



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL

DEPARTAMENTO DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL MENCIÓN GESTION DE LA
CONSTRUCCIÓN**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN INGENIERIA CIVIL MENCIÓN GESTION DE LA
CONSTRUCCIÓN**

TEMA

**ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON POSIBILIDAD DE
INUNDACIÓN APLICANDO TÉCNICAS MULTICRITERIO EN
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG EN EL CANTÓN
TISALEO.**

AUTORA:

ING.CIVIL SILVIA MARIELA MERCHÁN CUNO.

TUTOR:

MGTR.CARLOS LUIS VALERO FAJARDO

GUAYAQUIL-ECUADOR

2024

REPOSITORIO



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGIA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TITULO: Zonificación de las áreas con posibilidad de inundación aplicando técnicas multicriterio en Sistema de información Geográfica SIG en el cantón Tisaleo.)	
AUTOR: Ing. Merchán Cuno Silvia Mariela	TUTOR: Mgtr. Valero Fajardo Carlos Luis
INSTITUCION: Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Máster en Ingeniería Civil mención Gestión de la Construcción
MAESTRIA: Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción	COHORTE: II
FECHA DE PUBLICACION: 2024	N. DE PAGS: 122
AREAS TEMATICAS: Arquitectura y Construcción	
PALABRAS CLAVE: Zonificación, Inundación, Hidrología, Riesgos, Precipitaciones, Desastres Naturales.	
RESUMEN: La tesis titulada "Zonificación de las áreas con posibilidad de inundación aplicando técnicas multicriterio en Sistema de Información Geográfica (SIG) en el cantón Tisaleo" aborda análisis multicriterio SIG para identificar zonas inundables en el cantón Tisaleo. La investigación tiene como objetivo establecer un método para zonificar áreas con riesgo de inundaciones, utilizando métodos para evaluar y contrastar diferentes métodos de evaluación de riesgos. Datos hidrológicos, climáticos y topográficos recopilados de la zona, y métodos de análisis multicriterio para evaluar variables como intensidad de precipitación, topografía y vulnerabilidad de la población y la infraestructura. Los datos se presentan y analizan utilizando herramientas SIG para ayudar a identificar áreas propensas a inundaciones e identificar áreas que son más susceptibles a las inundaciones. La tesis presenta un análisis integral de zonificación para el cantón Tisaleo, identificando las regiones más vulnerables y sugiriendo medidas para mitigar y adaptarse a los efectos adversos de las inundaciones sobre la población y las actividades económicas de la zona. Y dan sugerencias para políticas de gestión del riesgo de inundaciones, con enfoque en la planificación territorial y la protección de los ecosistemas. La tesis es un avance crucial en la gestión del riesgo de desastres, ya que ofrece un enfoque viable para zonificar áreas propensas a inundaciones e implementar planes de adaptación y mitigación en áreas vulnerables.	
N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACION:
DIRECCION URL (tesis en la web):	
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>

CONTACTO CON AUTOR: Ing. Merchán Cuna Silvia Mariela	Teléfono: 0984405124	E-mail: smerchanc@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Mg. Eva Mariotriet Guerrero López, PhD. Teléfono: : (04)2596500 Ext. 170 E-mail: eguerrerol@ulvr.edu.ec Directora del Departamento de Posgrado Mg. Ing. Civil Kleber Alberto Moscoso Riera Teléfono: 04)2596500 Ext. 170 E-mail: kmoscotor@ulvr.edu.ec Coordinador de maestría	

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación, primeramente, a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para enfrentar os desafíos que se han presentado a lo largo de este camino por su infinito amor y su bendición.

A mi familia quienes han estado conmigo, que han sido un pilar fundamental para este logro alcanzado, gracias a su apoyo incondicional en los momentos de obscuridad a lo largo de mi vida, por su paciencia y comprensión y quienes han estado a mi lado impulsándome a dar lo mejor de mí y enseñarme que hay que trabajar día a día para alcanzar los logros planteados.

AGRADECIMIENTO

Quiero extender mi infinita gratitud a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, por brindarme la oportunidad de formarme dentro de institución, por ayudarme a desarrollar mis habilidades y crecer tanto a nivel profesional como personal. A cada uno de los profesores que me compartieron sus conocimientos y experiencias que han servido para formarme.

A mi tutor Mgtr. Carlos Valero, agradezco su paciencia, dedicación y disposición para aclarar mis dudas y brindarme a orientación en cada etapa de desarrollo del trabajo de titulación.

Gracias a mis padres, por estar presente en esta nueva etapa de mi vida, quienes me enseñaron que todo lo que se sueña es posible, que hay trabajar duro y nunca desfallecer por más dura que la vida se presente, que cada batalla hay que pelearla para seguir triunfantes. Gracias por ser mi apoyo en cada reto que se me presenta, por cada consejo y palabras de apoyo, por inculcarme a ser una persona íntegra y llena de valores, gracias por cada enseñanza y ser mi fuente de inspiración.

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Zonificación de las áreas con posibilidad de inundación aplicando técnicas multicriterio en Sistema de información Geográfica SIG en el cantón Tisaleo

INFORME DE ORIGINALIDAD

3 %	3 %	1 %	1 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	< 1 %
2	www.preventionweb.net Fuente de Internet	< 1 %
3	rrnn.tungurahua.gob.ec Fuente de Internet	< 1 %
4	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	< 1 %
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	< 1 %
6	revistas.unal.edu.co Fuente de Internet	< 1 %
7	es.slideshare.net Fuente de Internet	< 1 %
8	1library.co Fuente de Internet	< 1 %

9	Gonzalo López Patiño. "Análisis y caracterización de las instalaciones interiores de suministro de agua desde el punto de vista de ahorro.", Universitat Politecnica de Valencia, 2016 Publicación	<1 %
10	www.theibfr.com Fuente de Internet	<1 %
11	www.freepatentsonline.com Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	dcc-viejo.cambioclimatico.go.cr Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositoriodigital.minam.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

Firma:



Mgtr. Carlos Luis Valero Fajardo

C.C. 0925766461

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Guayaquil, 31 de julio de 2024.

Yo, SILVIA MARIELA MERCHÁN CUNO, declaro bajo juramento, que la autoría del presente trabajo me corresponde totalmente y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo mis derechos de autor a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establecido por las normativas Institucionales vigentes.



Firmado electrónicamente por:
**SILVIA MARIELA
MERCHAN CUNO**

Firma: Ing. Silvia Mariela Merchán Cuno

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON POSIBILIDAD DE INUNDACIÓN APLICANDO TÉCNICAS MULTICRITERIO EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG EN EL CANTÓN TISALEO, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de DEPARTAMENTO DE POSGRADO MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL MENCIÓN GESTION DE LA CONSTRUCCIÓN de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON POSIBILIDAD DE INUNDACIÓN APLICANDO TÉCNICAS MULTICRITERIO EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG EN EL CANTÓN TISALEO, presentado por el (los) estudiante (s) ING. SILVIA MARIELA MERCHÁN CUNO como requisito previo, para optar al Título de MÁSTER EN INGENIERIA CIVIL MENCIÓN GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



Mgr. Carlos Luis Valero Fajardo

C.C. 0925766461

RESUMEN

La tesis titulada "Zonificación de las áreas con posibilidad de inundación aplicando técnicas multicriterio en Sistema de Información Geográfica (SIG) en el cantón Tisaleo" aborda análisis multicriterio SIG para identificar zonas inundables en el cantón Tisaleo. La investigación tiene como objetivo establecer un método para zonificar áreas con riesgo de inundaciones, utilizando métodos para evaluar y contrastar diferentes métodos de evaluación de riesgos.

Datos hidrológicos, climáticos y topográficos recopilados de la zona, y métodos de análisis multicriterio para evaluar variables como intensidad de precipitación, topografía y vulnerabilidad de la población y la infraestructura. Los datos se presentan y analizan utilizando herramientas SIG para ayudar a identificar áreas propensas a inundaciones e identificar áreas que son más susceptibles a las inundaciones.

La tesis presenta un análisis integral de zonificación para el cantón Tisaleo, identificando las regiones más vulnerables y sugiriendo medidas para mitigar y adaptarse a los efectos adversos de las inundaciones sobre la población y las actividades económicas de la zona. Y dan sugerencias para políticas de gestión del riesgo de inundaciones, con enfoque en la planificación territorial y la protección de los ecosistemas. La tesis es un avance crucial en la gestión del riesgo de desastres, ya que ofrece un enfoque viable para zonificar áreas propensas a inundaciones e implementar planes de adaptación y mitigación en áreas vulnerables.

Palabras claves:

Zonificación, Inundación, Hidrología, Riesgos, Precipitaciones, Desastres Naturales.

ABSTRACT

The research work entitled “Zoning of areas with the possibility of flooding by applying multicriteria techniques in Geographic Information System (GIS) in the canton of Tisaleo” addresses GIS multicriteria analysis to identify flood zones in the canton of Tisaleo. The research aims to establish a method for zoning areas at risk of flooding, using methods to evaluate and contrast different methods of risk assessment.

Hydrological, climatic and topographic data collected from the area, and multi-criteria analysis methods to evaluate variables such as rainfall intensity, topography and vulnerability of the population and infrastructure. The data are presented and analyzed using GIS tools to help identify flood-prone areas and identify areas that are more susceptible to flooding.

The thesis presents a comprehensive zoning analysis for the canton of Tisaleo, identifying the most vulnerable regions and suggesting measures to mitigate and adapt to the adverse effects of flooding on the population and economic activities of the area. And they give suggestions for flood risk management policies, with a focus on territorial planning and ecosystem protection. The thesis is a crucial advance in disaster risk management, as it offers a viable approach to zoning flood-prone areas and implementing adaptation plans.

Key words:

Zoning, Flood, Hydrology, Risks, Precipitation, Natural Disasters.

