

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

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD PARA EL DIAGNÓSTICO
DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA SUBCUENCA RÍO
CARRIZAL**

AUTORES

**MARTHA YAMILETH CHANG ZAMBRANO
ERICK ALEXANDER NAVARRETE ORMAZA**

TUTOR:

ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL, M Sc.

CALCETA, OCTUBRE DE 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

MARTHA YAMILETH CHANG ZAMBRANO, con cédula de ciudadanía **1315702777** y **ERICK ALEXANDER NAVARRETE ORMAZA** con cédula de ciudadanía **1314762574**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA SUBCUENCA RÍO CARRIZAL** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autores sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.

MARTHA YAMILETH CHANG ZAMBRANO
CC: 1315702777

ERICK ALEXANDER NAVARRETE ORMAZA
CC: 1314762574

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

MARTHA YAMILETH CHANG ZAMBRANO, con cédula de ciudadanía **1315702777** y **ERICK ALEXANDER NAVARRETE ORMAZA**, con cédula de ciudadanía **1314762574**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA SUBCUENCA RÍO CARRIZAL**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

MARTHA YAMILETH CHANG ZAMBRANO
CC: 1315702777

ERICK ALEXANDER NAVARRETE ORMAZA
CC: 1314762574

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL, certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA SUBCUENCA RÍO CARRIZAL**, que ha sido desarrollado por **MARTHA YAMILETH CHANG ZAMBRANO** y **ERICK ALEXANDER NAVARRETE ORMAZA**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL, M. Sc.
TUTOR
CC: 1311651390

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA SUBCUENCA RÍO CARRIZAL**, que ha sido desarrollado por **MARTHA YAMILETH CHANG ZAMBRANO** y **ERICK ALEXANDER NAVARRETE ORMAZA**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Fabricio Enrique Alcívar Intriago M. Sc.
CC: 1308632262
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Marcos Javier Vera Vera M. Sc.
CC: 1313674481
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Ever Darío Morales Avendaño PhD.
CC: 0959966342
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A Dios Todopoderoso por ser mi guía en todo momento porque sin él no hubiera sido posible alcanzar este objetivo. A mis padres, hermana, abuelas, quienes han sido un pilar fundamental en toda mi vida, ellos han sido mi principal fuente de inspiración, quienes siempre han estado ahí apoyándome, que confiaron en mí desde el primer momento, dándome palabras de aliento para poder cumplir toda esta meta propuesta.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López por brindarme la oportunidad de crecer como profesional a través de una educación de calidad formándome en valores y conocimientos para la vida profesionales día a día.

A mi tutor, el Ing. Joffre Andrade Candell, por ser nuestro principal guía, por brindarme su valioso tiempo para seguir adelante con todo este proceso, su ayuda fue indispensable en todo momento, sus conocimientos para poder culminar con éxito nuestro trabajo de titulación.

A los miembros del tribunal, por todas las observaciones pertinentes que me ayudaron al fortalecimiento, desarrollo y culminación del trabajo de integración curricular.

Por último, agradecer a mi familia y amigos que fueron parte importante de este camino académico.

Martha Yamileth Chang Zambrano

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis padres María Esther Ormaza y Mariano Navarrete que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

A mi Hermano José Manuel Cabrera Ormaza por cada palabra de ánimo en el transcurso de mi carrera, fueron de ayuda para lograr esta meta.

A Claudia Verónica Ormaza y Marlon Cabrera Posligua por ser ejemplo de inspiración y por todo su amor y paciencia.

A Jessica Viviana Muñoz Bravo que estuvo a mi lado en este proceso académico, dándome mucho amor y apoyo.

A mi Familia y mis verdaderos amigos en mi etapa universitaria por su lealtad y cariño.

A mi mejor amigo Freddy Nicolás Zambrano Lucas por ser parte de mi vida, con su grandiosa y sincera amistad.

A Ana Julia Mero, Gema Montesdeoca, Vianca Intriago, Yamileth Sacón quienes me brindaron su amistad en los momentos buenos y malos compartidos durante la carrera.

A mi compañera de tesis Martha Chang por siempre estar presente, aunque fue difícil se logró el objetivo y millón gracias por su comprensión.

Erick Alexander Navarrete Ormaza

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, por regalarme el don de la vida por sus enormes bendiciones y por ser la luz en este largo camino.

A mis padres, Martha Cecilia Zambrano Rivera y Roberto Carlos Chang Basurto, que siempre me han brindado su apoyo incondicional, por ser mi guía, mi motor, mi fortaleza necesaria en todo momento para seguir adelante que confiaron en mí, que me enseñaron a luchar a ser más fuerte ante las adversidades que se me presentaron a lo largo del camino estuvieron siempre hay dándome ánimo para lograr mi meta.

A mi hermana Katty Anahí Chang Zambrano, por sus palabras de motivación y consejos, por cada palabra de ánimo que, en el transcurso de mi carrera, fueron de gran ayuda para lograr mis metas.

A mi abuelita Nelly Eulalia Rivera Sánchez, por impulsarme siempre a perseguir mis metas y enseñarme a luchar siempre frente a las adversidades.

A mi abuelito Vicente Alfredo Chang Acosta, que desde el cielo ha sido mi inspiración para lograr mi meta, sé lo orgulloso que debe sentirse.

A Fabián Fabricio Peñarrieta Macías, quién mediante su paciencia, dedicación y disponibilidad ha sido partícipe de este proceso, por instruirme y brindarme sus conocimientos útiles para toda la vida.

A mi compañero de tesis Erick Ormazza por todos los momentos buenos y malos que pasamos en la carrera y a lo largo de nuestro trabajo se logró el objetivo.

A todas las personas que me apoyaron de una u otra manera durante el desarrollo de este trabajo, mi dedicatoria por haber confiado y creído en mí, a pesar de tantas adversidades en el camino pude lograr mi meta tan esperada.

Martha Yamileth Chang Zambrano

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres: Mariano Navarrete Basurto y María Ormaza Vera, que con mucho amor siempre estuvieron junto a mí dándome ánimos para lograr esta meta importante para mí. A José Manuel Cabrera Ormaza y Marlon Cabrera Ormaza por su cariño incondicional y su confianza en este proceso de investigación.

A Fabián Fabricio Peñarrieta Macías quien mediante su paciencia y dedicación ha sido partícipe de este proceso enriquecedor en el cual mediante, sus conocimientos transmitidos he logrado culminar esta anhelada etapa de mucha dedicación.

A mi Tutor Joffre Alberto Andrade Candell por ser nuestro apoyo y guía para poder lograr esta investigación y por ser un gran catedrático en etapa universitaria.

Erick Alexander Navarrete Ormaza

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
CONTENIDO GENERAL.....	x
CONTENIDO DE TABLAS	xiii
CONTENIDO DE FIGURAS	xiii
CONTENIDO DE FÓRMULAS	xiii
RESUMEN	xiv
PALABRAS CLAVE.....	xiv
ABSTRACT	xv
KEYWORDS	xv
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4. IDEA A DEFENDER	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS	6
2.1.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN ECUADOR	6
2.1.2. SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL.....	7
2.2. TOPOGRAFÍA DE TERRENOS	8
2.2.1. OBJETIVO E IMPORTANCIA DE LA TOPOGRAFÍA DE TERRENOS	9
2.2.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICOS	9
2.3. AMENAZAS	10
2.3.1. DETERMINACIÓN DE AMENAZA	10
2.3.3. DESASTRES NATURALES.....	11
2.4. VULNERABILIDAD	13
2.4.1. NIVELES DE VULNERABILIDAD	13

2.4.2. VULNERABILIDAD A DESASTRES NATURALES	14
2.5. RIESGOS.....	14
2.5.1. RIESGOS DE INUNDACIÓN	15
2.5.2. GESTIÓN DE RIESGOS.....	16
2.5.3. MODELOS DE GESTIÓN DE RIESGOS POR AMENAZAS DE DESASTRES NATURALES	17
2.5.4. LA GESTIÓN DE RIESGOS EN EL MARCO DE LA ORDENACIÓN TERRITORIAL.....	18
2.6. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO EN CUENCAS	19
2.6.1. MODELACIÓN DE AMENAZA DE INUNDACIÓN.....	19
2.6.2. EVALUACIÓN DE AVENIDAS TORRENCIALES.....	20
2.7. MAPAS DE ZONIFICACIÓN	22
2.7.1. MAPAS DE RÉGIMEN DE INUNDABILIDAD.....	23
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	25
3.1. UBICACIÓN	25
3.2. DURACIÓN	26
3.3. MÉTODOS.....	26
3.3.1. MÉTODO EMPÍRICO.....	26
3.3.2. MÉTODO INDUCTIVO-DEDUCTIVO.....	26
3.3.3. MÉTODO DE MODELACIÓN	27
3.4. TÉCNICAS	27
3.4.1. OBSERVACIÓN INDIRECTA.....	27
3.4.2. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	27
3.4.3. ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD	28
3.5. VARIABLES	28
3.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	28
3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	28
3.5.3. OPERATIVIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO.....	28
3.6. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.6.1. APLICACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL.....	30
3.6.2. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A INUNDACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	32
3.6.3. ELABORACIÓN DE UN MAPA DETALLADO DEL RÉGIMEN DE INUNDABILIDAD DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL	33
3.7. TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
4.1. APLICACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL, PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO	34

4.2. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A INUNDACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO, PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS A POSIBLES INUNDACIONES.....	49
4.3. ELABORACIÓN DE UN MAPA DETALLADO DEL RÉGIMEN DE INUNDACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL, PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO Y PROPORCIONAR INFORMACIÓN SOBRE EL POTENCIAL DE INUNDACIONES.....	53
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1. CONCLUSIONES.....	58
5.2. RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	75

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de mapas de zonificación de inundaciones.....	23
Tabla 3.1 Condiciones meteorológicas del Cantón Bolívar.....	25
Tabla 3.2 Operativización de las variables de estudio.....	28
Tabla 3.3 Nivel de amenaza de inundaciones de acuerdo al Índice Topográfico de Humedad.....	32
Tabla 3.4 Reclasificación de acuerdo al rango de Pendientes.....	33
Tabla 4.1 Categorías del Algoritmo de Jenks para determinación del régimen de Inundabilidad.....	49

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 2.1 Pasos de modelo de gestión de riesgos.....	18
Figura 2.2 Clasificación del índice topográfico de humedad de magnitud de concentración de escurrimiento.....	22
Figura 3.1 Ubicación Geográfica de la Subcuenca del río Carrizal.....	25
Figura 4.1 Cartografía de Elevación Digital (MED), subcuenta del río Carrizal.....	51
Figura 4.2. Cartografía de la red de drenaje de la subcuenca del río Carrizal.	52
Figura 4.3 Cartografía de la dirección de drenaje de la subcuenca del río Carrizal.	53
Figura 4.4 Histograma de dirección de drenajes	54
Figura 4.5 Cartografía de acumulación de flujo de la subcuenca del río Carrizal.	56
Figura 4.6 Cartografía de las pendientes presentes en la subcuenca del río Carrizal.	58
Figura 4.7 Histograma de pendientes.	60
Figura 4.8 Cartografía del Índice Topográfico de Humedad de la subcuenca del río Carrizal.	61
Figura 4.9 Histograma del Índice Topográfico de Humedad (ITH)	64
Figura 4.10. Recclasificación del Índice Topográfico de Humedad a Régimen de Inundabilidad de la subcuenca del río Carrizal	67
Figura 4.11 Zonificación Geomorfológica de áreas susceptibles a inundación en la subcuenca del río Carrizal.	70
Figura 4.12 Zonificación Geomorfológica de barrios de la parroquia urbana Calceta susceptibles a inundación.	71
Figura 4.13 Representación Gráfica del índice de Inundabilidad de los barrios de Calceta	72

CONTENIDO DE FÓRMULAS

Ecuación 3.1 Escurrimiento Superficial.....	30
Ecuación 3.2 Cálculo de la Pendiente en radianes.....	31
Ecuación 3.3 Índice Topográfico de Humedad.....	31

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la subcuenca del río Carrizal de la ciudad de Calceta, provincia de Manabí, recopilando cartografía de elevación, abarcando desde una elevación máxima de 544 metros hasta una mínima de 13 metros. La red de drenaje de la subcuenca exhibe una densidad notable de cursos de agua y canales de drenaje en la parte noroeste y este. Se destacan algunos ángulos, como 2,1° (17,5% en 10.900 km²) y 8° (12% en 7.683 km²), que presentan el mayor porcentaje de direcciones de drenaje en relación con la topografía del terreno. Las pendientes del terreno también fueron consideradas, y se encontró que un 30% (18.754 km²) del área de la subcuenca presenta pendientes de 15,2°. La topografía se caracteriza por ser moderada, combinando terrenos relativamente planos con algunas suaves inclinaciones. En términos de Índice Topográfico de Humedad (ITH), se obtuvieron valores de 7,3, que abarcan la mayor extensión del área de estudio, ocupando un 43,62% (27.216 km²) del territorio. Seguido de los índices de humedad 5,6, que cubren el 21% (13.702 km²), permitiendo establecer que en la región norte y noroeste de la subcuenca del río Carrizal se encuentran las zonas de "Alto" y "Muy alto Régimen de Inundabilidad", mientras que las áreas noreste, este y suroeste presentan un "Bajo" y "Muy Bajo Régimen de Inundabilidad", demostrando que el índice topográfico de humedad incidió en la categorización del riesgo de inundación del área de estudio, por lo cual se acepta la idea a defender. Se elaboró un mapa de inundación que clasifica los 29 barrios que conforman las parroquias urbanas y sus áreas circundantes de acuerdo a su nivel de riesgo de inundación.

PALABRAS CLAVE

Inundaciones, gestión, riesgo, topografía, vulnerabilidad.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Carrizal river sub-basin in Calceta city, Manabí province, compiling elevation cartography, ranging from a maximum elevation of 544 meters to a minimum of 13 meters. The drainage network of the sub-basin exhibits a remarkable density of watercourses and drainage channels in the northwestern and eastern part. Some angles stand out, such as 2.1° (17.5% in 10,900 km²) and 8° (12% in 7,683 km²), which present the highest percentage of drainage directions in relation to the terrain topography. Terrain slopes were also considered, and it was found that 30% (18,754 km²) of the sub-basin area presents slopes of 15.2° . The topography is characterized by being moderate, combining relatively flat terrain with some gentle slopes. In terms of the Topographic Humidity Index (ITH), values of 7.3 were obtained, covering the greatest extension of the study area, occupying 43.62% (27,216 km²) of the territory. Followed by the humidity indexes 5.6, which cover 21% (13,702 km²), making it possible to establish that in the northern and northwestern region of the Carrizal river sub-basin there are areas of "High" and "Very High Flooding Regime", while the northeastern, eastern and southwestern areas present a "Low" and "Very Low Flooding Regime", demonstrating that the topographic humidity index influenced the categorization of the flood risk of the study area, so the following is accepted.

KEYWORDS

Floods, Management, Risk, Topography, Vulnerability.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las inundaciones a nivel mundial son consideradas como uno de los desastres más devastadores (Farías et al., 2020) El desbordamiento de ríos de forma inesperada a causa de fuertes precipitaciones y por el aumento de las líneas piezométricas de embalses ocasionan grandes pérdidas humanas e impactos socioeconómicos negativos, afectando especialmente a los países subdesarrollados (Soria et al., 2015).

La Oficina de Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios [OCHA] (2020) afirma que América Latina y el Caribe es la segunda región más propensa a los desastres naturales en el mundo; ya que entre los años 2000 al 2019 se ha visto 152 millones de personas afectadas a causa de 1,205 desastres. De acuerdo con datos proporcionados por la Organización Meteorológica Mundial (2021) en los últimos años las inundaciones han causado el 84% de pérdidas de vida humanas y un 64% de pérdidas económicas por desastres naturales.

Ecuador es un país mega-vulnerable ya que se encuentra amenazado por diversos desastres naturales; Vera (2015) afirma que el 55% de las amenazas son de origen natural, siendo los más recurrentes los deslizamientos e inundaciones dadas presencia de fenómenos de “La Niña” y “El Niño”; esto debido a la posición geográfica y por la situación geodinámica que posee el país (Aguilar y Echeverría, 2018). Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) entre los años de 1960 y 2006, Ecuador registró un aumento en la temperatura promedio anual, en la intensidad y frecuencia de eventos como inundaciones y sequías (Ministerio de Ambiente de Ecuador [MAE], 2012).

Zambrano (2023) indicó que entre 2017 y 2020 en el Ecuador ocurrieron un total 1,461 inundaciones. Para el año 2022 se registraron en los ríos tres colapsos estructurales, 37 inundaciones y dos socavamientos; por su parte en Guayas hubo un total de 16 colapsos estructurales, 6 deslizamientos, 27 inundaciones, 8 socavamientos y un vendaval, dejando un sinnúmero de damnificados y

pérdidas económicas (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos [SNGR], 2023).

La región Costa es más vulnerable a sufrir desbordamientos, debido a que existen planicies adyacentes a los ríos lo que provoca inundaciones de manera frecuente (Lucas, 2017). Otra de las causas para que se ocasionen los desbordamientos es el almacenamiento de sedimentos y la obstrucción de los cauces, lo que hace que esta región se vuelva vulnerable, ya que mayor parte de su población habita a orillas de los ríos o en la parte baja de los valles costeros, mismos que provocan inundaciones en temporadas de fuertes lluvias o en tiempos de crecidas (Aguilar y Echeverría, 2018).

Dentro de la provincia de Manabí, se localiza el cantón Bolívar que presenta una topografía plana en la parte baja por los valles, con una altitud de 21 msnm en la parte baja y 400 msnm en la parte alta, con precipitaciones anuales de 903 mm, temperatura promedio anual de 25.7 °C y cuenta con la presencia del río Carrizal (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Bolívar, 2022), constituyendo así una de las áreas más susceptibles a inundaciones afectando principalmente a la población que viven cerca de las orillas del río y perjudicando al sector económico, especialmente a la agricultura.

Para los años de 1997-1998 la ciudad de Calceta fue afectada por los efectos del fenómeno del Niño, inundándose la mayor parte del lugar debido a las fuertes precipitaciones, provocando pérdidas materiales y económicas a la población. En el año 2012 esta ciudad se vio nuevamente afectada por el desbordamiento de los ríos Mosca y Carrizal, que afectó a un total de 416 familias, las cuales tuvieron que dejar sus casas y buscar refugios en otros lugares. Se considera que la inundación del año 2012 fue más grande que la ciudad soportó, incluso superando la de 1998, ya que se vieron afectados diversos sectores como la Avenida San Lorenzo, ciudadela Inés Moreno, El Corozo, Las Delicias, Santa Marta y otros sectores que no padecían de esta problemática desde hace 14 años, esto ocasionó graves pérdidas económicas, así como también el deterioro de hogares, negocios, cultivos y fincas (El Diario, 2012).

Con base a las manifestaciones anteriores, el cantón Bolívar y las poblaciones adyacentes a subcuencas del río Carrizal son vulnerables a inundaciones en épocas invernales; no obstante, en la actualidad no existen documentos informativos ni cartografías de zonificación que representen aquellas áreas susceptibles a riesgos de inundación. Por lo que, en el presente trabajo se pretende realizar la elaboración de un mapa de zonificación que permitirá describir el flujo y concentración del agua de escorrentía con base a la planificación territorial del cantón Bolívar. Con todo lo anterior descrito se presenta la siguiente interrogante de investigación: ¿Cómo incide la topografía del terreno en la amenaza por la inundación en la subcuenca del río Carrizal?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Desde un enfoque ambiental, la utilización del índice topográfico de humedad (ITH) ayuda a la toma de decisión en un territorio para minimizar los riesgos de desastres naturales. Arteaga et al. (2020) afirma que este índice es una herramienta que permite analizar la respuesta hídrica de una cuenca hidrográfica y para gestionar sus recursos frente a las amenazas de las alteraciones en el uso del recurso suelo y el cambio climático.

En cuanto al factor socioeconómico, las inundaciones ocasionan grandes daños a la población, también se ven afectadas viviendas, infraestructuras y servicios públicos, tales como el sector energético, telecomunicaciones, sector agropecuario, industrial y comercial (Arteaga et al., 2020). El impacto socioeconómico que tienen las inundaciones está relacionado con la planificación territorial y el entendimiento que poseen los habitantes de un lugar sobre los desastres existentes (Cárdenas, 2019). El índice topográfico de humedad sirve como alternativa de mitigación en el sector agro-productivo, reducir pérdidas humanas y de infraestructuras (Olín, 2017).

La investigación se basa en el artículo 389 de la Constitución de la República del Ecuador, que establece que el estado es responsable de proteger a las personas, grupos y la naturaleza contra los efectos perjudiciales de los desastres naturales o antrópicos, mediante la , prevención de riesgos, la reducción de desastres y la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales,

económicas y ambientales, con el fin de reducir la vulnerabilidad (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Por otra parte, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, ofrece una serie de lineamientos y de acciones concretas para protegerse del riesgo existente y para aumentar la resiliencia; tal como lo especifica la prioridad 3, literal g, se debe promover la incorporación de evaluación, representación cartográfica y la gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión del desarrollo rural de entre otras cosas, las montañas, los Ríos, las llanuras costeras inundables y todas las zonas que sean propensas a inundaciones y sequías, incluso determinando las zonas que son segura para los asentamientos humanos y preservando al mismo tiempo las funciones de los ecosistemas que contribuyen a reducir riesgos (Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2015).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la incidencia topográfica del terreno en la amenaza por inundación en la subcuenca del río Carrizal para la generación de un mapa del régimen de inundabilidad en la zona de estudio.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar el índice topográfico de humedad en la subcuenca del río Carrizal, para la estimación de la distribución espacial de la humedad del suelo en la zona de estudio
- Determinar el nivel de riesgo a inundación en la zona de estudio, para la identificación de las áreas que se encuentran expuestas a posibles inundaciones.
- Elaborar un mapa detallado del régimen de inundación de la subcuenca del río Carrizal, para la determinación de áreas de riesgo y proporcionar información precisa sobre el potencial de inundaciones.

