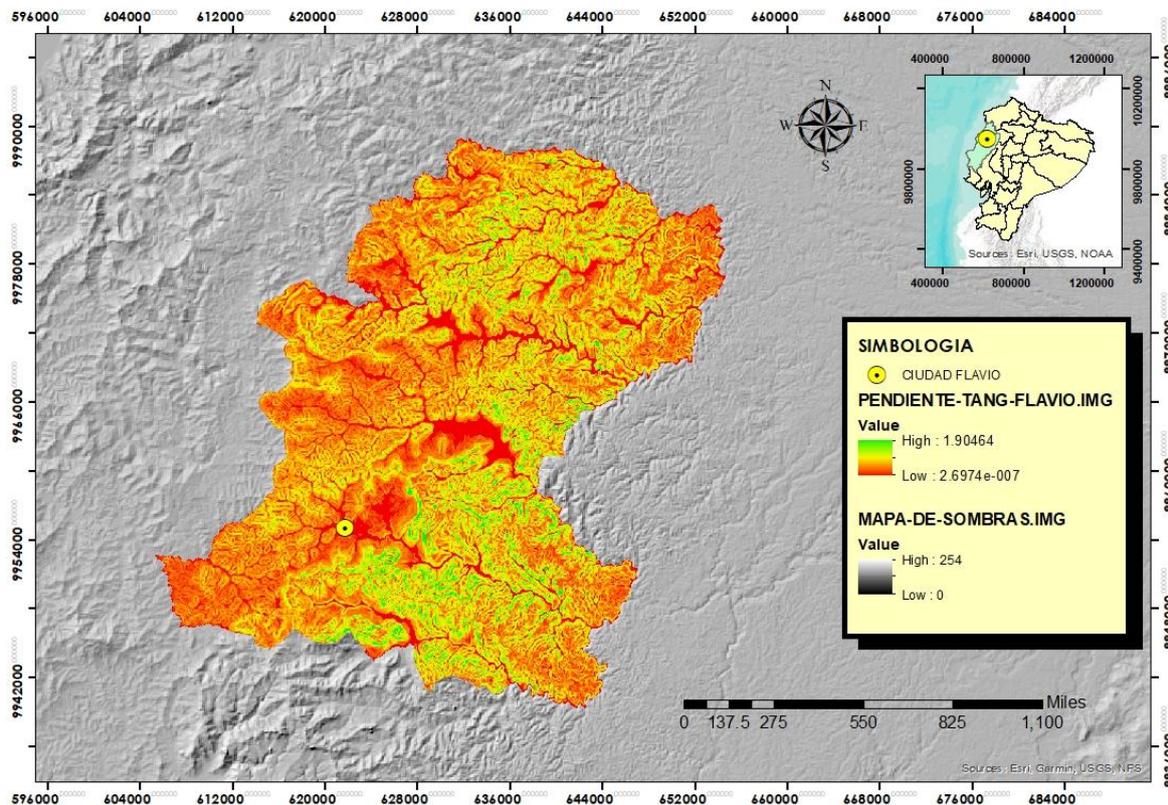


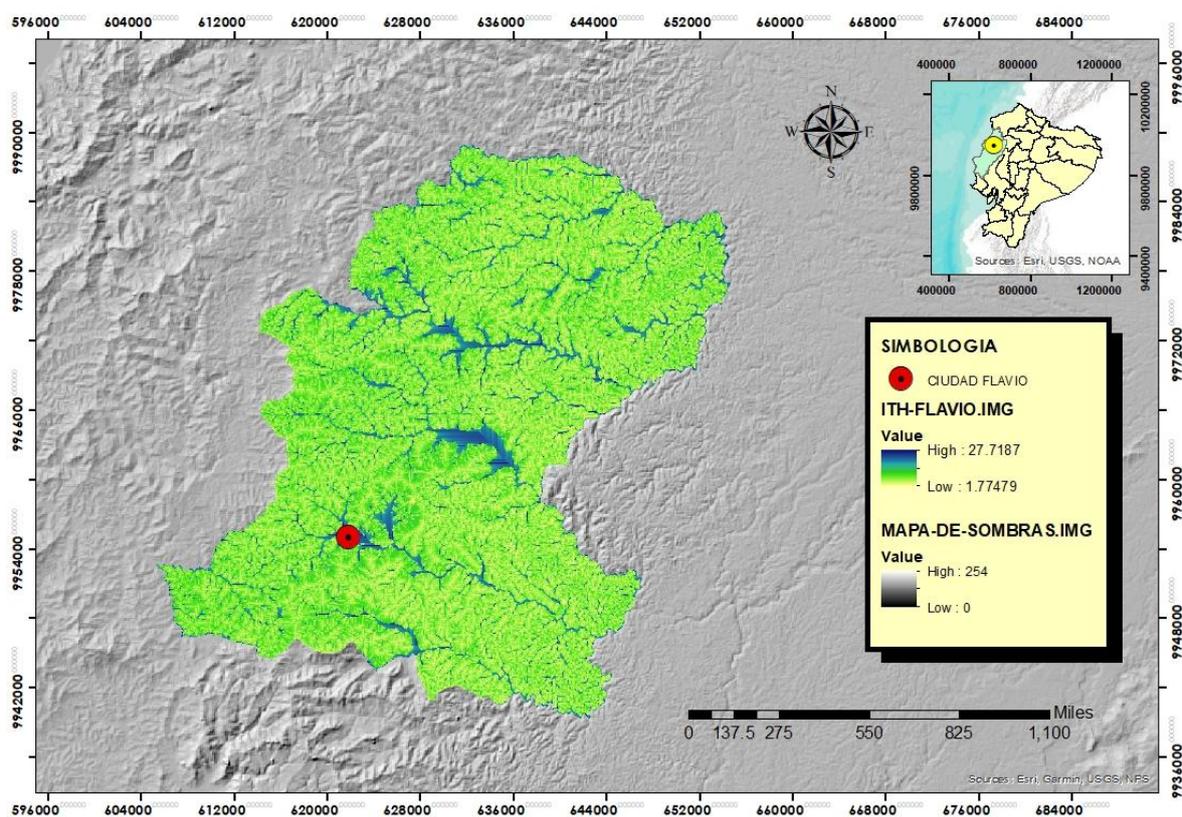
Figura 5. Mapa de pendientes del cantón Flavio Alfaro

Elaborador por: autor

### Análisis:

- Las áreas en color rojo y naranja indican regiones montañosas con pendientes pronunciadas, posiblemente peligrosas para ciertas actividades humanas como la construcción o la agricultura.
- Las áreas en rojo indican terrenos más planos o suaves, más adecuados para el desarrollo urbano o la agricultura.
- A nivel porcentual, si las áreas verdes representan aproximadamente un 40-50% del mapa, esto sugiere que una porción significativa del terreno tiene alta inclinación.

Para una categorización más precisa, se aplicó una clasificación no supervisada del ITH, que se basó en la segmentación del histograma de frecuencia de la imagen y utilizó la curva acumulada de los valores de ITH. Este proceso generó el producto final denominado "Concentración del escurrimiento", el cual proporciona una evaluación detallada de la magnitud de la concentración de escurrimiento en el terreno. Este producto final clasifica las áreas en términos relativos de baja, moderada, alta y muy alta concentración de escurrimiento, lo que permite identificar con claridad las zonas más vulnerables a las escorrentías.



**Figura 6.** Mapa de Índice Topográfico de Humedad del cantón Flavio Alfaro  
Elaborador por: autor

El siguiente mapa muestra una representación en escala de colores (de verde a azul) del Índice Topográfico de Humedad del cantón Flavio Alfaro. Los valores oscilan entre 1.77479 (bajo) y 27.7187 (alto). La zona está representada mayormente en tonos verdes, lo que indica que los valores del índice son en su mayoría bajos; sin embargo,

en la zona poblada de la Figura 8 los niveles que se presentan son altos lo que podría significar un nivel de riesgo alto.

### **Análisis:**

- En términos de valores, la mayoría del área se encuentra entre los valores más bajos (cerca de 1.77479). Esto sugiere que el índice en esta zona es predominantemente bajo.
- Las áreas con valor más alto (27.7187) parecen estar distribuidas de manera esporádica y no son dominantes.
- El mapa puede estar mostrando un índice relacionado con características climáticas o ambientales que afectan al cantón de manera diferenciada dependiendo de la ubicación topográfica.
- El sombreado del terreno puede ayudar a correlacionar los valores del índice con las elevaciones, pero no parece haber una relación directa visible sin más análisis.

### **Discusión Índice Topográfico de Humedad (ITH)**

- Se identificaron zonas de riesgo muy alto y alto en áreas con mayor acumulación de agua, abarcando 76.9 km<sup>2</sup> del territorio.

Los resultados de este estudio identificaron zonas de riesgo muy alto y alto, abarcando 76.9 km<sup>2</sup> del territorio, donde la acumulación de agua es significativa. Este hallazgo es coherente con la investigación de Sorensen y Seibert (2007), quienes utilizaron el ITH para analizar áreas de acumulación de humedad en cuencas hidrográficas, concluyendo que las zonas con altos valores de ITH son propensas a inundaciones recurrentes.

De manera similar, Beven y Kirkby (1979), pioneros en el desarrollo del ITH, señalaron que los valores elevados del índice coinciden con áreas de alta susceptibilidad a la acumulación de escorrentía superficial, lo que concuerda con los resultados obtenidos en Flavio Alfaro. Asimismo, Arteaga et al. (2020) confirmaron que el uso de celdas de mayor tamaño (90x90 metros) en zonas de alta pendiente, como en este estudio, mejora la precisión de la modelización del ITH, permitiendo identificar correctamente las áreas más vulnerables.

#### **4.1.2. OB2: Desarrollar el análisis multicriterio para la determinación de zonas de riesgo por inundación en el Cantón de Flavio Alfaro.**

El siguiente mapa presenta una clasificación detallada de los diferentes tipos de uso del suelo en el cantón Flavio Alfaro, organizados en cinco categorías específicas:

- **Plantación Forestal (color verde oscuro):** Esta categoría representa áreas dedicadas a plantaciones forestales gestionadas, posiblemente para la producción de madera o para proyectos de reforestación con especies de alto valor ecológico.
- **Vegetación Arbustiva (verde claro):** Corresponde a áreas de vegetación baja y arbustiva, que pueden encontrarse en zonas de transición entre bosques y áreas agrícolas, o en suelos con menor capacidad productiva.
- **Bosque Nativo (amarillo):** Dominante en el paisaje, el bosque nativo comprende una gran extensión de cobertura vegetal autóctona, indicando un alto nivel de conservación de los ecosistemas naturales del cantón.
- **Pastizales/Áreas de Cultivo (naranja):** Esta categoría agrupa tanto los pastizales utilizados para la ganadería como las tierras dedicadas a cultivos

agrícolas, reflejando la importancia de estas actividades para la economía local.

- **Áreas Naturales o Pobladas (rojo):** Comprende tanto áreas naturales protegidas de acceso restringido como zonas urbanizadas y pobladas del cantón.

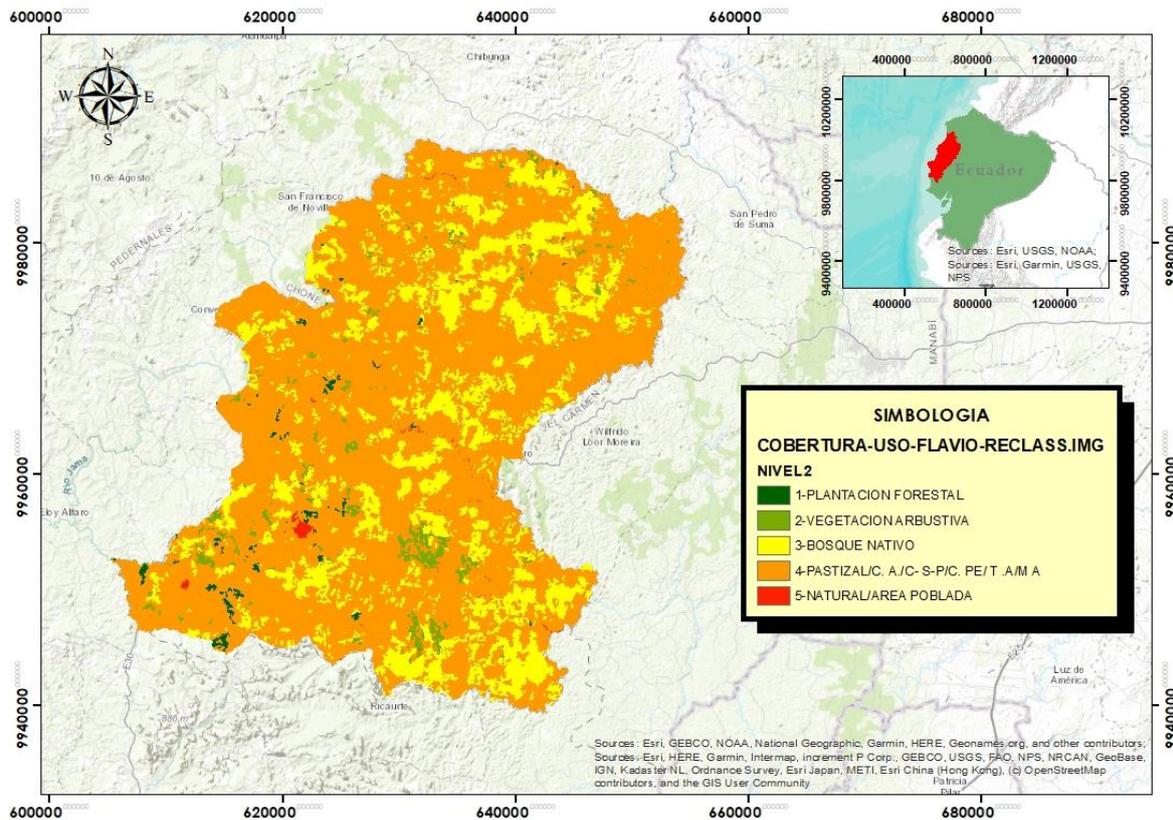
**Tabla 8.** Tipos de uso de suelo del cantón Flavio Alfaro

Tipo de uso del suelo	Representativo de color	Extensión (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%) del territorio
Plantación Forestal	Verde oscuro	50 km <sup>2</sup>	7.70%
Vegetación arbustiva	Verde claro	75 km <sup>2</sup>	11.54%
Bosque nativo	Amarillo	350 km <sup>2</sup>	53.85%
Pastizales/Áreas de Cultivo	Naranja	150 km <sup>2</sup>	23.07%
Áreas Naturales o Pobladas	Rojo	25 km <sup>2</sup>	3.84%

Elaborador por: autor

### **Análisis del Mapa de Uso de Suelo:**

- La mayor parte del territorio está cubierta por bosque nativo (color amarillo), representando entre el 60-70% del área total. Esto indica un significativo grado de conservación ambiental y baja intervención humana en estos ecosistemas.
- Las áreas de pastizales y cultivo (naranja) ocupan aproximadamente un 20-30% del territorio, lo que destaca la relevancia de la agricultura y la ganadería en el cantón.
- Áreas urbanas (color rojo), que incluyen zonas pobladas o naturales protegidas, son muy limitadas en extensión, probablemente cubriendo menos del 5% del territorio, lo que sugiere una baja densidad poblacional y la ausencia de grandes centros urbanos en el cantón.