ÍNDICE DE CONTENIDO

REPOSITORIO.....	II
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
CERTIFICADO DE SIMILITUD.....	VI
CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR ..	VIII
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAPÍTULO 1: MARCO GENERAL DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Título	3
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Formulación del problema.....	5
1.4 Sistematización del problema.....	5
1.5 Delimitación del problema de investigación	5
1.6 Líneas de investigación.....	6
1.7 Objetivo general	6
1.8 Objetivos específicos	6
1.9 Justificación de la investigación	7
1.10 Hipótesis de la investigación.....	8
1.11 Variable independiente	8
1.12 Variable dependiente	8
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Marco Teórico	9
2.1.1. Antecedentes de la investigación	9
2.2. Marco conceptual.....	12
2.2.1. Análisis multicriterio	12
2.2.2. Zonificación de áreas de inundación	27
2.2.3. Sistema de Información Geográfica (GIS).....	40
2.3. Marco Legal.....	45
2.3.1 Constitución de la República del Ecuador, 2008. Art. 389 y Art. 390	

2.3.2. Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización (COOTAD). Art. 140.....	45
2.3.3. Reglamento a la Ley de Seguridad Pública y del Estado. Art. 3..	45
2.4. Terminología básica.....	46
3. CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO.....	48
3.1. Enfoque de la investigación.....	48
3.2. Tipo de investigación.....	48
3.3. Métodos de investigación.....	48
3.3.1. Teórico.....	48
3.3.2. Empíricos.....	49
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	49
3.4.1. Instrumentos de recolección de información.....	49
3.5. Población y muestra.....	50
3.5.1. Población.....	50
3.5.2. Muestra.....	50
3.6. Operacionalización de variables.....	51
3.7. Análisis e interpretación de los resultados.....	52
3.7.1 Mapas de los criterios definidos.....	53
3.7.2 Mapa de la vulnerabilidad de la zona.....	70
3.7.3. Procesamiento de los datos suministrados.....	75
3.7.4. Análisis multicriterio de las posibles alternativas.....	87
4. CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE SOLUCIÓN O INFORME TÉCNICO.....	90
4.1 Priorización de los criterios definidos.....	90
4.2 Caracterización de las zonas de inundación.....	92
4.2.1 Vulnerabilidad ante inundaciones.....	93
4.2.2. Amenazas ante inundaciones.....	95
4.3. Análisis multicriterio de las alternativas definidas.....	97
Posibles soluciones al riesgo de inundaciones.....	100
5. CONCLUSIONES	102
6. RECOMENDACIONES	103
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, a medida que avanza la globalización el mundo entero ha sido testigo de un incremento significativo en la magnitud y frecuencia de los desastres naturales, considerando las inundaciones uno de los acontecimientos más devastadores. Este fenómeno, intensificado por factores como el cambio climático y el crecimiento urbanístico descontrolado, no solo ha causado la pérdida de vidas humanas y perjuicios materiales, sino que también tiene insondables implicaciones en la economía y sociedad creando así un problema socioeconómico. Las inundaciones destruyen la infraestructura, afecta a viviendas y afectan directa e indirectamente a las actividades agrícolas y pecuarias, cruciales para el sustento de muchas poblaciones, especialmente en regiones rurales.

El presente trabajo de titulación aborda esta problemática a través de la aplicación de técnicas multicriterio mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual tiene por objetivo, el zonificar las áreas que presentan riesgo de inundación dentro del cantón Tisaleo, ubicado en la provincia de Tungurahua, Ecuador. El cantón en mención, se caracteriza por su economía, la cual se sustenta en la agricultura, así como en la conservación de áreas forestales; enfrentando un riesgo constante de inundaciones debido a su topografía y régimen pluviométrico. La investigación se enfoca en efectuar la identificación en torno a las zonas que podrían denominarse como más vulnerables, evaluando diversos factores de incidencia como lo son: las precipitaciones máximas, la intensidad de las lluvias, además de las características geográficas del área.

La relevancia que gira en torno al presente estudio, radica en cuanto a su capacidad para proporcionar un marco que constituya una referencia para la gestión de riesgos, así como para la planificación territorial en el cantón Tisaleo. Mediante el uso de herramientas tecnológicas como el SIG, además de un análisis multicriterio, se pretende obtener un modelo, el cual nos permita identificar y delimitar las áreas con mayor vulnerabilidad y que posean mayor riesgo, a fin de proponer y establecer medidas tendientes a la mitigación y prevención adecuadas. La implementación de estos resultados no solo proporcionará un mecanismo de protección para la población y sus bienes; sino que también facilitará el desarrollo sostenible del cantón,

garantizando que las actividades económicas y sociales se desarrollen en condiciones de absoluta seguridad.

La metodología empleada contempla la recopilación de datos hidrológicos y físicos; así como la caracterización de las áreas susceptibles de inundación y la aplicación de técnicas multicriterio para el análisis en torno a la vulnerabilidad y amenaza. El uso de herramientas tecnológicas como el software ArcGIS es fundamental para la ejecución de un análisis espacial, así como a la creación de mapas de riesgo, lo que permitirá una visualización clara y precisa donde se sitúan las zonas afectadas. Los resultados obtenidos mediante el presente estudio constituyen un insumo de vital importancia para las autoridades locales y regionales, puesto que facilitan la toma de decisiones proporcionando un sustento y guía en la gestión de desastres, así como en la ordenación del territorio.

La investigación no solo se enfoca en efectuar la identificación y delimitación de las áreas o zonas de riesgo, sino que además resalta la importancia en cuanto a la educación para que la población se encuentre preparada, a fin de afrontar posibles desastres. Mediante el presente trabajo, se espera contribuir al desarrollo e implementación de estrategias efectivas para la mitigación de riesgos, promoviendo una efectiva gestión territorial, más resiliente y sostenible en el cantón Tisaleo.

1. CAPÍTULO 1: MARCO GENERAL DE INVESTIGACIÓN

1.1 Título

Zonificación de las áreas con posibilidad de inundación aplicando técnicas Multicriterio en Sistema de información Geográfica SIG en el cantón Tisaleo.

1.2 Planteamiento del problema

A nivel mundial se ha registrado un aumento de los desastres naturales en las últimas décadas, debido a fenómenos como El Niño y el Cambio Climático, eventos relacionados son las lluvias torrenciales y tormentas tropicales, los cuales ocurren con mayor frecuencia, como resultado se producen inundaciones que conllevan a pérdidas humanas y materiales, así como consecuencias a nivel socio económico, como la pérdida de terrenos para las actividades agropecuarias.

A nivel mundial, se han realizado análisis empíricos que estudian la relación entre las inundaciones y como estas afectan al Producto Interno Bruto (PIB) de un país. Ashizawa, Sudo y Yamamoto (2022) desarrollaron un análisis empírico basado en la información recogida de inundaciones en ese país, donde llegaron a una conclusión que los daños causados por inundaciones provocan un decrecimiento indirecto del PIB en ese año. Por ejemplo, en el estudio se relaciona el PIB del año del evento con el año anterior y se descubre que 1% del daño relacionado a inundaciones provoca su disminución de -0,18% al -0,19%. Este informe permite dar un enfoque de como una localidad, ciudad o incluso país, puede verse afectado económicamente a nivel nacional, debido a las inundaciones.

Si bien Japón es un país que es propenso a inundaciones debido a eventos como lluvias y tsunamis, América ha sido víctima de eventos catastróficos debido a huracanes y tormentas tropicales, por ejemplo, Canadá espera un posible aumento de inundaciones debido al Cambio Climático (Burn y Withfield, (2015). El Cambio Climático es una preocupación hacia la población que se encuentra en zonas propensas a inundaciones debido a lluvias, huracanes o tsunamis, por lo que es importante que los entes gubernamentales tomen en cuenta, mediante gestión de

riesgos, los planes de mitigación y prevención de desastres que afecten a los habitantes.

Latinoamérica ha sido víctima de desastres naturales relacionados a lluvias torrenciales, de los cuales destaca el Deslave de Vargas, Venezuela, en donde los primeros 15 días del mes de diciembre las precipitaciones llegaron a un máximo de 1.910 mm, algo poco común en esta zona del país. Se cabe destacar que la planificación urbana en esta zona era limitada, sumado al hecho de que se obtuvieron precipitaciones máximas al promedio, las consecuencias fueron catastróficas con pérdidas humanas de hasta 15.000 víctimas y cinco mil millones de dólares en pérdidas materiales (Genatios, 2012). Este desastre natural es un caso importante de la poca planificación que se desarrolló en zonas propensas a inundaciones, si bien las lluvias torrenciales de este tipo tienen un periodo de retorno de 500 años, es un dato importante a la hora de la construcción de obras civiles en zonas propensas a deslaves e inundaciones.

Asimismo, como el caso descrito previamente, se debe tener en cuenta el registro hidrológico de las zonas inundables, factores como las precipitaciones máximas anuales, intensidades de lluvia máximas y el periodo de retorno. Como referencia, Guano (2018) realizó un estudio de las intensidades máximas de precipitación en dos estaciones de la provincia de Tungurahua, con el propósito del diseño de una presa en la Quebrada Santa Lucía. Como se evidencia, los datos hidrológicos son importantes en el diseño y construcción de una obra civil, así como para prevenir la construcción y planificación urbana en zonas definidas como inundables.

En resumen, la problemática relacionada a las inundaciones se debe a eventos naturales, urbanización poco planificada y poco conocimiento del registro de precipitaciones máximas e intensidad del mismo. Por ello es que se debe desarrollar un mapa con la información obtenida a partir de las estaciones hidrológicas y el Sistema de Información Geográfica SIG, basado en técnicas multicriterio que permitan conocer los problemas críticos y llegar a una solución. Con todo lo definido, se formula la siguiente pregunta de investigación.

1.3 Formulación del problema

¿Cómo desarrollar las técnicas multicriterio que permita evaluar la distribución de las zonas vulnerables, ante la posibilidad de inundaciones en el cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua?

1.4 Sistematización del problema

A partir de la formulación del problema definido previamente, se realizan las siguientes interrogantes:

- ¿Cómo se puede estudiar el efecto de la amenaza de inundación causado por lluvias torrenciales en el Cantón Tisaleo?
- ¿Cuáles son zonas con un riesgo potencial ante la ocurrencia de inundaciones, en el Cantón Tisaleo?
- ¿Cómo se pueden desarrollar técnicas multicriterio con las posibles alternativas obtenidas de las zonas de inundación definidas?

1.5 Delimitación del problema de investigación

Delimitación espacial: el trabajo de investigación se delimita de la siguiente manera.

- 1) País: Ecuador
- 2) Provincia: Tungurahua
- 3) Cantón: Tisaleo

Delimitación temporal: el trabajo de investigación se desarrolla desde noviembre de 2022 hasta junio de 2023.

Área: Gestión del Riesgo de Inundación.

Delimitación amplia del conocimiento: ingeniería, industria y construcción.

Delimitación específica del conocimiento: ingeniería y construcción.