1.4. IDEA A DEFENDER

El Índice Topográfico de Humedad incide en la categorización de la inundación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Las cuencas hidrográficas se presentan como elementos naturales importantes que facilitan la recolección de los recursos hídricos de agua dulce y se consideran un elemento esencial dentro del ciclo de la vida, para Acosta et al. (2016), estas se definen “como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago o mar” (p.19).

Generalmente los límites de las cuencas hidrográficas se determinan de manera natural, correspondiendo a las partes más altas del territorio que rodea un río. Una cuenca no solo cubre una superficie a lo largo y ancho, sino también una profundidad, que abarca desde la parte superior de la vegetación hasta los estratos geológicos inferiores (León y Villacis, 2020, p.84). A través del tiempo “las cuencas hidrográficas y los cuerpos de agua se someten a reformas como resultado de los cambios en el uso y cobertura de la tierra, los sistemas hidrográficos están generalmente en una condición que se aproxima a un estado de equilibrio” (Braz et al., 2020, p.70).

El conocimiento sobre las cuencas hidrográficas es un prefacio esencial para su uso biológico, físico, económico y social, De La Cruz et al. (2022), expresa que el conocimiento de las características de las cuencas "permite determinar su comportamiento hidrológico frente a situaciones climatológicas, así como conocer los caudales de diseño, el escurrimiento máximo, la dirección de los Ríos y prever cómo esto puede afectar a los habitantes de su influencia.” (p.71).

2.1.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN ECUADOR

La variabilidad de cuencas hidrográficas en Ecuador es vasta, según Vásconez et al. (2019) “se divide en ríos que fluyen hacia el Río Amazonas (al este de los Andes) y ríos que fluyen hacia el océano Pacífico (al oeste de los Andes). Aunque la cuenca del Pacífico alberga alrededor del 88% de la población del país, solo alberga el 11,5% de su potencial hídrico”.

Las cuencas hidrográficas en el territorio ecuatoriano, se las reconoce como un recurso de gran importancia para la distribución equitativa del recurso agua, estas delimitan las regiones y se visualizan como la base para la generación de riquezas ya sea para el sector agrícola o para el sistema productivo, así mismo sirve para el ordenamiento territorial de los pueblos (Rodríguez y Alarcón, 2021, p.1).

En relación a lo anterior descrito, se puede determinar que las cuencas hidrográficas en Ecuador suelen ser utilizadas como unidad de planificación para los recursos hídricos, su gestión se desarrolla en el marco de la Constitución de la República del Ecuador (2008), misma que en su art 262 estipula que los gobiernos seccionales “deben gestionar el ordenamiento de cuencas hidrográficas y propiciar la creación de consejos de cuenca, de acuerdo con la ley, con base en la planificación del desarrollo regional y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial”.

En palabras de Terneus y Yáñez (2018); durante muchos años en Ecuador, el manejo del agua se ha centrado en iniciativas para mejorar el aprovisionamiento de la misma; no obstante, existe una limitada disponibilidad de recursos económicos para la conservación de estas fuentes primarias de agua y de criterio de manejo a nivel de cuenca hidrográfica como unidad de análisis.

2.1.2. SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL

La cuenca hidrográfica del río Carrizal (Manabí), comprendida entre las coordenadas 1 4'15" S, 79 52'12" W, cuenta con un área de aproximadamente 1390 km² (Aveiga et al., 2019). Se encuentra ubicada al centro noreste de la provincia de Manabí, entre los cantones Bolívar, Chone, Junín, Pichincha, Rocafuerte, Sucre, Portoviejo y Tosagua, presentando un clima seco con temperaturas de 25°C, aunque tiene máximos relativos que llegan a 36°C, la cual cuenta con una red hídrica aproximada de 668 km (Ortega y Moreira, 2021).

Las áreas inundables por la subcuenca del río Carrizal se distribuyen en un perímetro de 408 Km comprendida por superficies de inundación permanentes y temporales, estas zonas se distribuyen en las superficies con cotas bajas de

algunos centros poblados como Calceta, Tosagua, Bachillero, San Antonio, entre otros, con afectaciones frecuente las comunidades (Santos, 2017).

Desde otra perspectiva, el Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Bolívar (PDyOT, 2021), determina que en lo que respecta a las parroquias Membrillo, Quiroga y Calceta el estrés hídrico de la subcuenca del río Carrizal es bajo en relación a las demás fuentes hídricas que mantiene el cantón.

2.2. TOPOGRAFÍA DE TERRENOS

Universalmente la topografía (topos, “lugar”, y grafos, “descripción”) “estudia la combinación de medidas basadas en la dirección, la elevación y la distancia para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre y debajo de la superficie de la tierra.” (Jiménez et al., 2019, p.9).

De acuerdo a Acosta y Guayasamín (2021), se la reconoce como una rama de la geodesia la cual se encarga de la determinación de dimensiones, diferencial altimétricas y contornos de parte de la superficie terrestre, a partir de la medición de ángulos y distancias, lo suficientemente pequeñas de tal manera que se desprecia la influencia de la curvatura terrestre, su sistema de referencia son las coordenadas planas y el sistema de representación es el plano acotado.

La topografía centra su importancia más que todo en la rama de la ingeniería civil, Mariño (2021) sostiene que la topografía es “el pilar fundamental para la construcción garantizando el desarrollo de proyectos y el cumplimiento de las necesidades de análisis de terrenos” (p.5). Por su parte Amaya y Muñoz (2021), sostiene que la particularidad de la topografía “es que asocia a los pensamientos geométrico y trigonométrico a una técnica que le sirve de objeto para geometrizar la realidad inmediata mediante diferentes prácticas, como son levantamientos topográficos, nivelaciones, observaciones astronómicas, etc.” (p.34)

2.2.1. OBJETIVO E IMPORTANCIA DE LA TOPOGRAFÍA DE TERRENOS

El objetivo principal de Topografía es ser una herramienta esencial para la gestión y ejecución de proyectos. En la implementación de diseños para adecuaciones de cauces, esta disciplina desempeña una ardua labor preliminar, de desarrollo y de control. De acuerdo con un estudio técnico, en el área de topografía (Guerrero y Pérez, 2020, p.9).

Cuando se necesita realizar un trabajo topográfico de un terreno específico, se eligen una serie de puntos y se miden con relación a sus coordenadas horizontales, como latitud y longitud, y su posición vertical, en términos de altitud. Al registrarse en una serie, estos puntos producen líneas de contorno que muestran camadas y forman una representación tridimensional de la superficie de la tierra (Amaya y Muñoz, 2021, p.38).

2.2.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICOS

Los levantamientos topográficos trasladan “las características y tipologías que presenta el terreno como altimetría y planimetría llevadas a un plano en dos dimensiones mediante el cual se puede interpretar con facilidad sus resultados” (Acosta y Guallasamin, 2021, p.35). Su realización “se despliega mediante estación total, o técnicas tipo Global Navigation Satellite System (GNSS), que generalmente se innovan tecnológicamente de forma constante a fin de obtener con gran facilidad y velocidad las posiciones en el terreno” (Lalanguí y Zaráte, 2020, p.4).

Este se representa como la primera fase de cualquier estudio técnico y descriptivo de un terreno, de acuerdo a Jiménez et al. (2019) esta técnica “examina la superficie cuidadosamente teniendo en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, pero también las alteraciones existentes de éste y que se deban a la intervención del hombre en construcción de taludes, excavaciones, cantera, etc.” (p.11).

Como resultado, esta herramienta proporciona dimensiones horizontales (lineales y superficiales) reales del terreno en coordenadas cartesianas, así

como levantamiento geodésico que obtiene dimensiones horizontales (lineales y superficiales) bajo un sistema de referencia espacial representado por un sistema de proyección. Ambos levantamientos sirvieron como base para la implementación de diversas técnicas de georreferenciación y la transferencia de datos topográficos al sistema de coordenadas UTM. (Salazar. 2018, p.2)

2.3. AMENAZAS

Las amenazas “se representan como un factor de riesgo externo, representado por el peligro latente de que un fenómeno físico de origen natural o antrópico” (Argüelles et al., 2019). Estas pueden “alterar de manera negativa al ambiente en que se encuentra, causando daños al entorno y a las personas que se encuentran cercanas al momento de que se materialice dicho factor” (Guevara, 2019).

De forma más específica Paz, (2021), la define como “un evento físico, latente que, al presentarse con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definidas, las principales amenazas que están expuestas la población son: terremotos, ciclones, inundaciones, sequías, deslizamientos” (Paz, 2021, p.56).

Cuando la amenaza es socio natural, como inundaciones, deslizamientos o incendios forestales, son causados por una combinación de factores naturales y humanos o por una influencia negativa sobre la naturaleza. “Las amenazas antrópicas son causadas intencionalmente o accidentalmente por el hombre o por fallas tecnológicas, como accidentes industriales, terrorismo, guerras, contaminación química, entre otros” (Tomalá, 2020, p.25).

2.3.1. DETERMINACIÓN DE AMENAZA

Las amenazas se presentan como sucesos que surgen precipitadamente por lo que es necesaria su identificación y determinación, “para una correcta identificación de las amenazas, se debe tomar en cuenta que la identificación permite hacer el análisis de cada amenaza y preparar los protocolos de respuesta” (Torres, 2016).

Por su parte, Rosero (2018) expresa que de la determinación de la amenaza es sumamente importante, “esta gestión permite reducir los probables efectos que puedan dejar sobre la población; es decir, gestionar con un enfoque proactivo las vulnerabilidades actuales, para que se reduzcan los potenciales efectos negativos resultado de la presencia de una amenaza” (p.25).

Para el análisis de las amenazas se debe determinar si son de índole interno o externo, a partir de la determinación se realiza una descripción y se precede a calificar: posible, como que nunca ha sucedido; probable, que ya ha ocurrido e inminente, que es evidente o detectable, asignándoles los colores verde, amarillo y rojo respectivamente (Medina, 2013).

2.3.3. DESASTRES NATURALES

Los fenómenos complejos se caracterizan por cambios bruscos en la importancia del entorno ambiental sin intervención humana, aunque la naturaleza juega un papel importante en la construcción y generación de desastres, estos cambios están fuertemente influenciados por procesos de acumulación de vulnerabilidad en ciertas poblaciones, donde el factor étnico y racial juega un papel importante en la determinación de quiénes son más afectados” (Inostroza, *et al.*, 2019, p.36).

Los desastres naturales todos los años causan millones de muertes y pérdidas económicas sustanciales, destruyen infraestructuras y arrasan los medios de vida de miles de personas a nivel global, estos perjudican actividades que dependen de las condiciones climáticas, tales como la agricultura, la pesca y ganadería, propias de los sectores más pobres y vulnerables (Vallejo et al., 2021).

Cada año una creciente cantidad de desastres naturales tiene lugar y se espera que esto se profundice a futuro como consecuencia del cambio climático, durante los últimos años, los desastres naturales afectaron a 68.5 millones de personas en todo el mundo con una mortalidad estimada de más de 11000 personas y generaron pérdidas por U\$S 132 mil millones (González y London, 2021).

2.3.3.1. INUNDACIONES

Las inundaciones se presentan como un riesgo natural y antrópico que a través del tiempo ha ocasionado la pérdida de vidas humanas y daños materiales elevados, para Cerna et al. (2021), “las inundaciones son el quinto desastre que causa mayor cantidad de muertes anuales y ocupa el segundo lugar en cuanto a viviendas afectadas, la cantidad de fallecidos y viviendas afectadas por inundación tienen una correlación de moderada a fuerte” (p.30).

Este tipo de desastre natural representa el 43% de todos los eventos registrados a nivel mundial, por otra parte, más de 2000 millones de personas en el mundo se vieron afectadas por este fenómeno y las pérdidas económicas se estiman en \$ 656 000 millones de dólares (Wallemacq, 2018). Por otro lado, el impacto social de las inundaciones según Gómez (2020), “depende de la exposición que tengan las personas y bienes, esto se relaciona con la ocupación del territorio de forma desordenada, como consecuencia la población que construye en las laderas de las corrientes de agua se encuentra en permanente riesgo” (p.104).

2.3.3.2. GRADO DE AMENAZA POR INUNDACIONES

Según la Secretaría de Gestión de Riesgos (2018), para un manejo adecuado de desastres y/o emergencias por inundaciones, "es necesario establecer el grado de impacto, categorizar e identificar su alcance territorial y determinar las fases de atención; estas acciones permiten una mejor organización espacial y temporal para la gestión de la respuesta de desastres" (p. 242).

Para Arriola et al. (2022), se pueden establecer tres rangos de peligro zona de nivel bajo, amenaza media o moderada y alto nivel de amenaza, dentro de los cuales se espera que, durante un suceso de inundación, este no represente algún peligro para la población y la infraestructura (p. 63). Generalmente estos niveles de riesgos se encuentran condicionados por factores físicos y sociales, como el emplazamiento al borde del río, el nivel educativo, los materiales utilizados en la construcción de las viviendas, el número de habitantes por vivienda (Nova et al., 2020).

2.4. VULNERABILIDAD

Se entiende por vulnerabilidad a “las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos, y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una persona, comunidad, bienes o sistemas al impacto de amenazas” (Guevara, 2019, p.9). Las vulnerabilidades se presentan como acontecimientos imprescindibles que pudiesen afectar quebrantar los medios de vida y hacer que la sociedad en común caiga en una situación de pobreza (Vallejo et al., 2021).

La vulnerabilidad se puede definir en general como el factor de riesgo interno que tiene una población, infraestructura o sistema que está expuesto a una amenaza y corresponde a su disposición intrínseca de ser afectado o susceptible de sufrir daños. La probabilidad de que se produzcan daños sobre un sistema por la acción de un fenómeno natural o antrópico será mayor cuanto más intenso y vulnerable sea el fenómeno y viceversa. (Argüelles et al., 2019, p.6).

2.4.1. NIVELES DE VULNERABILIDAD

La detección de los niveles de vulnerabilidad es de suma importancia para determinar los grados de afectación y trazar hojas de ruta que permitan mitigar aquellas amenazas que fomentan estas vulnerabilidades en la sociedad, desde las nociones de Nova et al. (2020), la construcción de mapas de vulnerabilidad, “permiten demarcar los sectores con un grado de exposición alto, medio y bajo frente a un evento de desastre natural, facilitando la toma de decisiones mediante acciones concretas encaminadas a la prevención, y control de sus efectos en áreas específicas” (p.5).

La evaluación de los niveles de vulnerabilidad debe realizarse desde un enfoque cualitativo o cuantitativo. Por lo tanto, permite determinar la naturaleza y el alcance del riesgo de desastres mediante el análisis de las amenazas potenciales y la evaluación de las condiciones de exposición actuales que conjuntamente podrían causar daños a las personas, los bienes, los servicios, los medios de vida y el medio ambiente del cual dependen. (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2021)

2.4.2. VULNERABILIDAD A DESASTRES NATURALES

Las vulnerabilidades por desastres naturales se representan por aquellos “peligros o amenazas que provocan una interrupción grave en el funcionamiento de una comunidad o sociedad, incluidas pérdidas y daños humanos, materiales, económicos o ambientales extensos, y que excedan cualquier capacidad para contener los eventos por medios individuales” (Vásquez y Delgado, 2021, p. 181).

De manera similar, Morales et al. (2018), definen la vulnerabilidad como la probabilidad de que una comunidad esté expuesta a una amenaza natural, dependiendo de la fragilidad de sus componentes (infraestructura, vivienda, actividades productivas, nivel de organización, sistemas de alerta, desarrollo político institucional), con el mayor impacto en daños humanos y materiales.

En síntesis, se la puede delimitar como una medida de la pérdida de múltiples elementos en riesgo resultante de la ocurrencia de un fenómeno natural de una cierta magnitud, “corresponde a la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que se manifieste un fenómeno peligroso de origen natural, socio natural o antropogénicos” (González, 2021, p. 8).

2.5. RIESGOS

Se puede definir a los riesgos como la combinación de probabilidades que surjan eventos o instancias negativas, este se compone principalmente de factores como las amenazas y la vulnerabilidad., “las probabilidades de que un desastre cause daños, esa probabilidad depende de dos elementos determinantes como lo son las amenazas y la vulnerabilidad, que de no ser evaluadas y determinadas por su grado de peligrosidad causarían afectaciones significativas en la sociedad” (Vallejo et al., 2021).

Una forma de entender el riesgo en un sistema expuesto a una amenaza es considerándolo como un factor interno, esto ocurre cuando el sistema es altamente sensible a la amenaza y tiene una capacidad limitada para adaptarse o recuperarse; en términos prácticos, el riesgo se evalúa comúnmente mediante

dos factores clave: la amenaza y la vulnerabilidad; la amenaza representa la naturaleza y magnitud del peligro en cuestión, mientras que la vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad del sistema a ser afectado por esa amenaza, al combinar estos dos factores, podemos determinar la ubicación y el potencial de los daños que podría enfrentar el sistema. (Guevara, 2019).

Para Soriano y Robles (2020) “el manejo del riesgo exige diferentes perspectivas y soluciones integrales multidisciplinarias, una perspectiva de seguridad social un desarrollo sostenible y territorio seguro puede aportar un contexto más amplio a soluciones que brinden resiliencia al territorio y a la sociedad” por ello la determinación es necesaria porque permite establecer la necesidad de implementar medidas de planificación para el control y la reducción de riesgos.

El riesgo se clasifica en tres niveles:

- Alto riesgo: representa una amenaza importante que requiere acciones de prevención y mitigación prioritarias e inmediatas en la gestión del riesgo.
- Riesgo medio, en el que se deben implementar medidas de planificación o un plan general para tomar las medidas correspondientes para su gestión.
- Riesgo bajo: no representa una amenaza importante y, por lo tanto, no requiere un plan específico. (Vallejo et al., 2021, p. 18)

2.5.1. RIESGOS DE INUNDACIÓN

A nivel global el riesgo por inundación, se prevén como el desastre natural más dañino y peligroso para el medio ambiente y la sociedad, los riesgos de inundación ha crecido a una velocidad vertiginosa debido a múltiples cambios que se suscitan en las cuencas hidrográficas por factores naturales o por la mano humana, esto afectaría particularmente a las áreas urbanas, impactando de manera negativa el funcionamiento normal de los sectores social, de servicio, económico y financiero, entre otros, dejando en mayor vulnerabilidad a la población con menos recursos (Hernández et al., 2017).

El riesgo ante inundaciones hoy en día es necesario estudiarlo, de estas evaluaciones depende que se apliquen los respectivos controles de mitigación

ante el apareamiento de este riesgo, “sobre todo cuando se sabe que cada vez es más probable que se produzca una variación de las lluvias y el desborde de los ríos, que se han visto influenciados por eventos naturales y el cambio climático” (Arriola et al., 2022, p.64).

La evaluación del nivel de riesgo ante el fenómeno de inundación se considera fundamental para la gestión de riesgos en los Planes de Ordenamiento Territorial porque permite conocer y promover el crecimiento urbano y los proyectos de desarrollo en las zonas con baja exposición ante un evento de inundación, y implementar medidas de mitigación y educación que reduzcan el riesgo ante el fenómeno natural en las zonas con medio y alto grado de exposición. (Nova et al., 2020).

2.5.2. GESTIÓN DE RIESGOS

La gestión de riesgo según Camargo et al. (2020), se presenta como un proceso socio-natural de análisis continuo, planificación, toma de decisiones y ejecución de acciones que permiten la identificación, prevención y reducción de eventos potencialmente destructivos por amenazas naturales que pueden causar graves daños o alteraciones en la vida de las personas.

Estos procesos particularmente los conllevan entidades del estado encargadas de la planificación nacional territorial, por tanto, debe entenderse que la gestión de riesgos “es una herramienta de planificación, ordenamiento y desarrollo territorial cuyo propósito es generar una cultura científica y participativa en los consejos populares ante la amenaza naturales y la necesidad de crear una sociedad activa ante posibles eventos de riesgos”. (Argüelles et al., 2019, p.17).

Según las afirmaciones anteriores, la gestión de riesgos tiene como objetivo identificar las amenazas transcendentales y los posibles riesgos a los que puede estar expuesta la sociedad ante eventos adversos. La gestión de riesgos permite minimizar los efectos negativos en un territorio y su población vulnerable frente a desastres que se puedan originar de forma natural o por actividad humana. (Giraldo y Anchundia, 2021).

En términos legales, según el artículo 390 de la Constitución de la República del Ecuador (2008), la gestión de los riesgos naturales se llevará a cabo bajo el principio de descentralización subsidiaria, lo que implica que las instituciones son responsables directamente de gestionarlos dentro de su ámbito geográfico. En caso de que sus capacidades para gestionar el riesgo sean insuficientes, las instancias con mayor ámbito territorial y capacidad técnica y financiera proporcionarán el apoyo necesario.