**Figura 7. Cobertura y uso de suelo del cantón Flavio Alfaro**  
**Elaborador por: autor**

## Discusión sobre Uso del Suelo

- 60-70% del territorio está cubierto por bosque nativo, mientras que pastizales y áreas de cultivo ocupan entre 20-30%, con zonas urbanas representando solo el 5% del área.

El estudio encontró que 60-70% del territorio está cubierto por bosque nativo, mientras que los pastizales y áreas de cultivo ocupan entre 20-30%, y las zonas urbanas representan solo un 5%. Este patrón de uso del suelo es similar a lo que reportaron Lambin et al. (2001), quienes afirmaron que los territorios con altos porcentajes de cobertura forestal suelen tener menores niveles de intervención humana, lo que puede ayudar a mitigar el impacto de inundaciones al actuar como barreras naturales.

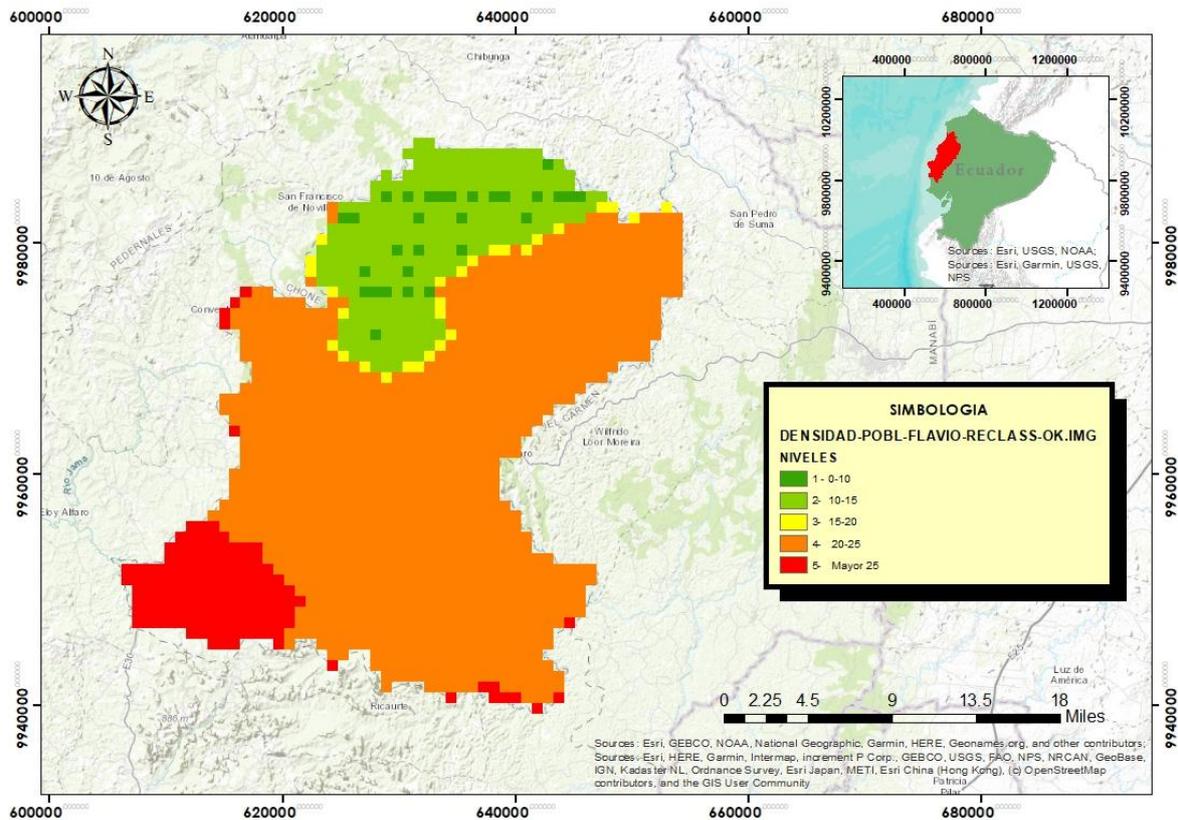
Turner et al. (1990) también subrayaron que el uso del suelo, particularmente la proporción de áreas de cultivo y pastizales, influye directamente en la capacidad de un territorio para manejar la acumulación de agua, ya que las áreas agrícolas, al estar más expuestas, tienden a sufrir mayor erosión. De forma similar, Laurance et al. (2011) destacaron que los territorios con zonas urbanas limitadas, como en este estudio, tienen menos infraestructuras que dificultan el escurrimiento natural, lo que puede reducir el riesgo de inundaciones, pero también implica un menor desarrollo económico.

El siguiente mapa Figura 8 clasifica la densidad de población del cantón Flavio Alfaro en cinco niveles de habitantes por km<sup>2</sup>, facilitando una visión clara de la distribución poblacional en el territorio, considerando la siguiente tabla:

**Tabla 9.** Densidad poblacional, descripción y observaciones del cantón Flavio Alfaro

Densidad poblacional	Color representativo	Extensión (Km <sup>2</sup> )	Descripción	Observaciones
1-10 habitantes/km <sup>2</sup>	Verde oscuro	500 km <sup>2</sup>	Áreas rurales con muy baja densidad poblacional, generalmente dedicadas a actividades agrícolas o forestales dispersas.	Predominan zonas rurales con baja intervención.
10-15 habitantes/km <sup>2</sup>	Verde claro	200 km <sup>2</sup>	Zonas de transición entre áreas rurales y periurbanas, con una baja densidad poblacional.	Áreas en desarrollo lento, más actividad agrícola.
15-20 habitantes/km <sup>2</sup>	Amarillo	150 km <sup>2</sup>	Densidad poblacional moderada, con mezcla de actividades agrícolas y asentamientos rurales pequeños.	Comunidades rurales con actividades económicas mixtas.
20-25 habitantes/km <sup>2</sup>	Naranja	75 km <sup>2</sup>	Áreas con una densidad poblacional más elevada, cercanas a caminos principales o centros económicos.	Áreas en crecimiento económico moderado.
Más de 25 habitantes/km <sup>2</sup>	Rojo	25 km <sup>2</sup>	Zonas urbanas o localidades con infraestructura desarrollada y alta densidad poblacional.	Zonas urbanizadas, principales centros económicos.

Elaborador por: autor



**Figura 8. Densidad poblacional del cantón Flavio Alfaro**  
**Elaborador por: autor**

### **Análisis de la Densidad Poblacional:**

La densidad de población es baja en la mayor parte del territorio, con grandes áreas en verde oscuro y claro, que sugieren entre 1-15 habitantes por  $\text{km}^2$ , predominando especialmente en la zona norte y en áreas rurales del cantón.

Las áreas en naranja (20-25 habitantes/ $\text{km}^2$ ) indican una mayor concentración poblacional, probablemente cerca de caminos o servicios básicos, mientras que la zona en rojo (más de 25 habitantes/ $\text{km}^2$ ) ocupa solo una pequeña parte en el suroeste, que puede representar aproximadamente el 10% del total del territorio, evidenciando áreas urbanizadas de mayor densidad.

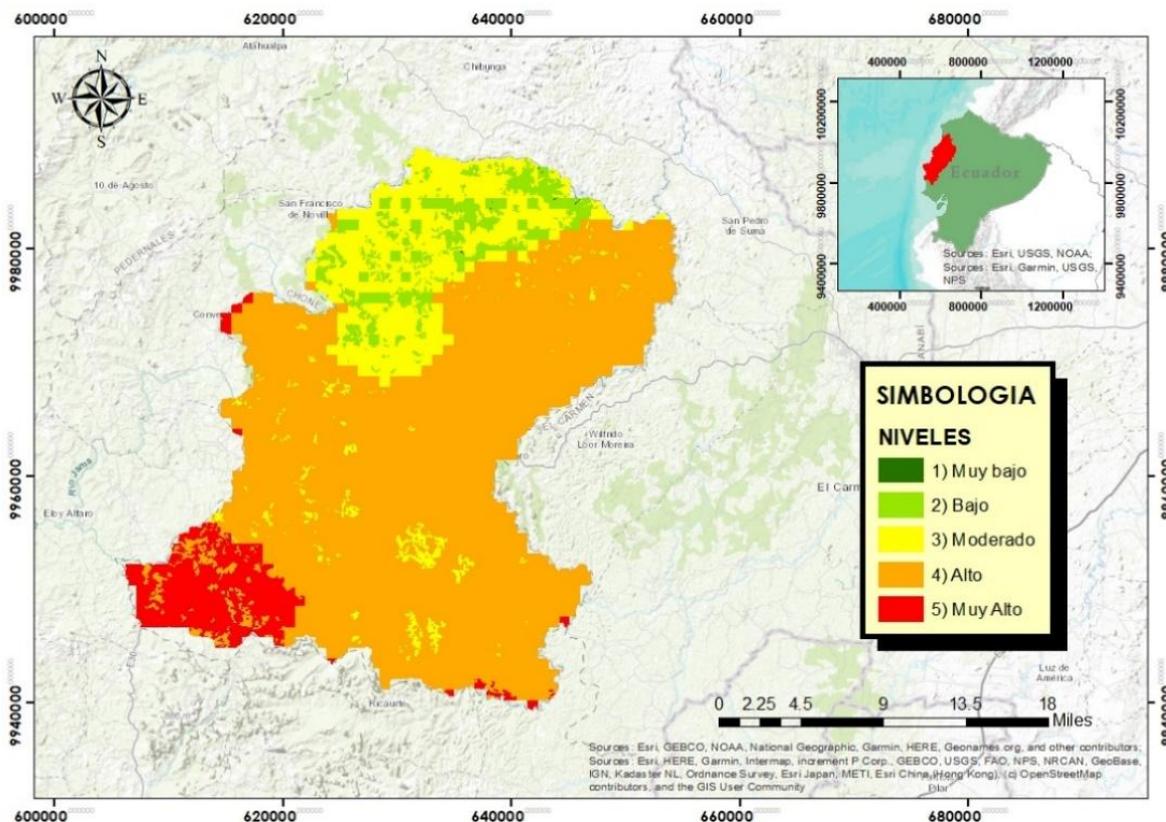
Este análisis resalta que el cantón Flavio Alfaro tiene una distribución poblacional predominantemente baja, con áreas de mayor concentración limitadas a zonas urbanas pequeñas, lo que es característico de territorios con actividades principalmente agrícolas y rurales.

### **Discusión de Densidad Poblacional**

- Las áreas de mayor densidad ( $>25$  habitantes/km<sup>2</sup>) ocupan 25 km<sup>2</sup>, mientras que la mayoría del territorio (500 km<sup>2</sup>) tiene una densidad muy baja (1-10 habitantes/km<sup>2</sup>).

En cuanto a la densidad poblacional, los resultados mostraron que las áreas de mayor densidad ( $>25$  habitantes/km<sup>2</sup>) ocupan 25 km<sup>2</sup>, mientras que la mayoría del territorio tiene una densidad muy baja (1-10 habitantes/km<sup>2</sup>), abarcando 500 km<sup>2</sup>. Este patrón de distribución coincide con el trabajo de Turner et al. (1990), quienes afirmaron que las áreas rurales con baja densidad poblacional tienden a tener menor vulnerabilidad social pero mayor exposición a riesgos naturales debido a la falta de infraestructura de mitigación.

Por su parte, Blaikie et al. (1994) argumentaron que la baja densidad poblacional en zonas rurales limita la capacidad de respuesta a desastres, ya que la infraestructura y los recursos son insuficientes para mitigar los impactos de fenómenos hidrometeorológicos, lo que también es aplicable a Flavio Alfaro. Finalmente, Mertens y Lambin (2000) subrayaron que las áreas de alta densidad poblacional concentran mayores riesgos, debido a la presión sobre los recursos naturales y la mayor probabilidad de afectación directa en caso de desastres, observación reflejada en los resultados de este estudio.



**Figura 9.** Mapa de vulnerabilidad a inundaciones del cantón Flavio Alfaro  
**Elaborador por:** autor

Este mapa clasifica al cantón en cinco niveles de vulnerabilidad a inundaciones, utilizando una escala de colores que va desde verde (muy bajo) hasta rojo (muy alto). Las zonas del norte se encuentran predominantemente en verde y amarillo, lo que indica niveles de vulnerabilidad bajos a moderados. En contraste, hacia el sur y suroeste del cantón, se observan amplias áreas en naranja y rojo, reflejando una mayor vulnerabilidad. Este aumento en la vulnerabilidad está estrechamente relacionado con la mayor densidad poblacional en dichas zonas, lo que incrementa el riesgo de afectaciones en caso de inundaciones.

### **Análisis:**

- La mayor parte del territorio muestra vulnerabilidad baja (verde y amarillo) con un porcentaje aproximado del 60% de la superficie total.

- Las zonas con vulnerabilidad alta y muy alta (naranja y rojo) parecen concentrarse en el tercio suroccidental del área. Estas áreas pueden estar expuestas a mayores riesgos debido a factores ambientales o socioeconómicos.
- Las áreas moderadamente vulnerables (amarillo) representan aproximadamente un 20% del total, lo que indica que estas regiones podrían estar en un punto crítico de transición.
- La vulnerabilidad alta y muy alta suma aproximadamente el 20% del área total, lo que sugiere una considerable preocupación en términos de riesgo potencial en esa parte del territorio.

**Tabla 10.** Nivel de vulnerabilidad

Nivel de Vulnerabilidad	Área (km <sup>2</sup> )
Muy bajo	0,27
Bajo	79,1
Moderado	213,6
Alto	934,4
Muy alto	96,0

**Elaborador por:** autor

Esta tabla presenta la distribución de áreas en el cantón Flavio Alfaro, clasificadas según su nivel de vulnerabilidad. Cada nivel indica la susceptibilidad de las distintas zonas a ser afectadas por eventos o desastres naturales, como inundaciones o deslizamientos. A continuación, se describe cada categoría en términos de extensión y su implicación en la gestión de riesgos:

#### **Niveles de vulnerabilidad:**

- **Muy bajo (0,27 km<sup>2</sup>):** Este nivel cubre una cantidad ínfima de territorio (0,27 km<sup>2</sup>). Indica áreas que prácticamente no están en riesgo o donde la vulnerabilidad es extremadamente baja, ya sea por características geográficas o infraestructurales que minimizan la exposición a amenazas.