1.6 Líneas de investigación

En la Tabla 1, se presenta las líneas de investigación a desarrollar.

Tabla 1

Líneas de la investigación.

Dominio	Línea Institucional	Línea de Facultad de ingeniería, Industria y Construcción
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.	Gestión de recursos hídricos

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte.

1.7 Objetivo general

Zonificar las áreas con posibilidad de inundación mediante análisis multicriterio en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS en el cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua, para la determinación del riesgo de inundación existente.

1.8 Objetivos específicos

1 Recolectar la información relacionada a los parámetros físicos e hidrológicos del cantón Tisaleo para la caracterización de las zonas con posibilidad de inundación, por medio de una revisión literaria e información entregada por la municipalidad.

2 Caracterizar las zonas con posibilidad de inundación del cantón Tisaleo, mediante la aplicación del software ArcGIS para el estudio de las variables de vulnerabilidad y amenaza de inundación;

3 Determinar el riesgo existente de inundación debido a las precipitaciones máximas en el cantón Tisaleo para el desarrollo del análisis multicriterio;

4 Desarrollar el análisis multicriterio con el resultado de las variables de vulnerabilidad y amenaza del mapa de inundación para la zonificación del riesgo de inundación del cantón Tisaleo.

1.9 Justificación de la investigación

La investigación se desarrolla con el fin de conocer los efectos causados por inundaciones en el Cantón Tisaleo, mediante la identificación del peligro y el análisis de la vulnerabilidad en la zona, permitiendo la elaboración de medidas enfocadas en la mitigación y prevención, así como las acciones de educación a la población con la finalidad de prepararlos en este tipo de desastres. La población del Cantón Tisaleo ha sido constantemente afectada por las inundaciones debido a las lluvias, ocasionando pérdidas de bienes materiales, infraestructura y viviendas, por ende, es importante determinar las zonas más vulnerables ante esta amenaza natural.

Se demuestra en distintas investigaciones la importancia de los SIG, tanto en la planificación y construcción urbana, como en la gestión de riesgos. Esto se debe a que los SIG se han desarrollado mediante la definición de información relacionada a áreas de la ingeniería y geografía (hidrología, hidráulica, topografía, pendientes, entre otros) de una zona en específico. Con lo mencionado previamente, se pretende diseñar un modelo de mapas de zonas inundables, mediante el software ArcGIS.

Las técnicas multicriterio son herramientas de vital importancia en el plan de gestión de riesgos, debido a que se observa un plan con el desglosamiento de distintos criterios provenientes del problema existente, por ejemplo, riesgos de inundaciones, para luego evaluar los factores y obtener soluciones, como caracterizar las zonas inundables y prevenir a la población. Previa investigación han definido su ventaja en la obtención de alternativas estratégicas ante una problemática.

El cantón Tisaleo es una zona con una economía de crecimiento basada en las actividades agrícolas y pecuarias, asimismo una gran parte de la superficie posee zonas forestales en conservación, por lo cual ninguna actividad económica o social es desarrollada en esas áreas. Es importante destacar que el cantón Tisaleo posee

una población de mayoría rural, donde solo posee un centro urbano principal y caseríos rurales. Por ende, la investigación es importante a nivel macro debido a que un riesgo como las inundaciones afectarían considerablemente las dimensiones económicas, sociales y medioambientales del cantón.

1.10 Hipótesis de la investigación

Las técnicas multicriterio contribuirán favorablemente a la zonificación de las áreas con riesgo de inundación del cantón Tisaleo.

1.11 Variable independiente

Técnicas multicriterio

1.12 Variable dependiente

Zonificación de las áreas con posibilidad de inundación.

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Teórico

2.1.1. Antecedentes de la investigación

Para el desarrollo de este trabajo, fue importante verificar referencias bibliográficas que definieran esta línea de investigación.

Internacionales

Almario (2021), define en su trabajo de maestría el uso de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) como parte fundamental en la zonificación de riesgos por amenazas naturales y hechas por el hombre, mediante el caso de estudio del gasoducto Zona Bananera en el departamento del Atlántico, Colombia. La metodología utilizada es el análisis de procesos jerárquicos (AHP, por sus siglas en inglés) el cual consiste en la jerarquización de elementos definidos en objetivos, criterios y alternativas, a partir de un análisis multicriterio y un enfoque heurístico. Para el análisis de los elementos, se utiliza como instrumento la matriz de comparación pareada, la cual consiste en el ordenamiento de los elementos en una matriz donde los valores numéricos son escalas de evaluación asignadas por el investigador, para su posterior cálculo de cada elemento. Los resultados determinan que las amenazas dentro de la zona presentan un comportamiento distinto, pero la zona no ha registrado emergencias relacionadas con dichas amenazas, lo cual conlleva a una probabilidad de ocurrencia baja.

Sevillano (2020), desarrolla un artículo donde el objetivo del mismo es la zonificación de la amenaza por inundación en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia, mediante el uso del método de evaluación multicriterio. La metodología consiste en la definición de siete variables de análisis (acumulación de flujo, canales, humedales, quebradas, pendientes, profundidad y ríos), a partir de la combinación lineal ponderada y el uso de un software de Sistema de Información Geográfica. De acuerdo con la autora, los resultados fueron que la amenaza de tipo alta abarca un 6% de la superficie inundable, una amenaza media 22% y amenaza baja 72%. La

zona oriental de la ciudad presenta una vulnerabilidad alta frente a las inundaciones, debido a la profundidad de inundación, acumulación de flujo, pendientes y cercanía a canales y cuerpos de agua.

Celmi (2007), realiza un trabajo que tiene como objetivo seleccionar una solución estratégica para la disminución de los daños consecuentes de inundaciones aguas abajo de los distritos El Callao, Los Olivos, San Martín de Porres, Puente Piedra y Ventanilla, conformando el valle Chillón, mediante el análisis MCA y la aplicación del SIG. Es una investigación aplicada y no experimental, presenta el análisis MCA como medio para comparación de resultados cuantitativos, así como la aplicación del SIG el cual actúa como herramienta para la recolección de información geográfica. Una de las conclusiones de esta investigación es que los desastres estudiados en las zonas especificadas, son causados por factores como la falta de planificación urbana y una sociedad con una vulnerabilidad alta a dicho riesgo.

Nacionales

Panjon (2015), desarrolla una investigación con el objetivo general de establecer un modelo de proyección espacial del sistema de distribución eléctrica, a partir del uso del Sistema de Información Geográfica SIG, en la ciudad de Sucúa, Ecuador. La investigación es de tipo cuantitativa no experimental, las herramientas de investigación utilizadas son entrevistas a distintos entes gubernamentales participes, adquisición de ordenanzas y la generación de modelos de simulación de uso del suelo. Se evidencia la ventaja que presentan las SIG en la creación de modelos geográficos de distribución eléctrica, identificando los criterios y posibles alternativas para la toma de decisiones. Una de las conclusiones fue que el uso de las SIG permite identificar zonas que no han sido urbanizadas y demuestra importancia en la necesidad de seguir el conocimiento de esta herramienta.

Los autores Muñoz et al, (2016), desarrollan una investigación con el objetivo de formular el ordenamiento del territorio, a partir de los criterios propuestos por el análisis multicriterio, caso de estudio en el cantón Valencia, Ecuador. En base al objetivo general, la investigación es aplicada y con un diseño no experimental, los instrumentos utilizados para la recolección de información son las fichas técnicas y

bibliográficas. Para la elaboración del mapa de las estaciones meteorológicas de dicha provincia, se utiliza el software ArcGIS 9.3. De acuerdo al análisis MCA, se concluye que la zona sur del cantón Valencia es la más adecuada para un cultivo de soya, debido a sus resultados en los criterios de tipo de suelo, temperatura, pendiente y altitud.

Vaca (2018), realizó un trabajo con el objetivo de crear un modelo de análisis multicriterio o MCA, para la selección de criterios y alternativas en la conservación de suelo y agua en la zona de estudio del área hidrográfica del río Chota, al norte del Ecuador. La investigación fue realizada de manera cuantitativa y con un diseño exploratorio, a partir de estos parámetros resultó en la definición de una superficie de 700 km² para la construcción de terrazas de formación en la cuenca del río, lo que representa un 36,72% de la superficie total con excelentes condiciones para esta obra. Con estos resultados se concluye que la pendiente del terreno es un factor importante en las decisiones relacionadas a la conservación de suelo y agua.

Locales

López (2022), investiga una hipótesis con el objetivo de evaluar la amenaza por inundaciones en caso de rotura por colapso y desborde de la represa Chiquiurcu, ubicado en los ríos Calamaca y Ambato, en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. El trabajo es de tipo cuantificadas, aplicada y no experimental, se obtienen los datos relacionados al volumen y características del embalse, para luego realizar una simulación hidráulica con los posibles escenarios de inundación. Se zonifican áreas de mayor amenaza a una destrucción total y zonas de amenaza media donde presentan peligro para las vidas humanas y daños menores a viviendas. Esto concluye que, si llegase a ocurrir una rotura completa de la presa Chiquiurcu, existiría una amenaza a los elementos definidos en los mapas, ubicados aguas abajo de la unidad hidrológica.

Guano (2018), realiza un estudio de factibilidad para el desarrollo de una presa en la quebrada Santa Lucía del sector San José – La Dolorosa del cantón Tisaleo, en la provincia de Tungurahua. La investigación es documental y de campo, donde la muestra utilizada fueron las estaciones hidrológicas Pedro Fermín Cevallos (colegio)

M0128 y Querochaca (UTA) M0258 y la población son los parámetros de intensidad y caudales de crecida, registrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, INAMHI. Este estudio de factibilidad concluyó un aumento de las intensidades máximas de precipitación en las estaciones hidrológicas mencionadas, en los períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Pico (2014), desarrolla en su investigación la ocurrencia de las aguas de lluvia y como estas afectan a la parroquia de Izamba, ubicada en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Con un enfoque de los tipos exploratoria y descriptiva, el autor utilizó instrumentos de información de campo (entrevistas y encuestas) e instrumentos de recolección de información bibliográfica. La conclusión es que, en periodos de lluvias torrenciales, especialmente en invierno, las inundaciones resultantes afectan calidad de vida, a nivel económico y social, de los habitantes de la parroquia.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Análisis multicriterio

En esta investigación se utiliza una herramienta que permite evaluar distintas alternativas, en base a criterios que son analizados y clasificados, seguidamente los objetivos y factores (Vaca, 2018). Esta herramienta es conocida como el análisis multicriterio o MCA, utilizado en la planificación y gestión de riesgos debido a que permite abarcar un problema, mediante criterios obtenidos del mismo, para conocer un número importante de soluciones estratégicas y plantear una propuesta.