2.5.3. MODELOS DE GESTIÓN DE RIESGOS POR AMENAZAS DE DESASTRES NATURALES

Los modelos de gestión de riesgos para la atención de desastres naturales se presentan como procesos con medidas de control ante el apareamiento de estos fenómenos naturales, desde la óptica de Gutiérrez y Sánchez (2018), un modelo de gestión de desastres debe establecer “los riesgos inherentes, los controles existentes y los riesgos residuales, a fin de generar medidas de control sobre estos procesos, para ello, lo primero es establecer las definiciones que permiten su funcionamiento, tales como niveles de amenazas, vulnerabilidad y de riesgos” (p.17).

El objetivo de los modelos de gestión de riesgos de atención de desastres es desarrollar instrumentos que fomenten la participación armónica de los Estados y las sociedades para establecer e implementar estrategias de reducción de riesgos y atención de desastres que contribuyan al desarrollo sostenible, al mismo tiempo que se aseguran los recursos y el medio ambiente. (Galeano, 2015, p.83).

Las propuestas de modelo de gestión de riesgos generalmente se desarrollan para prevenir y reducir desastres, “estos permiten minimizar vulnerabilidades y riesgos existentes, por lo que estos fenómenos son muy difíciles de controlar y predecir, sin embargo, la gestión de riesgos de desastres permite un mejor control permanente de los factores de riesgo” (Loza y Ponce, 2022, p.123).

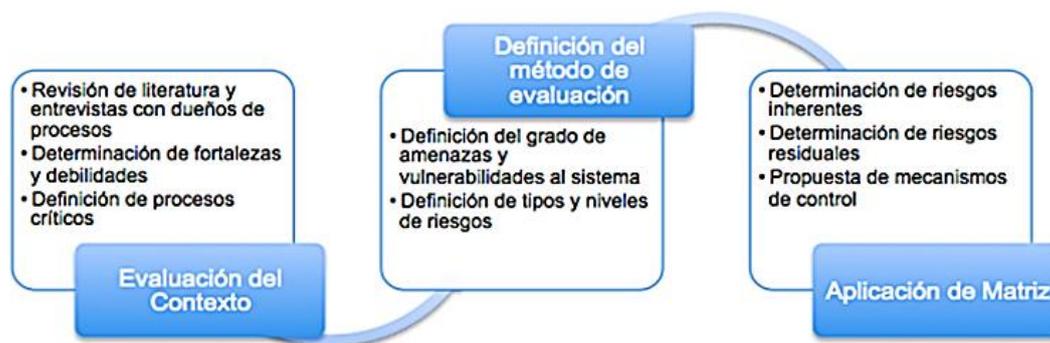


Figura 2.1 Pasos de modelo de gestión de riesgos.

Fuente: (Gutiérrez y Sánchez, 2018, p.17)

2.5.4. LA GESTIÓN DE RIESGOS EN EL MARCO DE LA ORDENACIÓN TERRITORIAL

La Gestión de Riesgo de Desastres desde el ordenamiento territorial, son procesos sistemáticos centrados en la utilización de un conjunto de decisiones administrativas, organizativas y de conocimientos operacionales por parte de las entidades gubernamentales que planifican el desarrollo territorial. Rinaldi y Bergamini, (2020), indican que estas gestiones se dan “con el fin de ejecutar políticas orientadas tanto a la reducción del impacto adverso de las amenazas naturales, como de aquellas condiciones de riesgo que pudiesen derivar en la ocurrencia de un desastre en una comunidad, región o país” (p.106.).

La gestión de riesgos en el ordenamiento territorial implica llevar a cabo acciones para conocer el riesgo, disminuir las posibles pérdidas económicas y humanas, estar preparado para responder y tener la capacidad de recuperarse de manera inmediata ante los efectos de emergencias y desastres. Los GAD tienen la responsabilidad de implementar estos lineamientos para mejorar la gobernanza local en la gestión de riesgos de desastres y promover el desarrollo sostenible de las áreas y, por lo tanto, del país. (Torres, 2022, p.7)

Los instrumentos y planes de acción de la gestión de riesgos en función ordenamiento territorial, permiten actuar frente a las condiciones adversas que afecta a la sociedad, la mitigación de estas causas y problemas, permitirá reducir las pérdidas materiales y humanas, y servirán para proponer prospectivas de

gestión del riesgo para el ordenamiento territorial de las comunidades (Vásquez y Delgado, 2021).

2.6. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO EN CUENCAS

Los modelamientos hidrológicos sirven para proporcionar información de utilidad para la gestión y planificación de los recursos hídricos en cuencas y subcuencas, generando escenarios de la conducta del caudal bajo efectos del cambio climático, en palabras de Jumbo, (2018), la modelación hidrológica "se desarrolla con el propósito de simular los procesos relacionados con el balance de cuencas hidrográficas en los que sus entradas, como la precipitación, y salidas, como la evapotranspiración, son la base para la generación y representación de caudales" (p.30).

Todo modelamiento hidrológico debe ser lo más parecido a lo observado en la cuenca, como validación del modelo, con la finalidad de realizar proyecciones a futuro sobre la cuenca. (Andrade, 2020, p.35). La modelación hidrológica debe ser considerada como una herramienta útil pero también incierta. Para aplicar su uso de manera inteligente en la toma de decisiones, es necesario entender las fuentes de error, analizar críticamente los resultados obtenidos y reconocer la probabilidad de que los valores reales se encontrarán fuera del intervalo de confianza obtenido con la modelación. (Ochoa et al., 2022).

2.6.1. MODELACIÓN DE AMENAZA DE INUNDACIÓN

La modelación de amenazas de inundación son ejemplificaciones que permiten determinar aquellos sectores propensos a sufrir las afectaciones de este desastre natural, de forma específica Fernández et al. (2020), sostiene que la modelación del comportamiento del movimiento del agua por la red hidrográfica es un factor dinámico el cual tiene una incidencia fundamental en el estudio de amenazas por inundaciones.

La modelación de cuencas "para el análisis de riesgos requiere estimar o contar con información de hidrogramas para utilizarlos como herramientas fundamentales para el estudio de inundaciones en épocas de crecidas o eventos extremos" (Gutiérrez et al., 2022, p.6). Como tal estas modelaciones para el

conocimiento de la amenaza (lluvias e inundaciones), “se caracterizan por expresar el grado de vulnerabilidad ante este tipo de desastre natural, en estos se puede calcular el riesgo probabilístico por inundación, que, de la misma manera, requiere de simulaciones a través del uso de determinados programas” (Londoño, 2021).

2.6.2. EVALUACIÓN DE AVENIDAS TORRENCIALES

Las avenidas torrenciales se pueden mostrar en diferentes tipos de flujos con diferentes comportamientos, “es de anotar que los flujos de avenida torrencial deben diferenciarse claramente de las inundaciones, ya que estos pueden contener entre un 20 a 90 % de concentración de sedimentos en volumen, lo que hace que su comportamiento sea muy diferente a una inundación (Páez y Cortez, 2020, p.27).

Con base en lo anterior descrito, su evaluación es necesaria para reconocer el tipo de comportamiento que esta mantendría ante situaciones de inundaciones, Ramos et al. (2021), expresa que las avenidas torrenciales deben ser evaluadas y dentro de esto debe incluir la valoración de escenarios adicionales que puedan representar la obstrucción del flujo o modificar la dirección del transporte del material movilizado o modificar el volumen de material transportado.

Su evaluación se hace necesaria por las constantes amenazas presenten en las avenidas torrenciales y la frecuencia de ocurrencia de estos eventos, se deben analizar las características de profundidad de lámina de agua, materiales de arrastre y velocidad del flujo, utilizando como mínimo análisis estadísticos, determinísticos o probabilísticos (Ramos et al., 2021).

Por otro lado, su análisis mantiene relevancia dado que en las avenidas torrenciales suele existir una alta concentración de población alrededor de su ronda hídrica, los habitantes y sus viviendas se encuentran en estado de alerta ante crecientes súbitas en quebradas y Ríos que atraviesan las localidades en estaciones de lluvias (Barón y Pascagaza, 2022).

2.6.2.1. ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD

El índice topográfico de humedad se relaciona con la humedad edáfica del suelo, esta permite representar aquellas tendencias de generación de escorrentías, puesto que los contornos con más presencia de humedad son más proclives a saturarse, Arteaga et al. (2020), lo define como una herramienta que permite determinar la distribución espacial de la riqueza de especies de plantas, el pH del suelo, el nivel del agua subterránea y la humedad del suelo de una cuenca hidrográfica.

Como se mencionó anteriormente esta herramienta permite identificar los potenciales lugares donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de agua, Mozzicafreddo et al (2018), indica que esta combina la contribución al escurrimiento de un área local drenada y la pendiente de la misma, y es comúnmente usado para cuantificar el control topográfico sobre los procesos hidrológicos.

En general, el índice topográfico de humedad funciona como la modelación dinámica de los flujos subterráneos y superficiales utilizando el control topográfico de la escorrentía. Esto brinda una mejor perspectiva en relación a la predicción de áreas donde la saturación y la alta concentración de escorrentía puede actuar como trayectorias de flujo inicial a procesos de inundación más graves (Valdiviezo et al., 2022, p.596).

2.6.2.2. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD SEGÚN LA MAGNITUD DE CONCENTRACIÓN DE ESCURRIMIENTO

La clasificación de la concentración del escurrimiento se establece en términos relativos de baja, moderada, alta y muy alta magnitud, una concentración de escurrimiento catalogada como 'alta' corresponde a superficies en el terreno analizado donde, debido a su muy baja pendiente, recibe el escurrimiento de su área inmediata (Roa y Kamp, 2012).

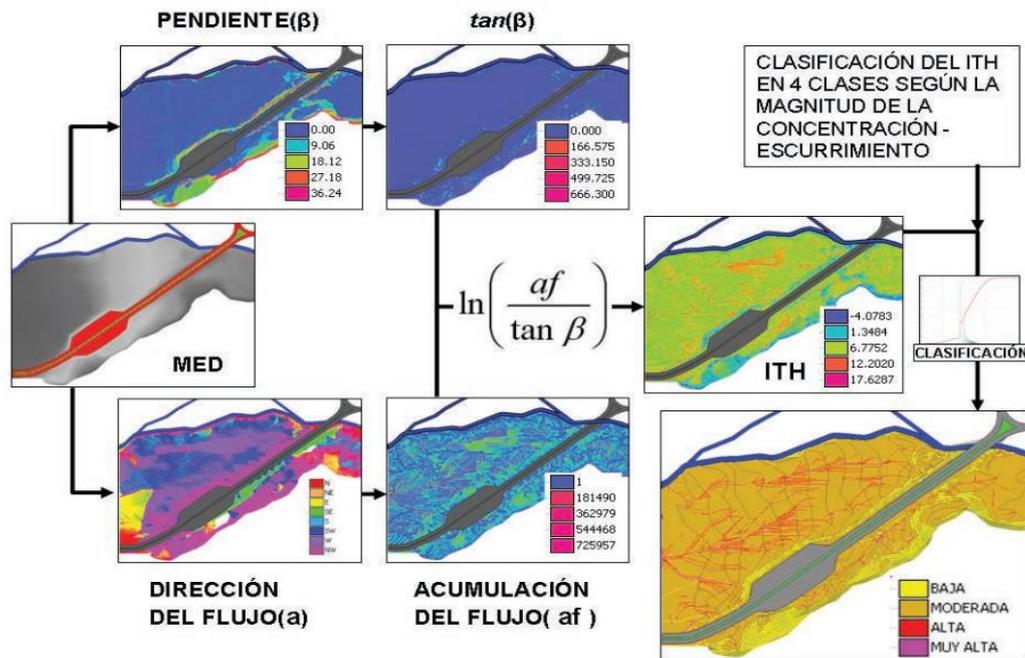


Figura 2.2 Clasificación del índice topográfico de humedad según la magnitud de concentración de escurrimiento

Fuente: Roa y Kamp (2012).

2.7. MAPAS DE ZONIFICACIÓN

Es una herramienta que permite representar visualmente el uso actual de los recursos y, posteriormente, planificar un uso potencialmente sostenible en función de las características del terreno utilizado para el uso sostenible de los recursos y la conservación de los ecosistemas. Orellano y Pilco (2021) indica que “es una proyección que nos permite identificar visualmente las áreas de influencia del parámetro que pretendemos analizar, pueden ser delimitadas según el clima, los recursos naturales, el peligro sísmico, el grado de desempeño entre otros” (p.67)

En palabras de Núñez et al. (2021) “el mapa de zonificación es una herramienta que demanda el proceso de ordenación territorial para articular políticas y acciones de planeamiento compatibles con las expectativas del desarrollo sustentable” (p.87). Mediante estas herramientas se determinan áreas que según sus características presentan sensibilidad a diferentes componentes de cada medio o problema a establecer, generalmente se desarrolla con información obtenida en la caracterización de algún problema o susceptibilidad que tiene el área de a ejemplificar (Sistema de información sobre biodiversidad de Colombia [SIB], 2019).

2.7.1. MAPAS DE RÉGIMEN DE INUNDABILIDAD

Los mapas de régimen de inundabilidad se consideran como un elemento fundamental para identificar las áreas geográficas susceptibles y diseñar políticas públicas coherentes. De acuerdo a Rezende et al. (2020) “se convierte en una herramienta prioritaria para mejorar el conocimiento en torno a él y a su dinámica y es también un instrumento fundamental para mejorar la comunicación y la educación, aspectos básicos para lograr su adecuada gobernanza” (p.7). Además de ayudar a conocer los riesgos de inundación se deben establecer un documento de ordenación territorial, así lo ratifica Vargas et al. (2020) que es “un elemento fundamental para identificar las áreas geográficas susceptibles y diseñar políticas públicas coherentes” (p.251)

2.7.2. TIPO DE MAPAS DE LA ZONIFICACIÓN DE RÉGIMEN DE INUNDABILIDAD

Tabla 2.1 Tipos de mapas de zonificación de inundaciones.

TIPO DE MAPA	DEFINICIÓN	CONTENIDO
Mapa de susceptibilidad de inundación	Son mapas diseñados a pequeña escala. Estos mapas son los primeros pasos hacia mapas más complejos.	Indica el tipo de inundación (lenta o súbita) y los límites externos para un evento extremo creado por la superposición de áreas potencialmente inundables y el uso del suelo u otros parámetros que indican daño potencial. Por lo tanto, la zona afectada es una superposición de mapas de uso del suelo, imágenes de satélite y mapas topográficos.
Mapa de evento de inundación	Estos mapas muestran las inundaciones que se han visto y su respectiva extensión registrada por diferentes fuentes.	Están basados en sucesos recientes o pasados, cuya información se puede obtener de una variedad de fuentes, como documentos históricos o imágenes de satélite que han sido correctamente interpretadas y verificadas. Los límites de las inundaciones, el nivel de inundación registrado, los caudales, las profundidades y las secciones transversales se encuentran en estos mapas.
Mapa de amenaza de inundación	Provee información gráfica de la inundación esperada para un evento de probabilidad dada o varias probabilidades.	La información incorporada en un mapa de amenaza de inundación para una probabilidad de ocurrencia dada es: -Extensión de la inundación (áreas cubiertas por el agua). -Velocidad del flujo (m/s) -Profundidad del agua (m) Otros parámetros de amenaza representados en el mapa tales como: -Propagación de la inundación (Km/h) -Profundidad * Velocidad (m*m/s), el cual es un indicador del grado de amenaza.
Mapa de zonificación de amenaza por inundación	Los mapas de zonificación de inundaciones pueden considerarse mapas de amenaza de inundación "adaptados" con fines de planificación. Las zonas muestran las amenazas	Los planificadores buscan áreas con una exposición limitada a los peligros para una variedad de usos, como asentamientos humanos, industrias, infraestructura y agricultura. Aunque la planificación del uso de la tierra no afecta los riesgos existentes, puede influir en el uso de la tierra. Dado que los derechos existentes deben ser compensados, esto suele ser extremadamente difícil. Sin embargo, es la medida más efectiva para frenar el actual aumento continuo del riesgo y el potencial de

	existentes, clasificadas como amenaza baja, media o alta	daño. Los códigos de construcción deben estar vinculados a las zonas de amenaza. El requisito previo es que la construcción se adapte a la situación de amenaza
Mapa de vulnerabilidad de inundación	Un mapa de vulnerabilidad de inundaciones muestra el daño potencial causado por inundaciones a personas, bienes, infraestructura y actividades económicas, ya sea directa o indirectamente. Es posible presentarlo en términos cuantitativos o cualitativos mediante el uso de indicadores.	La vulnerabilidad a las inundaciones depende de las personas expuestas, los activos y la infraestructura, y la magnitud del peligro (la profundidad del agua, la velocidad del flujo y la duración de la inundación son los más importantes). Los mapas de vulnerabilidad pueden incluir todos los grupos de información antes mencionados o pueden crear cada uno de ellos como una capa independiente. El contenido puede ser generalizado usando indicadores o detallado con prioridad a la exposición de grupos específicos de personas (como ancianos, discapacitados, etc.) dependiendo de la escala.
Mapa de riesgo de inundación	Cuando se exponen en inundaciones de un rango de probabilidades, los mapas de riesgo de inundación integran las amenazas potenciales con las vulnerabilidades de las actividades económicas. El término "mapa de riesgo de inundación" se usa con frecuencia, pero con frecuencia no en su sentido literal.	Los mapas de riesgo, que combinan mapas de amenazas y vulnerabilidad, muestran el daño promedio por unidad de área, a menudo expresado en términos monetarios. El riesgo es una necesidad en la evaluación económica y es el único parámetro que permite una comparación de diferentes riesgos. Aunque la pérdida de vidas se expresa a veces en términos de dinero, el riesgo para las personas se debe mostrar por separado porque la aceptación difiere significativamente entre los diferentes usuarios del mapa.
Mapa de emergencia de inundación	Este mapa se basa en mapas de riesgo, vulnerabilidad y riesgo, dependiendo del propósito. La respuesta a las inundaciones necesita una preparación cuidadosa, ya que el tiempo para responder es un factor limitante. Los planes de preparación para emergencias se basan en varios escenarios probables que podrían desarrollarse durante las inundaciones, incluyendo los peores escenarios.	Las operaciones de rescate, la planificación de emergencia y la advertencia están estrechamente relacionadas. Para evitar la pérdida de vidas, la previsión y la alerta son esenciales en la gestión del riesgo. Los mapas de inundación pueden indicar la región o las ubicaciones para las que se debe hacer el pronóstico, así como las rutas de evacuación y los refugios seguros. Los mapas de emergencia de inundación se crean en función de las necesidades. Sin embargo, el mapa de base adecuado y la información adicional son útiles en caso de emergencia.

Fuente: Vargas et al. (2018)

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

El presente estudio se realizó en la subcuenca del río Carrizal encontrada entre las coordenadas 1°4'15" S, 79°52'12" W, con un área de aproximada de 1390 Km², la cual se ubica en la provincia Manabí, limita al norte con las cuencas del río Briceño y río Jama, al sur con las cuencas del río Portoviejo y río Guayas, al este con el Océano Pacífico y la cuenca del Estero Pajonal y, al oeste con la cuenca del río Guayas (Ortiz et al., 2019). Las condiciones climáticas del área de estudio se detallan en la tabla 3.1.

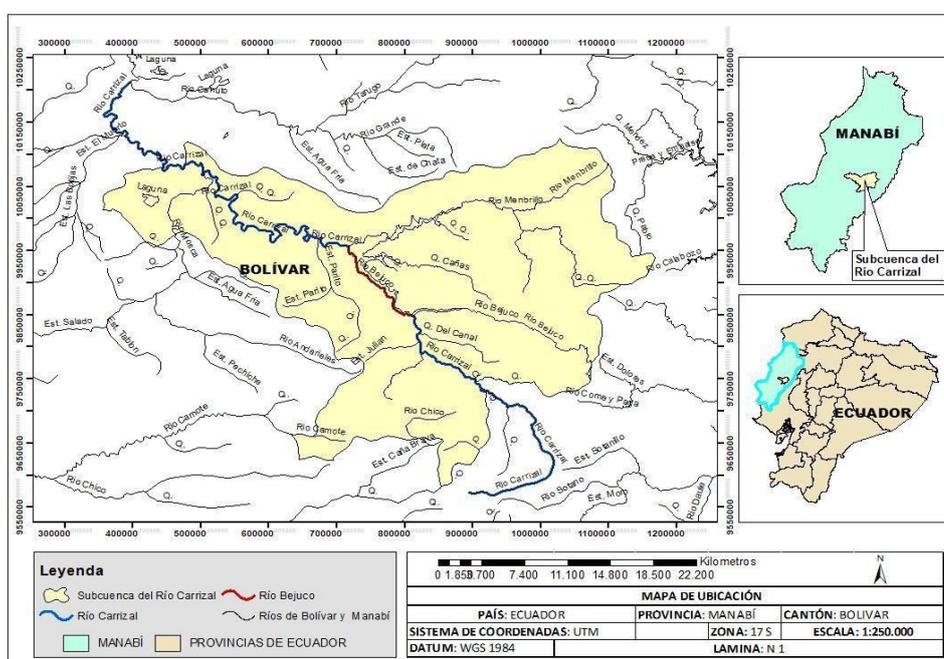


Figura 3.1. Ubicación Geográfica de la subcuenca del río Carrizal.
Fuente: Autores

Tabla 3.1 Condiciones meteorológicas del Cantón Bolívar

Características	Cantón Bolívar
Coordenadas geográficas	Sur: 1°4'15" S Oeste: 79°52'12" W
Altitud media	29 m, s, m
Temperatura	Mínima: 23,5 °C Máxima: 30,60 °C
Precipitación anual	1316 mm
Humedad relativa	82,42 %

Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT-GAD Bolívar, 2022)

3.2. DURACIÓN

El estudio tuvo una duración de 40 semanas a partir de la aprobación del trabajo de integración curricular, mismo que se distribuyó en la generación del índice topográfico de humedad en la subcuenca del río Carrizal, el cálculo del riesgo de inundación en la zona de estudio y la elaboración de un plan de ordenamiento con base en las aptitudes del terreno.