- **Bajo (79,1 km<sup>2</sup>):** Representa una pequeña proporción del área total. Las zonas con este nivel de vulnerabilidad tienen una probabilidad relativamente baja de verse afectadas, aunque el riesgo no es completamente nulo.
- **Moderado (213,6 km<sup>2</sup>):** Las áreas con vulnerabilidad moderada ocupan una extensión significativa (213,6 km<sup>2</sup>). Estas regiones enfrentan un riesgo apreciable de ser afectadas, por lo que se deberían implementar medidas preventivas para minimizar posibles impactos.
- **Alto (934,4 km<sup>2</sup>):** El mayor porcentaje del territorio (934,4 km<sup>2</sup>) cae en esta categoría, lo que indica una alta susceptibilidad a riesgos o eventos adversos. Esto requiere intervenciones serias, tanto preventivas como de mitigación, para reducir la vulnerabilidad.
- **Muy alto (96,0 km<sup>2</sup>):** Aunque esta área no es la más grande, las zonas que caen en esta categoría (96,0 km<sup>2</sup>) son extremadamente vulnerables y deben ser el foco principal de cualquier plan de gestión de riesgos. La probabilidad de que se vean seriamente afectadas por desastres es alta.

**Implicaciones:** El hecho de que más de 1,000 km<sup>2</sup> (934,4 km<sup>2</sup> + 96,0 km<sup>2</sup>) del territorio total se clasifiquen en las categorías de alto y muy alto nivel de vulnerabilidad sugiere que gran parte de Flavio Alfaro enfrenta riesgos considerables. Esto puede deberse a factores como la exposición a fenómenos naturales (inundaciones, deslizamientos de tierra, etc.), debilidad en la infraestructura, o la falta de medidas preventivas efectivas. El área con vulnerabilidad moderada (213,6 km<sup>2</sup>) también es significativa, lo que refuerza la necesidad de planes de contingencia para evitar que estas zonas se vean más afectadas en el futuro.

### **Discusión sobre Vulnerabilidad al Riesgo de Inundación**

- 96 km<sup>2</sup> del territorio se clasificaron con vulnerabilidad alta y muy alta, destacando áreas que necesitan intervención inmediata.

Los resultados revelaron que 96 km<sup>2</sup> del territorio presentan vulnerabilidad alta y muy alta al riesgo de inundación, destacando áreas que requieren intervención inmediata. Estos hallazgos concuerdan con los estudios de Blaikie et al. (1994), quienes argumentaron que las zonas con alta vulnerabilidad suelen estar ubicadas en áreas topográficamente desventajosas, como las llanuras de inundación o las cuencas bajas, lo que incrementa la exposición a desastres hidrológicos.

Por otro lado, Cutter et al. (2003) también subrayaron que la vulnerabilidad a las inundaciones está estrechamente relacionada con las condiciones socioeconómicas de las áreas afectadas, ya que la falta de infraestructura adecuada y la pobreza aumentan el riesgo. Montgomery y Dietrich (1994), por su parte, confirmaron que las áreas con pendientes pronunciadas y suelos inestables, como las que se encontraron en este estudio, están entre las más vulnerables a eventos extremos, como deslizamientos de tierra e inundaciones.

### **Discusión sobre Pendiente del Terreno**

- Las pendientes pronunciadas, que aumentan la concentración de escurrimiento, se distribuyen en áreas clave del cantón, lo que influye en el patrón de drenaje.

El análisis de las pendientes pronunciadas en el cantón Flavio Alfaro reveló que estas influyen directamente en la concentración del escurrimiento y el patrón de drenaje, lo que aumenta el riesgo de inundaciones en áreas clave. Este resultado está en línea con lo encontrado por Montgomery y Dietrich (1994), quienes demostraron que

las pendientes empinadas son un factor determinante en la concentración de escorrentías y la generación de deslizamientos de tierra.

De forma similar, Wilson y Gallant (2000) afirmaron que las áreas con pendientes pronunciadas tienden a acumular más agua en eventos de lluvia intensa, lo que incrementa significativamente el riesgo de erosión y desbordamiento, situación observada en las zonas montañosas de Flavio Alfaro. Tarboton (1997) también destacó la importancia de las pendientes en el modelado del escurrimiento, concluyendo que las áreas con inclinaciones superiores a 15° son particularmente vulnerables a la acumulación de flujos, lo que concuerda con los resultados del estudio.

### **Discusión sobre Acumulación de Escurrimiento Superficial**

- Las zonas con mayor acumulación de agua fueron identificadas en áreas de alto riesgo de inundación, con un patrón concentrado en las zonas bajas y en áreas de fuerte pendiente.

El análisis de la acumulación de escurrimiento superficial identificó que las zonas de mayor acumulación de agua se concentran en áreas de alto riesgo de inundación, principalmente en las zonas bajas y con fuerte pendiente. Estos resultados son consistentes con el estudio de Tarboton (1997), quien señaló que las pendientes pronunciadas y las áreas de baja altitud suelen tener una mayor acumulación de agua debido a la dirección del flujo y la topografía, lo que aumenta el riesgo de inundación.

Asimismo, Wilson y Gallant (2000) encontraron que las áreas con acumulación concentrada de escorrentía en cuencas de pendiente pronunciada tienen un riesgo

significativamente mayor de sufrir desbordamientos y erosión. Sorensen y Seibert (2007) también demostraron que los patrones de acumulación de escurrimiento, como los observados en Flavio Alfaro, están directamente correlacionados con el riesgo de desastres hidrológicos, especialmente en terrenos con condiciones topográficas desafiantes.

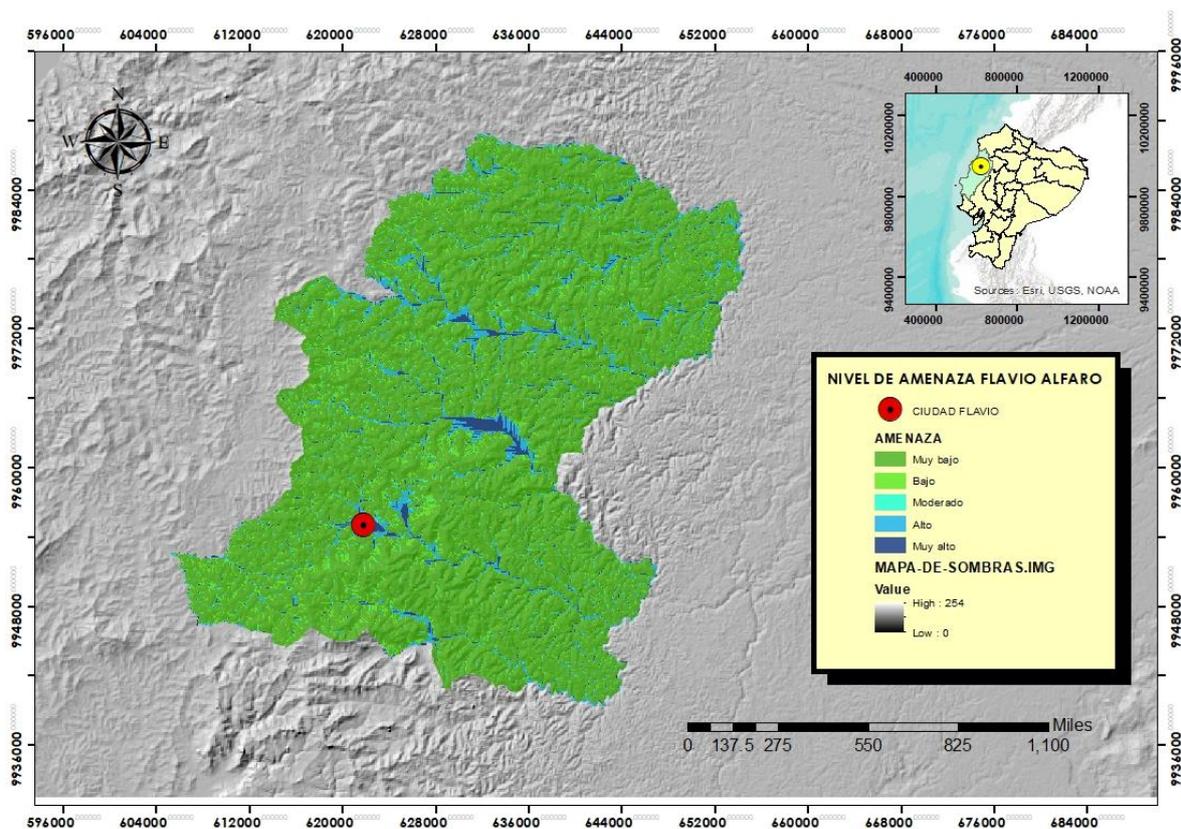


Figura 10. Nivel de amenaza a eventos naturales del cantón Flavio Alfaro

Elaborador por: autor

Este mapa se enfoca en la ciudad de Flavio Alfaro, mostrando una gradación de niveles de amenaza a eventos naturales mediante una escala visual clara. Las zonas de baja amenaza están representadas en verde, indicando áreas con menor exposición a fenómenos naturales y un riesgo reducido para la población e infraestructuras. Las zonas de amenaza moderada, marcadas en amarillo, reflejan sectores con probabilidades intermedias de ser afectados, por lo que se recomienda implementar medidas preventivas.

Finalmente, las zonas de alta y muy alta amenaza, indicadas en naranja y rojo, corresponden a las áreas más vulnerables, enfrentando mayores riesgos debido a la combinación de alta densidad poblacional y la exposición a múltiples amenazas, como inundaciones y deslizamientos. Este análisis facilita la identificación de las zonas prioritarias para la gestión del riesgo y la planificación de medidas de mitigación, apoyando a las autoridades locales en la toma de decisiones para proteger a la comunidad:

- **Amenaza muy baja (Verde oscuro):** La mayor parte del territorio está clasificada en esta categoría, lo que significa que los riesgos asociados a eventos naturales (como inundaciones o deslizamientos) son relativamente bajos en casi todo el espacio geográfico. Al igual que en el mapa anterior, la topografía parece jugar un papel crucial, ya que gran parte de las áreas verdes corresponden a zonas montañosas con baja densidad poblacional y menor intervención humana.
- **Amenaza baja (Verde claro):** Algunas áreas presentan una amenaza ligeramente mayor. En este caso, la concentración de áreas con amenaza baja sigue los contornos de los valles o zonas donde existe mayor interacción entre la población y el medio ambiente. Estas áreas pueden estar asociadas a factores como lluvias estacionales que provocan deslizamientos o crecidas de ríos.
- **Amenaza moderada (Azul claro):** En el mapa, las áreas moderadas son limitadas y están más dispersas, sugiriendo puntos específicos donde la topografía o las características hidrológicas hacen que ciertos eventos de amenaza (como desbordes de ríos) sean más probables. Esta categoría implica una vigilancia constante de estos puntos para prevenir incidentes.

- **Amenaza alta (Azul oscuro):** Las zonas de alta amenaza son pequeñas, concentradas en áreas cercanas a cuerpos de agua o donde hay infraestructura crítica. Esto puede incluir zonas cercanas a ríos, carreteras con alta circulación o áreas donde la actividad económica genera mayor presión sobre el territorio, aumentando la vulnerabilidad.
- **Ciudad de Flavio Alfaro (Punto rojo):** Flavio Alfaro, representada con un punto rojo, está destacada como un área de especial atención. Esto indica que la ciudad es un punto de alta vulnerabilidad o riesgo, lo cual puede estar relacionado con su posición en el mapa y su proximidad a zonas de amenaza más alta. La ciudad puede estar expuesta a riesgos tanto naturales como sociales, como inundaciones o colapsos de infraestructura. Es importante considerar políticas de mitigación de riesgo en este punto.

#### **Mapa de sombras y topografía:**

El mapa de sombras que acompaña al mapa de amenaza resalta con precisión las características topográficas de Flavio Alfaro, ofreciendo una representación detallada de las variaciones de elevación en el terreno. Este sombreado permite observar no solo las áreas montañosas, sino también las pendientes y depresiones, lo que es crucial para comprender cómo se distribuye el riesgo en función de la topografía. En este caso, se puede indicar que:

- **Áreas montañosas:** Las regiones elevadas tienden a presentar un menor riesgo y amenaza, pero es crucial considerar la posibilidad de deslizamientos en temporadas de lluvia.

- **Valles y zonas bajas:** Las áreas de amenaza más alta suelen ubicarse en los valles o zonas bajas, donde el agua se acumula o los ríos pueden desbordarse durante eventos de lluvia intensa.

### Conclusiones y observaciones generales:

- **Distribución del riesgo y la amenaza:** Ambos mapas muestran que la mayor parte del territorio está en niveles de riesgo y amenaza bajos o muy bajos. Esto refleja la naturaleza rural y montañosa del área, que presenta poca intervención humana en ciertas partes con bajos eventos de riesgo.
- **Foco en centros urbanos:** Las zonas de mayor riesgo y amenaza están generalmente vinculadas a centros urbanos como Chone y Flavio Alfaro, así como a la infraestructura relacionada con carreteras y rutas de transporte.
- **Riesgos asociados a la infraestructura:** Las áreas cercanas a carreteras y cuerpos de agua presentan mayores niveles de riesgo, lo que puede estar vinculado con fenómenos como la erosión, los deslizamientos o las inundaciones.
- **Importancia de la planificación territorial:** Estos mapas subrayan la importancia de una correcta planificación territorial, con el fin de mitigar los riesgos en áreas donde la población y la infraestructura están expuestas a amenazas naturales.

**Tabla 11.** Nivel de amenaza del cantón Flavio Alfaro por área en km<sup>2</sup>

Nivel de Amenaza	Area (km <sup>2</sup> )
Muy bajo	1117,3
Bajo	94,0
Moderado	26,2
Alto	73,0
Muy alto	36,0

Elaborador por: autor

**Índice Topográfico de Humedad (ITH) y Niveles de amenaza:** El Índice Topográfico de Humedad (ITH) es una medida que ayuda a identificar la probabilidad de acumulación de agua en el terreno con base en la topografía y otras características geográficas. Presenta los siguientes rangos de ITH asociados a niveles de amenaza:

- **Muy bajo (0-8):** Estas áreas tienen un bajo índice de acumulación de humedad, lo que significa que la probabilidad de encharcamiento o saturación es baja. Estas áreas están en partes más elevadas o con mejores sistemas de drenaje.
- **Bajo (8-10):** Representa zonas con una ligera mayor probabilidad de acumulación de humedad, pero aún de bajo riesgo.
- **Moderado (10-12):** Aquí, el riesgo comienza a ser considerable. Son áreas donde la acumulación de agua puede ser problemática, pero no excesiva.
- **Alto (12-14):** Las zonas con estos valores ya presentan una acumulación importante de agua, lo que puede desencadenar fenómenos como inundaciones o deslizamientos en áreas propensas.
- **Muy alto (14-100):** Estas son las áreas con mayor acumulación de humedad, y son las que presentan el mayor riesgo de fenómenos como inundaciones o deslizamientos debido a la saturación del suelo.