El análisis MCA es definido de acuerdo al tipo de soluciones, esta se puede dividir en dos tipos:

- Toma de decisiones multi - objetivo, donde las decisiones son estudiadas en un espacio de manera continua;
- Toma de decisión multi - atributo, en donde las decisiones se enfocan en problemáticas limitadas, es decir, incluyen un numero finito de posibles soluciones (Vaca, 2018).

Para esta investigación, es utilizada la toma de decisiones multi – atributo, donde se define el problema relacionado a las inundaciones en el cantón Tisaleo, y se encuentran un numero finito de soluciones relacionadas a los criterios definidos. En la toma de decisiones de un problema relacionado a los SIG y el análisis MCA, ambas herramientas poseen una ventaja al ser una relación complementaria, debido a una mayor información, tanto geográfica como espacial, de los criterios obtenidos (Vaca, 2018).

Saaty (1987), describe un árbol de criterios en donde existen varias componentes siendo las principales: criterios, factores, limitantes y regla de decisión, los cuales son definidos a continuación.

Criterios

Los criterios son las mediciones principales en el análisis multicriterio, estos son obtenidos a partir del problema o situación presentado. Pueden ser de dos tipos: factores y limitantes.

Factor

El factor es un tipo de criterio que puede ser obtenido a partir de una medida de escala continua, es decir, no es un criterio limitado en la obtención de soluciones o alternativas. Los factores se clasifican de la siguiente manera:

- Factores de beneficio, el cual beneficia de manera positiva al criterio, mientras más se tenga, mejor será el resultado;
- Factores de costo, los cuales le da una desventaja al resultado, mientras menos se tenga de este factor, mejor será el resultado (Vaca, 2018).

Vaca (2018), hace mención que ambos factores mencionados previamente se complementan entre sí, por ejemplo, un criterio con un número mayor de factores de costo tiene una desventaja en el resultado, sin embargo, puede compensarse con factores de beneficio, lo cual permite un mejor resultado. En la Tabla 2 se definen los atributos de los criterios e indicadores que deben tener los factores.

Tabla 2

Definición de los atributos de los criterios.

Atributo	Definición del indicador
Significativo	Este indicador debe vincularse directamente con el objetivo mediante aspectos claves del problema.
Metódico	Indicador de confianza basado en la medición integral de un problema
Mensurable	Atributo de fácil interpretación, especialmente en la definición precisa de costos.

Fuente: Vaca, (2018).

Limitante

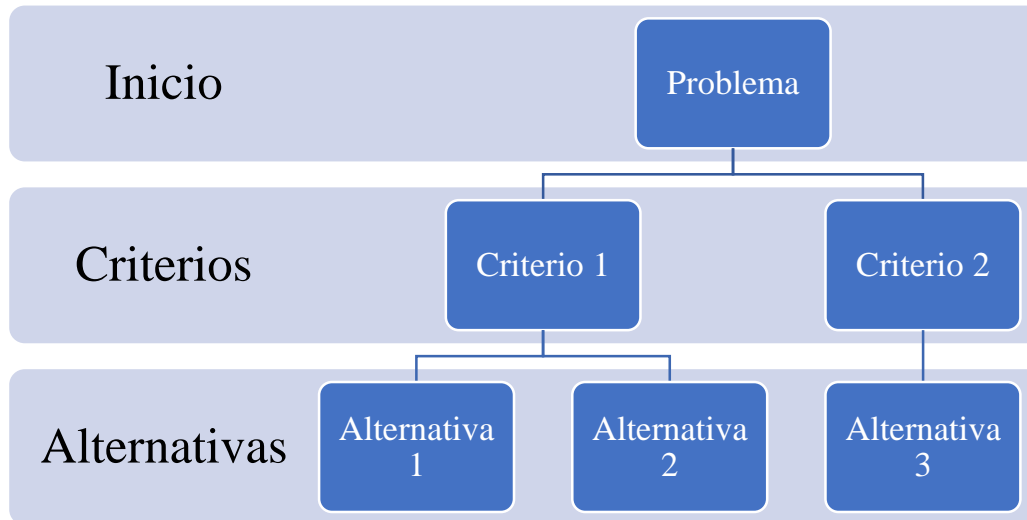
Existen criterios que no permiten la disponibilidad de soluciones o alternativas basadas en la actividad evaluada. Conocidos como limitantes, estos criterios funcionan de manera polarizada mediante una capa binaria entre 0 y 1, donde un código representa las soluciones que pueden ser elegidas, mientras el otro código representa las soluciones no aptas para la actividad (Vaca, 2018).

La Regla de decisión

La regla de decisión es un procedimiento donde se evalúan los distintos criterios obtenidos de un problema o situación. Esto permite integrar dichos criterios en un índice de simple composición para luego comparar las alternativas mediante el índice mencionado, como se observa en la Figura 1.

Figura 1.

Árbol de criterios definido por los factores para la obtención de distintas alternativas.



Elaborado por: Merchán, (2024).

Un árbol de criterios definido por factores para la obtención de distintas alternativas es una herramienta muy importante a la hora de tomar decisiones, el mismo se utiliza para evaluar y comparar diferentes opciones o alternativas basándose en criterios previamente establecidos.

Valorización parcial

La valorización parcial permite que los criterios definidos en el MCA sean estandarizados o modelados, de esa manera facilitar la evaluación de los mismos. En la Tabla 3 se definen los modelos más importantes.

Tabla 3

Tipos de modelamiento de criterios del análisis MCA

Modelamiento	Obtención
Máximo	El registro es dividido entre el valor absoluto más alto
Intervalo	Se aplica una función lineal entre los valores absolutos mínimos y máximos
Meta	Se aplica una función lineal entre el valor meta real o hipotético del rango y el valor mínimo

Fuente: Vaca, (2018)

Análisis de jerarquía de Saaty

Saaty (1987), describe el análisis de jerarquía o árbol de jerarquía como la descomposición de distintos criterios primordiales de un problema para su posterior comparación (pareo, discreto o continuo), este análisis permite conocer de manera explícita un criterio, de tal manera cada elemento que compone el criterio sea descompuesto en otros elementos subordinados. Posee una perspectiva respecto a la medición y dependencia en relación a otros elementos de un criterio analizado.

Comparación pareada

La comparación pareada es un instrumento de análisis multicriterio, que define distintos pares de criterio mediante la asignación de una expresión numérica que será comparada con otros pares, resultando en una matriz para cada par, posteriormente analizada mediante una escala verbal, como se muestra en la Tabla 4 (Saaty, 1987).

Tabla 4

Valores comparativos para la creación de la matriz de comparación pareada

Expresión numérica	Valoración	Definición.
1	No adecuado	Igual importancia
3	Ligeramente adecuado	Moderada importancia de uno sobre otro
5	Moderadamente adecuado	Elemento fuertemente favorecido
7	Altamente adecuado	Elemento muy fuertemente favorecido
9	Óptimo	Extrema importancia
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios	Usado como valores de consenso entre dos juicios
0	No hay relación	El elemento no contribuye al objetivo

Fuente: Vaca, (2018).

Vaca (2018), menciona que dentro la matriz de la comparación pareada existe una relación complementaria entre los elementos ubicados arriba y diagonal de la misma, es decir, presenta una relación inversa entre unos con otros valores. En la Tabla 5 se presenta un ejemplo de una matriz.

Tabla 5*Ejemplo de una matriz comparativa.*

	A	B	C
A	1	3	8
B	0.33	1	5
C	0.125	0.2	1

Fuente: Vaca, (2018).

Uno de los métodos recomendados para obtener el promedio de los criterios de la matriz es lo siguiente:

- Adición de los valores de cada columna de la matriz de comparación pareada MCP;
- Matriz estándar, mediante la división de los valores de cada celda de la matriz por el valor total de su columna;
- División de la suma de los valores estandarizados en cada fila de la matriz entre el número total de criterios, obteniendo el promedio de la matriz estandarizada (Vaca, 2018). Se presenta los cálculos a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6*Cálculo del promedio de los valores de la matriz MCP.*

Paso	MCP			MCP normalizada			Cálculo de promedio
<i>Criterio</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>Peso</i>
<i>A</i>	1	3	8	0.687	0.714	0.571	0.657
<i>B</i>	0.33	1	5	0.227	0.238	0.357	0.274
<i>C</i>	0.125	0.2	1	0.086	0.048	0.071	0.068
Suma	1.46	4.20	14.00				

Fuente: Vaca, (2018).

Usos del análisis multicriterio en el cambio climático

A nivel gubernamental, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, por sus siglas en inglés) ha implementado distintos planes para la adaptación de proyectos enfocados en la resiliencia ante el cambio climático, mediante el uso del análisis multicriterio. Estos proyectos se definen a continuación.

Medidas de adaptación al cambio climático

Murillo, Gómez y Apéstegui, (2021) desarrollaron un documento dirigido a la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Energía (DCC MINAE) de Costa Rica. El documento es una guía de priorización de proyectos enfocados a medidas de adaptación y resiliencia ante el cambio climático, mediante el uso del análisis multicriterio, con el propósito de encontrar alternativas para reducir la vulnerabilidad de zonas propensas a eventos relacionados al cambio climático (lluvias torrenciales y sequías), mitigar daños y aprovechar oportunidades para aprovechar la resiliencia de las comunidades frente al impacto del evento natural.

El documento presenta los pasos para la priorización de medidas de resiliencia mediante el análisis multicriterio, con tres enfoques (Figura 2) integrándose a las poblaciones vulnerables, los participantes relacionados a la adaptación climática y la perspectiva de género en las medidas. En la Figura 3 se muestran los pasos para obtener las medidas de resiliencia, utilizando el análisis multicriterio.

Figura 2.
Enfoques a utilizar para el análisis multicriterio.



Fuente: Murillo *et al*, (2021).

Al integrar la participación ciudadana, la adaptación entre el ámbito nacional y subnacional, y la equidad de género en las medidas y decisiones no solo es importante sino esencial. Esto garantiza que la aplicación sea inclusiva, equitativa, sostenible y efectiva, beneficiando de esta manera a toda la población y contribuyendo a un desarrollo más justo y resiliente.

Figura 3.