3.3. MÉTODOS

Comprenden un conjunto de pasos que se utilizaron para el desarrollo de la presente investigación bajo los preceptos de la problemática a estudiar, en donde se gestionó la parte operativa mediante de técnicas de análisis cartográficos que se utilizaron para dar a conocer los hallazgos detectados en el presente estudio, razón por la cual se utilizó el método empírico, método inductivo- deductivo y el método de modelación (Sánchez et al., 2020).

3.3.1. MÉTODO EMPÍRICO

A través del método empírico se descubrirán y acumularán el conjunto de realidades que se presenten en el cálculo del índice topográfico de humedad mediante un conjunto de hechos y datos como base para diagnosticar y constatar el estado actual de la situación de riesgos por inundación en la subcuenca del río Carrizal mediante técnicas como la observación y el análisis de contenido (Hernández et al., 2021).

3.3.2. MÉTODO INDUCTIVO-DEDUCTIVO

Generalmente el método inductivo-deductivo plantea que la inducción y la deducción se complementan en el proceso del conocimiento y la investigación científica, en la presente investigación partirá de las múltiples percepciones particulares que se obtengan en la aplicación del índice topográfico de humedad, lo cual constituye el punto de partida para inferir o confirmar formulaciones o deducciones de los riesgos de inundación que mantienen ciertas áreas de la subcuenca del río Carrizal (López y Ramos, 2021).

3.3.3. MÉTODO DE MODELACIÓN

A través del método de modelación se llevó el proceso de representación y explicación de la realidad existente en relación al índice topográfico de humedad y los niveles de riesgos de inundación encontrados en subcuenca del río Carrizal, mediante la creación de un mapa de zonificación el cual permitirá describir el flujo y concentración del agua de escorrentía (López y Ramos, 2021).

3.4. TÉCNICAS

Mediante las técnicas de investigación se determinó los procedimientos adecuados para la aplicación del índice topográfico de humedad y el establecimiento de los niveles de riesgo de inundación de la subcuenca del río Carrizal, esto a través de metodologías estandarizadas como la observación indirecta y el uso de herramientas información geográfica que garantizará la validez científica de los resultados obtenidos (Gómez, 2021).

3.4.1. OBSERVACIÓN INDIRECTA

La observación indirecta permitió dar apoyo al método de inducción - deducción a partir de la información obtenida en las cartografías desarrolladas a través del Sistema De Información Geográfica, asimismo, permitió dar soporte al método empírico para determinación de los principales resultados del cálculo del índice topográficos y de los niveles de riesgos de inundación a partir de los hechos observados (Arias, 2020).

3.4.2. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los sistemas de información geográficas son un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Mediante el software de representación cartográfica se utilizaron de herramientas de análisis morfológico para los análisis y representaciones del cálculo del índice topográfico y el establecimiento de los niveles de riesgos presentes en la subcuenca del río Carrizal (QGIS, 2022).

3.4.3. ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD

El índice de humedad topográfica representa un aspecto básico para investigaciones de carácter hidrológico, en el presente estudio es sumamente útil para un mejor entendimiento de la respuesta hídrica de la subcuenca hidrográfica del río Carrizal, estos datos sirvieron para la determinación y gestión de las afectaciones futuras en relación a las inundaciones y el nivel de riesgos que pudiesen afectar a las poblaciones colindantes a esta cuenca hidrográfica (Arteaga et al., 2020).

3.5. VARIABLES

3.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Índice Topográfico de Humedad.

3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Amenaza por inundación.

3.5.3. OPERATIVIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Tabla 3.2 Operativización de las variables de estudio.

Variable	Tipo de Variable	Conceptualización	Definiciones Operacionales	Instrumentos	Medición
Modelo Digital de Elevación (MED 90x90m)	Cualitativa	Un modelo digital de elevación es una representación matemática y visual de los valores de altura del terreno con respecto al nivel medio del mar que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en él. (Silvestre y Vásquez, 2021).	Se obtendrá mediante procesamiento de una fotografía satelital.	Satélite (GOES) United States National Weather Service - GEO	Metros
Acumulación de Flujo	Cuali-cuantitativa	La acumulación de flujo son áreas de flujo concentrado de canales de cuencas hidrográficas, este puede representar la cantidad de lluvia que puede fluir por ciertos canales, asumiendo que toda la lluvia se convirtió en escorrentía (QGIS, 2022).	Se obtendrá mediante algoritmos Strahler order del sistema de información geográfica.	Sistemas de información geográfica.	Adimensional

Cálculo de pendientes	Cuali-cuantitativa	El cálculo de la pendiente representa la tasa de cambio de elevación para cada celda de modelo digital de elevación (DEM) se determina mediante grados y radianes (QGIS, 2022).	El cálculo de las pendientes se realizará en dos instancias, inicialmente se procede a estimar las pendientes fijadas en grados con el ráster Slope – degree, posterior se plantea el cálculo de la pendiente en radianes a través de la fórmula [3.1] con el Raster calculator (Slope - radians).	Herramientas Slope – degree y Ráster calculator (Slope - radians) del sistema de información geográficos	Grados
Índice topográfico de Humedad	Cuantitativa	Permite identificar posibles áreas de acumulación de agua o áreas de concentración de humedad. Este indicador se obtiene a partir del análisis morfológico del territorio, lo que puede ser utilizado para crear inventarios de áreas potencialmente húmedas o para identificar los límites de las láminas de una masa de agua ya existente. (Gis&Beers, 2018)	Se realizará a partir del cálculo de la formula [3.2] del ITH	Ráster shapefile del sistema de información geográfica.	Adimensional.
Nivel de riesgo de inundación	Cualitativa	Escala cualitativa que representan el grado de amenaza y vulnerabilidad por el riesgo a inundaciones derivado de cuencas y subcuencas hidrográficas (Cárdenas, 2019).	Se adoptarán escalas de niveles de riesgos de antecedentes investigativos y se determinarán los niveles detectados en la subcuenca del río Carrizal a través de la Herramienta Reclassify.	Modelo "Natural Breaks", (Jenks y Caspall, 1971)	Escala (Lineal) Muy Alto Índice de Humedad (5 = Rango <1) Alto Índice de Humedad (4 = Rango 1-5) Medio Índice de Humedad (3 = Rango 5-20) Bajo índice de Humedad (2 = Rango 20-50) Muy Bajo índice de Humedad (1 = Rango >50)

3.6. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.6.1. APLICACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL

Actividad 1. Se obtuvo una elevación digital (MED) de 90x90m de la subcuenca del río Carrizal para la descripción de la zona de estudio, mediante el sistema de información geográfica creada a partir de datos de elevación (Curvas de Nivel).

Actividad 2. Se consiguieron mapas en formatos Tag Image File Format (TIFF) que representaron criterios de pendientes, tangentes de la pendiente, dirección y acumulación del flujo más inclinado y/o algoritmo y otros indispensables, que fueron procesados en el sistema de información geográfica SIG.

Actividad 3. Se aplicó el método topográfico de humedad ITH para la predicción y alta concentración del escurrimiento. Con los datos obtenidos se procedió a:

- Cálculo de la acumulación del escurrimiento superficial, el cual se basa en un conteo acumulativo de las unidades de áreas que drena hacia una dirección (área drenante acumulada (α)) y sitio común (acumulación del flujo (αf)), permitiendo definir el patrón de drenaje y su intensidad potencia, este se realizó mediante la creación de un ráster de dirección de flujo mediante algoritmos Strahler order, determinados por el sistema de información geográfica y determinada a través de la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{(P-0,2*S)^2}{P+0,8*S} \text{ [Ec.3.1]}$$

Donde:

- **Q**= Escurrimiento Medio
 - **P**= Precipitación
 - **S**= Potencial Máximo de Retención de Humedad.
- Posterior al análisis de la acumulación del escurrimiento superficial existente en la Subcuenca del río Carrizal, se hace necesario estimar las pendientes fijadas en grados que se encuentran en la extensión territorial a través de los algoritmos Strahler order del sistema de información

geográfica, puesto que el siguiente paso está asociado a su conversión en radianes (Lucas, 2018 y Cárdenas, 2019).

- Para el cálculo de la pendiente en radianes, se introdujo la fórmula estipulada a continuación en la Raster calculator (Slope - radians) del sistema de información geográfica, el procesamiento de la fórmula se representó mediante una imagen cartográfica de las pendientes existentes.

$$Pendiente\ en\ radianes = 0,001 + \tan \left[\frac{3,1416}{180} \cdot \tan(Pendiente\ en\ Grados) \right] \quad [Ec. 3.2]$$

- Posterior a la estimación de la pendiente en radianes, se procedió a calcular el índice topográfico de humedad de la subcuenca del Río Carrizal con base en la acumulación de flujo y la pendiente en radianes mediante la Raster calculator (Slope - radians) del sistema de información geográfica en cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$ITH = \ln \left[\frac{ACU_i}{\tan(\beta_i)} \right] \quad [Ec. 3.3]$$

Donde:

- **AC**: área drenante acumulada i .
- **$\tan(\beta_i)$** : es la pendiente local en la celda.

De la aplicación de la fórmula representada se obtuvo el índice topográfico de humedad y datos cartográficos que evidenciaron las zonas de la subcuenca con potencial alto, medio y bajo para ocasionar escorrentías (Lucas, 2018 y Cárdenas, 2019).

- Se utilizó una clasificación no supervisada del ITH que se basa en la segmentación del histograma de frecuencia de la imagen según la curva acumulada de los valores ITH para obtener el producto terminal llamado "Concentración del escurrimiento". Este producto establece la magnitud de la concentración del escurrimiento para el terreno analizado en términos relativos (baja, moderada, alta y muy alta).

3.6.2. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A INUNDACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO

Actividad 4. Posterior al análisis del Índice Topográfico de Humedad, se clasificó el nivel de riesgo y vulnerabilidad de las áreas estudiadas a inundaciones de acuerdo a rangos y distribuciones numéricas, por tal razón se emplearon los argumentos del Modelo de los Regímenes de Inundación del Ministerio del Ambiente (2013), mismos que determinaron el grado de amenaza, bajo las siguientes escalas con zonas de alto índice de humedad (5); hasta zonas con bajo índice de humedad (1).

Tabla 3.3 Nivel de amenaza de inundaciones de acuerdo al Índice Topográfico de Humedad.

Índice Topográfico de Humedad	Nivel de Amenaza (Escala Lineal)
Muy Alto Índice de Humedad	5
Alto Índice de Humedad	4
Medio Índice de Humedad	3
Bajo índice de Humedad	2
Muy Bajo índice de Humedad	1

Fuente: Modelo de los Regímenes de Inundación del Ministerio del Ambiente (2013).

Luego de las posturas relacionadas a la clasificación determinada, se detallaron los valores obtenidos a partir de la fórmula del Índice Topográfico de Humedad, que fueron reclasificados mediante el modelo “Natural Breaks”, que es un algoritmo desarrollado por Jenks y Caspall en 1971, que identifica los puntos de corte entre clases mediante el algoritmo de optimización de Jenks.

De acuerdo al Modelo de los Regímenes de Inundación del Ministerio del Ambiente (2013), los criterios de ITPH se reclasificaron mediante el algoritmo de Jenks en 5 categorías, donde los valores cercanos a 1 representaron condiciones donde no se presente inundaciones y valores cercanos a 5 condiciones para inundaciones, en otras palabras a partir de estas, se representan la acumulación del agua en función del valor de este índice, así de esta manera se puede observar en que zonas se acumula más agua que en otras.

Tabla 3.4 Reclasificación de acuerdo al rango de pendientes

Índice Topográfico de Humedad	Nivel de Amenaza (Escala Lineal)
>50	1
20-50	2
5-20	3
1-5	4
<1	5

Fuente: Modelo de los Regímenes de Inundación del Ministerio del Ambiente (2013).

3.6.3. ELABORACIÓN DE UN MAPA DETALLADO DEL RÉGIMEN DE INUNDABILIDAD DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL

Actividad 5. Elaboración de la zonificación geomorfológica. En este mapa se ilustró lugares, zonas con potencial de inundación, escurrimiento concentrado y difuso de la subcuenca del río Carrizal.

Actividad 6. Para constatar las zonas delimitadas como susceptibles a inundaciones en la subcuenca del río Carrizal, se visitó cada una de estas y se evidenció su presencia mediante material fotográfico.

Actividad 7. Entrega de documentación. Este acápite se expuso los resultados del estudio realizado y se enfatizaron áreas aptas y no aptas para asentamientos y con potencial a riesgos a los responsables de la planificación urbana y a las comunidades locales.

Actividad 8. Se gestionó la planificación y ejecución de medidas preventivas y de gestión del riesgo en base a los resultados obtenidos.

3.7. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de índole no experimental, donde su análisis de datos se ejecutó mediante las herramientas del sistema de información geográfica, en el cual se elaboraron las variables del Modelo Digital de Elevación (MED), Acumulación de Flujo, Cálculo de pendientes, Índice topográfico de Humedad y el Nivel de riesgo de inundación, en complemento se empleó el uso de hojas de datos para el registro de los datos obtenidos mediante el uso de tablas y gráficos representativos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. APLICACIÓN DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL, PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO

Se obtuvo la elevación digital (MED) de la Subcuenca del río Carrizal, que permitió mapear la distribución espacial de la humedad del suelo, y se generó un (MED) de alta resolución con un área umbral de $90 \times 90 \times 23 = 187500$ metros cuadrados (Clasificación de Horton) obtenidos de curvas de nivel. Este procedimiento además permitió obtener información detallada sobre la topografía de la Subcuenca del río Carrizal.

Es de destacar que se escogió el área de umbral de celdas de 90×90 debido a que los pixeles muestran con más claridad las pendientes y áreas a evaluar, además se requerían mayor cantidad de pixeles dado la amplitud del área de la subcuenca, parámetros que no lo brinda áreas de 30×30 que se utilizan en áreas más pequeñas (Arteaga et al., 2020). El uso de celdas de 90×90 es esencial para obtener MED en áreas extensas, puesto que ayuda a reducir la complejidad del cálculo y a gestionar los conjuntos de datos topográficos de humedad en áreas extensas (Sorensen y Seibert, 2007).

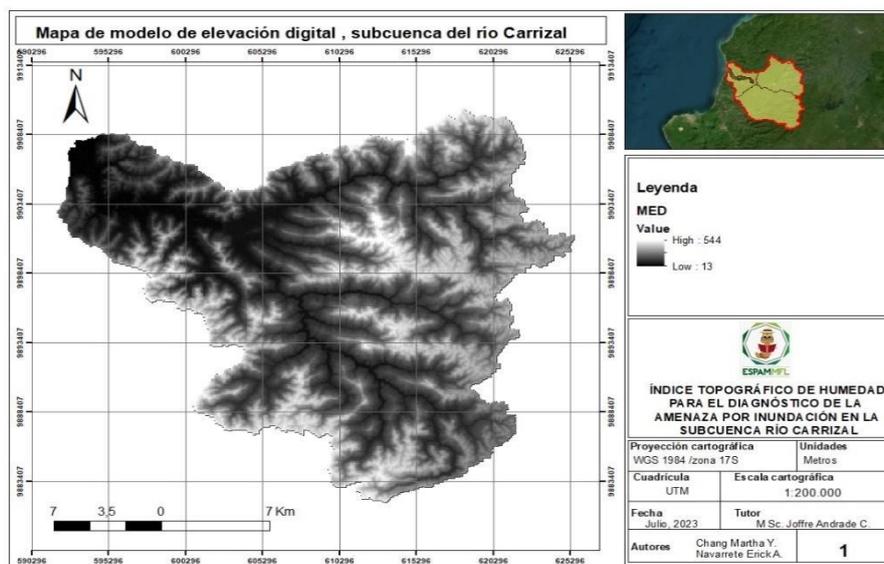


Figura 4.1 Cartografía de Elevación Digital (MED), subcuenca del río Carrizal.

Fuente: Sistema de Información Geográfica (GIS)

En la Figura 4.1 se muestra el MED de elevación máxima 544 metros y una elevación mínima de 13 metros. A continuación, se ilustran los discernimientos de acumulación del escurrimiento superficial, conteo acumulativo de las zonas que drenan hacia una dirección y la red de drenajes.

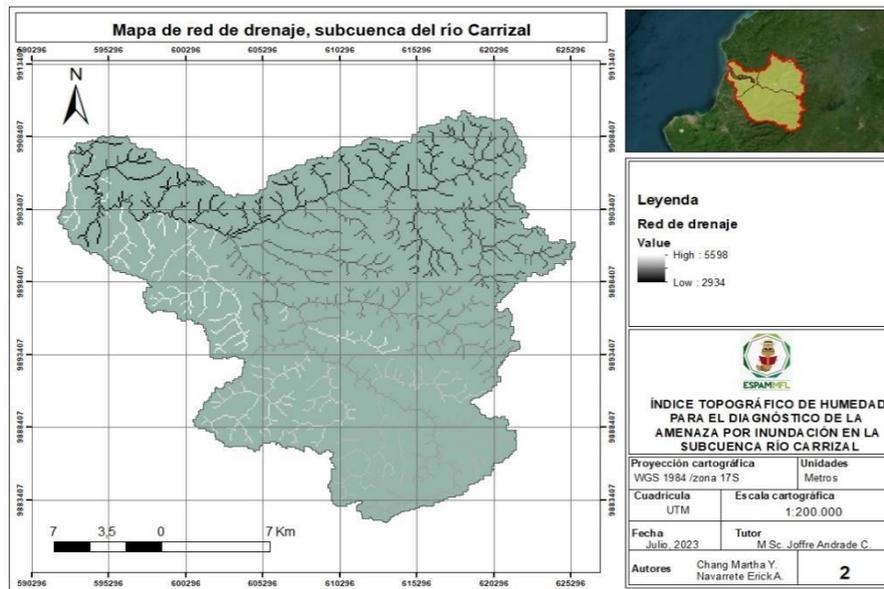


Figura 4.2. Cartografía de la red de drenaje de la subcuenca del río Carrizal.

Fuente: Sistema de Información Geográfica (GIS)

En la Figura 4.2 se presenta el mapa detallado de la red de drenajes que abarca la subcuenca del río Carrizal. Este sistema de drenaje exhibe variaciones marcadas en diferentes áreas de la subcuenca. En la porción noroeste y parte del este de la subcuenca, se visualiza una densidad notablemente mayor de cursos de agua y canales de drenaje. Esta concentración intensa de vías fluviales sugiere un flujo de agua más agrupado en esa región específica.

En contraste, en el suroeste del área de estudio, se aprecia una densidad intermedia en la red de drenajes. La presencia de cursos de agua y canales en esta zona es notoria, pero no alcanza la misma intensidad observada en la región noroeste y parte del este.

En dirección hacia el norte y parte del noroeste, la densidad de drenajes disminuye notablemente. En esta porción, se observa una menor cantidad de cursos de agua y canales de drenaje, lo que indica una reducción en la agrupación del flujo de agua en estas áreas.

Estas variaciones en la densidad de la red de drenajes en diferentes secciones de la subcuenca del río Carrizal reflejan la complejidad de los patrones hidrológicos en la zona. Factores topográficos, geológicos y climáticos pueden contribuir a estas diferencias en la distribución y concentración del flujo de agua en la subcuenca, lo que tiene implicaciones importantes para la gestión de recursos hídricos y la comprensión de la humedad del suelo en la región.

Estudios como el de Leiva (2012) y Roa y Kamp (2012), determinan que las redes de drenajes tienen incidencia en los niveles de concentración de humedad en áreas de una subcuenca. La red de drenaje de una subcuenca, establece cómo fluye el agua a través de la región, las corrientes subterráneas a menudo siguen las rutas trazadas por los cursos de agua superficiales, e influye directamente en la distribución espacial del Índice Topográfico de Humedad (ITH) (Lara *et al.*, 2021) y Camino *et al.*, (2018).