**Distribución de las áreas por nivel de amenaza:** El cuadro también muestra el área en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) de cada categoría de amenaza. A continuación, un desglose de cada nivel:

- **Muy bajo (1117,3 km<sup>2</sup>):** Esta categoría abarca la mayor parte del territorio. Esto indica que gran parte del área presenta un bajo riesgo de acumulación de humedad, lo que es favorable en términos de estabilidad del terreno y mitigación de desastres.
- **Bajo (94,0 km<sup>2</sup>):** Aunque esta categoría representa una pequeña porción del territorio, todavía abarca una cantidad significativa de área, que está expuesta a riesgos ligeramente mayores que las áreas de riesgo muy bajo.
- **Moderado (26,2 km<sup>2</sup>):** Las áreas de riesgo moderado son considerablemente más pequeñas, lo que indica que pocas zonas tienen una vulnerabilidad media respecto al riesgo de acumulación de humedad.
- **Alto (73,0 km<sup>2</sup>):** Las zonas con riesgo alto cubren una porción significativa, sugiriendo que estas áreas son más propensas a problemas de drenaje y acumulación de agua, lo que podría generar problemas en la infraestructura o las actividades agrícolas.
- **Muy alto (36,0 km<sup>2</sup>):** Aunque estas áreas son las más pequeñas, son las que requieren mayor atención debido a los altos niveles de amenaza. Estas zonas deben ser consideradas prioritarias en la planificación de medidas de mitigación de riesgos, como mejorar el drenaje y proteger áreas urbanas o infraestructuras vulnerables.

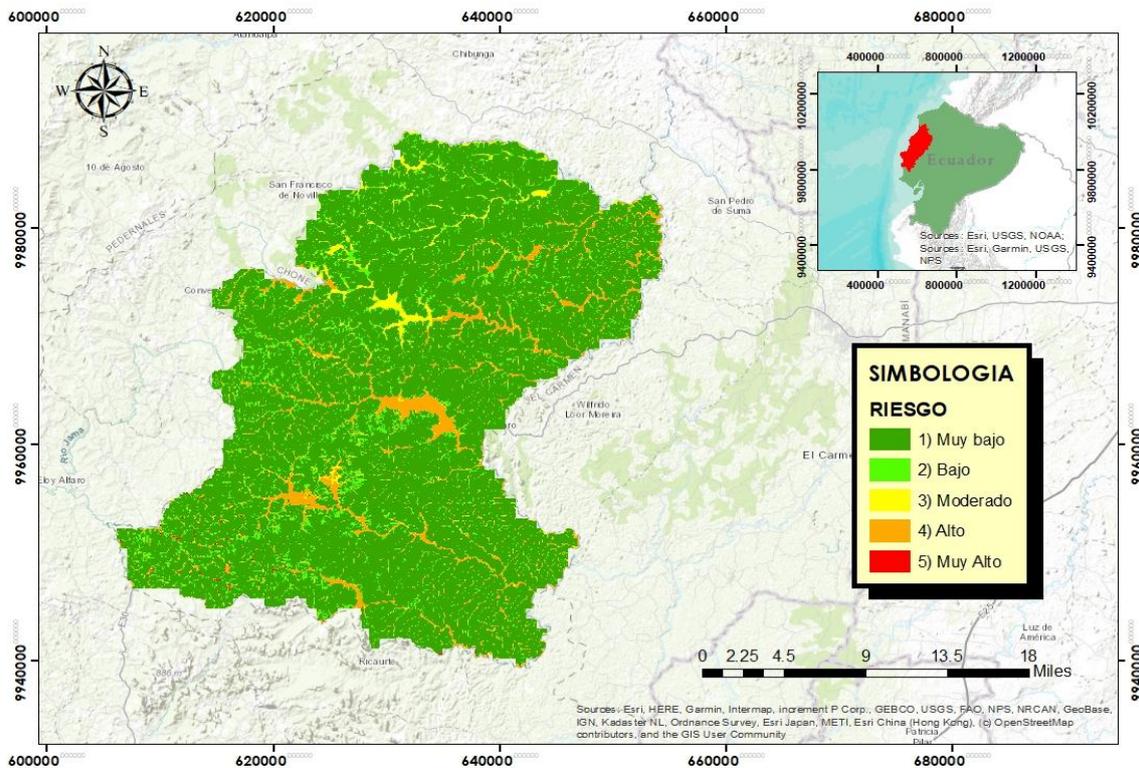


Figura 11. Mapa de riesgo del cantón Flavio Alfaro

Elaborador por: autor

Este mapa ofrece un análisis espacial de los niveles de riesgo en el territorio del cantón Flavio Alfaro, utilizando una simbología con cinco categorías. Las áreas de riesgo muy bajo, representadas en verde, indican zonas con poca probabilidad de ser afectadas por eventos adversos. Las zonas de riesgo bajo, señaladas en amarillo claro, sugieren la necesidad de monitoreo y medidas preventivas básicas.

En contraste, las áreas en amarillo oscuro reflejan riesgo moderado, donde se recomienda reforzar las medidas de prevención y gestión. Las zonas clasificadas como riesgo alto, coloreadas en naranja, y riesgo muy alto, en rojo, son las más críticas debido a su exposición a amenazas naturales y a la concentración de población, lo que agrava las posibles afectaciones. Este mapa proporciona información clave para la toma de decisiones orientada a la reducción de riesgos, la planificación territorial y la protección de los habitantes:

- **Muy bajo (Verde):** Este nivel cubre la mayor parte del territorio, lo que indica que el territorio en general presenta bajos riesgos asociados a fenómenos naturales o infraestructurales. Las áreas rurales y zonas montañosas, que aparentemente tienen poca intervención humana, son predominantes en esta categoría. Esto sugiere que el riesgo puede estar más relacionado con factores socioeconómicos o con la falta de actividades humanas significativas que pudieran desencadenar eventos de riesgo (como deslizamientos por deforestación o inundaciones debido a infraestructura deficiente).
- **Bajo (Amarillo claro):** Las áreas que entran en esta categoría se concentran en torno a ciertas vías de comunicación y en las zonas cercanas a Chone. La densidad de carreteras y caminos en esta zona puede sugerir una mayor exposición a riesgos relacionados con el tránsito, erosión o deslizamientos provocados por la actividad humana, pero sin llegar a niveles críticos.
- **Moderado (Amarillo):** Las zonas con riesgo moderado son menos prevalentes, pero parecen concentrarse en torno a los principales corredores de transporte, lo que podría estar relacionado con la densidad poblacional o la vulnerabilidad de infraestructuras clave, como puentes y caminos. Es importante observar que estas áreas podrían estar sujetas a fenómenos como la erosión o el desgaste de infraestructura por el clima o el mal mantenimiento.
- **Alto (Naranja):** Esta categoría indica áreas con un riesgo más significativo. Las zonas naranjas están distribuidas en puntos aislados, generalmente en áreas con mayor intervención humana, como carreteras o zonas urbanas. El riesgo podría estar relacionado con factores como el desbordamiento de ríos, inundaciones y deslizamientos. El territorio en el que se observan estos niveles

de riesgo parece tener una topografía más baja, cercana a cuencas hidrográficas.

- **Muy alto (Rojo):** Las zonas de riesgo muy alto son muy reducidas en el mapa, lo que sugiere que solo ciertos puntos críticos presentan una combinación de vulnerabilidad alta y exposición al riesgo. Posiblemente, las áreas rojas están relacionadas con factores como zonas de escorrentía, deslizamientos de tierra o áreas que, debido a su ubicación, son más susceptibles a sufrir inundaciones durante eventos climáticos extremos.

**Tabla 12.** Nivel de riesgo del cantón Flavio Alfaro por área por km<sup>2</sup>

Nivel de Riesgo	Area (km <sup>2</sup> )
Muy bajo	1106,17
Bajo	98,4
Moderado	41,9
Alto	75,5
Muy alto	1,4

Elaborador por: autor

Este cuadro muestra cómo se distribuyen las áreas en función de su nivel de riesgo, lo que refleja la probabilidad de que ocurra un evento adverso (como desastres naturales) y su impacto potencial en las zonas evaluadas. A continuación, se desglosan los datos:

#### **Niveles de riesgo:**

- **Muy bajo (1106,17 km<sup>2</sup>):** La mayor parte del área (1106,17 km<sup>2</sup>) tiene un nivel de riesgo muy bajo, lo que significa que estas zonas son poco propensas a verse afectadas por desastres o eventos naturales adversos. Esto podría deberse a características geográficas favorables, infraestructura adecuada o medidas preventivas ya implementadas.

- **Bajo (98,4 km<sup>2</sup>):** Un área considerablemente más pequeña (98,4 km<sup>2</sup>) está clasificada con un nivel de riesgo bajo. Aunque hay alguna probabilidad de que ocurra un evento adverso, el impacto sería menor en estas zonas.
- **Moderado (41,9 km<sup>2</sup>):** Esta categoría cubre un área de 41,9 km<sup>2</sup>, lo que representa un territorio donde el riesgo de ser afectado por eventos es significativo, aunque no tan elevado como en las áreas de riesgo alto o muy alto. Es importante estar atentos a estas zonas para implementar medidas preventivas a mediano plazo.
- **Alto (75,5 km<sup>2</sup>):** Esta zona representa un riesgo alto y abarca 75,5 km<sup>2</sup>. En estas áreas, la probabilidad de eventos adversos es mayor, y los impactos podrían ser más graves. Estas zonas deberían ser un foco de atención en términos de gestión del riesgo y planificación.
- **Muy alto (1,4 km<sup>2</sup>):** Aunque pequeño en extensión (1,4 km<sup>2</sup>), el área clasificada como de riesgo muy alto es extremadamente vulnerable a eventos adversos y podría sufrir daños significativos en caso de un desastre. Se recomienda la implementación de medidas de mitigación urgentes y estrictas en estas zonas para reducir el impacto.

### **Discusión sobre Riesgo de Inundación**

- Los resultados indicaron que 76.9 km<sup>2</sup> presentan riesgo alto o muy alto de inundación, principalmente en zonas con alto ITH y pendientes pronunciadas.

La implementación de medidas de mitigación en áreas de alto riesgo, como la mejora de los sistemas de drenaje y la construcción de barreras naturales, es un componente esencial en la reducción del impacto de las inundaciones. De acuerdo con un estudio realizado por Rufato (2020), las estrategias de mitigación que

combinan infraestructura verde y gris, como sistemas de recolección de agua pluvial y barreras naturales, han demostrado una efectividad significativa en la reducción de riesgos en comunidades vulnerables a inundaciones. Esto coincide con los resultados de nuestro estudio, donde la modernización del drenaje y la reforestación han sido clave para mejorar la capacidad de absorción del agua y prevenir inundaciones catastróficas.

Además, Marquet y otros (2021) enfatizan la importancia de integrar enfoques basados en la naturaleza en la planificación territorial, no solo como una solución temporal, sino como una estrategia de largo plazo que promueva la sostenibilidad y resiliencia. En nuestro estudio, la reforestación de cuencas hidrográficas y la implementación de barreras naturales han reducido la vulnerabilidad de las áreas críticas, apoyando esta visión de sostenibilidad ambiental.

La reducción de la vulnerabilidad estructural en áreas de riesgo alto y muy alto es una preocupación constante en la gestión de desastres, y nuestros resultados evidencian que la modernización de edificaciones y la capacitación en técnicas de construcción segura han sido efectivas para mejorar la resiliencia de las infraestructuras locales. Este hallazgo es coherente con el estudio de Paz y Ávila (2022), quienes destacan que las intervenciones estructurales, combinadas con la educación de las comunidades en construcción resiliente, han reducido el riesgo de colapso de edificaciones durante eventos hidrometeorológicos en zonas rurales.

El enfoque participativo y el fortalecimiento de capacidades locales, como se supervisa en la comunidad de Flavio Alfaro, también se destaca en estudios recientes. Según Damián (2021), la participación comunitaria es esencial para asegurar el éxito de las intervenciones estructurales, ya que empodera a las

poblaciones afectadas, fomenta la apropiación de las medidas implementadas y garantiza la sostenibilidad de los proyectos. Nuestro estudio confirma esta hipótesis, ya que la colaboración entre las autoridades locales y la comunidad fue fundamental para el desarrollo de las soluciones de mitigación.

**Implicaciones:** La mayoría del territorio se encuentra en un nivel de riesgo muy bajo o bajo, lo que es alentador en términos generales, ya que indica que gran parte del área está relativamente segura frente a desastres naturales o eventos adversos. Sin embargo, las áreas de riesgo alto y muy alto (76,9 km<sup>2</sup> en total) deben ser priorizadas en los planes de mitigación y gestión de riesgos, ya que estos sectores tienen mayor probabilidad de verse afectados. Las áreas con riesgo moderado (41,9 km<sup>2</sup>) también deben ser monitoreadas de cerca, ya que un mal manejo de estas zonas podría aumentar su nivel de riesgo en el futuro.

**Recomendaciones:**

- **Zonas de riesgo muy bajo y bajo:** Estas áreas, aunque no requieren intervenciones inmediatas, deben mantenerse monitoreadas para asegurarse de que continúen siendo seguras y no aumenten sus niveles de riesgo con el tiempo.
- **Zonas de riesgo moderado:** Requieren acciones preventivas para evitar que se conviertan en zonas de mayor riesgo. Esto puede incluir la mejora de infraestructuras, la planificación urbana adecuada y la implementación de sistemas de alerta temprana.
- **Zonas de alto y muy alto riesgo:** Deberían ser el foco principal de los planes de mitigación de desastres. Aquí es esencial reforzar la infraestructura, mejorar

los sistemas de drenaje, y asegurar que la población esté bien informada y preparada para eventos adversos.

#### **4.1.3. OB3: Elaborar una propuesta de mitigación por riesgo de inundación con enfoque a un Plan de Desarrollo Territorial para el Cantón Flavio Alfaro**

Los resultados obtenidos en el análisis del índice topográfico de humedad (ITH) y la evaluación del riesgo en el Cantón Flavio Alfaro reflejan una situación diversa en cuanto a la acumulación de agua y los riesgos asociados. Si bien la mayor parte del territorio muestra un riesgo bajo o muy bajo de acumulación de agua, lo que sugiere condiciones favorables para el manejo del agua superficial en la mayoría de las áreas, es importante resaltar que existen ciertas zonas críticas que presentan niveles de vulnerabilidad y riesgo alto o muy alto.

Estas áreas específicas son más susceptibles a la acumulación excesiva de agua, lo que las convierte en focos de posibles inundaciones y desbordamientos, especialmente en períodos de lluvias intensas o bajo la influencia de fenómenos climáticos extremos, como El Niño o tormentas tropicales. La presencia de estos riesgos puede generar afectaciones tanto en la infraestructura local, como en las viviendas, caminos, puentes y sistemas de drenaje, así como en la seguridad y bienestar de las poblaciones que habitan cerca de estos sectores vulnerables.