Pasos para la priorización de las medidas de adaptación mediante el análisis multicriterio.



Fuente: Murillo *et al*, (2021).

El análisis multicriterio para la priorización de medidas de adaptación es un enfoque sólido y eficiente. Permite evaluar distintas opciones basándose en distintos criterios importantes, asegurando de esta manera una toma de decisiones más informada y equilibrada.

Los pasos de priorización de la investigación fueron aplicados en un caso de estudio del cantón de San Juan, Costa Rica, esta zona se encuentra cercana a la costa y la desembocadura de un río llamado Hamaca. Con un clima y vegetación tropical, el cantón posee manglares y bosques tropicales lo que conlleva a un punto importante en el turismo local, sin embargo, la agricultura viene siendo la economía principal de la zona.

De acuerdo con Murillo *et al*, (2021), mediante un estudio de información y campo, observaron que en la última década se ha incrementado el impacto relacionado al cambio climático. Las consecuencias a esto son los daños y pérdidas a nivel de construcciones viales, hidráulicas y urbanísticas, así como pérdidas de terreno para la siembra en el cantón. Esta problemática se debe a las inundaciones provocadas por lluvias torrenciales y crecidas del río, debido a la cercanía de estas

zonas al mismo, esto ha llevado que la economía se vea afectada de manera importante y que muchos habitantes se vean en la urgencia de migrar a otras zonas cercanas debido a una pérdida parcial o total de sus viviendas.

Con este contexto, los investigadores y su equipo desarrollaron las medidas necesarias para mitigar la amenaza, los cuales se mencionan a continuación:

- Construcción de un muro de contención, con el objetivo de proteger las zonas de actividad económica que se encuentren dentro de las zonas de riesgo a inundación;
- Implementación de actividades para la restauración de franjas de amortiguamiento del río Hamaca, con el objetivo de disminuir el riesgo de inundaciones en las cercanías, asimismo restaurar el ecosistema utilizando especies nativas en las franjas;
- Programa comunitario para la restauración y preservación de los manglares de la zona, en conjunto con la Asociación de Desarrollo Local;
- Reubicación de los habitantes en áreas de alto riesgo a inundaciones, con el objetivo de disminuir el riesgo de inundaciones en zonas vulnerables y pérdidas humanas y materiales;
- Diseño de una nueva propuesta de zonificación del área, con el propósito de inversión en la zona, conservación de los ecosistemas para mayor atracción turística (Murillo *et al*, (2021)).

En base a estas medidas, el equipo de investigación desarrolló los criterios de evaluación que son utilizados en el análisis multicriterio, entre ellos se mencionan:

- Reducción de la afectación a las poblaciones vulnerables;
- Fortalecimiento de los servicios del ecosistema;
- Presupuesto;
- Planes en el corto y mediano plazo;
- Alineación con la planificación estratégica vigente (Murillo *et al*, (2021)).

Con las medidas y criterios de evaluación definidas, se desarrollaron los pasos del análisis multicriterio mostrado en la Figura 3, dando paso a la matriz de comparación (Figura 4).

Figura 4.

Matriz del análisis multicriterio aplicado en el cantón de San Juan.

Criterios de evaluación	Reducción afectación a las poblaciones vulnerables		Fortalecimiento de los servicios ecosistémicos		Costo		Implementable en el corto / mediano plazo		Alineación con la planificación estratégica vigente		Nota Final	Prioridad
	Paso del criterio		20% (0.20)		25% (0.25)		22% (0.22)		13% (0.13)			
	Nota	Nota con peso	Nota	Nota con peso	Nota	Nota con peso	Nota	Nota con peso	Nota	Nota con peso		
(1) Muro de contención en la ribera del río	6	1.20*	2	0.40	4	1.00	8	1.76	5	0.65	5.01**	4
(2) Restauración de franjas de amortiguamiento riparias	7	1.40	10	2.00	9	2.25	6	1.32	9	1.17	8.14	1
(3) Restauración y protección del manglar con el apoyo de la Asociación de Desarrollo Local	8	1.60	10	2.00	5	1.25	4	0.88	8	1.04	6.77	3
(4) Relocación de las poblaciones en zonas de alto riesgo de inundación determinadas a partir de un análisis de riesgos	9	1.80	3	0.60	1	0.25	4	0.88	8	1.04	4.57	5
(5) Diseño de una nueva propuesta de zonificación del territorio considerando el análisis de riesgos climáticos	8	1.60	7	1.40	7	1.75	8	1.32	8	1.04	7.11	2

Fuente: Murillo *et al.*, (2021).

Como podemos observar la matriz de análisis multicriterio es una herramienta valiosa y efectiva para la toma de decisiones complejas, ya que proporciona una base objetiva para comparar alternativas, utilizando criterios cuantificables y cualitativos.

Calculado la matriz de comparación, las medidas de adaptación resultaron con los siguientes valores de prioridad (Tabla 7).

Tabla 7
Resultados finales del análisis multicriterio en el cantón de San Juan

Medidas de adaptación	Valor final	Prioridad
Muro de contención.	5,01	4
Restauración de las márgenes del río.	8,14	1
Restauración y protección de los manglares.	6,77	3
Relocalización de las comunidades en zonas de alto riesgo.	4,57	5

Diseño de una nueva propuesta de zonificación del territorio.	7,11	2
---	------	---

Fuente: Murillo *et al*, (2021).

Con los resultados que llegaron los autores del estudio, llegan a la conclusión que las medidas con mayor prioridad en el cantón de San Juan es la restauración de las márgenes del río, diseño de una nueva propuesta de zonificación del territorio y restauración y protección de los manglares del área. Se observa en el estudio como abordan la problemática del cambio climático desarrollando criterios, medidas y resultados mediante el análisis multicriterio.

Análisis multicriterio de proyectos de adaptación de la agricultura al cambio climático en Perú: Caso de estudio Región de Piura.

Los autores Rivera, Belton, Scriciu y Majano (2013), estudiaron ocho proyectos de adaptación al cambio climático enfocados en la agricultura en la región de Piura, al noroeste del territorio peruano. Dicho trabajo fue desarrollado por la INCAE Business School, con apoyo financiero del PNUMA, bajo la iniciativa MCA4Climate (Multiple Criteria Analysis of Climate Change Policies, por sus siglas en inglés), este tiene el propósito de preparar planes para la mitigación y adaptación al cambio climático, mediante el análisis multicriterio.

El país andino ha registrado eventos importantes relacionados al cambio climático, entre los cuales se encuentran el aumento de la temperatura, cambios en los patrones de lluvia, aumento del nivel del mar en las costas y el derretimiento de los glaciares de Los Andes. Estos eventos se han registrado de manera constante, teniendo como consecuencia áreas inundadas que afectan terrenos dedicados a la agricultura, terrenos habitados, llevando a pérdidas humanas, económicas y materiales.

La región de Piura es la segunda región más poblada del Perú, con una población de 1.769.555 habitantes en una superficie de 35.892 km². La actividad económica principal de esta región es la agricultura, la cual es desarrollada a lo largo

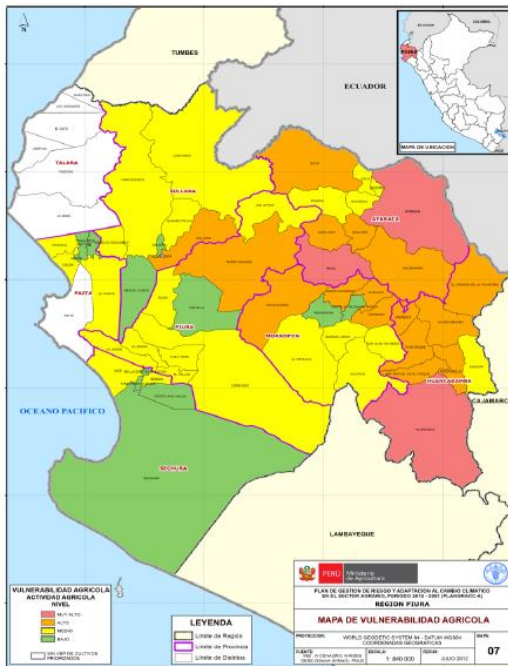
de la costa. De acuerdo con los autores, un 7% de la tierra de la zona se dedica a economía agrícola, representando un 5% del valor agregado nacional.

La región posee una diversidad de climas debido a su ubicación geográfica, topografía e interacción de sistemas atmosféricos, por lo cual es común que eventos atmosféricos (sequías, lluvias, inundaciones, etc.) ocurran de manera frecuente. Estos eventos han afectado directamente en el sector agrícola, con situaciones como la pérdida de áreas para cultivo y el patrón de crecimiento óptimo de los productos. Con todos estos factores, Piura posee una vulnerabilidad agrícola media, a nivel de distritos la región se desglosa de la siguiente manera: 21% presenta vulnerabilidad baja, 45% presenta vulnerabilidad media, 29% vulnerabilidad alta y 3% vulnerabilidad muy alta, en base a los datos del Plan de Gestión de Riesgo y Adaptación al Cambio Climático en el Sector Agrario PLANGRACC-A (Figura 5).

Con el contexto de la región, los autores utilizaron el análisis multicriterio definido por la iniciativa MCA4Climate, enfocado en el árbol jerárquico de criterios con los cuales se evalúan las propuestas de los proyectos y su potencial contribución a los objetivos de resiliencia ante el cambio climático. Mediante el uso del software V.I.S.A (Visual Interactive Sensitive Analysis) el análisis multicriterio se realiza con el objetivo de evaluar lo que cada uno de los ocho proyectos aportan al objetivo final del PLANGRACC-A, en base a los criterios establecidos y que proyectos aportan un mejor potencial de impacto, por ende, que proyectos tendrían mayor prioridad. En la Figura 6 se muestra la elaboración del árbol jerárquico.

Figura 5.

Zonas agrícolas vulnerables ante el cambio climático en la región de Piura.