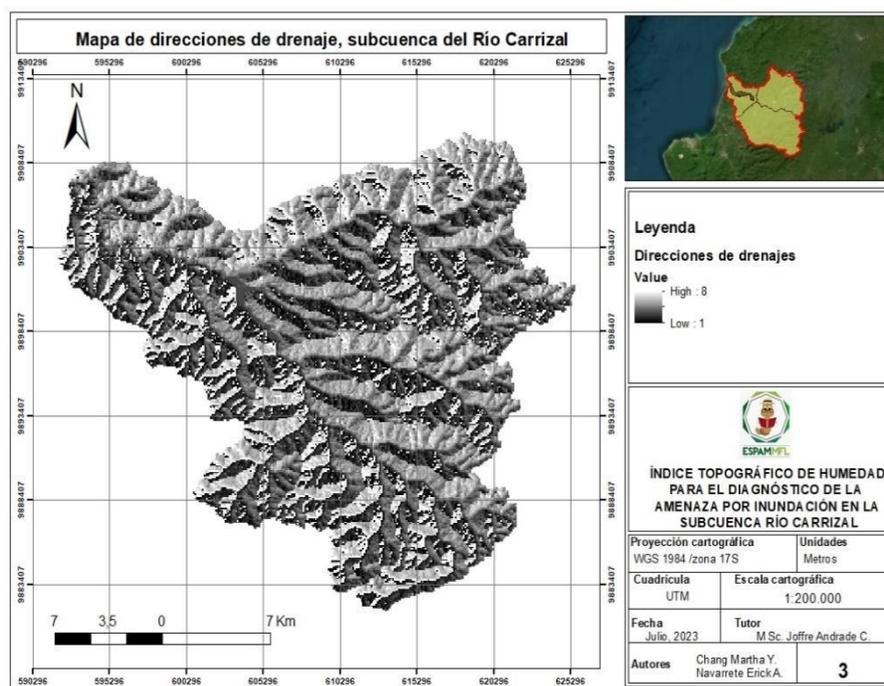


Figura 4.3 Cartografía de la dirección de drenaje de la subcuenca del río Carrizal.
 Fuente: Sistema de Información Geográfica (GIS)

En la Figura 4.3 se revela el origen y las principales direcciones de los drenajes en la subcuenca del río Carrizal. Estos fluyen de manera consistente desde el este hacia el noroeste, lo cual se debe en gran medida a la marcada densidad de la red de drenajes en esta región. La presencia de corrientes principales que actúan como conductos para el flujo de agua refuerza esta tendencia natural.

La relación entre la dirección del drenaje y la densidad de la red en la zona noroeste resalta la relevancia crucial de esta área en el sistema de flujo de agua dentro de la subcuenca del río Carrizal. Además, es importante señalar que la dirección predominante hacia el noroeste podría estar influida por diversos factores topográficos y geográficos presentes en la región. Estos parámetros se hacen evidentes en el Modelo de Elevación Digital (MED), donde se observa una elevación mínima de 13 metros con una concentración especialmente notable en el noroeste.

Ciertamente, este patrón de dirección del drenaje y la variabilidad en la densidad de la red de drenajes subraya la interacción intrincada entre la topografía del terreno, la geografía circundante y el flujo de agua en la extensa subcuenca del río Carrizal, esta dinámica hidrológica desempeña un papel esencial en la evaluación y comprensión de la amenaza de inundación en esta región (Lanfri, 2011).

Además, es esencial explicar que, las direcciones de drenaje ejercen una influencia significativa sobre los ITH (Ramírez *et al.*, 2022). Esto sucede debido a la configuración de las redes de drenajes, donde la disposición y orientación de los cursos de agua y esteros, puede afectar la forma en que el agua fluye y se acumula en la cuenca (Lara 2018). En tal sentido, las direcciones de drenaje influyen en la distribución espacial de la humedad de la subcuenca, por lo que es un parámetro necesario de considerar, al plantear análisis de la hidrología de una subcuenca y vislumbrar cómo se comporta el agua en su entorno geográfico (González, 2004).

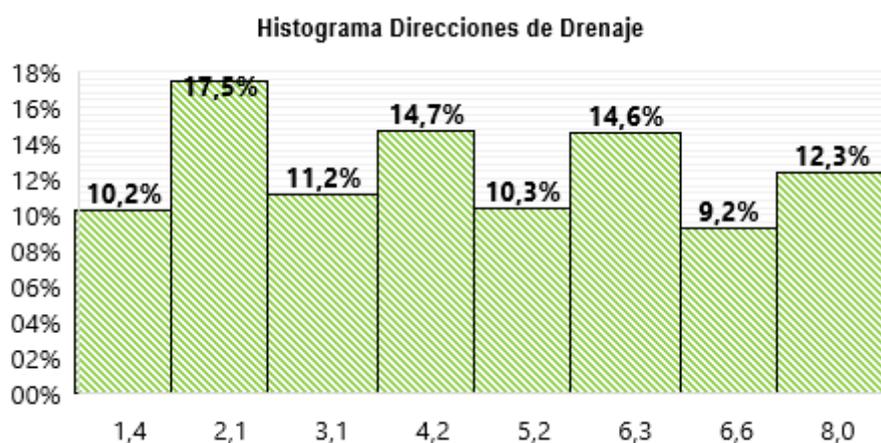


Figura 4.4 Histograma de dirección de drenajes

El histograma de direcciones de drenaje en relación con la topografía del terreno de la subcuenca del río Carrizal Figura 4.4 proporciona una visión esclarecedora de la distribución de los flujos de agua en función de la orientación del terreno. En este análisis, se puede apreciar cómo diferentes grados de pendiente y depresiones influyen en la dirección de escurrimiento en diversas áreas de la subcuenca.

Se destaca que un ángulo de $2,1^\circ$ abarca aproximadamente el 17,5% (10.900 km²) del área total de la subcuenca. Esta dirección de flujo, presente en pendientes suaves o depresiones, indica la acumulación de agua en áreas específicas. Además, rangos de $4,2^\circ$ a $6,3^\circ$ ocupan alrededor del 14% (9.000 km²) del territorio, correspondiendo a zonas con pendientes más pronunciadas y, por ende, una posible mayor velocidad de escurrimiento.

Por otro lado, el ángulo de 8° abarca un 12% (7.683 km²) del área total de la subcuenca, indicando flujos de agua más concentrados en ubicaciones particulares. Las direcciones de $3,1^\circ$, $1,4^\circ$ y $5,2^\circ$ representan alrededor del 11% (6.964 km²) del territorio cada una, mientras que el ángulo de $6,6^\circ$ engloba el 9% (5.759 km²) de la subcuenca. Estas variaciones reflejan una serie de direcciones complejas y diversas inherentes a la topografía característica de la zona.

Es relevante señalar que, en su conjunto, las direcciones no superan los 8° . El ángulo más frecuente es el de $2,1^\circ$, lo que sugiere que el flujo de agua tiende a dirigirse hacia el noroeste en la subcuenca. Este patrón sugiere que esta región funciona como un punto de convergencia para los escurrimientos procedentes de áreas circundantes a lo largo del cauce del río Carrizal.

Este análisis de las direcciones de drenaje en relación con la topografía resalta cómo la interacción entre la pendiente del terreno y la distribución de las direcciones de flujo desempeñan un papel crucial en el comportamiento hidrológico de la subcuenca. Estos hallazgos proporcionan información valiosa para comprender cómo el agua se desplaza en el paisaje y pueden ser fundamentales para la gestión efectiva de los recursos hídricos y la planificación de medidas de prevención ante eventos de inundación en la subcuenca del río Carrizal.

En áreas de la parroquia Membrillo, se identifican zonas con pendientes inclinadas y complejas de moderada o baja, mismas que tienen un buen drenaje moderadamente profundos en dirección norte y noroeste (Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial la Parroquia Quiroga [PDyOT-Quiroga], 2019-2023).

Por otro lado, zonas de la parroquia Quiroga, concentra direcciones de drenaje que generalmente son esteros y se originan en las estribaciones hacia el río Carrizal, caudal que recorre de este a oeste la parroquia, hacia la ciudad de Calceta en dirección de sur a noroeste (Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial la Parroquia Membrillo [PDyOT-Membrillo], 2019-2023).

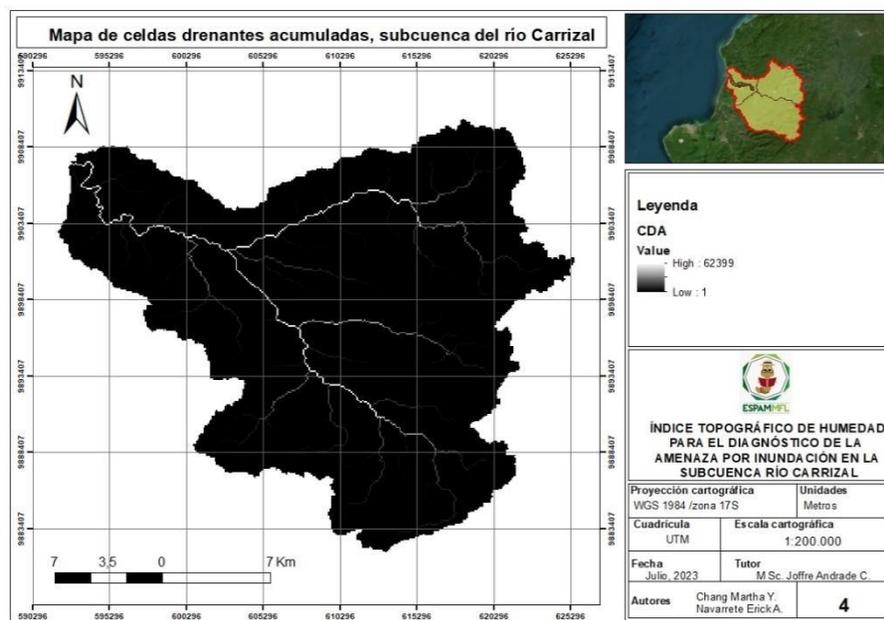


Figura 4.5 Cartografía de acumulación de flujo de la subcuenca del río Carrizal.
Fuente: Sistema de Información Geográfica (GIS)

El mapa de Acumulación de Flujo de la subcuenca del río Carrizal Figura 4.5 exhibe los valores de acumulación que muestran una estrecha correlación con la alta densidad de la red de drenaje en la región. Estos valores se alinean con una dirección predominante del flujo de agua, que se extiende desde el este hacia el noroeste. En estas áreas, varias trayectorias de agua convergen, dando lugar a una compleja red de conducciones de drenaje.

De acuerdo al Modelo de los Regímenes de Inundación del Ministerio del Ambiente (2013) la acumulación de flujo converge en áreas en donde el agua de lluvia o el escurrimiento superficial se reúnen y se desplazan a lo largo de una cuenca hacia los ríos o arroyos, esta acumulación depende en gran medida de

las características topográficas del terreno y determina las áreas que más retienen humedad.

La observación de la relación entre la acumulación de flujo y el ITH es un aspecto esencial para la gestión de recursos hídricos y la planificación de medidas de prevención de inundaciones, proporcionan información valiosa sobre la distribución de la humedad en función de la topografía, permite comprender los patrones de escurrimiento superficial, y el riesgo de inundaciones en una subcuenca (Leiva, 2012).

El análisis de la acumulación del escurrimiento superficial, realizado a partir de los ráster previos, fue un paso fundamental para complementar la información necesaria para estimar el índice topográfico de humedad. Para lograr esto, se emprendió la tarea de estimar las pendientes en grados en toda la extensión territorial de la subcuenca del río Carrizal.

La determinación de estas pendientes se llevó a cabo mediante el uso del Modelo de Elevación Digital (MED) y la aplicación de los algoritmos Strahler order en el sistema de información geográfica. Para calcular la pendiente en radianes, se utilizó una fórmula específica que se introdujo en la función Raster Calculator del sistema de información geográfica. El resultado de este procesamiento representó las pendientes convertidas a radianes, proporcionando una imagen cartográfica de las pendientes existentes (Figura 4.5).

La conversión de las pendientes de grados a radianes desempeña un papel crucial, ya que proporciona una representación angular más apropiada para el análisis topográfico (Benegas, 2007). Esta transformación permite una evaluación más precisa de los gradientes de elevación en el terreno, lo que es esencial para comprender la distribución de la humedad y la respuesta hidrológica en la subcuenca del río Carrizal (Mata, 2016).

En conjunto, la combinación de la acumulación de flujo y la estimación de las pendientes en radianes aporta una base sólida para la evaluación del índice topográfico de humedad en la subcuenca. Estos datos ofrecen información valiosa para comprender la dinámica hidrológica y la respuesta del terreno al

flujo de agua, lo que es fundamental para la gestión efectiva de los recursos hídricos y la planificación de medidas de manejo en la región.

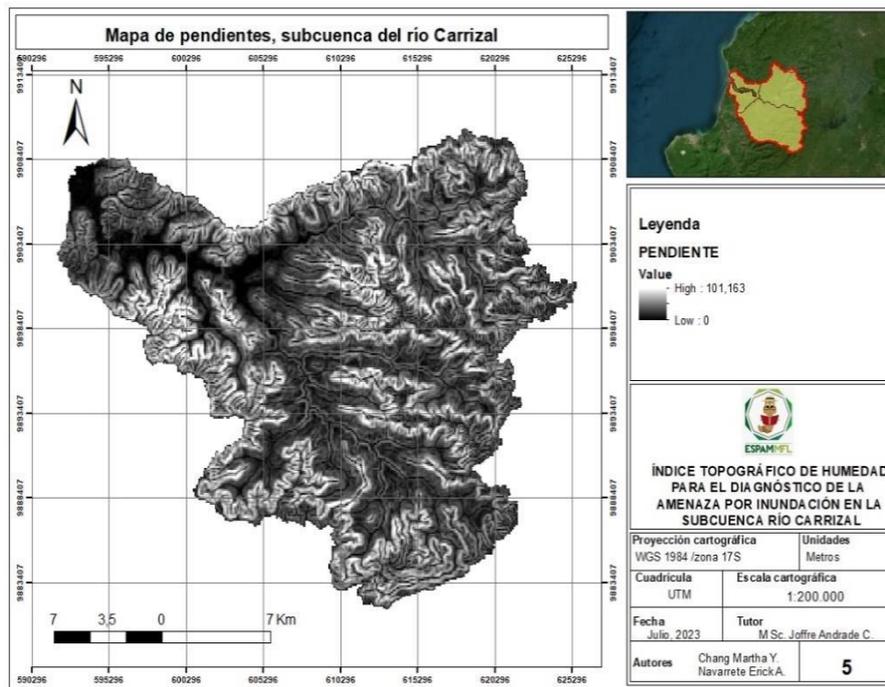


Figura 4.6 Cartografía de las pendientes presentes en la subcuenca del río Carrizal.
Fuente: Sistema de Información Geográfica (GIS)

Las pendientes representadas en la Figura 4.6 presentan ciertas relaciones con los ráster anteriores, proporcionando una visión más profunda de la morfología de la subcuenca del río Carrizal. Se observa que el área de la subcuenca se caracteriza por una topografía predominantemente colimada y plana, con elevaciones que no superan los 550 metros según el Modelo de Elevación Digital (MED). A lo largo de la extensión de las mayores densidades de direcciones y acumulación de flujo, se observan pendientes suaves o casi planas.

Además, se pueden apreciar pendientes más pronunciadas en los alrededores de la subcuenca, particularmente en las áreas noreste, sureste y suroeste. Estas pendientes más empinadas indican un mayor gradiente topográfico, lo que a su vez conlleva un mayor potencial para el escurrimiento superficial. La presencia de estas pendientes más pronunciadas en las zonas periféricas de la subcuenca puede influir en la concentración y la velocidad del flujo de agua en dirección hacia el interior.

En contraste, las áreas de menor altitud muestran una ausencia de pendientes significativas, en consonancia con los resultados obtenidos del MED y los ráster de acumulación de escurrimiento superficial. Esta observación sugiere un menor potencial para el escurrimiento superficial en la región noroeste de la subcuenca. Esto podría atribuirse a la presencia de terrenos más planos o depresiones topográficas, que propician una mayor acumulación del flujo de agua en estas áreas y, por ende, limitan el potencial de escurrimiento superficial en comparación con las zonas de pendientes más pronunciadas.

El análisis de las pendientes en la subcuenca del río Carrizal aporta una comprensión más detallada de la topografía y su relación con los patrones de flujo de agua. Las pendientes suaves en las áreas de alta densidad de direcciones y acumulación de flujo, así como las pendientes más marcadas en las zonas periféricas, desempeñan un papel crucial en la distribución y el comportamiento del escurrimiento superficial en esta región.

De acuerdo a Hernández *et al.*, (2017) las pendientes de una subcuenca están directamente relacionadas con las inundaciones y los índices topográficos de humedad, ya que la pendiente es un factor importante que influye en la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la respuesta hidrológica en la subcuenca.

Además, la determinación de las pendientes puede ser útiles para identificar las zonas de descarga de agua subterránea en una subcuenca, lo que puede ser importante para la gestión de recursos hídricos y la determinación de índices de humedad (Modelo de los Regímenes de Inundación del Ministerio del Ambiente, 2013).

La relación entre las pendientes de una subcuenca y el ITH es fundamental para entender cómo se distribuye y retiene la humedad en un área determinada, infringiendo un impacto directo en la gestión de recursos hídricos, la planificación urbana y la evaluación de riesgos de inundaciones en la región (Lara *et al.*, 2021).

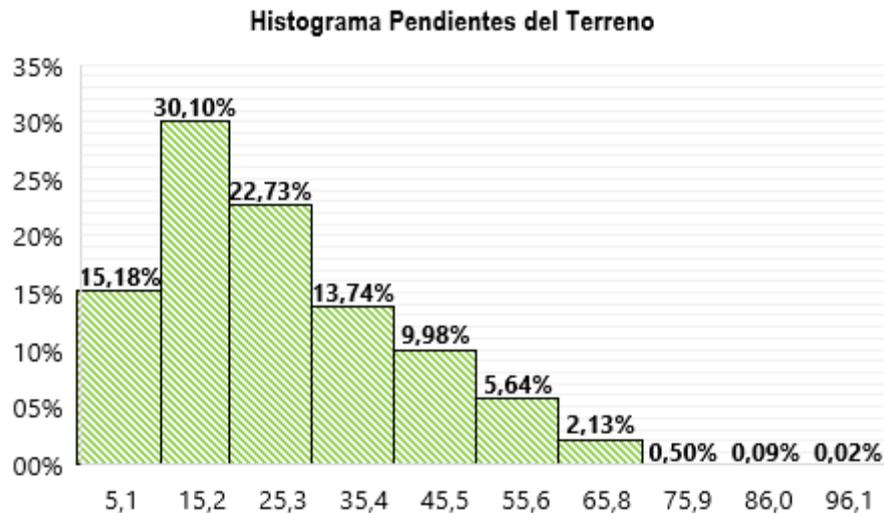


Figura 4.7 Histograma de pendientes.

A través del análisis del histograma Figura 4.7, se puede discernir distintos patrones de pendiente en la subcuenca del río Carrizal. Aproximadamente un 30% (18.754 km²) del área de la subcuenca presenta pendientes de 15,2°, caracterizándose por una topografía moderada que combina terrenos relativamente planos con algunas suaves inclinaciones. Un 22% (14.169 km²) del territorio exhibe pendientes más pronunciadas de 25,3°, señalando terrenos más inclinados y, consecuentemente, un mayor potencial de escurrimiento.

Por otro lado, las áreas con pendientes más bajas, alrededor del 15% (9.459 km²) del total, corresponden a inclinaciones de 5,1°. Estas pendientes suaves y planas ejercen un efecto importante en la retención de humedad y el flujo más pausado del agua, distribuyéndose principalmente a lo largo de los cursos principales de la subcuenca.

En contraste, las pendientes más pronunciadas, como las de 35,4°, comprenden aproximadamente el 13% (8.566 km²) del área total. Estas zonas, conforme a la cartografía de pendientes Figura 4.6, sugieren terrenos empinados y abruptos, influenciando en la velocidad del escurrimiento y limitando la capacidad de retención de humedad.

Cabe destacar que las pendientes aún más empinadas, superiores a 45,5°, constituyen alrededor del 18% (11.411 km²) del área total de la subcuenca. Estos terrenos más escarpados se presentan de manera más limitada en la región y pueden generar flujos de agua rápidos y concentrados en ciertas áreas.

Es relevante mencionar que estos parámetros tienen ciertas correspondencias con los hallazgos de Moreira (2021), quien identificó diferentes clases de pendientes en la subcuenca, incluyendo terrenos planos, moderadamente escarpados y muy escarpados, lo que respalda la validez de los resultados obtenidos.

Basándonos en estas consideraciones y aprovechando los datos obtenidos de las variables evaluadas, se procedió al cálculo del Índice Topográfico de Humedad (ITH) mediante un algoritmo que integra la pendiente y la acumulación de flujo de agua en el terreno. El ITH proporciona una medida cuantitativa de la humedad relativa del suelo, donde valores más altos indican áreas con mayor contenido de humedad. La Figura 4.6 ilustra de manera gráfica estos valores en la subcuenca del río Carrizal.