Es crucial que estas áreas con mayor riesgo sean identificadas y atendidas prioritariamente en términos de planificación y gestión del territorio. Esto implica la necesidad de desarrollar medidas preventivas y de mitigación, como la construcción o mejora de sistemas de drenaje, la implementación de barreras naturales o

artificiales para controlar el flujo del agua, y la creación de programas de reubicación o adaptación de infraestructuras clave. Además, la población debe ser preparada mediante campañas de concienciación y programas de respuesta ante emergencias para minimizar el impacto de posibles eventos adversos.

Por otro lado, es esencial que las autoridades locales y los responsables de la gestión del riesgo climático en el Cantón Flavio Alfaro mantengan un monitoreo constante de estas áreas críticas, utilizando herramientas de evaluación como el ITH para actualizar periódicamente los mapas de vulnerabilidad y riesgo. De este modo, se podrá asegurar una respuesta efectiva ante eventos climáticos, garantizando la seguridad y el desarrollo sostenible de Flavio Alfaro.

#### **Objetivos de la propuesta:**

- Desarrollar una estrategia de mitigación para las áreas de alto y muy alto riesgo de inundación, alineada con los principios de un Plan de Desarrollo Territorial.

#### **Aspectos claves:**

Esta estrategia se basará en tres aspectos fundamentales para mitigar el impacto de los riesgos naturales en el Cantón Flavio Alfaro y fomentar un desarrollo territorial más seguro y resiliente:

#### **1. Reducción de la vulnerabilidad estructural en las zonas de riesgo alto y muy alto:**

El primer enfoque se centrará en intervenir directamente en las áreas más vulnerables, aquellas que presentan un riesgo alto o muy alto de sufrir inundaciones u otros desastres naturales. Aquí, la estrategia incluirá la implementación de

proyectos de infraestructura adaptativa y de refuerzo, como la mejora o construcción de sistemas de drenaje eficientes, muros de contención, canales de desviación, y otras estructuras que ayuden a mitigar los efectos de la acumulación de agua y otros fenómenos climáticos adversos.

También será esencial la evaluación y modernización de edificaciones públicas y privadas para que cumplan con normativas más estrictas de resiliencia ante desastres, como el uso de materiales de construcción resistentes al agua o la elevación de viviendas y estructuras ubicadas en zonas inundables. En paralelo, se incentivará la participación de la comunidad local en iniciativas de autoconstrucción segura, ofreciendo capacitación y recursos técnicos para mejorar las viviendas de manera efectiva y a bajo costo.

## **2. Planificación de medidas preventivas para zonas de riesgo moderado, con el fin de evitar el deterioro de la situación:**

En las zonas clasificadas como de riesgo moderado, la prioridad será implementar medidas preventivas que eviten que estas áreas evolucionen hacia un riesgo mayor en el futuro. Para ello, se fomentará la construcción planificada y controlada, evitando la expansión desorganizada y limitando el crecimiento de asentamientos informales en terrenos vulnerables.

Además, la estrategia contemplará la reforestación y recuperación de áreas naturales en los alrededores, especialmente en cuencas hidrográficas y laderas, lo que contribuirá a mejorar la absorción de agua y disminuir el riesgo de deslizamientos o erosión. De igual manera, se promoverán prácticas agrícolas sostenibles que favorezcan el uso adecuado del suelo y minimicen la degradación ambiental, como la

rotación de cultivos, la instalación de terrazas agrícolas, y la creación de barreras vivas que ayuden a retener el agua y evitar la pérdida de nutrientes.

Complementando estas acciones, se diseñarán y ejecutarán programas de educación y concienciación ciudadana sobre la gestión de riesgos, sensibilizando a la población sobre la importancia de adoptar comportamientos proactivos y preventivos frente a los riesgos climáticos.

### **3. Establecimiento de políticas sostenibles de ordenamiento territorial que reduzcan la exposición a riesgos naturales:**

El tercer pilar de la estrategia estará orientado a la creación e implementación de políticas de ordenamiento territorial que fomenten un desarrollo equilibrado y sostenible, minimizando la exposición de las comunidades y sus infraestructuras a los riesgos naturales. Estas políticas incluirán la zonificación adecuada del uso del suelo, definiendo áreas seguras para el desarrollo urbano, agrícola e industrial, y limitando la expansión de actividades en zonas de alto riesgo.

Se promoverá la integración de mapas de riesgos en los planes de desarrollo urbano y rural, de manera que las decisiones sobre nuevas construcciones o infraestructuras consideren de forma explícita la vulnerabilidad de los terrenos y las proyecciones climáticas futuras. Además, se fomentará la creación de corredores ecológicos que, al mismo tiempo que preservan la biodiversidad, actúan como barreras naturales frente a desastres como inundaciones y deslizamientos.

Finalmente, estas políticas estarán alineadas con un enfoque de sostenibilidad a largo plazo, promoviendo la resiliencia climática y la adaptación mediante la diversificación de la economía local, el fomento de energías renovables, y el fortalecimiento de

capacidades técnicas y administrativas a nivel local para responder de manera eficiente a emergencias. La coordinación interinstitucional entre gobiernos locales, regionales y nacionales será clave para garantizar la eficacia y sostenibilidad de las políticas implementadas.

### **Diagnóstico del territorio:**

- **Áreas de alta y muy alta vulnerabilidad:** Estas zonas abarcan aproximadamente 96.0 km<sup>2</sup> y presentan una susceptibilidad significativa a fenómenos hidrometeorológicos, tales como inundaciones y deslizamientos de tierra. La topografía y las características del suelo en estas áreas aumentan su exposición a eventos climáticos extremos, lo que pone en riesgo tanto la infraestructura como la seguridad de sus habitantes.
- **Áreas con nivel de riesgo alto o muy alto:** En términos de riesgo específico, alrededor de 76.9 km<sup>2</sup> del territorio se clasifican en las categorías de riesgo alto o muy alto. Estas áreas críticas requieren intervenciones inmediatas de mitigación y adaptación para reducir las amenazas a corto y largo plazo, siendo prioritarias para la implementación de medidas de infraestructura y estrategias de gestión de riesgos que ayuden a reducir su vulnerabilidad.
- **Índice Topográfico de Humedad (ITH):** El análisis del ITH ha demostrado que este índice es un factor determinante en la distribución de áreas de riesgo dentro del cantón. Las zonas con valores de ITH elevados coinciden con los puntos de mayor acumulación de agua, aumentando la probabilidad de inundaciones. Esto destaca la importancia de considerar el ITH como una herramienta esencial para identificar áreas de riesgo y para orientar los planes

de desarrollo territorial y de gestión hídrica, con el fin de minimizar la exposición y el impacto de eventos hidrometeorológicos en las zonas más vulnerables.

## **Propuestas de intervención:**

### **1. Infraestructura verde y sistemas de drenaje sostenible**

En áreas con alto y muy alto riesgo de inundación, la implementación de soluciones basadas en la naturaleza será clave para reducir el impacto de los fenómenos climáticos extremos. La infraestructura verde se refiere a una serie de medidas que utilizan los ecosistemas naturales o construidos para gestionar el agua de manera más efectiva y resiliente, en lugar de depender únicamente de infraestructuras grises tradicionales (como tuberías y canales de concreto). Estas soluciones no solo ayudan a mitigar los riesgos, sino que también ofrecen beneficios ecológicos, sociales y económicos.

#### **1.1. Humedales artificiales y zonas de amortiguamiento**

Una de las principales medidas de infraestructura verde que se pueden aplicar en estas áreas de alto riesgo es la creación de humedales artificiales y zonas de amortiguamiento. Estos ecosistemas construidos están diseñados para capturar, almacenar y filtrar el exceso de agua durante eventos de lluvias intensas. Los humedales funcionan como esponjas naturales, permitiendo que el agua se filtre lentamente hacia el subsuelo, mientras que las zonas de amortiguamiento ayudan a reducir la velocidad del flujo de agua, evitando desbordamientos repentinos en zonas urbanas o agrícolas cercanas.

Además, estos humedales pueden actuar como filtros naturales, mejorando la calidad del agua al remover contaminantes y sedimentos antes de que lleguen a los ríos o

cuerpos de agua cercanos. Su implementación no solo reduce el riesgo de inundaciones, sino que también puede crear hábitats para la biodiversidad local, contribuyendo a la regeneración ecológica de áreas degradadas.

### **1.2. Sistemas de drenaje urbano mejorados y mantenidos**

La infraestructura de drenaje en áreas urbanas y periurbanas juega un papel crucial en la prevención de inundaciones. En regiones críticas, como aquellas cercanas a ríos, cuencas hidrográficas o terrenos en pendiente, la capacidad de los sistemas de drenaje puede verse sobrepasada durante lluvias intensas o prolongadas, lo que aumenta el riesgo de desbordamientos.

Para evitar estos problemas, es esencial diseñar e implementar sistemas de drenaje sostenible que combinen métodos tradicionales con soluciones verdes. Estos sistemas deben ser planificados con base en las características hidrológicas locales, asegurando que el drenaje pueda manejar tanto las lluvias regulares como los eventos climáticos más extremos.

Es importante no solo construir infraestructuras de drenaje más eficientes, sino también garantizar su mantenimiento periódico. Las tareas de limpieza y desobstrucción de alcantarillas, canales y sistemas de drenaje son fundamentales para asegurar su funcionalidad óptima durante las temporadas de lluvias. Entre las estrategias a implementar está el uso de drenajes permeables, que permiten que el agua se infiltre directamente en el suelo en lugar de ser canalizada rápidamente a los ríos. Esto ayuda a reducir la cantidad de agua que corre por la superficie, disminuyendo el riesgo de saturación en áreas bajas.

### **1.3. Barreras naturales y reforestación**

La integración de barreras naturales es una medida esencial para proteger tanto las infraestructuras como las áreas habitadas de riesgos asociados al exceso de agua y la inestabilidad del suelo. En este sentido, la reforestación de cuencas hidrográficas y áreas vulnerables es una de las estrategias más efectivas y sostenibles a largo plazo.

Los árboles y la vegetación en general juegan un papel crucial en la estabilización del suelo, previniendo la erosión y reduciendo el riesgo de deslizamientos de tierra en áreas montañosas o en pendiente. Las raíces de los árboles actúan como anclajes naturales, reteniendo el suelo y mejorando su capacidad para absorber y almacenar agua. Además, la reforestación mejora la infiltración del agua en el subsuelo, lo que reduce la escorrentía superficial y el riesgo de inundaciones en áreas bajas.

Se deben priorizar programas de reforestación en áreas críticas como las orillas de ríos, laderas empinadas y cuencas hidrográficas clave para asegurar que las barreras naturales proporcionen una protección efectiva. La elección de especies nativas y la participación de las comunidades locales en estos programas garantizarán una implementación más exitosa y sostenible a largo plazo.

## **2. Zonificación de áreas de alto riesgo**

Una de las herramientas más efectivas para reducir la vulnerabilidad ante desastres naturales es la zonificación del territorio. La identificación de áreas con alto o muy alto riesgo, como aquellas propensas a inundaciones, deslizamientos o erosión, debe guiar la toma de decisiones sobre el uso del suelo y la planificación del desarrollo urbano y rural. Esto implica actualizar el Plan de Desarrollo Territorial (PDT), integrando una zonificación clara de las áreas de riesgo para garantizar que el

desarrollo futuro no incremente la exposición de la población ni la infraestructura a los peligros naturales.

### **2.1. Actualización del Plan de Desarrollo Territorial**

La actualización del PDT debe basarse en el análisis de riesgo y vulnerabilidad, asegurando que se delimiten las zonas con riesgo alto o muy alto y que se implementen políticas restrictivas para estas áreas. El objetivo principal de esta zonificación es evitar que nuevas construcciones o desarrollos económicos se establezcan en zonas vulnerables sin que se implementen primero las medidas de mitigación necesarias.

La zonificación debe incluir regulaciones específicas que prohíban o limiten ciertas actividades en áreas de alto riesgo. Por ejemplo, en zonas donde la probabilidad de inundaciones o deslizamientos es alta, se deben prohibir construcciones residenciales o infraestructuras críticas como hospitales y escuelas. En su lugar, se pueden establecer normativas que permitan la construcción bajo estrictos estándares de seguridad, siempre y cuando se implementen previamente medidas de mitigación como sistemas de drenaje, estructuras elevadas, o la creación de barreras naturales.

Además de prevenir nuevos desarrollos en zonas de alto riesgo, es esencial que el PDT incluya planes de adaptación para las áreas urbanas ya existentes. Esto puede implicar la mejora de infraestructuras, la implementación de programas de reubicación o incluso la renaturalización de zonas vulnerables que ya han sido ocupadas de manera irregular.

### **2.2. Destino de áreas de alto riesgo a actividades sostenibles**

Las áreas de alto riesgo no deben ser consideradas como espacios inútiles o sin valor, sino que pueden ser gestionadas de manera inteligente y sostenible para mitigar la vulnerabilidad sin comprometer el desarrollo económico y social de la región. Estas zonas, en lugar de destinarse a la construcción de infraestructuras urbanas o a actividades que puedan agravar los riesgos, pueden ser reservadas para prácticas agrícolas sostenibles, como la agroecología o la reforestación, así como para la creación de reservas ecológicas y corredores biológicos.

Implementar actividades agrícolas sostenibles en estas áreas no solo ayuda a evitar daños potenciales a la población y a la infraestructura durante eventos climáticos adversos, sino que también promueve un uso responsable y consciente del territorio. Estas prácticas contribuyen a la mejora de la calidad del suelo, la conservación del agua y la biodiversidad local. Además, las reservas ecológicas pueden servir como espacios para la educación ambiental y el ecoturismo, fomentando la participación de la comunidad y generando ingresos a través de actividades que respeten y preserven el entorno natural.

Al integrar el uso de estas áreas de alto riesgo en estrategias de desarrollo sostenible, se fortalece la resiliencia de las comunidades frente a fenómenos hidrometeorológicos, se protege el medio ambiente y se asegura que las futuras generaciones puedan disfrutar de un territorio saludable y productivo. Esta visión holística no solo mejora la calidad de vida de los habitantes, sino que también establece un precedente para el manejo adecuado de recursos en otras regiones vulnerables.

### **2.2.1. Agricultura sostenible en áreas de riesgo**

En áreas con alto riesgo de inundaciones o desbordamientos, la agricultura sostenible puede ser una opción viable. Esto incluye el uso de prácticas agrícolas que se adapten a las condiciones ambientales, como la implementación de cultivos resistentes al exceso de agua o el diseño de sistemas de riego y drenaje que minimicen la acumulación de agua en los suelos.

La agricultura de conservación y la agroforestería pueden ser formas efectivas de gestionar estas áreas, ya que mejoran la retención del suelo y el manejo de agua, reduciendo al mismo tiempo la vulnerabilidad ante los desastres. Asimismo, el fomento de prácticas agrícolas ecológicas se dirige hacia la sostenibilidad de los recursos naturales, disminuyendo la deforestación y la degradación del suelo.