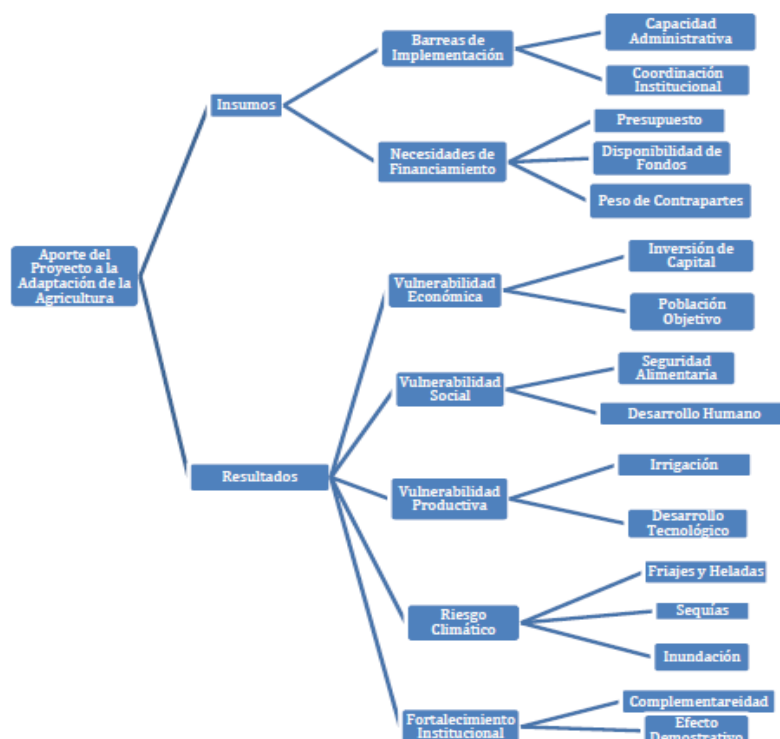


Fuente: Rivera *et al*, (2013).

La producción agrícola es sustancialmente susceptible a los impactos negativos del cambio climático, como sequías, inundaciones, cambios en los patrones de lluvia y temperaturas extremas. Estos impactos influyen directamente en la producción, afectando de una u otra manera la calidad de los cultivos, así mismo se pone en riesgo la seguridad alimentaria y los medios de vida de las comunidades agrícolas.

Figura 6.

Árbol jerárquico para el análisis de proyectos de adaptación a la agricultura en la región de Piura.



Fuente: Rivera *et al*, (2013).

El árbol jerárquico presenta tres niveles. El nivel 1 presenta dos criterios, insumos y resultados, son los esfuerzos necesarios para que los proyectos puedan ser desarrollados dentro de unas condiciones necesarias. El nivel 2 presenta siete criterios, barreras de implementación y necesidades de financiamiento, relacionadas a insumos; y vulnerabilidad económica, social y productiva, riesgo climático y fortalecimiento institucional, criterios relacionados a los resultados. El siguiente nivel define los criterios con los cuales se evalúan el grado en que los proyectos de la región cumplen. En la Tabla 8 se presenta el código de los proyectos para el análisis multicriterio.

Tabla 8
Identificación de los proyectos de la región de Piura

	Código	Nombre del proyecto
1	CAPAC_RH_SU	Mejoramiento de capacidades locales para conservar y preservar los recursos hídricos.
2	DEF_RIB_RiChi	Construcción de defensas ribereñas y encauzamiento en zonas críticas del río Chira.

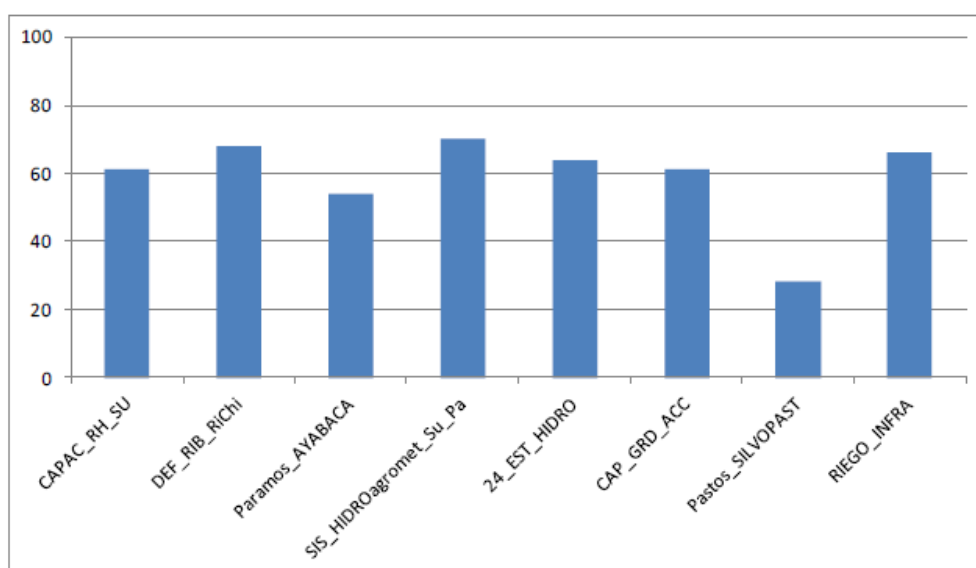
3	Paramos_AYABACA	Protección y conservación de páramos andinos con especies forestales nativas.
4	SIS_HIDroagromet_Su_Pa	Implementación de un sistema hidro-agrometeorológico local para gestionar el riesgo climático que afecta al sector agrario
5	24_EST_HIDRO	Implementación de 24 estaciones meteorológicas para monitoreo climático.
6	CAP_GRD_ACC	Desarrollo de capacidades en Gestión de Riesgo de Desastres y la Adaptación ante el Cambio Climático, principalmente en sequías e inundaciones.
7	Pastos_SILVOPAST	Manejo de pastos naturales en áreas degradadas.
8	RIEGO_INFRA	Construcción, mejoramiento y rehabilitación de 120 km de infraestructura de riego.

Fuente: Rivera *et al*, (2013).

Con la evaluación de los criterios e indicadores, escenarios y la puntuación de los proyectos mencionados, los autores calcularon los resultados de cada nivel del árbol jerárquico mediante el análisis multicriterio, obteniendo como resultado final los porcentajes de cada proyecto evaluado, siendo estos los valores relacionados a la prioridad o valor agregado que los proyectos aportan a la iniciativa de resiliencia ante el cambio climático (Figura 7).

Figura 7.

Resultados de los proyectos en base a la contribución de adaptación a la agricultura.



Fuente: Rivera *et al*, (2013).

Se observa en la figura anterior que los proyectos con un porcentaje mayor a 60% son los siguientes:

- Construcción de defensas ribereñas y encauzamiento en zonas críticas del río Chira (DEF_RIB_RiChi): 69%;
- Implementación de un sistema hidro-agro-meteorológico local para gestionar el riesgo climático que afecta al sector agrario (SIS_HIDroagromet_Su_Pa): 70%;
- Construcción, mejoramiento y rehabilitación de 120 km de infraestructura de riego: 65% (Rivera *et al*, (2013).

De acuerdo con Rivera *et al*, (2013) el resultado final de cada proyecto presenta un contexto positivo al valor de la adaptación, basado en los criterios del árbol jerárquico evaluados, es decir, que los resultados del análisis multicriterio presentan que el grupo de proyectos muestra un resultado positivo para alcanzar el objetivo de la PLANGRACC-A.

Los dos estudios presentados anteriormente utilizaron el análisis multicriterio como medio para conocer si las medidas o proyectos mencionados eran necesarios para llegar a los objetivos definidos. Ambos estudios demostraron gran ventaja del análisis en la toma de decisiones frente a una problemática mundial como lo es el cambio climático, lo que resulta en que esta herramienta fue necesaria para conocer desde otro punto de vista la priorización de decisiones o alternativas.

2.2.2. Zonificación de áreas de inundación

Inundaciones

Las inundaciones son una condición temporal de desbordamiento de agua en una zona o área en específico, como consecuencia de eventos naturales como lluvias torrenciales que conllevan a la crecida de ríos y/o mares, la acumulación de aguas superficiales en la zona, deslaves o desbordamientos de agua y capa vegetal de la zona seca o colapso de una zona ubicada cerca de un cuerpo de agua (Federal Emergency Management Agency, 2022). Las inundaciones se clasifican de acuerdo a si la causa es natural, inducida o antrópica, siendo las últimas causadas por el ser

humano, como se presenta en la Figura 8. Para efectos de la investigación, se utiliza la definición de inundaciones naturales terrestres, debido al enfoque de que se realiza el estudio en inundaciones debido a lluvias torrenciales en el cantón Tisaleo.

Figura 8.

Esquema presentando la clasificación básica de los tipos de inundaciones de acuerdo a su origen.



Fuente: Diez-Herrero et al, (2008).

La clasificación de la Figura 8. destaca el papel de las actividades humanas en la intensificación de las inundaciones. Empezando por las naturales que básicamente se originan de la naturaleza, continuando con las inducidas que se agravan por las actividades humanas y finalmente las que se generan directamente por la acción humana.

Inundaciones terrestres

Las inundaciones terrestres pertenecen a la clasificación de inundaciones naturales, debido a que sus causas son de origen natural: crecidas en la red fluvial, precipitaciones continuas o in situ (cuando se trata de cuerpos endorreicos, como lagos), rotura de presas naturales, obstrucción de cauces y aumento del nivel freático (Diez-Herrero et al, (2008). En esta clasificación el ser humano no forma parte, sin

embargo, es importante tomar en cuenta los periodos de retorno y zonas que son propensas a inundación en base a esta información.

Impacto en las inundaciones

El impacto de las inundaciones puede verse reflejado en el daño causado en la zona, ya sea de manera leve o catastrófica, se debe tomar en cuenta esta definición. Llasat, López, Barnolas y Llasat-Botija (2008), mencionan la clasificación de inundaciones debido al impacto provocado posteriormente, entre ellas se mencionan:

- Inundaciones comunes, las cuales provocan un grado menor a nulo de destrucción a infraestructuras fluviales y zonas urbanas.
- Inundaciones extraordinarias, las cuales provocan un grado mediano a mayor de daño a infraestructuras construidas en zonas fluviales (puentes, camineras, entre otros).
- Inundaciones catastróficas, las cuales provocan la destrucción total de infraestructuras fluviales, así como la afectación de otras estructuras ubicadas en zonas urbanas (edificios, casas, vías de comunicación).

Esta clasificación está definida en el impacto de las inundaciones en las zonas afectadas, por lo cual será utilizado como medio para conocer el impacto de estos eventos en el Cantón Tisaleo.

Peligro

Para la delimitación de las zonas inundables del Cantón Tisaleo, se deben conocer las probabilidades de que ocurran estos eventos. Celmi (2007), define la probabilidad de peligro o amenaza como “la probabilidad de ocurrencia de un evento de origen natural, socio-natural o antropogénico que por su magnitud y características puede causar daño, no es la ocurrencia del evento en sí” (p. 43). El enfoque de la investigación trata de las inundaciones de tipo naturales en la zona de cantón Tisaleo, por lo cual se estudia la probabilidad de peligro o amenaza de inundaciones por lluvias torrenciales.