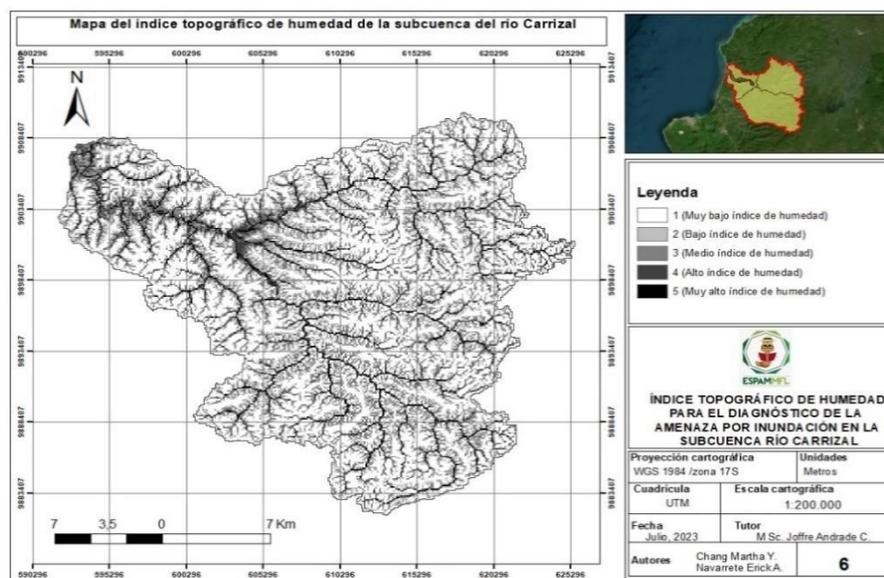


Figura 4.8 Cartografía del Índice Topográfico de Humedad de la subcuenca del río Carrizal.

Fuente: Sistema de Información Geográfica (GIS)

Nota: Las escalas estimadas dentro del Índice Topográfico de Humedad se realizaron en función de lo determinado por el Modelo de los Regímenes de Inundación del Ministerio del Ambiente (2013) bajo una escala lineal con las siguientes denominaciones cualitativas **(5)** Muy Alto Índice de Humedad, **(4)** Alto Índice de Humedad, **(3)** Medio Índice de Humedad, **(2)** Bajo índice de Humedad **(1)** Muy Bajo índice de Humedad.

Los resultados del Índice Topográfico de Humedad (ITH), representados en la (Figura 8), ofrecen una visualización clara de la distribución de humedad en la subcuenca del río Carrizal. Se destaca que las concentraciones más significativas de humedad (correspondientes a valores de ITH considerados

como "Muy Alto" y "Alto") se sitúan principalmente en las regiones norte y noroeste de la zona de estudio.

Este patrón de concentración de humedad está influenciado por diversos factores topográficos e hidrológicos, como las pendientes del terreno, la acumulación de flujo de agua y la altitud. Las áreas con una mayor humedad relativa tienden a asociarse con pendientes más suaves, una acumulación de flujo más pronunciada y elevaciones más bajas. Estos elementos en conjunto favorecen la retención de humedad en el suelo y contribuyen a una mayor disponibilidad de agua en estas áreas.

En contraposición, las áreas con valores de ITH más bajos (clasificados como "Medio", "Bajo" y "Muy Bajo") se localizan en las zonas del noreste, este y suroeste de la subcuenca. Estas áreas presentan características topográficas que incluyen pendientes más pronunciadas, una menor acumulación de flujo de agua y elevaciones más altas. Estos factores combinados limitan la retención de humedad en el suelo y pueden resultar en un menor contenido de agua disponible en estas áreas.

En relación a los resultados del ITH obtenido, Arteaga *et al.*, (2020) presentó tendencias similares en el sector de La Mina que forma parte de la subcuenca del río Carrizal, en donde la mayor zona de humedad se concentraba en pendientes suaves y donde se generaban la mayor concentración de acumulación de flujo.

Tendencias similares reportan estudios realizados por la Secretaría Nacional De Gestión De Riesgos, [SNGR], (2011) y datos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Bolívar [PDYOT-BOLÍVAR] (2019-2023) en donde las mayores concentraciones de humedad y riesgos de inundaciones en la subcuenca del río Carrizal se representaban en pendientes suaves o nulas y sobre todo en las direcciones del flujo del cauce principal.

Las propensiones anteriores también se presentan en estudios como el de Lara *et al.*, (2021) quienes presentaron zonas de muy alto potencial de humedad ubicadas en la zona media de la subcuenca del río Chambo localizándolas en suelos con permeabilidad, porosidad y fisuración, con pendientes de 2%-5%, con

relieve escarpado y montañoso, vertientes irregulares, piedemonte y laderas coluviales.

Por su parte Cárdenas (2019) evidenció en la cuenca del río Pula del cantón Daule, que los índices de humedad en gran parte de la zona estudiada se encuentran elevados en áreas que no tienen pendientes, puesto que la extensión territorial de la cuenca corresponde a una zona plana, en donde existen concentraciones de direcciones drenantes y altos del índice de acumulación del flujo superficial. Singularidades que también reporta Durazno (2020) en la cuenca del río Tabacay en el cantón Cuenca, en el cual detectó que las áreas con menores pendientes y mayor acumulación de flujos y concentración de la red de drenajes mantienen mayores índices de humedad en el suelo.

En resumen, la distribución del ITH en la subcuenca del río Carrizal refleja una compleja interacción entre la topografía del terreno y los patrones hidrológicos. Las áreas con concentraciones más altas de humedad están ligadas a condiciones topográficas e hidrológicas que favorecen la retención y disponibilidad de agua en el suelo.

Por otro lado, las áreas con valores de ITH más bajos están influenciadas por características que limitan la retención de humedad en el suelo. Estos resultados son esenciales para comprender las variaciones en la humedad del suelo en la subcuenca y pueden tener implicaciones significativas para la gestión de recursos hídricos y la planificación de medidas de manejo en la región.

En general, la distribución del ITH en la subcuenca del río Carrizal refleja una compleja interacción entre la topografía del terreno y los patrones hidrológicos que favorecen la retención y disponibilidad de agua en el suelo, en donde se asocian las redes y direcciones drenantes, acumulación del flujo del agua y las pendientes del área de la subcuenca, (Roa y Kamp, 2012). Cabe recalcar que el comportamiento de los índices del ITH varía en dependencia de la cobertura vegetal en la cuenca, adicional, durante las temporadas de secas, el porcentaje de humedad es menor para sitios con arbustos y encinos y mayor para sitios con pasto (Martínez *et al.*, 2010) y (Calderón *et al.*, 2020).

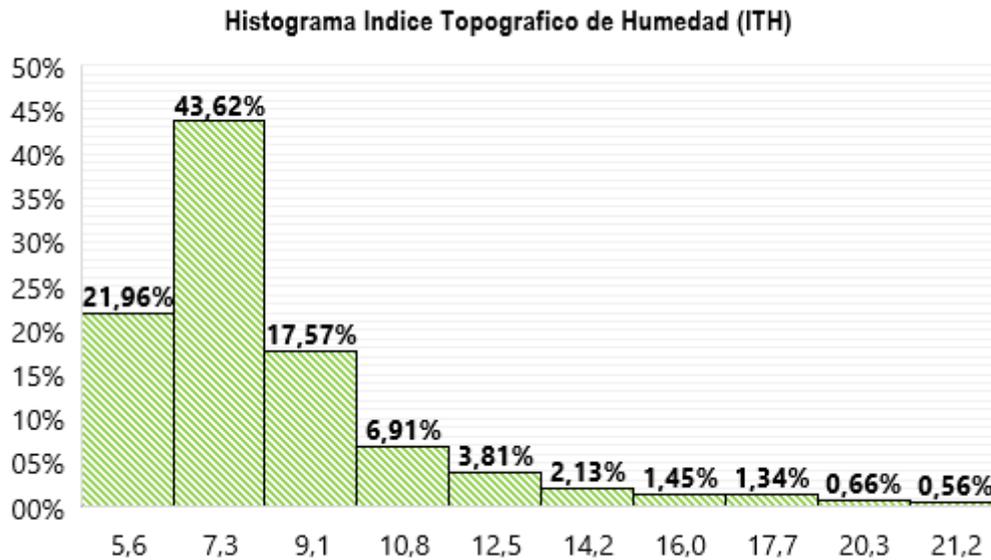


Figura 4.9 Histograma del Índice Topográfico de Humedad (ITH)

El histograma mostrado en la Figura 4.9 ofrece una representación de los valores del Índice Topográfico de Humedad (ITH) con respecto a la determinación de la concentración del escurrimiento en la subcuenca del río Carrizal. Los resultados indican que el índice de humedad 7.3 abarca la mayor extensión del área de estudio, ocupando un 43,62% (27.216 km²) del territorio. Le siguen los índices de humedad 5,6, que cubren el 21% (13.702 km²) de la subcuenca. Estas zonas se caracterizan por tener una menor capacidad para retener la humedad, lo que resulta en un escurrimiento superficial más rápido. Esta característica disminuye la probabilidad de riesgos de inundaciones en estas áreas.

Por otro lado, los índices que representan niveles intermedios de humedad, como los de 9,1, abarcan alrededor del 17,57% (10.903 km²) del área evaluada. Estas áreas contemplan una capacidad intermedia para retener la humedad en el suelo, lo que contribuye a un escurrimiento superficial más rápido en comparación con las zonas de mayor humedad.

Los niveles de concentración de humedad, con índices que oscilan desde 10,8 hasta 21,2, comprenden aproximadamente el 16% (10.518 km²) del área total de la subcuenca. Estas zonas, que están en concordancia con las representaciones cartográficas del ITH Figura 4.8, se encuentran principalmente a lo largo del cauce del río Carrizal y en áreas con pendientes bajas en la región noroeste de la subcuenca.

Esta distribución sugiere una mayor vulnerabilidad a inundaciones en estas zonas debido a la topografía y a la acumulación de flujo de agua en el área. Estas áreas con mayor concentración de humedad podrían experimentar un escurrimiento superficial más lento y una menor capacidad para manejar volúmenes de agua adicionales, aumentando el riesgo de inundaciones en eventos de lluvia intensa.

En conjunto, el análisis de los valores del ITH y su relación con la concentración del escurrimiento proporciona información crucial para la comprensión de la vulnerabilidad a inundaciones en la subcuenca del río Carrizal. Estos resultados son fundamentales para la planificación y gestión de recursos hídricos, así como para la toma de decisiones en términos de mitigación y prevención de riesgos en la región.

En relación a los parámetros obtenidos en el presente estudio, se destaca el trabajo previo realizado por Muñoz y Vera (2021), quienes evaluaron ITH en la comunidad Las Brisas – Quiroga, ubicada en la cuenca media del río Carrizal. En su investigación, encontraron una mayor acumulación de humedad con un valor de 5,68, abarcando aproximadamente 61 hectáreas, lo que representa un 38,83% del área total en estudio.

Por otro lado, se identificaron 0,65 hectáreas (0,41%) con un valor de ITH más elevado, alcanzando 14,61. Aunque el estudio de Muñoz y Vera (2021) no abarca el plano general de la subcuenca, sus resultados concuerdan con los obtenidos en el estudio, puesto que ambos muestran bajos índices de ITH en la mayoría del territorio.

Del análisis del ITH y la evaluación de sus índices mediante el histograma, se realizó de un mapa detallado del régimen de inundación, basado en el ITH y otros factores geográficos, este planteó información precisa sobre la magnitud, frecuencia y extensión de las inundaciones en la región, a partir de una reclasificación del ITH dispuesto en el siguiente acápite.

4.2. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A INUNDACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO, PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS A POSIBLES INUNDACIONES

Realizado el análisis de la presencia de humedad en el área de estudio, se realizó la reclasificación del ITH para identificar y determinar las áreas críticas con mayor riesgo de inundación en la subcuenca del río Carrizal. Para su desarrollo se reclasificaron los valores obtenidos del ITH, mediante el modelo “Natural Breaks” con el apoyo de la herramienta Reclassify en el SIG Qgis.

Conforme al Modelo de los Regímenes de Inundación del Ministerio del Ambiente (2013), se reclasificaron los criterios de ITH mediante el algoritmo de Jenks en 5 categorías (Tabla 4.1), se representan la acumulación del agua en función del valor de este índice; así de esta manera se puede observar en que zonas se acumula más agua que en otras.

Tabla 4.1. Categorías del Algoritmo de Jenks para determinación del régimen de Inundabilidad.

Nivel de Amenaza (Escala Lineal)	Algoritmo de Jenks (Categorías)	Descripción
1	Muy Bajo Régimen de Inundabilidad	Estas áreas tienen una menor capacidad para retener la humedad y el escurrimiento superficial es más rápido, reduciendo la probabilidad de inundaciones.
2	Bajo Régimen de Inundabilidad	Estas áreas tienen una capacidad moderada para retener la humedad y un escurrimiento superficial relativamente rápido. Pueden experimentar inundaciones en eventos de lluvias intensas o prolongadas, pero la probabilidad de inundación es menor en comparación con las áreas de mayor régimen de Inundabilidad
3	Medio Régimen de Inundabilidad	Estas áreas muestran una capacidad intermedia para retener la humedad y un escurrimiento superficial moderado. Tienen un riesgo moderado de inundación, lo que significa que pueden experimentar inundaciones en eventos de precipitaciones intensas o en áreas de acumulación de agua, pero no tan frecuentemente como las áreas de mayor régimen de Inundabilidad.
4	Alto Régimen de Inundabilidad	Estas áreas tienen una capacidad moderada de retener la humedad y un escurrimiento superficial algo lento. Son propensas a inundarse con mayor frecuencia, especialmente durante lluvias intensas o prolongadas por lo que el riesgo de inundación es significativo en estas áreas.
5	Muy Alto Régimen de Inundabilidad	Estas áreas tienen una alta capacidad para retener la humedad y el escurrimiento superficial es más lento debido a la saturación del suelo. Son altamente propensas a inundarse incluso con precipitaciones ligeras o moderadas por la dificultad de la evacuación del agua.

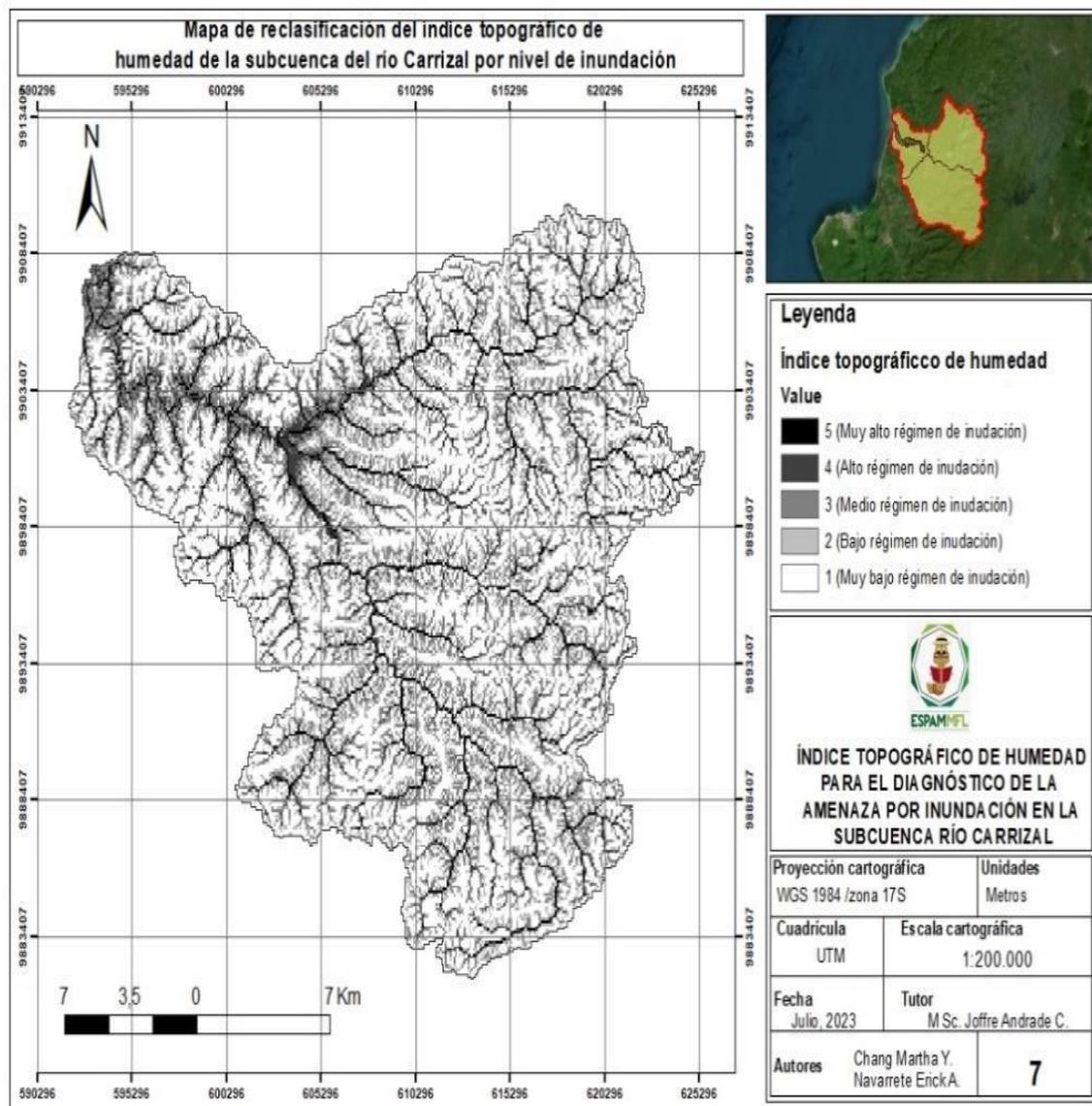


Figura 4.10. Reclasificación del Índice Topográfico de Humedad a Régimen de Inundación de la subcuenca del río Carrizal

Fuente: Sistema de Información Geográfica (GIS)

De acuerdo a la reclasificación del ITH Figura 4.10 y con base a los algoritmos de Jenks, se observa que la región norte y noroeste de la subcuenca del río Carrizal se encuentran las zonas de “Alto” y “Muy alto Régimen de Inundabilidad”, mismas que mantiene una alta capacidad de retención de humedad y un escurrimiento superficial más lento, lo que las hace altamente propensas al riesgo de inundaciones con lluvias intensas o prolongadas, e incluso con precipitaciones moderadas.

Adicionalmente se visualiza que las áreas del noreste, este y suroeste presentan un “Bajo” y “Muy Bajo Régimen de Inundación”, con menor capacidad de

retención de humedad y escurrimiento más rápido, lo que reduce la probabilidad de inundaciones, así mismo se encuentran áreas de "Medio Régimen de Inundación" en diferentes partes de la subcuenca, con riesgo moderado de inundación.

Los resultados concuerdan con los datos cartográficos de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, [SNGR], (2011) (Ver Anexo 1a) y el Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Bolívar [PDyOT-Bolívar], (2019-2023) (Ver Anexo 1b), las cuales determinan que las zonas de muy alto y alto riesgo de inundación se concentran en la región noroeste de la subcuenca del río carrizal, mismas que afectan a poblaciones como la parroquia rural de Quiroga y la parroquia urbana de Calceta y sus periferias.

La costa ecuatoriana y como tal Manabí históricamente han sido propensas a inundaciones estacionales que se producen cada año durante la época de lluvias y que se las llaman inundaciones históricas causadas por el fenómeno del Niño, la provincia en general siempre mantiene riesgos de inundaciones, sin embargo, es necesario remarcar que los cauces del río Portoviejo, río Chone y río Carrizal presentan áreas en riesgo medio, alto y extremadamente alto de inundaciones en donde se hallan expuestas a estos niveles de inundación principalmente las ciudades de Portoviejo, Chone, Calceta y poblaciones en el curso de estas subcuencas (Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research, [CISPDR], 2016).

Dentro del plano local, el PDyOT-Bolívar (2019-2023) determina las inundaciones en el cantón Bolívar y en específico las parroquias urbanas de Calceta se presentan de manera recurrente, dentro del período de 1971 al 2017, el Cantón Bolívar como tal representa el 2,94% de todos los desastres que sucedieron en la Zona 4 de planificación.

De acuerdo con los datos generados por el Instituto Geofísico Militar (IGM), El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Bolívar (GAD-Bolívar) en el año 2018, determinaron que de los 52357 km² de área del cantón el 6,46% (3382 Km²) del territorio tiene una susceptibilidad a inundación, es decir el 64.74 % tienen una amenaza alta,

seguida por una media de 32,67% y una baja con el 2,59% (PDyOT-Bolívar, 2019-2023).

Tal como se planteó en el análisis del régimen de Inundación, las poblaciones de Calceta y Quiroga son las más afectadas en términos de Inundación, las inundaciones características en la parroquia Quiroga según lo dispuesto por el PDyOT-Quiroga (2019-2023) causan efectos significativos en particular a la normal circulación del transporte (congestión, desvíos), daños en las carreteras y contaminación de agua potable en cisternas, lo que provoca enfermedades infecciosas que afectan a la población menos provista de servicios básicos.

Con base en datos cartográficos dispuestos en la ordenanza antes mencionada, se determina que, en la parroquia, mantiene un alto grado de amenaza del 0,10%, seguida por media con 3,50%, y con áreas expuesta a amenaza baja el 24,01%, mientras que el 45% con áreas de pendientes elevadas mantiene nulidad de inundaciones, las áreas con mayor susceptibilidad a riesgos se localizan en su parte urbana, ya que se encuentran aguas abajo de la presa La Esperanza. Esta zona está expuesta a posibles inundaciones súbitas que podrían ocurrir debido a un manejo inadecuado de los niveles de desfogue de la presa o, en el peor de los casos, a un eventual colapso (PDyOT-Quiroga, 2019-2023).

Dentro del área de la subcuenca de río Carrizal la única población que se encuentra exenta a riesgos de inundación prominentes es la parroquia Membrillo, de acuerdo a las cartografías revisadas de pendientes, acumulación de flujos y el ITH se observa que la región noreste y este donde se encuentra la misma, existen pendientes más elevadas, poca acumulación de flujo y un índice de humedad bajo. Generalmente el área correspondiente a partes bajas y cauces de grandes ríos en donde sobresale la llanura aluvial de Membrillo no es susceptible a ser afectada por inundaciones (PDyOT-Membrillo, 2019-2023).