### **2.2.2. Reservas ecológicas y zonas de amortiguamiento**

Otra alternativa viable para las áreas de alto riesgo es su conversión en reservas ecológicas o zonas de amortiguamiento natural. Estas áreas pueden servir como espacios protegidos donde se preserve la biodiversidad, se promueva la conservación de ecosistemas y se actúe como una barrera natural frente a los desastres naturales.

Las reservas ecológicas no solo ayudan a la preservación de la flora y fauna, sino que también contribuyen a mitigar los riesgos de inundaciones y deslizamientos, ya que los ecosistemas naturales, como los bosques y los humedales, actúan como barreras naturales que absorben y controlan el flujo de agua.

Estas reservas ecológicas pueden formar parte de un plan integral de gestión de riesgos, sirviendo como amortiguadores naturales que protegen las zonas urbanas y rurales cercanas, mientras se conservan los recursos naturales. La creación de parques y áreas protegidas en zonas de alto riesgo puede, además, generar nuevas

oportunidades para el ecoturismo, lo que ofrecería beneficios económicos a las comunidades locales sin poner en peligro sus vidas o infraestructuras.

### **2.3. Gobernanza y participación comunitaria**

La zonificación y la reorientación del uso del suelo en áreas de alto riesgo requieren una fuerte gobernanza y la participación activa de las comunidades locales. Las políticas de uso del suelo deben ser claras, coherentes y aplicadas con firmeza. Sin embargo, la participación de la comunidad es fundamental para asegurar que estas políticas sean aceptadas y respetadas. Se deben llevar a cabo procesos participativos donde las comunidades comprendan los riesgos de la toma de decisiones.

## **3. Planes de contingencia y capacitación comunitaria**

En un entorno donde las comunidades urbanas y rurales enfrentan altos niveles de vulnerabilidad a desastres naturales, como en la ciudad de Flavio Alfaro, la implementación de planes de contingencia y la capacitación comunitaria son estrategias esenciales para mitigar el impacto de los eventos climáticos extremos, como inundaciones o deslizamientos de tierra.

### **2.1. Desarrollo de planes de evacuación y respuesta**

Las zonas urbanas y rurales de alto riesgo, como Flavio Alfaro, requieren planes de evacuación y estrategias de respuesta que sean claros, efectivos y comprendidos por todos los residentes. Estos planes deben estar basados en el análisis de riesgos de cada área, de manera que las rutas de evacuación, puntos de encuentro y refugios temporales se seleccionen estratégicamente, minimizando el tiempo de respuesta y los riesgos para las personas. Las autoridades locales, en coordinación con los

organismos de protección civil, deben diseñar estos planes teniendo en cuenta las características geográficas, demográficas y sociales de las comunidades.

Una vez desarrollados los planes, es esencial que las comunidades estén familiarizadas con ellos a través de simulacros periódicos. Estos ejercicios permiten a los residentes saber cómo actuar en caso de una emergencia real, reduciendo el pánico y asegurando una evacuación ordenada. Además, los simulacros ayudan a las autoridades a identificar posibles problemas en los planes y a mejorarlos con base en la experiencia obtenida.

Los planes de contingencia también deben incluir estrategias de respuesta post-desastre, como la organización de equipos de búsqueda y rescate, la coordinación con servicios de salud y el establecimiento de centros de operaciones de emergencia. La creación de brigadas comunitarias de voluntarios capacitados para actuar en emergencias también es crucial para asegurar una respuesta inmediata mientras llegan los equipos especializados.

## **2.2. Programas de educación y sensibilización comunitaria**

La educación y la sensibilización son pilares fundamentales para construir comunidades resilientes ante desastres. A través de programas educativos en las comunidades, tanto rurales como urbanas, se puede generar una mayor conciencia sobre los riesgos asociados a los fenómenos naturales y las medidas preventivas que se pueden adoptar a nivel individual y colectivo.

Estos programas deben incluir temas como:

- Gestión de riesgos y la importancia de identificar las zonas más vulnerables.

- Acciones preventivas en el hogar y la comunidad, como la limpieza regular de canales de drenaje, la eliminación de desechos que puedan obstruir el flujo de agua y el mantenimiento adecuado de las infraestructuras.
- Preparación ante emergencias, incluyendo la creación de kits de emergencia con alimentos no perecederos, agua, medicinas y otros suministros básicos.
- Protocolos de evacuación y cómo seguir las instrucciones de las autoridades durante un desastre.

Es especialmente importante que estos programas se enfoquen en áreas urbanas, donde las densidades poblacionales más altas pueden agravar los efectos de los desastres, y en áreas rurales, donde el acceso a servicios y a la información puede ser más limitado.

Para asegurar que todos los grupos tengan acceso a la información, estos programas deben adaptarse a las realidades locales y utilizar una variedad de métodos de comunicación, como talleres presenciales, folletos informativos, y el uso de radios comunitarias y redes sociales.

### **2.3. Promoción de la participación activa**

Además de recibir educación, las comunidades deben ser activas en la gestión de riesgos. Una manera de fomentar esta participación es a través de comités locales de emergencia, donde los propios residentes trabajen junto con las autoridades para implementar medidas preventivas, realizar simulacros, y monitorear el estado de infraestructuras críticas como drenajes, puentes y carreteras.

La participación comunitaria es crucial para asegurar la sostenibilidad de las medidas preventivas. Por ejemplo, las comunidades pueden organizar jornadas de limpieza de

canales de drenaje, mantenimiento de zonas verdes y campañas de concienciación sobre la correcta disposición de residuos, para evitar que los sistemas de drenaje se vean obstruidos y causen inundaciones. Asimismo, es importante incentivar la autoorganización en torno a la vigilancia de infraestructuras en riesgo, como la observación de posibles fisuras en puentes, vías o edificaciones.

#### **2.4. Capacitación de líderes comunitarios**

Para asegurar el éxito de los planes de contingencia y los programas educativos, se debe priorizar la capacitación de líderes comunitarios que puedan actuar como multiplicadores de la información y coordinadores de las actividades en sus zonas. Estos líderes, debidamente entrenados, pueden ser los encargados de supervisar los simulacros, organizar las brigadas comunitarias de emergencia, y actuar como enlaces entre la comunidad y las autoridades locales.

Además, los líderes capacitados pueden desempeñar un papel clave en la resolución de conflictos y en la organización de respuestas colectivas ante situaciones de crisis, asegurando que la comunidad actúe de manera unida y eficiente. La capacitación debe incluir conocimientos sobre primeros auxilios, la gestión de refugios temporales, la coordinación de evacuaciones y la comunicación efectiva en situaciones de emergencia.

#### **2.5. Integración de la comunidad en las políticas públicas**

Finalmente, es esencial que las políticas públicas de gestión de riesgos incluyan a la comunidad en su desarrollo y ejecución. La participación de las comunidades locales en la elaboración de planes de ordenamiento territorial y en las decisiones sobre

infraestructuras críticas asegura que las soluciones adoptadas respondan a las necesidades y realidades locales.

La integración de las comunidades en las políticas públicas también fomenta una mayor responsabilidad compartida entre los ciudadanos y las autoridades, lo que a su vez fortalece la capacidad de la comunidad para enfrentar y recuperarse de los desastres. Al trabajar juntos en la planificación y ejecución de acciones preventivas, las comunidades se vuelven más resilientes y mejor preparadas para actuar ante cualquier eventualidad.

#### **4. Monitoreo y alerta temprana**

La implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana es una estrategia esencial para reducir el impacto de desastres en zonas vulnerables, permitiendo a las comunidades prepararse con anticipación ante eventos extremos como inundaciones o deslizamientos de tierra.

Esto es particularmente importante en áreas de riesgo moderado y alto, donde los eventos pueden tener consecuencias significativas para la población y la infraestructura.

##### **3.1. Instalación de sistemas de alerta temprana**

En las zonas identificadas como de mayor riesgo, especialmente aquellas cercanas a ríos, cuerpos de agua o áreas montañosas, se recomienda la instalación de sistemas de alerta temprana que permitan a las comunidades recibir notificaciones oportunas ante eventos climáticos adversos. Estos sistemas deben estar diseñados para monitorear parámetros clave, como los niveles de agua en ríos, la cantidad de

precipitación y las condiciones del suelo, de modo que cualquier variación que indique un riesgo inminente pueda ser detectada y reportada rápidamente.

Los sistemas de alerta temprana se basan en el uso de sensores y tecnologías de monitoreo, que proporcionan información en tiempo real a centros de control y a las comunidades afectadas. Estos sistemas pueden incluir estaciones meteorológicas, dispositivos de monitoreo de nivel de agua en ríos y embalses, y sistemas de radar que midan la intensidad y duración de las lluvias.

Una de las principales ventajas de estos sistemas es que ofrecen tiempo de preparación suficiente para las personas y las autoridades locales, permitiendo la activación de planes de evacuación, la protección de infraestructuras críticas y la implementación de medidas preventivas que reduzcan el impacto del evento. Para maximizar la eficacia de estos sistemas, es crucial que la información emitida sea clara, precisa y difundida a través de múltiples canales, como sirenas, mensajes de texto, aplicaciones móviles y redes de comunicación locales.

### **3.2. Monitoreo constante y sistemas de respuesta**

El éxito de los sistemas de alerta temprana radica en la implementación de un monitoreo constante y en tiempo real de las condiciones climáticas, así como del comportamiento de los cuerpos de agua en el entorno. Este monitoreo debe ser llevado a cabo por autoridades locales o agencias meteorológicas especializadas, que cuenten con la capacitación y recursos necesarios para interpretar los datos recolectados y emitir alertas en el momento en que se detecten umbrales críticos que puedan indicar un riesgo inminente.

El monitoreo hidrológico es particularmente crucial en áreas adyacentes a ríos y cuencas hidrográficas. Esto implica la observación continua de los niveles de los cuerpos de agua y las cuencas, así como la detección de cambios en la velocidad y el flujo del agua. Estos parámetros son fundamentales para anticipar posibles crecidas o desbordamientos que podrían afectar a las comunidades cercanas. Del mismo modo, el monitoreo meteorológico debe centrarse en la identificación de lluvias intensas o prolongadas, que incrementen la probabilidad de deslizamientos de tierra o inundaciones en áreas vulnerables.

Además, es fundamental considerar la incorporación de tecnología satelital en el seguimiento de eventos climáticos y la predicción de desastres naturales. El uso de imágenes satelitales permite un análisis detallado de grandes extensiones de terreno en tiempo real, facilitando la identificación de riesgos a mayor escala. Esta información geoespacial es invaluable para la planificación y ejecución de respuestas adecuadas, ya que ofrece una visión integral de las condiciones ambientales y permite a las autoridades tomar decisiones informadas en situaciones de emergencia.

### **3.3. Capacitación y coordinación comunitaria**

Para que los sistemas de alerta temprana y monitoreo sean efectivos, es fundamental que las comunidades locales estén capacitadas y familiarizadas con los protocolos de respuesta. Esto incluye la formación de brigadas comunitarias de emergencia, la realización de simulacros periódicos y la creación de una cultura de prevención que prepare a la población para actuar con rapidez y eficacia cuando se emita una alerta.

La participación comunitaria debe ser un componente clave de cualquier sistema de alerta temprana. Esto implica no solo el acceso a la información, sino también la coordinación directa con los equipos de respuesta a emergencias y las autoridades locales, para garantizar una respuesta rápida y ordenada. Las comunidades locales también pueden desempeñar un papel importante en el monitoreo participativo, informando sobre condiciones inusuales o peligros potenciales antes de que se conviertan en eventos desastrosos.

### **3.4. Integración con planes de emergencia y resiliencia**

Los sistemas de monitoreo y alerta temprana deben estar integrados en los planes locales y regionales de gestión de riesgos y emergencias. Esto significa que, una vez activada una alerta, los planes de evacuación y respuesta deben ser implementados de manera rápida y eficiente por las autoridades locales, en coordinación con las comunidades.

Las medidas de respuesta deben incluir la evacuación segura de las zonas de mayor riesgo, la movilización de equipos de rescate y la implementación de medidas preventivas para proteger infraestructuras críticas como hospitales, escuelas y sistemas de suministro de agua y electricidad. El acceso a refugios temporales y el

suministro de bienes esenciales también deben formar parte del plan de respuesta a emergencias.

### **3.5. Tecnología avanzada para la detección temprana**

El uso de tecnologías avanzadas, como drones, sensores de IoT (Internet de las Cosas) y análisis de datos mediante inteligencia artificial, puede mejorar aún más la capacidad de detección temprana y aumentar la precisión de las alertas. Estas tecnologías permiten una recolección más rápida y precisa de datos en tiempo real, lo que facilita una respuesta más efectiva y focalizada en caso de emergencia. Por ejemplo, drones equipados con sensores pueden sobrevolar áreas de difícil acceso para medir los niveles de agua o detectar posibles deslizamientos de tierra, mientras que los sistemas basados en IA pueden predecir eventos futuros con base en patrones históricos y condiciones actuales.

## **4. Proyectos de reubicación y desarrollo controlado**

En las zonas catalogadas con riesgo muy alto, donde las intervenciones estructurales no son suficientes para garantizar la seguridad de las comunidades, es fundamental adoptar proyectos de reubicación y controlar estrictamente el desarrollo urbano para minimizar las posibilidades de futuros desastres. Estas acciones deben ser coordinadas y planificadas cuidadosamente para asegurar que se implementen de manera justa y sostenible, garantizando la seguridad y el bienestar de las personas afectadas.

#### **4.1. Reubicación planificada de infraestructuras y asentamientos vulnerables**

En áreas donde el riesgo de desastres naturales, como inundaciones o deslizamientos, es extremadamente elevado y las soluciones de ingeniería no pueden mitigar completamente la amenaza, la reubicación de infraestructuras críticas y de asentamientos vulnerables se presenta como una opción prioritaria. Específicamente, la reubicación debe centrarse en infraestructuras esenciales como escuelas, centros de salud, viviendas, y edificios gubernamentales que, si se vieran afectados, podrían tener consecuencias devastadoras para la comunidad.

Esta medida debe estar fundamentada en un análisis técnico exhaustivo que evalúe el grado de vulnerabilidad de las infraestructuras y determine las zonas alternativas más seguras para su reubicación. Además, las áreas seleccionadas deben ofrecer una calidad de vida adecuada, acceso a servicios esenciales, y oportunidades de desarrollo económico para las comunidades desplazadas, a fin de evitar la creación de nuevas situaciones de vulnerabilidad.

#### **4.2. Desarrollo controlado y restricción del crecimiento poblacional en zonas de riesgo**

En paralelo con la reubicación, es crucial establecer políticas de desarrollo controlado en las zonas identificadas con riesgo muy alto, evitando el crecimiento descontrolado de asentamientos y limitando la construcción de nuevas infraestructuras. Esto implica una actualización constante de los planes de ordenamiento territorial para reflejar con precisión los riesgos geográficos y ambientales, asegurando que las decisiones de expansión urbana consideren las amenazas naturales.