Vulnerabilidad

Por otro lado, la vulnerabilidad es la probabilidad de que las infraestructuras socio-económicas, se vean perjudicadas por efecto de un peligro o amenaza (Celmi, 2007). Esta permite dar un plano de como reaccionaria las zonas de inundación habitadas a la hora de un peligro de ocurrencia, en este caso, de una inundación. La vulnerabilidad se define en la siguiente ecuación:

$$VULNERABILIDAD = \frac{GRADO DE EXPOSICIÓN \times FRAGILIDAD}{RESILENCIA} \quad (1)$$

Donde:

- El grado de exposición, permite conocer el nivel de ventaja de un elemento frente al riesgo, tomando en cuenta el punto de localización del elemento;
- La fragilidad es el grado de susceptibilidad de un elemento frente a situaciones de amenaza y consecuencias de la misma o de un evento ajeno a la amenaza.;
- La resiliencia es la adaptación de un elemento frente a un evento o amenaza (Zuñiga, 2018).

Riesgo

El riesgo es la probabilidad que permite conocer el impacto de un evento o desastre natural frente a los medios socio-económicos, infraestructuras urbanas, entre otros, es decir, el riesgo es definido a partir del peligro y la vulnerabilidad (Celmi, 2007). El cálculo del riesgo puede definirse en la siguiente ecuación:

$$RIESGO = AMENAZA \times VULNERABILIDAD \quad (2)$$

Se puede observar, mediante la ecuación de riesgo, que la vulnerabilidad y el peligro son dependientes una de la otra, y ambas permiten dar una evaluación de cómo reaccionaría y actuaría una sociedad de una zona en específico, frente a un desastre natural. El desastre es la situación que ocurre a consecuencia de un

fenómeno o evento natural o artificial. Es el punto central de las probabilidades definidas previamente, donde a partir del desastre se demuestra qué tan vulnerable es la sociedad ante el peligro que puede tener el desastre.

Cantón Tisaleo

El cantón Tisaleo se encuentra ubicado al noroeste con el cantón Ambato, al este con el cantón Cevallos y al sureste con el cantón Mocha, dentro de los límites de la provincia de Tungurahua, como se observa en la Figura 9. (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2014).

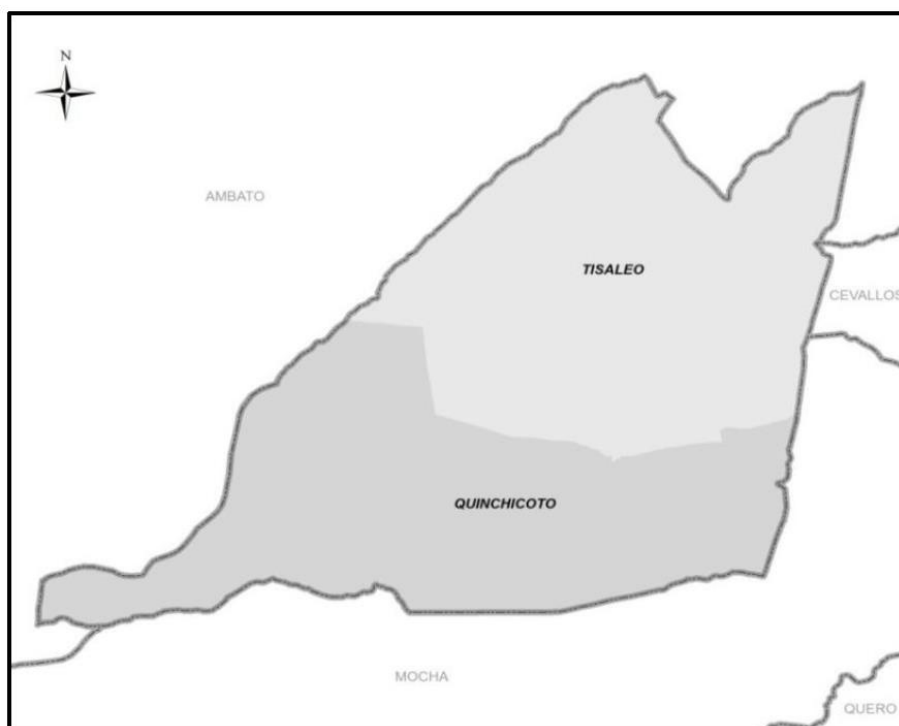
Figura 9.
Ubicación del cantón Tisaleo en los límites de la provincia de Tungurahua.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, (2014).

El cantón se encuentra dividido en dos parroquias: Tisaleo, ubicado al norte del cantón, se define como la parroquia central y urbana; y Qunchicoto, ubicado al sur, se define como la parroquia rural del cantón (Figura 10).

Figura 10.
Definición de las dos parroquias principales del cantón Tisaleo.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, (2014).

Para la investigación, se tomaron en cuenta distintas variables que fueron clave para el análisis multicriterio y conocer las zonas propensas a inundaciones. Estas variables relacionadas al cantón Tisaleo se definen de la siguiente manera:

Relieve

El cantón Tisaleo se encuentra en la cordillera Occidental de Los Andes, con alturas que van entre las cotas 2.900 m.s.n.m – 3.900 m.s.n.m. El relieve de esta parte de la cordillera es un sistema de valles que abarca desde el norte hasta el sur del cantón, con relieves escarpados, relieves colinados, vertientes cóncavas, vertientes convexas, vertientes irregulares, valles interandinos y superficie de aplanamiento (Gobierno Autónomo Descentralizado del Tisaleo, 2019). Asimismo, Tisaleo cuenta con los relieves montañosos más altos: los volcanes Carihuairazo y Puñalica, de 5.106 metros y 3.996 metros de altura, respectivamente, con pendientes montañosos de 12% hasta 70%.

Topografía

De acuerdo con Guano (2018), existe la presencia del deshielo en forma de terraza dentro del cantón Tisaleo, ubicada en la falda de los cerros que componen todo el valle, conformadas por material lino – arcilloso. En este punto también son depositados material erosionado de las zonas más elevadas. En todo el territorio predominan los relieves con pendientes moderadas, con un 12% al 25% de todo el territorio, hasta colinas con mayor relieve, con un 25% al 50% en todo el territorio, este último se encuentra en el punto más cercano al volcán Carihuairazo (5.116 m.s.n.m). El informe técnico realizado por el Gobierno Descentralizado del Tisaleo GADT (2019), define la topografía del cantón Tisaleo mediante los distintos relieves de la zona, como se muestran en la Tabla 9 y Figura 11 a continuación.

Tabla 9

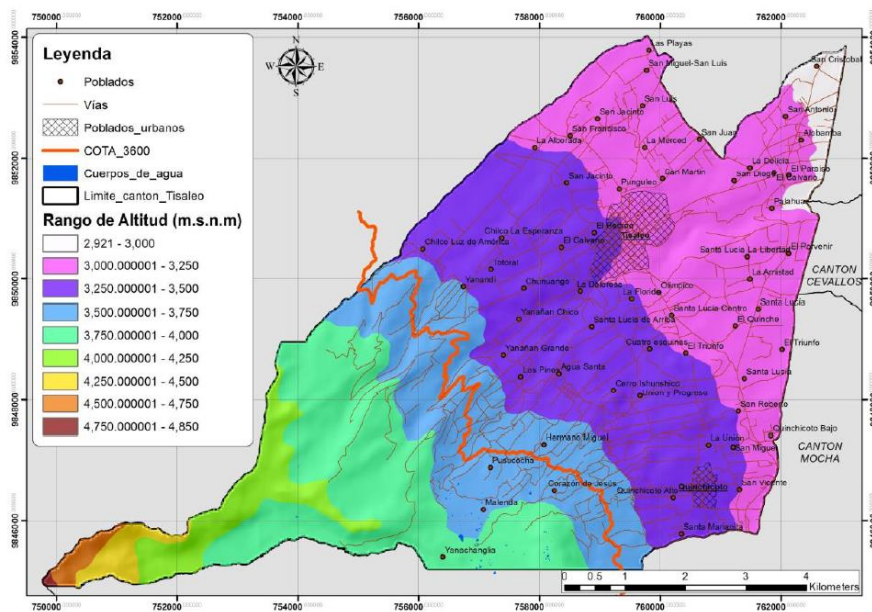
Tipos de pendientes existentes en el cantón Tisaleo.

Pendientes	Superficie (Ha)	%
Relieves muy escarpados (150 – 200%)	114,29	1,92
Relieves muy fuertemente disectados (70 – 100%)	188,71	3,16
Relieves fuertemente disectados (40 – 70%)	790,68	13,26
Relieves mediana a fuertemente disectados (25 – 40%)	389,95	6,54
Relieves medianamente ondulados (12 – 25%)	1.478,55	24,79
Relieves completamente planos, casi planos y ligeramente ondulados (0 – 12%)	3.001,82	50,33
Total superficie	5.964,01	100

Fuente: GADT, (2019).

El Tisaleo se localiza en las cercanías de las faldas del volcán Carihuairazo, presenta una variación de cota de Este a Oeste del cantón, con la zona más baja de 2.910 m.s.n.m, hasta la zona más alta de 5.000 m.s.n.m. La mayoría de los centros urbanos y caseríos del cantón se encuentran dentro de las cotas más bajas, entre los 3.000 – 3.500 m.s.n.m, aproximadamente un 85% (Espín, 2019). Esto permite dar un enfoque de la ubicación de las poblaciones basado en las pendientes del cantón.

Figura 11.
Topografía del cantón Tisaleo.



Fuente: Espín y Danny, (2019).

Como podemos observar en la figura 11. Se cuenta con un rango de altitud que varía considerablemente superando los 3000 metros sobre el nivel del mar.

Suelos

El cantón Tisaleo tiene como economía principal la actividad agrícola, debido a la fertilidad que poseen la mayoría de los suelos de la zona. Los tipos de suelos que se encuentran son mollisoles e inceptisoles, estos últimos erosionados de roca volcánica proveniente del volcán Carihuairazo (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2014). De acuerdo con el Gobierno Autónomo Descentralizado (2019), existen distintas clases de suelos que se han identificado en el cantón, las cuales son descritas en la Tabla 10.