En consenso de las nociones anteriores, se visualiza que la subcuenca del río Carrizal mantiene puntos críticos de Inundación que afectarían a la población en general en el plano económico y social, ante esto se hizo necesario el desarrollo de una zonificación georreferencial del régimen de inundación en la subcuenca,

puesto que es una herramienta esencial para el establecimiento de áreas de riesgo y proporcionar información precisa sobre la magnitud, frecuencia y extensión de las inundaciones, misma que se determinará en el siguiente acápite.

4.3. ELABORACIÓN DE UN MAPA DETALLADO DEL RÉGIMEN DE INUNDACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CARRIZAL, PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO Y PROPORCIONAR INFORMACIÓN SOBRE EL POTENCIAL DE INUNDACIONES

Se llevó a cabo una zonificación geomorfológica detallada y precisa con el propósito de delimitar las zonas con potencial de inundación en la subcuenca del río Carrizal. Esta zonificación se fundamentó en la integración de cartografías de elevación, dirección de drenajes y acumulación de flujo, en conjunto con los datos del ITH obtenidos.

La evaluación de estos parámetros permitió categorizar el área en diversas clases de inundabilidad, abarcando desde niveles de “Muy Alto Régimen de Inundabilidad” hasta “Muy Bajo Régimen de Inundabilidad”. Para representar estos distintos niveles de riesgo, se emplearon códigos de colores similares a los utilizados en un semáforo, lo que facilita la visualización y comprensión de los patrones de riesgo en la subcuenca.

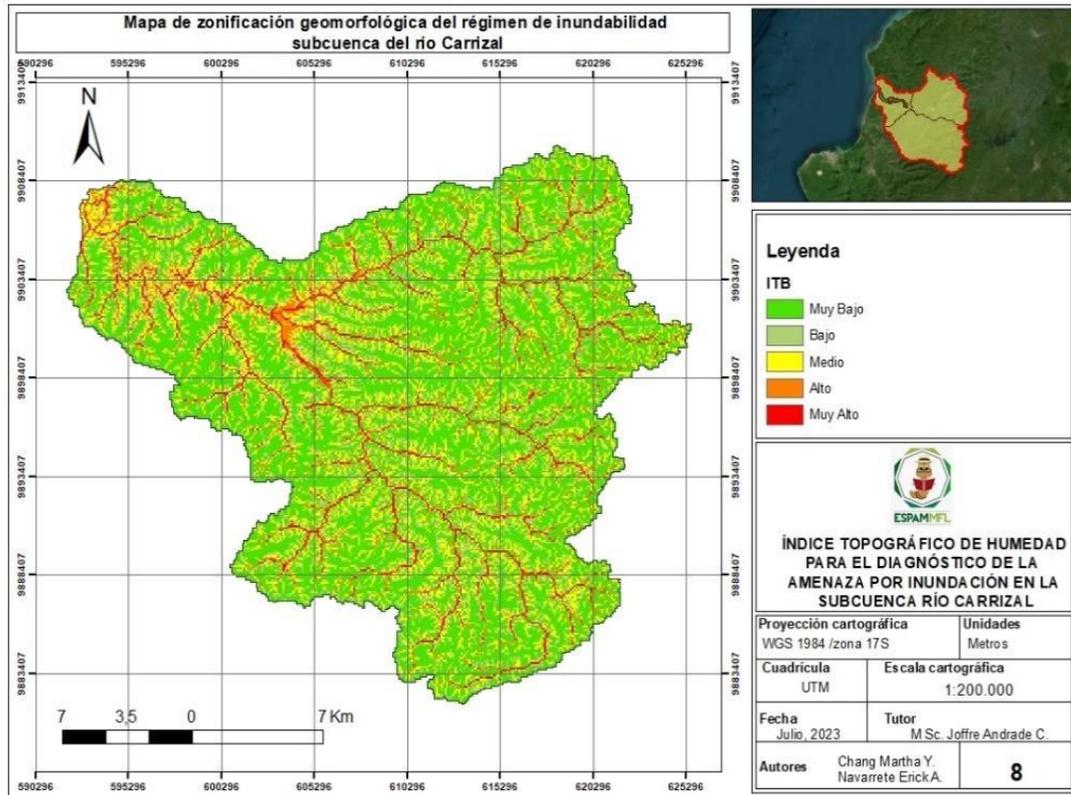


Figura 4.11 Zonificación Geomorfológica de áreas susceptibles a inundación en la subcuenca del río Carrizal.
Fuente: Sistema de Información Geográfica (GIS)

Por otro lado, se observan las áreas con niveles de “Muy Bajo” y “Bajo Régimen de Inundación”, representadas en colores verde claro y verde oscuro respectivamente. Estas áreas se distribuyen de manera diversa en diferentes partes de la subcuenca del río Carrizal, y su ubicación está relacionada con las pendientes del terreno. La morfología general del área de estudio se caracteriza por mantener elevaciones que no superan los 550 m, lo que contribuye a la presencia de estas áreas de menor riesgo de inundación.

Es importante notar que existe una relación clara entre los niveles de inundación, ya que las áreas de mayor riesgo tienden a estar contiguas entre sí, particularmente en el norte y noroeste de la subcuenca. Sin embargo, se observa una menor presencia de estas zonas en las regiones este, sur y oeste, excepto en el noroeste, donde factores como las escorrentías difusas contribuyen a la variabilidad observada.

En esta línea, las áreas propensas a inundaciones se concentran principalmente en las zonas norte y noroeste de la subcuenca. Esto está influenciado por los

patrones de humedad, así como por la presencia del embalse La Esperanza, que mantiene altos niveles de acumulación de flujo. Estos flujos se dirigen hacia el noroeste a lo largo del río Carrizal, en áreas con pendientes suaves o casi planas, donde se encuentran asentamientos poblacionales como la parroquia rural de Quiroga y la parroquia urbana de Calceta (Figura 4.12).

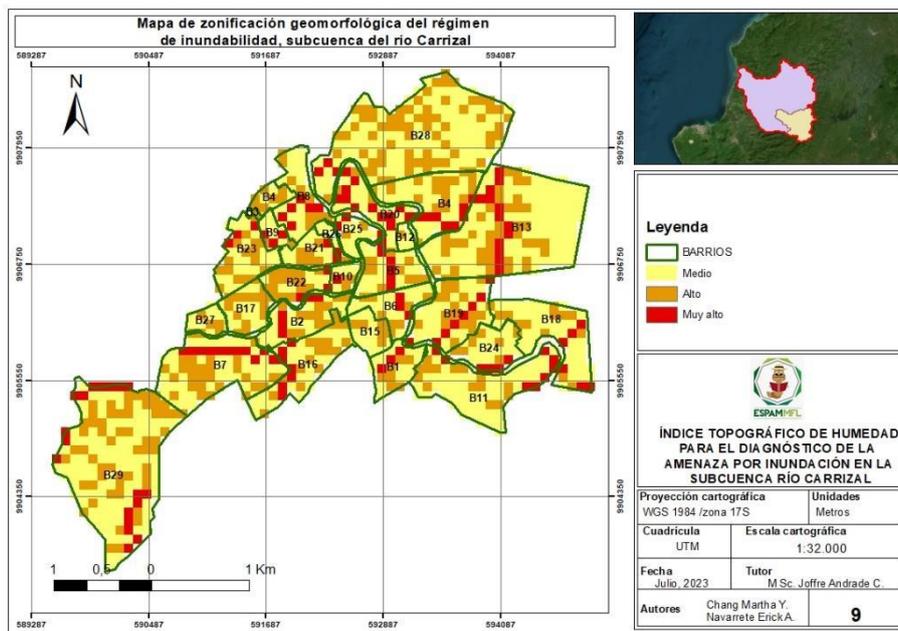


Figura 4.12 Zonificación Geomorfológica de barrios de la parroquia urbana Calceta susceptibles a inundación. Fuente: Sistema de Información Geográfica (GIS)

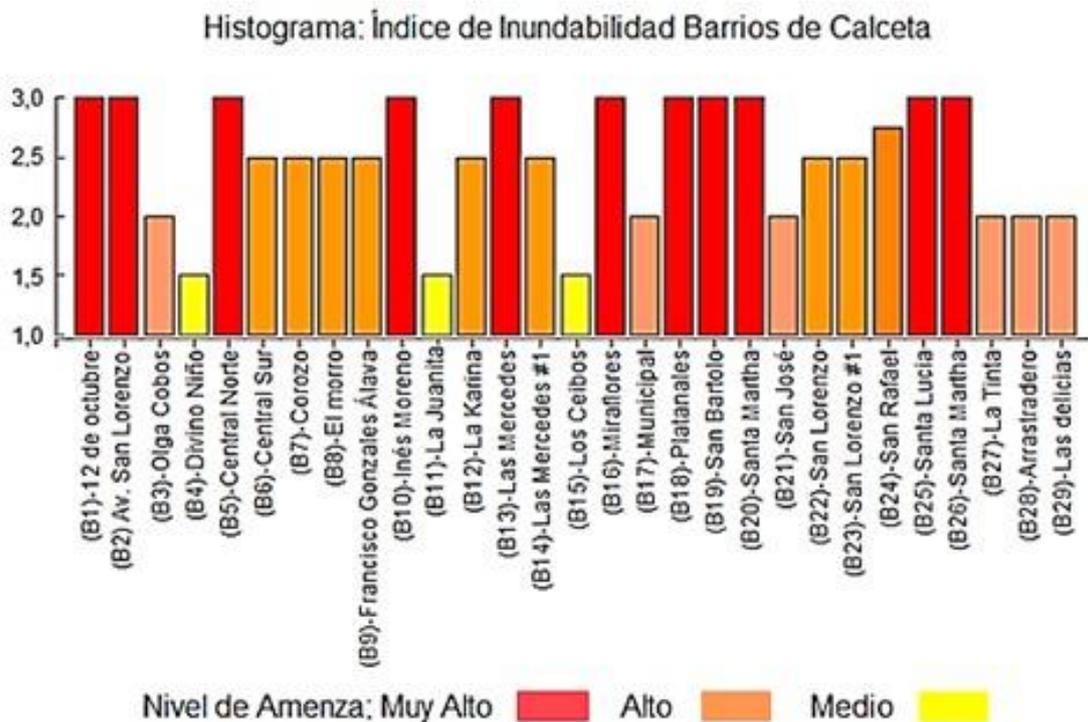


Figura 4.13 Representación Gráfica del índice de Inundabilidad de los barrios de Calceta

La cartografía e histograma presentados en las figuras 4.12 y 4.13 proporcionan una visión clara del nivel de amenaza en los 29 barrios que conforman la parroquia urbana y sus áreas circundantes. Los resultados revelan lo siguiente:

- En la categoría de “Muy Alto” nivel de amenaza, se encuentran barrios como 12 de octubre, Av. San Lorenzo, Central Norte, Inés Moreno, Las Mercedes, Miraflores, Platanales, San Bartolo, Santa Martha 1, Santa Lucía y Santa Martha 2. Estos barrios; además de estar cercanos a la cuenca del río Mosca (Junín), también están adyacentes a la cuenca del río Carrizal, lo que los hace particularmente susceptibles a inundaciones.
- Los barrios clasificados como “Alto” nivel de amenaza incluyen a Olga Cobo, El Central Sur, El Corozo, El Morro, Francisco González Álava, La Karina, Las Mercedes #1, Municipal, San José, San Lorenzo, San Lorenzo 1, La Tinta, Arrastradero, Las Delicias y San Rafael.
- En la categoría de “Medio” nivel de amenaza se encuentran Divino Niño, La Juanita y Los Ceibos; aunque estas áreas están relativamente alejadas de la subcuenca del río Carrizal, su riesgo de inundación se deriva de la topografía del terreno, caracterizada por pendientes suaves o la falta de ellas, así como altos índices de humedad y escorrentías concentradas.

Es importante resaltar que, a pesar de tener niveles medios de inundación, barrios como Divino Niño, La Juanita y Los Ceibos están relativamente protegidos debido a factores locales como la topografía del terreno, capacidad de drenaje y la presencia de áreas con menor retención de humedad del suelo. La interacción de estos elementos contribuye a la variabilidad en los niveles de riesgo de inundación en la parroquia. Sin embargo, estas áreas siguen siendo vulnerables y propensas a inundaciones, especialmente durante lluvias intensas o prolongadas debido a la acumulación de flujo de agua en la subcuenca.

El análisis global de la zonificación de la subcuenca del río Carrizal y el enfoque en los barrios y periferias de la parroquia urbana de Calceta ha permitido una comprensión completa del riesgo de inundación en la zona de estudio. Esta comprensión integral será fundamental para abordar los desafíos en términos de

planificación y gestión efectiva de medidas de prevención, mitigación y manejo de inundaciones en Calceta y en toda la subcuenca del río Carrizal.

Estas medidas deben estar dirigidas a la protección de la población, los recursos naturales y la infraestructura, en respuesta a los posibles impactos de eventos extremos relacionados con el cambio climático y las épocas de lluvias intensas o prolongadas. Además, la identificación de puntos críticos de riesgo de inundación será valiosa para las autoridades locales al tomar decisiones informadas sobre la gestión sostenible de la región en relación con los riesgos de inundación.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las obtenciones de los mapas cartográficos de la subcuenca del río Carrizal permitieron cuantificar los valores del índice topográfico de humedad. Estos valores reflejaron la interacción entre la topografía del terreno y los patrones hidrológicos. Se observó que las áreas con concentraciones más altas de humedad están asociadas a condiciones topográficas e hidrológicas que favorecen la retención y disponibilidad de agua en el suelo. Por otro lado, las áreas con valores más bajos de ITH están influenciadas por características que limitan la retención de humedad en el suelo.
- Aplicando los criterios de régimen, se denota que las zonas del norte y noroeste de la subcuenca, con alto ITH, existe una alta retención de humedad y escurrimiento lento; lo que aumenta el riesgo de inundaciones en caso de lluvias intensas. Por otro lado, las áreas del noreste, este y suroeste, con bajo ITH, tienen menor retención y escurrimiento más rápido, lo que disminuye el riesgo de inundaciones.
- Mediante la integración de criterios como elevación, dirección de drenajes, acumulación de flujo y datos del índice topográfico de humedad, se llevó a cabo una zonificación geomorfológica que identificó zonas propensas a inundaciones. Se observó que la mayoría de los barrios están en riesgo de inundación.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable que se utilicen o se obtenga información satelital con diferentes píxeles de los raster que se van utilizar para establecer si existe o no un cambio en los índices de ITH.
- Que se evalúe y realice el cálculo de ITH en un tiempo de 5 o 10 años más para ver si ha aumentado o disminuido las zonas con altos riesgos de inundaciones y si el régimen se ha mantenido o modificado en la tabla de criterio de régimen inundación para ver si estas zonas en base a los mismos criterios de pendiente de todos los criterios en verdad se han mantenido o se ha modificado su forma natural.
- Que el GAD Municipal del Cantón Bolívar lo tome como una referencia o línea base para la validación de información y procurar que no se sigan realizando asentamientos aledaños a zonas con altos riesgos de inundación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, D., Camarena, A., Chang, A., Díaz, A., Fuller, E., González, C., y Tejedor De León, A. (2016). Uso de software para el procesamiento de imágenes digitales para la definición de cuencas hidrográficas. *Revista De Iniciación Científica*, 2(1), 12-18.
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/596>
- Acosta, K., y Guallasamin, R. (2021). Topografía y levantamiento de mapa geotécnico del deslizamiento. Estudio de características superficiales del sitio. Investigación de campo. [Tesis de Pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/26073/1/T-ESPE-044823.pdf>
- Aguilar, R., y Echeverría, S. (2018). Análisis de vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Colón, cantón Portoviejo-Manabí. Obtenido de Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/13986/T-ESPE-057582.pdf>
- Amaya, J., y Muñoz, M. (2021). Estudio comparativo de levantamientos topográficos con RPAS versus Estación Total en el área de medición de terrenos en el municipio del Distrito Central, Honduras durante el periodo 2015-2021. *Revista Técnico-Científica Milímetro*, VIII (1), 49-170.
https://milimetro.upi.edu.hn/wp-content/uploads/2022/02/05_Maynor_Jonathan_50_170_-Final.pdf
- Andrade, C. (2020). Balance hídrico de la cuenca del Río Granobles localizada en la demarcación hídrica del río Esmeraldas, mediante la aplicación del Programa Hydrobid. [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/18048>
- ArcGIS. (2022a). Acumulación de flujo. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.9/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>

- ArcGIS. (2022b). Función Pendiente. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/slope-function.htm>
- ArcGIS. (2022c). Introducción a ArcGIS. <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>.
- Argüelles, R., Guardado, R., Sorhegui, A. y Rojas, R. (2019). Importancia de la gestión de riesgos para el desarrollo local. Caso de estudio Consejo Popular Caribe, Cuba. *Revista Científica Ecociencia*, 6(5), 1-23. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.65.224>
- Arias, J. (2020). Técnicas e instrumentos de investigación científica. 1ed Enfoques Consulting EIRL. <http://hdl.handle.net/20.500.12390/2238>
- Arriola, G., Coronado, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R. y Olaya, W. (2022). Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicados al Río la leche Lambayeque. *Revista Científica Epistémica*, 6(1), 60-73. <https://doi.org/10.26495/re.v6i1.2132>
- Arteaga, J., Veliz, L., Giler, A., Félix, J. y Alarcón, J. (2020). Determinación del Índice de Humedad Topográfica para la microcuenca “La Mina” de la costa ecuatoriana. *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i1.2473>
- Aveiga, A., Noles, P., De la Cruz, A., Peñarrieta, F. y Alcántara, F. (2019). Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del Río Carrizal en Manabí. *Enfoque UTE*, 10(3), 30-41. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n3.423>
- Barón, M., y Pascagaza, A. (2022). Determinación de áreas susceptibles ante avenidas torrenciales por medio de técnicas geoespaciales en las microcuencas alta y media del Río Fucha, Bogotá D.C. [Tesis de Posgrado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Repositorio Institucional. https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/4694/TI_Barón_Pascagaza.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Benegas, L., Jimenez, F., Locatelli, B., Faustino, J., y Campos, M. (2007). Evaluación de la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas de América Central. Parte 2. Estudio de caso en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. *Recursos Naturales Y Ambiente*, 117–123. <https://agritrop.cirad.fr/543751/>
- Braz, A., García, P., Pinto, A., Chávez, E. y Oliveira, I. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 69-85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Calderón, H., Pérez, J., Chow, M., y Reyna, J. (2020). Índice de Posición Topográfica (TPI) para identificar áreas inundables y zonificación de especies vegetales en un manglar del Pacífico Sur de Nicaragua. *Torreón Universitario*, 9(26) <https://doi.org/10.5377/torreon.v9i26.10264>
- Camargo, M., Guerrero, O y Guerrero, A. (2020). Inserción del riesgo natural en la planificación territorial. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 13. <https://doi.org/10.11144/javeriana.cvu13.irnp>
- Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., López, A., Del Río, J., y De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria De Geografía*, 27(1), 73–97. <https://revistas.uns.edu.ar/rug/article/view/4096>
- Cárdenas, A. (2019). Análisis de vulnerabilidad y riesgo por inundación del Río Pula en el Recinto Dos Bocas, Cantón Daule. [Tesis de Pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/44681>
- Cerna, A., Chávez, R., y Florida, N. (2021). Estimación empírica de la probabilidad de eventos letales causados por inundaciones en Perú. *CIENCIA UNEMI*, 14(37), 29-38. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss37.2021pp29-38p>

- Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research, [CISPDR], 2016).
Plan hidráulico regional de demarcación hidrográfica Manabí.
<http://suia.ambiente.gob.ec/files/MEMORIA%20DH%20MANAB%C3%8D.pdf>
- Chávez, S., y Castillo, Y. (2021). Modelo de gestión sostenible para el manejo de la cuenca hidrográfica "Tenguel Alto". *Conciencia Digital*, 4(1.1), 83-100. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.1.1548>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Art 262. Registro Oficial 449 de 20-oct-2008. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- De La Cruz, S., Mendoza, C., Pezo, P., Ascoy, K., Gonzales, T, y Mejía, H. (2022). Hidrología. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 546-561. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1906
- Durazno, S. (2020). Desarrollo de una metodología para la caracterización de unidades de respuesta hidrológica en cuencas andinas: caso de estudio cuenca del río Tabacay. [Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33787>
- El Diario. (18 de marzo de 2012). Ríos Mosca y Carrizal inundan 80% de Calceta. El Diario. Obtenido de <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/223496-rios-mosca-y-carrizal-inundan-80-de-calceta/>
- Farías, B., Márquez, A., Guevara, E., y Rey, D. (2020). Plan de gestión sustentable de riesgo de inundación: una propuesta desde Carabobo, Venezuela. *REDER*, 4(1), 67-79.
- Fernández, W., León, C, Alcides J., y Rodríguez, Y. (2020). Influencia del coeficiente de rugosidad de Manning en las áreas de inundación del Río Yanuncay en Cuenca. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 41(1), 115-126. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000100115&lng=es&tlng=es.
- Galeano, M. (2015). Implicaciones de un modelo para la gestión del riesgo de desastres: caso comunidad andina. [Tesis de Pregrado, Universidad

Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13643/Maria%20Fernanda%20Galeano%20Valbuena.pdf?sequence=1>

Giraldo, C. y Anchundia, A. (2021). Evaluación de zona urbana educativa ante amenazas de riesgo de inundación. Río Portoviejo. Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT, 6(2), 51-66. <https://doi.org/10.33936/riemat.v6i2.4289>

Gis&Beers. (2018). Cálculo del Índice Topográfico de Humedad TWI. <http://www.gisandbeers.com/calculo-del-indice-topografico-de-humedad-twi/>

Gómez, A. (2020). Potencial de inundación de la quebrada “El Monte” en el Municipio de Tarija, Bolivia. Revista Ingeniería, 4(9), 103–115. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v4i9.59>

Gómez, G. (2021). Métodos y técnicas de investigación utilizados en los estudios sobre comunicación en España. Revista Mediterránea de Comunicación, 12(1), 115-127. <https://www.doi.org/10.14198/MEDCOM000018>

González, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas. Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles, (38). <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/495>

González, F y London, S. (2021). Desastres naturales y su impacto: una revisión metodológica. Visión de Futuro, 25(1), 43-61. <https://doi.org/10.36995/j.visiiondefuturo.2021.25.01.002.es>

González, F. (2021). Algunas reflexiones sobre el concepto de desastre natural. Espacio e Economía, 22, 1-15. <https://doi.org/10.4000/espacioeconomia.21037>

Guerrero, A., y Pérez, E. (2020). Levantamiento topográfico y batimétrico para una propuesta de adecuación de la subcuenca del Río Teusacá entre el k9+000 al k12+240 comprendidos en las veredas la violeta y mercenario, ubicado en el municipio de Sopó Cundinamarca. [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25303/GuerreroAngelaP%C3%A9rezEmerson2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Guevara, J. (2019). Plan integral de la gestión de riesgos institucional para la Escuela de Ecoturismo, de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional. <http://201.218.5.85/bitstream/123456789/11401/1/85T00543.pdf>
- Gutiérrez, J., Rubiños, J., Fernández, D., Ramírez, C., Roblero, R., Gutiérrez, F. y Romero, M. (2022). Modelación hidráulica en Iber para prevención de inundaciones en la cuenca Tesechoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(71). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1238>
- Gutiérrez, Y., y Sánchez, A. (2018). Diseño de un Modelo de Gestión de Riesgos basado en ISO 31.000:2012 para los Procesos de Docencia de Pregrado en una Universidad Chilena. *Formación universitaria*, 11(4), 15-32. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062018000400015>
- Hernández, A., Argüelles, V., y Palacios, R. (2021). Métodos empíricos de la investigación. *Ciencia Huasteca*, 9(17), 33-34. <https://repository.uaeh.edu.mx/re-vistas/index.php/huejutla/article/view/6701/7600>
- Hernández, R., Barrios, H., y Ramírez, A. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 8(3), 5-25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- Hernández-Uribe, Rubén Ernesto, Barrios-Piña, Héctor, y Ramírez, Aldo I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(3), 5-25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- Inostroza, C., Molina, F., y Romero, H. (2019). Desde la amenaza natural al desastre: una construcción histórica del terremoto y tsunami de 1960 en Saavedra. *Íconos - Revista de Ciencias Sociales*, 66, 31-57. <https://doi.org/10.17141/iconos.66.2020.4016>
- Jiménez, N., Magaña, A., y Soriano, E. (2019). Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el

uso de drones y gps como métodos indirectos. [Tesis de Pregrado, Universidad de El Salvador]. Repositorio Institucional. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20697/>

Jumbo, Y. (2018). Definición de perímetros de protección en cuencas hidrográficas mediante modelación hidrológica conceptual: caso de la cuenca Jatun Huaycu en las cercanías del volcán Antisana. [Tesis de Posgrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19144>

Lalangui, Y., y Zárate, B. (2020). Evaluación del modelo digital de terreno obtenido mediante técnicas de fotogrametría con VANT y con técnicas GNSS aplicados a proyectos viales en zonas de mediana vegetación. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 17(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6636>

Lanfri, S. (2011). Desarrollo de una metodología para la detección de cuerpos de agua mediante el análisis de imágenes SAR COSMO SkyMed y DEMs. [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional De Córdoba]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11086/11541>

Lara, N., Colcha, D., Guaiña, J., Espinoza, V., y Ati, G. (2021). Identificación de zonas potenciales de recarga y descarga de agua subterránea en la subcuenca del Río Chambo mediante los sistemas de información geográfica y el análisis multicriterio. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, 6(6), 122–148. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i6.2745>

Leiva, N. (2012). Metodología para el cálculo de la humedad del suelo usando parámetros topográficos (MDE), climáticos y edáficos en un sector del piedemonte deposicional del municipio de Villavicencio. [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11478>

León, M., y Villacís, C. (2020). Análisis de correlación de las variables identificadas en las cuencas hidrográficas de Pichincha y Sucumbíos,

- Ecuador. Bosques Latitud Cero, 10(1), 83–91. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/72>
- Londoño, J. (2021). Evaluación del riesgo urbano por inundaciones del Río Supía. [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79634>
- López, A., y Ramos, G. (2021). Acerca de los métodos teóricos y empíricos de investigación: significación para la investigación educativa. Revista Conrado, 17(S3), 22-31. <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/2133/2079>
- Loza, Y., y Ponce, L. (2022). Propuesta de un modelo de gestión de riesgos para prevenir y reducir desastres naturales ocasionado por huaycos en el sector de la quebrada Caramolle, Tacna, 2022. [Tesis de Pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2309>
- Lucas, C. (2017). Susceptibilidad a inundaciones en la comunidad el Juncal, cantón Tosagua, provincia de Manabí. Obtenido de Repositorio Universidad Estatal del Sur de Manabí: <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/943/1/Titulacion%20de%20tesis.pdf>
- Mariño, H. (2021). Manual de prácticas de topografía básica y aplicada de la Universidad Politécnica Salesiana. [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19883/1/UPS%20-%20TTS284.pdf>
- Martínez, F., Sosa, F., y Ortiz, J. (2010). Comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la Cuenca La Esperanza. Tecnología Y Ciencias Del Agua, 1(4), 89–103. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v1n4/v1n4a5.pdf>
- Mata, W. (2016). Análisis cuantitativo del relieve en cuencas de drenaje de la vertiente norte del macizo “El Ávila” (estado Vargas, Venezuela) y su significado hidrogeomorfológico. Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto De Geografía (91), 25-42. <https://doi.org/10.14350/rig.47722>

- Medina, F. (2013). Identificación de amenazas, gestión de riesgos y propuesta de un plan operacional para enfrentar emergencias o desastres en el Comando General de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. [Tesis de Pregrado, Instituto de Altos Estudios Nacionales]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/3817>
- Ministerio del Ambiente. (2013). Modelo de los Regímenes de Inundación. <https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Inundabilidad.pdf>
- Morales, D., Pérez, M., Salazar, J. y Yori, F. (2018). Propuesta de una nueva definición de vulnerabilidad ante fenómenos naturales construida con soporte de análisis cualitativo. *Saber, Ciencia y Libertad*, 13(1), 99-111. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2018v13n1.2557>
- Moreira, L. (2021). Análisis jerárquico aplicado a la determinación de la fragilidad ambiental de la subcuenca del Río Carrizal. [Tesis de Pregrado Universidad Estatal Del Sur De Manabí]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2774>
- Mozzicafreddo, S., Ortega, J., Papa, N., y Torre, P. (2018). Delimitación de zonas de manejo utilizando variables topográficas y mapas de rendimiento. Universidad Nacional de Córdoba. <http://hdl.handle.net/11086/11254>
- Muñoz, L y Vera, D. (2021). Evaluación de la influencia de la cobertura vegetal en la protección hidrológica del sitio Brisas – Quiroga, cuenca media del río Carrizal. [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/handle/42000/1446>
- Nova, K., Ordoñez, M., y Aguilar, T. (2020). Evaluación del nivel de la vulnerabilidad ante el fenómeno de inundación en Montería – Colombia. Caso de estudio. *Revista Espacios*, 41(21). <https://www.revistaespacios.com/a20v41n21/a20v41n21p15.pdf>
- Núñez, M., Ulberich, A., Miranda del Fresno, M., Cisneros, N., y Galecio, M. (2021). La cartografía de suelos y su aporte a la ordenación ambiental del territorio: Cuenca Superior del Arroyo Tandileofú (Tandil, Argentina).

Revista Cartográfica, 104, 87-106. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i104.942>

- Ochoa, B., Cuadros, J., Arapa, E., Aste, N., Ochoa, E., y Bonnesoeur, V. (2022). Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica. Forest Trends Association. <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2022/01/Guia-de-Modelacion-Hidrologica-para-la-IN-2.pdf>
- Oficina de Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios [OCHA]. (2020). Desastres naturales en América Latina y el Caribe 2000-2019. Obtenido de OCHA.
- Orellano, Y., y Pilco, C. (2021). Mapa de zonificación por grado de desempeño (PG) para cementos asfálticos de acuerdo a la clasificación SUPERPAVE. [Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4976/T030_75677480_T%20ORELLANO%20ROJAS%20YEISON%20DANIEL.pdf
- Ortega, C., y Moreira, L. (2021). Análisis jerárquico aplicado a la determinación de la fragilidad ambiental de la subcuenca del Río Carrizal. [Tesis de Pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2774>
- Ortiz, A., Aguilar, P., Loureiro, J., Peñarrieta, F., Banchón, C., y Alcántara, F. (2019). Variaciones de los niveles de mercurio y zinc en agua y sedimentos de la subcuenca del Río Carrizal, Manabí. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT*, 4(1), 16-31. <https://doi.org/10.33936/riemat.v4i1.1942>
- Páez, J., y Cortés, D. (2020). Fundamentos básicos para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales. Sello Editorial UNAD, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/5044/4859>
- Paz, J. (2021). Vulnerabilidad socioeconómica ante amenazas hidrometeorológicas. *Revista Científica UISRAEL*, 8(1e), 55–65. <https://doi.org/10.35290/rcui.v8n1e.2021.522>

- Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Bolívar. [PDyOT-Bolívar]. (2019-2023). Inundaciones. <https://gadbolivar.gob.ec/pdot/>
- Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Bolívar. [PDyOT-GAD Bolívar]. (2021). Estrés hídrico en cuencas hidrográficas. <https://gadbolivar.gob.ec/wp-content/uploads/2022/03/PDOT-2019.pdf>
- Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Bolívar. [PDyOT-GAD Bolívar]. (2021). Estrés hídrico en cuencas hidrográficas. <https://gadbolivar.gob.ec/wp-content/uploads/2022/03/PDOT-2019.pdf>
- Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial la Parroquia Membrillo. [PDyOT-Membrillo]. (2019-2023). Susceptibilidad A Inundación. <http://www.gadprmembrillo.gob.ec/pdot/2/>
- Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial la Parroquia Quiroga. [PDyOT-Quiroga]. (2019-2023). Inundación. https://app.sni.gob.ec/sni-link/sin/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1360027590001_PDOT%20GR%20Quiroga_07-12-2016_13-46-06.pdf
- Ramírez, N., Bautista, A y Montealegre, D. (2022) Análisis de la ocurrencia de inundaciones súbitas de los últimos cinco años, en zonas con diferentes características sociodemográficas. Centro Nacional de Prevención de Desastres de México [CENAPRED]. https://www1.cenapred.unam.mx/DI_R_INVESTIGACION/2022/XLI/RI/220215_RIAct21_Cuencasrapidas.pdf
- Ramos, A., Reyes, A., Munévar, M., Ruiz, G., Machuca, S., Rangel, M., Prada, L., Cabrera, M., Rodríguez, C., Escobar, N., Quintero, C., Escobar, J., Giraldo, J., Medina, M., Durán, L., Trujillo, D., Medina, D., Capachero, C., León, D., Ramírez, K., González, E., Rincón, S., Solarte, P., Castro, L., López, C., Navarro, S., y Pérez, M. (2021). Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales. Libros del Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585313156>
- Rezende, O., Ribeiro, A., Beleño, A., Miranda, F., Pitzer, A., Martins, M., y Miguez, M. (2020). Mapping the flood risk to Socioeconomic Recovery

- Capacity through a multicriteria index. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120251>
- Rinaldi, A. y Bergamini, K. (2020). Inclusión de aprendizajes en torno a la gestión de riesgo de desastres naturales en instrumentos de planificación territorial (2005 - 2015). *Revista de geografía Norte Grande*, 75, 103-130. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022020000100103>
- Roa, J., y Kamp, U. (2012). Uso del índice topográfico de humedad (ith) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, Trujillo-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 53(1). 109-126. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347730388007>
- Rodríguez, C. y Alarcón, J. (2021). Estudio hidro morfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas. Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2598>
- Rosero, Á. (2018). Inclusión de la Gestión del Riesgo de Desastres en los diferentes niveles de GAD del Ecuador considerando la relación entre el marco legal existente y prácticas populares tradicionales. [Tesis de Posgrado, Universidad Andina Simón Bolívar]. <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/6238>
- Salazar, R. (2018). Coordenadas UTM (universal transverse mercator) obtenidas por factor combinado, plano topográfico Local LTM - PTL y geodesia geométrica tradicional GG. *Rev. Tecnológica*, La Paz, 14(20). http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-75322018000100001&lng=es&nrm=iso
- Sánchez, A., Revilla, D., Alayza, M., Mendivil, L., Sime, L., y Tafur, R (2020). Los métodos de investigación para la elaboración de las tesis de maestría en educación por la Maestría en Educación. 1ed. Pontificia Universidad Católica del Perú. https://www.researchgate.net/publication/343426365_LIBRO_L_OS_METODOS_DE_INVESTIGACION_-_MAESTRIA_2020
- Santos, M. (2017). Modelamiento del escurrimiento por el software Hec-Hms para predecir el comportamiento hídrico de la subcuenca del Río Carrizal.

[Tesis de Pregrado, Escuela Superior Agropecuaria de Manabí-Manuel Feliz López]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/handle/42000/596>

Secretaría de Gestión de Riesgos. (2021). Plan Nacional de Respuesta ante Desastres. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Plan-Nacional-de-Respuesta-SGR-RespondeEC.pdf>

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos [SNGR]. (2023). Se entrega asistencia humanitaria a familias afectadas por inundaciones en Los Ríos y Guayas. Obtenido de SNGR: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/>

Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, [SNGR], (2011). Cartografía de la Subcuenca de Rio Carrizal. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/07/BOLIVAR.pdf>

Silvestre, B., y Vásquez, E. (2021). Estimación probabilística de la amenaza de inundación de la cuenca alta del Río Chicamocha en el municipio de Paipa-Boyacá. [Tesis de Pregrado, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5165>

Sistema de información sobre biodiversidad de Colombia [SIB]. (2019). Estudio de impacto ambiental para la línea de conexión subestación Nueva Colonia-Puerto Antioquia. https://ipt.biodiversidad.co/cr-sib/resource.do?r=eia-linea_de_conexion_subestacion_nueva_colonia-puerto_antioquia-2019

Sorensen, R., y Seibert, J. (2007). Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components. *Journal of Hydrology*, 347(1–2), 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.001>

Superintendencia de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo, SOT (2021). El PDOT, qué es, cómo y cuándo formularlo. <https://www.sot.gob.ec/noticia/el-pdot%2C-que-es%2C-como-y-cuando-formularlo/1724/esp>

- Terneus, E. y Yáñez, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *La Granja*, 27(1), 36-50. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03>
- Tomalá, V. (2020). Manual de prevención de desastres naturales desde la formación educativa curricular, en unidades educativas particulares. Cantón Santa Elena, 2020. [Tesis de Postgrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/6194>
- Torres, C. (2022). Lineamientos para la gobernanza de la gestión del riesgo de desastres en los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales y Metropolitanos. Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/LineamientosGobernanzaGAD_24012022.pdf
- Torres, D. (2016). Instructivo para elaborar el diagnóstico de riesgos. Ministerio de Educación – Ecuador. https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/05/Libro2.1-Instructivo-para-elaborar-el-Diagnostico_SIGR-E.pdf
- Valdiviezo, G., Latorre, G., y Moreira, C. (2022). Morfología del suelo y subsuelo en la comunidad Agua Blanca de Portoviejo, Ecuador. *Dom. Cien.*, 8(1). 592-604. DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i1.2593>
- Vallejo, M., Jara, J., y Reyes, G. (2021). Vulnerabilidad de los medios de vida ante las amenazas naturales y antrópicas. *Revista Sociedad & Tecnología*, 5(1), 13-26. DOI: <https://doi.org/10.51247/st.v5i1>.
- Vargas, J., Olcina, J., y Paneque, P. (2020). Cartografía de riesgo de inundación en la planificación territorial para la gestión del riesgo de desastre. Escalas de trabajo y estudios de casos en España. *EURE*, 48(144). <https://doi.org/10.7764/eure.48.144.10>
- Vargas, N., Verdugo, N., Arbelaez, J., Caicedo, F., y Triana, J. (2018). Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación. [Tesis de Pregrado Universidad de Córdoba]. Repositorio Institucional.

<https://blogdelagua.com/documentacion/biblioteca/guia-metodologica-para-la-elaboracion-de-mapas-de-inundacion/>

Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos C., y Ortiz, L. (2019). Cuencas Hidrográficas. 1ed. Universidad Politécnica Salesiana

Vásquez, C., y Delgado, M. (2021). Gestión del riesgo de desastres para mejorar el ordenamiento territorial en las municipalidades. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 5(1), 165-186.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i1.214

Vera, T. (2015). Estudio integral de riesgos en una zona sujeta a amenazas, para generar escenarios de riesgo usando herramientas SIG e información técnica. Obtenido de Universidad San Francisco de Quito:
<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4094/1/113687.pdf>

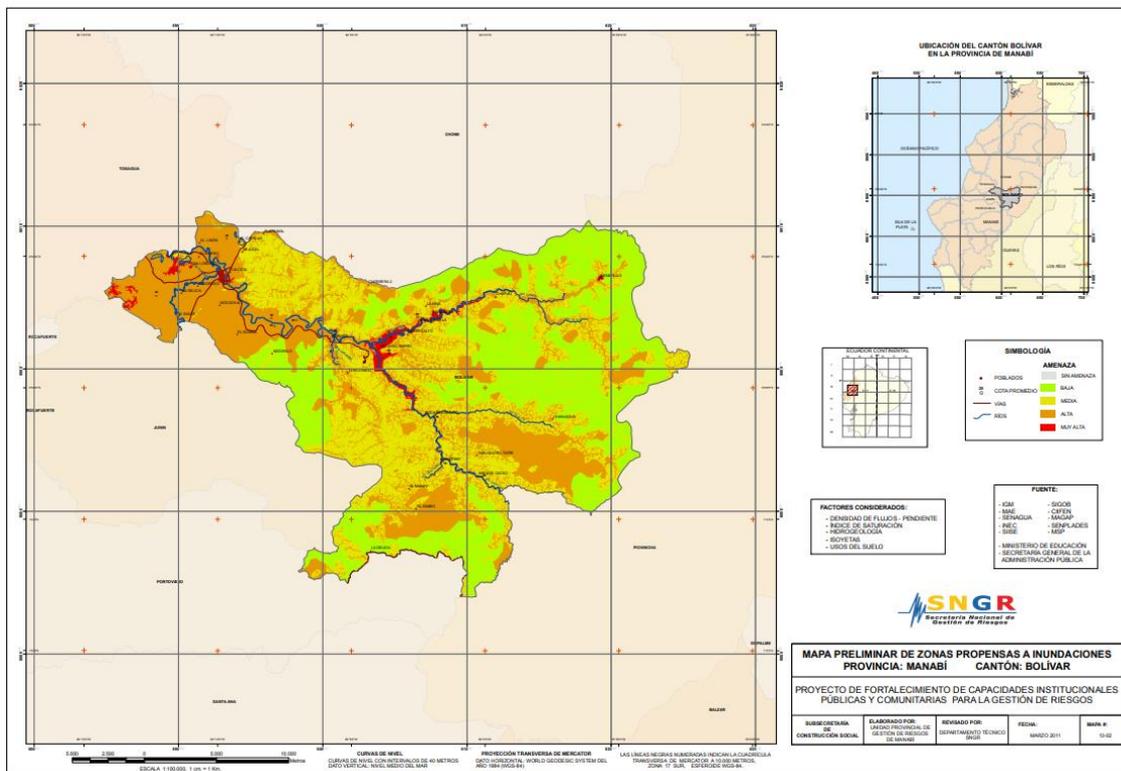
Wallemacq, P. (2018). Pérdidas económicas, pobreza y desastres 1998-2017. Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED).
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35610.08643>.

Zambrano, R. (14 de Enero de 2023). Los riesgos naturales de Ecuador no solo se limitan a los volcanes; se monitorea posibles tsunamis, inundaciones, sequías. El Universo.

ANEXOS

ANEXO 1. DATOS CARTOGRÁFICOS ESTUDIOS SUBCUENCA DEL RIO CARRIZAL.

ANEXO 1A CARTOGRAFÍA RIO CARRIZAL; SECRETARÍA NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGOS, [SNGR], (2011)



ANEXO 1B CARTOGRAFÍA RIO CARRIZAL; PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN BOLÍVAR [PDYOT-BOLÍVAR] (2019-2023)