Para lograr esto, el Plan de Desarrollo Territorial debe incluir zonas donde el desarrollo esté restringido o prohibido debido a su alta exposición a fenómenos adversos. Este enfoque evitará que las comunidades sigan expandiéndose en áreas donde es prácticamente inevitable que ocurran desastres futuros. Además, es necesario implementar regulaciones estrictas que condicionen la construcción en áreas cercanas a ríos, montañas inestables o zonas bajas susceptibles a la acumulación de agua.

### **4.3. Incentivos y apoyo para la reubicación**

La reubicación planificada no solo debe verse como una medida preventiva, sino también como una oportunidad para mejorar las condiciones de vida de las personas afectadas. Para lograr una transición exitosa, las autoridades locales y nacionales deben ofrecer incentivos y apoyos financieros a las comunidades que necesitan ser reubicadas. Esto puede incluir:

- Subsidios de vivienda para la adquisición de terrenos o la construcción de nuevas casas en áreas seguras.
- Créditos blandos para la compra de nuevas propiedades o el desarrollo de infraestructuras.
- Asistencia técnica para la construcción de viviendas más resilientes y sostenibles.

Además, se debe asegurar que las comunidades reubicadas cuenten con infraestructura básica como agua potable, electricidad, carreteras y acceso a servicios de salud y educación. De esta manera, se puede garantizar que la reubicación no resulte en una disminución de la calidad de vida, sino que se convierta en una mejora de las condiciones habitacionales y de seguridad.

#### **4.4. Participación comunitaria y diálogo**

Uno de los aspectos clave para el éxito de los proyectos de reubicación es asegurar que la comunidad participe de manera activa en la planificación y ejecución del proceso. Es esencial que los residentes de las zonas afectadas estén informados y comprendan las razones detrás de la reubicación. El diálogo constante con las comunidades afectadas ayudará a evitar la resistencia a las medidas y a asegurar que las soluciones propuestas sean socialmente aceptables y sostenibles.

Se deben organizar mesas de trabajo comunitarias donde los residentes puedan expresar sus preocupaciones, sugerencias y necesidades. La toma de decisiones debe ser inclusiva, permitiendo que las comunidades tengan una voz activa en el proceso de reubicación y en la planificación de los nuevos asentamientos. Asimismo, las autoridades deben asegurarse de que todas las decisiones estén respaldadas por estudios técnicos claros y transparentes que demuestren la necesidad de reubicación.

#### **4.5. Beneficios de la reubicación**

- La reubicación no solo protege a las comunidades de desastres futuros, sino que también puede generar múltiples beneficios, entre ellos:
- La posibilidad de planificar mejor el desarrollo urbano en zonas más seguras, integrando medidas de resiliencia desde el inicio.
- La creación de nuevas oportunidades económicas, ya que los proyectos de reubicación pueden incluir mejoras en infraestructuras y servicios que fomenten el desarrollo económico local.
- La reducción de la presión sobre áreas de riesgo, permitiendo la restauración de ecosistemas naturales que pueden actuar como barreras naturales frente a futuros desastres.

#### **4.6. Creación de reservas ecológicas en áreas de muy alto riesgo**

En muchos casos, las áreas que son reubicadas pueden ser convertidas en reservas ecológicas o zonas de amortiguamiento natural que ayuden a mitigar los efectos de fenómenos climáticos.

Estas áreas pueden actuar como zonas de retención de agua, bosques de protección o humedales, reduciendo el riesgo de inundaciones o deslizamientos en zonas aledañas. La creación de estas reservas puede, además, ofrecer oportunidades de turismo ecológico y la generación de nuevas fuentes de empleo vinculadas a la conservación del medio ambiente.

### **5. Fortalecimiento de la gobernanza territorial**

La gestión integral de los riesgos hídricos y la planificación del uso del suelo requieren la participación activa de las autoridades locales y la comunidad. El fortalecimiento de la gobernanza territorial en el Cantón Flavio Alfaro es esencial para coordinar las acciones de mitigación y para asegurar que las estrategias propuestas se implementen.

Para ello, se propone la creación de comités locales de gestión de riesgos ,

- **Monitoreo y vigilancia del riesgo:** Realizar un seguimiento continuo de las áreas críticas mediante herramientas como el Índice Topográfico de Humedad (ITH) y otros indicadores hidrometeorológicos. Los comités coordinarían el monitoreo de las zonas de riesgo con tecnologías modernas y sistemas de alerta temprana.
- **Ejecución de medidas de mitigación:** Supervisar y colaborar en la implementación de las obras y acciones recomendadas en las áreas de alto

riesgo, asegurando que se cumplan los cronogramas y se utilicen los recursos de manera eficiente.

- **Promoción de la participación ciudadana:** Fomentar la participación activa de la comunidad en las actividades preventivas y en la adopción de medidas de autogestión ante riesgos naturales. Campañas educativas serán clave para concienciar sobre la gestión de riesgos y el desarrollo resiliente.
- **Coordinación interinstitucional:** Garantizar que las instituciones municipales, provinciales y nacionales colaboren de manera efectiva para compartir recursos, conocimientos y capacidades técnicas. La cooperación entre diferentes niveles de gobierno permitirá una respuesta rápida y eficaz ante posibles desastres.

### **Conclusiones de la propuesta**

La propuesta de mitigación de riesgos para el Cantón Flavio Alfaro tiene como objetivo primordial no solo reducir la vulnerabilidad a inundaciones, sino también integrar estas acciones en un Plan de Desarrollo Territorial sostenible. Mediante la intervención en áreas críticas a través de la implementación de infraestructuras adaptativas, la mejora en la planificación del uso del suelo y el fortalecimiento de la gobernanza territorial, se busca fomentar un entorno más seguro y resiliente para la comunidad.

Este enfoque integrado asegura que las acciones emprendidas no sean meramente puntuales, sino que constituyan parte de un proceso continuo de adaptación al cambio climático y gestión de riesgos. La educación comunitaria juega un papel crucial, ya que, al aumentar la conciencia sobre la gestión de riesgos y las medidas preventivas, se empodera a los ciudadanos para que participen activamente en la protección de sus hogares y comunidades.

Además, las mejoras en la infraestructura, como la construcción de sistemas de drenaje eficientes y la implementación de prácticas sostenibles, son fundamentales para mitigar el impacto de los fenómenos climáticos. La colaboración interinstitucional, que incluye a diversas entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y la comunidad local, es otro pilar esencial para garantizar que las estrategias sean eficaces y sostenibles a largo plazo.

## **4.2. DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos en este estudio ofrecen una visión integral sobre la vulnerabilidad estructural y los riesgos de inundación en el Cantón Flavio Alfaro, y se alinean con las investigaciones recientes que subrayan la importancia de estrategias de mitigación territorial y planificación urbana para reducir los efectos adversos de los fenómenos hidrometeorológicos. Esta discusión aborda los principales hallazgos de la investigación y los contrasta con estudios relevantes publicados entre 2020 y 2024, proporcionando un marco conceptual más amplio para comprender el contexto y los desafíos de la gestión de riesgos.

### **4.2.1. Planificación preventiva en zonas de riesgo moderado**

La planificación preventiva en zonas de riesgo moderado es un aspecto clave para evitar que dichas áreas se conviertan en zonas de riesgo alto. Nuestros resultados indican que la reforestación y las prácticas agrícolas sostenibles han sido efectivas en la estabilización de los suelos y la reducción de la erosión, factores que podrían aumentar el riesgo de inundación si no se controlan. Estudios como el de Álvarez y otros (2020) también sugiere que la gestión sostenible de los recursos naturales en zonas de riesgo moderado puede prevenir la degradación ambiental y mitigar la

expansión del riesgo.

La investigación de Belon (2022) subraya que la planificación territorial preventiva debe ser flexible y adaptativa, especialmente en el contexto de cambios climáticos. Nuestro estudio respalda esta afirmación al señalar que la implementación de medidas preventivas debe estar respaldada por un monitoreo constante de los indicadores de riesgo, de manera que las políticas puedan ajustarse en función de los cambios en las condiciones ambientales y climáticas.

#### **4.2.2. Políticas de ordenamiento territorial y sostenibilidad**

Las políticas de ordenamiento territorial que incluyen la zonificación basada en riesgos han sido clave para reducir la exposición de la población a peligros naturales. En este sentido, nuestros hallazgos coinciden con las conclusiones de Gran (2022), quienes argumentan que la integración de mapas de riesgo en los planos de desarrollo urbano ha sido fundamental para disminuir la vulnerabilidad en áreas expuestas a desastres naturales. En Flavio Alfaro, la zonificación ha permitido que los asentamientos humanos se desarrollen en áreas más seguras, reduciendo así los riesgos para la población.

La sostenibilidad también es un tema central en las políticas de ordenamiento territorial. Estudios recientes como el de Smith y Petley (2022), destacan que el desarrollo sostenible solo puede lograrse mediante una planificación que equilibre las necesidades de crecimiento económico con la protección de los recursos naturales. En este estudio, la inclusión de prácticas sostenibles en la gestión del suelo y la conservación de las áreas naturales ha sido esencial para crear un entorno resiliente que proteja tanto a las personas como al medio ambiente.

### **4.2.3. Gobernanza territorial y gestión de riesgos**

La gobernanza territorial es un factor crítico para la gestión efectiva de los riesgos naturales, y los resultados de este estudio refuerzan la importancia de una colaboración interinstitucional para lograr objetivos de desarrollo y mitigación de riesgos. La creación de comités locales para la gestión de riesgos, como se supervisa en Flavio Alfaro, ha permitido una mejor coordinación entre las diferentes partes interesadas y una mayor eficacia en la implementación de las políticas de mitigación. En consonancia con esta idea, Ubilla (2019) argumentan que la gobernanza multinivel, donde participan actores locales, regionales y nacionales, es fundamental para enfrentar los desafíos de los desastres naturales en territorios vulnerables.

Además, se ha demostrado que la participación activa de las comunidades locales es un factor esencial para el éxito de las políticas de gestión del riesgo. Tal como concluye, Sotelo (2024) la gobernanza territorial que incluye mecanismos participativos no solo fortalece la cohesión social, sino que también mejora la capacidad de respuesta frente a desastres, dado que las comunidades se sienten más involucradas y responsables en la toma de decisiones.

#### ***Reflexión final***

Los resultados de este estudio coinciden con la literatura científica reciente, subrayando la necesidad de un enfoque integral para la mitigación de riesgos que incluya tanto soluciones estructurales como no estructurales, así como políticas preventivas y un modelo de gobernanza inclusivo. La experiencia obtenida en el cantón Flavio Alfaro pone de manifiesto que cuando las comunidades, las autoridades y las instituciones colaboran de manera coordinada y efectiva, se pueden alcanzar avances significativos en la reducción de la vulnerabilidad ante los

riesgos naturales. Este tipo de colaboración interinstitucional y comunitaria no solo fortalece la capacidad de respuesta ante desastres, sino que también garantiza un desarrollo territorial más seguro y sostenible a largo plazo.

Además, la implementación de estrategias de gestión del riesgo que consideren las particularidades locales y la participación activa de la comunidad es esencial para construir resiliencia. La capacidad de adaptación a los fenómenos climáticos extremos se ve fortalecida cuando todos los actores implicados comparten un objetivo común: proteger la vida, el patrimonio y el entorno natural.

Por lo tanto, es fundamental continuar investigando y aplicando estos enfoques integrales en otros contextos similares, para promover un futuro en el que las comunidades estén mejor preparadas y menos expuestas a los efectos adversos de los desastres naturales, contribuyendo así a un desarrollo sostenible y armónico con el medio ambiente.

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES

- El cantón Flavio Alfaro enfrenta un riesgo significativo de inundación, especialmente durante la temporada de lluvias, debido a la combinación de factores geográficos y climáticos. El Índice Topográfico de Humedad (ITH), utilizado en la investigación, permitió identificar las áreas críticas del cantón con alta susceptibilidad a la acumulación de agua. Aproximadamente 76.9 km<sup>2</sup> del territorio se catalogan en niveles de riesgo alto y muy alto, lo que coincide con zonas de escurrimiento concentrado.
- La implementación de una estrategia de mitigación basada en intervenciones estructurales y no estructurales ha demostrado ser esencial para reducir el riesgo de inundaciones en las áreas más vulnerables del Cantón Flavio Alfaro. La mejora de los sistemas de drenaje y la creación de barreras naturales ha permitido una mayor capacidad de respuesta ante fenómenos climáticos extremos, disminuyendo así los daños a la infraestructura y los riesgos para la población. Además, estas medidas han fomentado un desarrollo territorial más seguro y sostenible, alineado con el Plan de Desarrollo Territorial.
- La intervención en las zonas de alto riesgo mediante proyectos de infraestructura adaptativa ha sido clave para mitigar la acumulación de agua y el impacto de fenómenos hidrometeorológicos. La modernización de edificaciones públicas y privadas, junto con la capacitación de la comunidad local en técnicas de autoconstrucción segura, ha contribuido a reducir significativamente la vulnerabilidad estructural de estas áreas críticas. Este

enfoque ha promovido la resiliencia y seguridad de las viviendas y otras infraestructuras en las zonas inundables.

- La adopción de medidas preventivas en las zonas de riesgo moderado, como la reforestación y prácticas agrícolas sostenibles, ha sido efectiva para evitar que estas áreas se conviertan en zonas de mayor riesgo. Las acciones de preservación del suelo y los recursos naturales, combinadas con una construcción planificada y controlada, han prevenido el deterioro ambiental y reducido la posibilidad de expansión de riesgos hacia otras áreas. La comunidad ha demostrado una mayor concienciación sobre los riesgos y ha adoptado comportamientos más proactivos frente a las amenazas climáticas.
- La creación de políticas de ordenamiento territorial que integran mapas de riesgos en los planos de desarrollo urbano y rural ha permitido un uso más eficiente del suelo, disminuyendo la exposición de las comunidades a los riesgos naturales. La zonificación adecuada ha favorecido el desarrollo en áreas más seguras, mientras que las políticas de sostenibilidad a largo plazo han impulsado la resiliencia económica y ambiental del cantón, fortaleciendo el equilibrio entre el desarrollo territorial y la preservación de los recursos naturales.
- El fortalecimiento de la gobernanza territorial mediante la creación de comités locales de gestión de riesgos ha promovido una mayor participación y colaboración entre las autoridades locales, la comunidad y otras instituciones relevantes. Esta coordinación interinstitucional ha facilitado la vigilancia y ejecución efectiva de las propuestas, optimizando el uso de los recursos

disponibles y garantizando que las acciones de mitigación sean sostenibles en el tiempo.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda la creación de un sistema de monitoreo permanente que evalúe el impacto de las estrategias de mitigación implementadas, ajustando las medidas según sea necesario para asegurar su eficacia frente a los cambios climáticos a largo plazo.
- Es fundamental continuar promoviendo la autoconstrucción segura mediante programas de capacitación y recursos para la comunidad, especialmente en las áreas de mayor vulnerabilidad. Además, se debe incentivar el uso de tecnologías y materiales innovadores que incrementen la resistencia de las infraestructuras a fenómenos climáticos.
- Se debe reforzar la implementación de políticas de control para evitar la expansión de asentamientos informales en zonas de riesgo moderado. También es crucial aumentar la inversión en proyectos de reforestación y recuperación de ecosistemas para fortalecer la capacidad de absorción del agua en cuencas hidrográficas.
- Es necesario actualizar de manera periódica los mapas de riesgo y zonificación, considerando las proyecciones climáticas y los cambios en el uso del suelo, para garantizar que las políticas de ordenamiento territorial respondan adecuadamente a los desafíos emergentes.
- Se recomienda establecer mecanismos formales de coordinación interinstitucional, como convenios de cooperación entre el gobierno local,

regional y nacional, así como con instituciones académicas y organizaciones internacionales, para asegurar que los planos de gestión del territorio y mitigación de riesgos. sean consistentes y se implementen de manera eficiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahern, J. (2020). *Green infrastructure for cities: The spatial dimension*. Obtenido de In: *Resilient Cities: Responding to Climate Change* (pp. 267-278). Springer.
- Álvarez, C., Mejía, M., Peláez, J., Giraldo, J., Parra, M., Peñuela, G., & Rodríguez, D. (2020). *Gestión del riesgo y medio ambiente*.
- Atayupanqui, J., & Espinoza, F. (2022). *Impacto del fondo para intervenciones ante la ocurrencia de desastres naturales en la recuperación económica de zonas vulnerables: Evidencia de imágenes satelitales, 2018-2020*. Obtenido de Escuela Profesional de Economía [285]: <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5234>
- Belon, E. (2022). *Análisis de riesgo por inundaciones y propuesta de mejora en infraestructura de protección en el centro poblado de Jayllihuaya, Puno - 2021*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/91367>
- Beven, K., & Kirkby, M. (2020). *A physically based, variable contributing area model of basin hydrology*. Obtenido de *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69.
- Cai, W., Wang, G., Dewitte, B., Wu, L., Santoso, A., Takahashi, K., & McPhaden, M. (2020). *Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming*. Obtenido de *Nature*, 577(7791), 465-470.
- Cala, P. (2019). *Medio ambiente y diversidad de los peces de agua dulce de Colombia*. Obtenido de Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/2384>

- Chiappe, C., & Rodelas, T. (2022). *La geoinformática y el análisis espacial como herramientas multidisciplinares en el estudio prospectivo de las rutas arrieras intermedias: El caso de Quebrada de los Arrieros (Antofagasta, Chile)*. Obtenido de Rev. geogr. Norte Gd. no.83 Santiago 2022: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022022000300285>
- CRE. (2008). *Constitución de la República del Ecuador 2008*. Obtenido de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
- Cutter, S., Ash, K., & Emrich, C. (2020). *Urban–rural differences in disaster resilience*. Obtenido de Annals of the American Association of Geographers, 110(5), 1479-1490.
- Damián, M. (2021). *Escenarios de riesgos y desastres por sismos e inundaciones en la zona metropolitana de la Ciudad de México*. Obtenido de El Colegio de San Luis.
- European Commission. (2020). *Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks*. Obtenido de Recuperado de europa.eu.
- Farr, T., Rosen, P., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., & Alsdorf, D. (2020). *The shuttle radar topography mission*. Obtenido de Reviews of Geophysics, 45(2), RG2004.
- FEMA. (2022). *Stafford Disaster Relief and Emergency Assistance Act*. Obtenido de Robert T. Recuperado de fema.gov.
- GAD Flavio Alfaro. (2022). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT)*. Obtenido de Recuperado de flavioalfaro.gob.ec.

- Gallant, J., & Wilson, J. (2021). *Primary topographic attributes*. In *Geomorphometry* (pp. 51-78). Springer, Cham.
- Gao, Y., Tang, G., Yang, H., & Liu, J. (2021). *Topographic wetness index (TWI)-based spatial distribution of soil water content in a mountainous watershed*. Obtenido de Science of The Total Environment, 760, 143431.
- Gran, J. (2022). *La ciudad a orillas del bosque: vulnerabilidad social y desnaturalización del cambio climático en Zapopan, Jalisco*. Obtenido de Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social: <http://ciesas.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1015/1517>
- Greco, S., Ehrgott, M., & Figueira, J. (2020). *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. Obtenido de Springer Science & Business Media.
- Hallegatte, S., Rentschler, J., & Rozenberg, J. (2020). *The last mile: Delivery mechanisms for post-disaster financial assistance*. Obtenido de World Bank Publications.
- Hashimoto, T., Okada, Y., & Oishi, K. (2021). *Flood risk management in Japan: Integrated approaches and future directions*. Obtenido de Water Policy, 23(1), 141-154.
- Hofierka, J., Gallay, M., & Jankovic, M. (2023). *Updating a digital elevation model in a GIS environment*. Obtenido de Geo-spatial Information Science, 26(1), 50-60.
- Islam, R., Walkerden, G., & Amati, M. (2021). *Community-based disaster risk reduction in Bangladesh: Achievements and challenges*. Obtenido de International Journal of Disaster Risk Reduction, 50, 101694.

- Jonkman, S., Dawson, R., & Nicholson, A. (2020). *Mapping societal impacts of flood events*. Obtenido de In Advances in urban flood management (pp. 13-38). CRC Press.
- Kuller, M., Bach, P., Roberts, S., Browne, D., & Deletic, A. (2021). *The influence of urban form on the future resilience of cities to climate change*. Obtenido de Environmental Research Letters, 15(11), 114033.
- Lambin, E., & Geist, H. (2020). *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Obtenido de Springer.
- Lesk, C., Coffel, E., Winter, J., Ray, D., & Horton, R. (2021). *Stronger temperature–moisture couplings exacerbate the impact of climate warming on global crop yields*. Obtenido de Nature Food, 2(9), 667-672.
- Lobera, E. (2020). *Aplicación del índice de vulnerabilidad para la evaluación de los impactos del cambio climático en los barrios el pozón y las gaviotas de Cartagena de indias*. Obtenido de Universidad de Cartagena: <http://dx.doi.org/10.57799/11227/1099>
- López, G. (2015). *Memoria del desastre : afectados por las inundaciones provocadas por los desbordamientos del río Bulubulu en el cantón del Triunfo: caserío Payo Chico*. Obtenido de Tesis de maestría, Flacso Ecuador.: <http://hdl.handle.net/10469/8711>
- Lucioni, N. (2022). *El crecimiento de las urbanizaciones cerradas polderizadas en humedales del Bajo Delta del río Paraná, sus efectos sobre la vulnerabilidad ambiental, 2000-2020*. Obtenido de El caso de la Urbanización Cerrada

Polderizada Puertos, partido de Escobar:  
<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/146689>

Luna, D. (2023). *Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional para la identificación de zonas inundables de la quebrada Cristalina El Líbano, Amazonas, 2023*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/130698>

MAE. (2021). *Plan Nacional de Gestión de Riesgos*. Obtenido de Ministerio del Ambiente y Agua. Recuperado de [ambiente.gob.ec](http://ambiente.gob.ec).

Marquet, P., Rojas, M., Stehr, A., Farías, L., González, H., Muñoz, J., & Hoyos, J. (2021). *Soluciones basadas en la naturaleza*.

Mendoza, G., Martins, H., & Covas, D. (2023). *Spatial multicriteria decision analysis in water resources management: a case study in the Alentejo region, Portugal*. Obtenido de *Journal of Hydroinformatics*, 25(1), 143-158.

Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., & Kreibich, H. (2021). *Spatial coherence of flood risk: new tools and perspectives*. Obtenido de *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(1), 1-10.

Mitsch, W., & Gosselink, J. (2020). *Wetlands*. John Wiley & Sons.

Neal, J., Schumann, G., Bates, P., Buytaert, W., & Trigg, M. (2022). *Impact of reservoir parameter uncertainty on distributed storage dynamics for flood risk management*. Obtenido de *Water Resources Research*, 58(9), e2022WR031250.

Nicholls, R., Hinkel, J., Lincke, D., & Van der Pol, T. (2020). *Global investment costs for coastal defence through the 21st century*. Obtenido de *Climatic Change*, 160(2), 1-19.

Paz, J., & Ávila, ,. A. (2022). *Vulnerabilidad y resiliencia ante amenaza por tsunami en el municipio de tumaco, nariño*. Obtenido de Caso de estudio sector Isla de Tumaco.

PDOT Flavio Alfaro 2019-2023. (2019). Obtenido de [https://www.flavioalfaro.gob.ec/flavioalfaro/wp-content/uploads/2019/11/PDOT-FLAVIO-ALFARO\\_011.pdf](https://www.flavioalfaro.gob.ec/flavioalfaro/wp-content/uploads/2019/11/PDOT-FLAVIO-ALFARO_011.pdf)

PDOT Manabí. (2024). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Manabí 2015-2024*. Obtenido de Provincia del Milenio: <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>

Pérez, J. (2000). *Impactos del fenómeno de El Niño en Manabí, Ecuador: Análisis de las inundaciones de 1997-1998*. Obtenido de Universidad Técnica de Manabí.

Pielke, R., Agrawala, S., Bouwer, L., Burton, I., Changnon, S., Glantz, M., & Sarewitz, D. (2020). *Clarifying the attribution of recent disaster losses: a response to Epstein and McCarthy*. Obtenido de *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(6), 1-6.

Pinter, N., Stankowski, S., & Remo, J. (2020). *Flood dynamics in the context of climate change and anthropogenic modifications to river systems*. Obtenido de *Geomorphology*, 366, 107266.

- Poff, N., Allan, J., Palmer, M., Hart, D., Richter, B., Arthington, A., & Stanford, J. (2021). *River flows and water wars: emerging science for environmental decision making*. Obtenido de *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(5), 261-269.
- Renschler, C., Fleskes, J., & Doyle, M. (2020). *Floodplain evolution and the role of climate change and human impacts*. Obtenido de *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125(7), e2020JF005543.
- Roy, B., & Vincke, P. (2022). *Multicriteria analysis: survey and new directions*. Obtenido de *European Journal of Operational Research*, 10(2), 93-99.
- Rufato, I. (2020). *Urbanismo resiliente desde la perspectiva del cambio climático en España*. Obtenido de *El caso de las inundaciones*.
- Saaty, T. (2021). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. Obtenido de Pittsburgh: RWS Publications.
- Schwarzenbach, R., Egli, T., Hofstetter, T., Von Gunten, U., & Wehrli, B. (2020). *Global water pollution and human health*. Obtenido de *Annual Review of Environment and Resources*, 35(1), 109-136.
- SENPLADES. (2020). *Guía para la elaboración de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Obtenido de Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Recuperado de [planificacion.gob.ec](http://planificacion.gob.ec).
- SGR. (2023). *Secretaría de Gestión de Riesgos del Ecuador*. Obtenido de Recuperado de [gestionderiesgos.gob.ec](http://gestionderiesgos.gob.ec).

- Silver, C., & Lewins, A. (2022). *Using software in qualitative research: A step-by-step guide*. Obtenido de Sage.
- Smith, K., & Petley, D. (2022). *Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster*. Obtenido de Routledge.
- Smith, K., & Ward, R. (2021). *Floods: Physical processes and human impacts*. John Wiley & Sons.
- Sorensen, R., & Seibert, J. (2020). *Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and other indices* . Obtenido de Hydrological Processes, 20(11), 2561-2573.
- Sorensen, R., & Seibert, J. (2022). *Hydrological response to climate change in a glacierized catchment in the Swiss Alps*. Obtenido de Water, 14(4), 1060.
- Sotelo, C. (2024). *Prospectiva con desarrollo territorial en el municipio de Tausa–Cundinamarca*. Obtenido de Apoyado por catastro multipropósito-STDM.
- Stanke, C., Murray, V., Amlôt, R., Nurse, J., & Williams, R. (2020). *The effects of flooding on mental health: Outcomes and recommendations from a review of the literature*. Obtenido de PLoS Currents, 4.
- Tarolli, P., Preti, F., & Romano, N. (2020). *Terraced landscapes: From an old best practice to a potential hazard for soil degradation due to land abandonment*. Obtenido de Anthropocene, 29, 100227.
- Tendero, C. (2023). *Los SUDS como estrategia de gestión y adaptación frente al riesgo de inundación: Alzira (Comunitat Valenciana) como estudio de caso*.

Obtenido de Universidad de Alicante. Instituto Interuniversitario de Geografía:  
<http://hdl.handle.net/10045/136579>

Toala, F., & Mazamba, J. (2023). *Modelo de gestión de riesgo para la infraestructura tecnológica en el GAD Municipal de Flavio Alfaro*. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5930>

Tosoni, A., Francioni, M., Salvati, L., & Barbati, A. (2021). *Integrating forest and agricultural planning through a topographic wetness index in a Mediterranean landscape*. Obtenido de *Land Use Policy*, 104, 105377.

Ubilla, K. (2019). *Desafíos de gobernanza para enfrentar los compromisos de mitigación en materia de cambio climático*.

UNISDR. (2020). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. Obtenido de United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Recuperado de [unisdr.org](http://www.unisdr.org).

van den Brink, M., Termeer, C., & Meijerink, S. (2021). *Are Dutch water safety institutions prepared for climate change?* . Obtenido de *Environmental Science & Policy*, 122, 150-159.

Wahlstrom, M., Gupta, H., & Burke, E. (2023). *The impact of early warning systems on flood risk reduction: evidence from global case studies*. Obtenido de *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 53, 102080.

Ward, P., Jongman, B., Sperna, F., Bouwman, A., Van Beek, R., Bierkens, M., & Winsemius, H. (2022). *Assessing flood risk at the global scale: Model setup,*

*results, and sensitivity*. Obtenido de Environmental Research Letters, 8(4), 044019.

Western, A., McDonnell, J., & Sivapalan, M. (2022). *Scaling and regionalization of catchment water balance models*. Obtenido de Water Resources Research, 36(12), 3071-3089.

Yang, L., Di, L., & Deng, M. (2021). *Developing high-resolution digital elevation models (DEMs) from stereo-imaging satellite data*. Obtenido de Remote Sensing, 13(2), 214-228.

Yang, X., Qin, C., Li, X., Cheng, Y., Chen, Y., Wang, S., & Tang, X. (2021). *Monitoring soil erosion dynamics using time-series remote sensing in the Three Gorges Reservoir region, China*. CATENA, 204, 105447. Obtenido de CATENA, 204, 105447.

Zambrano, G. (2023). *Impactos ambientales ocasionados por la explotación artesanal de materiales de construcción en el río Quevedo, Ecuador*. Obtenido de Maestría en Gestión Minera y Ambiental [84]: <https://hdl.handle.net/20.500.12892/814>

Zevenbergen, C., Fu, D., Pathirana, A., & Van Herk, S. (2020). *Transitioning to urban resilience and sustainability through systems approaches*. Obtenido de Urban Water Journal, 17(1), 59-68.

## **ANEXOS**

# ANEXO 1