Tabla 10*Descripción de la clasificación de los suelos*

Aptitud	Clasificación de los suelos	Área (Ha)	%
Agricultura y otros usos. Tierras arables	Clase III	2,345	45,13
	Clase IV	58	1,11
Uso no adecuado para agricultura	Clase V	61	1,18
Aprovechamiento forestal con fines de conservación	Clase VI	1.872	36,02
	Clase VII	184	3,54
	Clase VIII	625	12,02

Fuente: GADT, (2019).

Los suelos de clase III y clase IV poseen un porcentaje total de área de un 46,24%, representando una superficie importante para el aprovechamiento agrícola en el cantón Tisaleo, el cual permite obtener una diversidad de productos agrarios. Estas tierras presentan pendientes suaves que abarcan desde el 5% hasta el 12% de pendiente, con un suelo de tipo Mollisols los cuales presentan un buen drenaje, sin periodos de inundación y con buena humedad, las cuales las hacen buenas opciones para cultivos. Estos suelos se encuentran ubicados en los caseríos nororientales del cantón, como San Francisco (Clase III) y ambas orillas de la quebrada Morejón (Clase IV) (Gobierno Autónomo Descentralizado del Tisaleo, 2019).

Ubicados en el norte limitando con el cantón Ambato, los suelos de Clase V representan un 1,18% de la superficie del cantón, poseen limitantes frente al uso agrícola debido a sus valores bajos de fertilidad, sin embargo, presentan las mismas pendientes y humedad que las tierras de las clases anteriores (GADT, (2019).

Las siguientes tierras presentadas en la Tabla anterior tienen la finalidad de conservación, definidas por las clases VI, VII y VIII. Estos suelos representan un 51,58% de la superficie completa del cantón. En este tipo de suelos, las pendientes se ven incrementadas, debido a la cercanía de las zonas montañosas y volcánicas, este factor es una de las limitantes para el aprovechamiento agrícola. Estas pendientes son definidas a continuación.

- Clase VI: pendientes ligeras 5% - 12%, suaves 12% - 25%, medias 25% - 40%.
- Clase VII: pendientes fuertes desde el 40% - 70%;

- Clase VIII: pendientes fuertes desde el 40% - 70% (GADT, (2019).

Asimismo, las bajas temperaturas, la presencia de residuos volcánicos y la baja fertilidad, son limitantes para el aprovechamiento agrícola en esta zona. Es por ello que estos suelos son más utilizados para la conservación forestal, dichas clases de suelos se ubican en el límite de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo.

Cuencas hidrográficas

Es importante definir la red hidrográfica del cantón Tisaleo, para definir las escorrentías provenientes de las lluvias torrenciales que se producen. Cabe destacar que la cuenca hidrográfica del cantón está formada por dos subcuencas descritas a continuación:

- Subcuenca del río Ambato, de las cuales pertenecen las quebradas Yacutoma, Sunantza, Terremoto y Huangana;
- Subcuenca del río Pachanlica, de la cual pertenecen las quebradas Catequilla, Culluchaqui, Chushalongo, Morejón y Palahua (Guano, 2018).

La subcuenca del río Pachanlica representa una mayor superficie en el cantón Tisaleo, de los cuales se encuentran asentadas cuatro cabeceras cantonales: Cevallos, Mocha, Tisaleo y Quero, siendo los dos últimos que representan el 80% del territorio de la subcuenca. Con una superficie de 37.562 hectáreas, está cubierta en un 73% en zonas agrícolas, un 27% se encuentra cubierto por ecosistemas naturales, y 1% del área total por centros urbanos (GADT, (2019).

Precipitaciones

Se han obtenido en el cantón Tisaleo un promedio de una precipitación anual de 900 mm, con valores de 600 mm a 800 mm anuales en zonas urbanas, mientras que la zona más alta del cantón se registran precipitaciones desde los 800 mm hasta los 1000 mm anuales (Guano, 2018). Por otro lado, el GADT (2019), del cantón analizó los datos obtenidos de la información geográfica del cantón, donde se

evidenciaron precipitaciones con rangos que van desde los 500 mm hasta los 900 mm, detallados en la Tabla 11.

Tabla 11

Rangos de precipitación del cantón Tisaleo

Altitud (m.s.n.m)	Comunidades	Precipitación anual (mm)
2.800 – 3.200	Alobamba, San Diego, Santa Lucía centro, La Unión	500 – 700
3.200 – 3.600	El Calvario, El Chilco la Esperanza, La Unión, Quinchicoto alto, San Francisco, San Juan, San Luis, Santa Lucía centro, Santa Lucía Arriba,	700 – 800
3.600 – 4.600	Reserva de Producción Faunística de Chimborazo, Páramos comunales, Santa Lucía Arriba, El Calvario, El Chilco la Esperanza, Reserva Bellavista, Quinchicoto.	800 – 900

Fuente: GADT (2019)

En la Tabla 12, se detalla los rangos de precipitación con respecto a la superficie del cantón, los cuales permiten conocer

Tabla 12

Relación entre los rangos de precipitación y superficies del cantón Tisaleo.

Rangos de precipitación	Área (Ha)
500 – 600	15,78
600 – 700	562,20
700 – 800	2.010,64
800 – 900	3.375,40

Fuente: GADT, (2019).

Los rangos de precipitación mostrados en la tabla anterior se observan que existe una mayor precipitación en una gran parte de la superficie cantonal, con un rango de 800 – 900 mm de precipitación que abarcan un 56,59% de la superficie total del cantón.

El INAMHI posee registros relacionados a lluvias mediante estaciones hidrológicas, en este caso las estaciones M0128 Cevallos (Colegio) y M0258 Querochaca (UTA). Estas estaciones se ubican en las siguientes zonas.

Estación M258 Querochaca (UTA)

Coordenadas de ubicación:

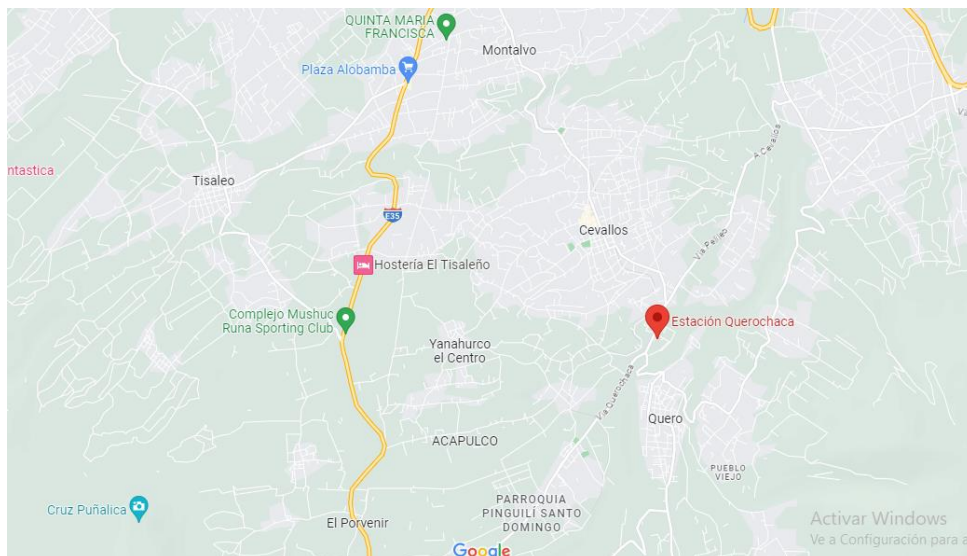
$X = 768915$

$Y = 9845119$

Ubicada dentro de las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato en la sede de Querochaca, es una estación meteorológica la cual registra datos relacionados a la microcuenca del río Pachanlica, entre los que se encuentran la precipitación (mm), temperatura (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), dirección del viento (°), presión atmosférica (HPa), entre otros.

Figura 12.

Ubicación de la estación meteorológica Querochaca mediante Google Maps.



Fuente: Google Maps, Inc.

Esta estación pertenece al Instituto Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología (INAMHI). En la Figura 12 se muestra la ubicación por Google Maps.

Estación M128 Pedro Fermín Cevallos

Coordenadas de ubicación:

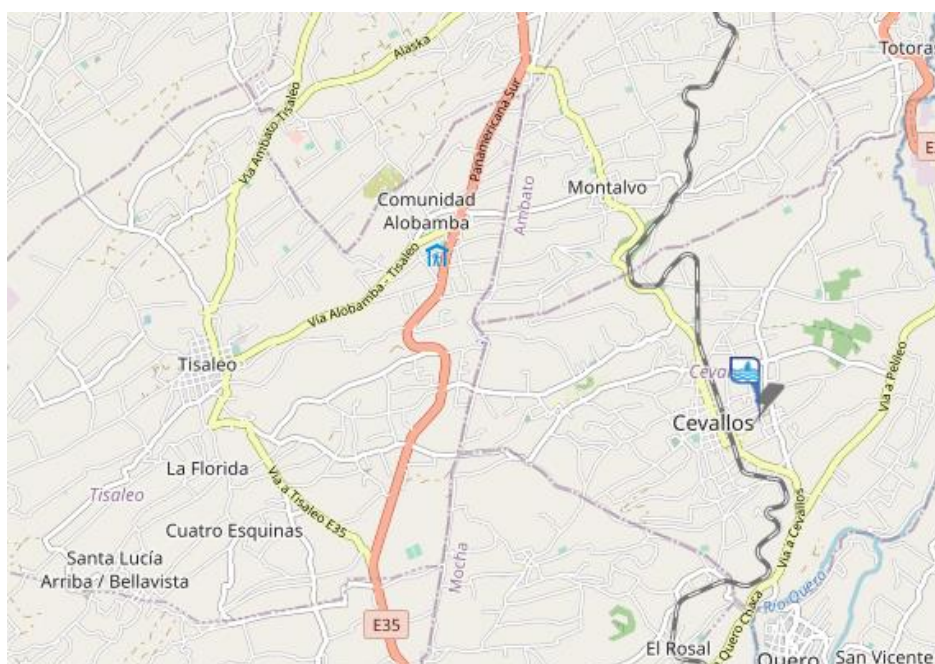
$X = 9849972$

$Y = 765641$

La estación meteorológica Pedro Fermín Cevallos se localiza al sur de la ciudad de Ambato, esta registra algunas variables meteorológicas entre las cuales se mencionan precipitación (mm), temperatura (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), dirección del viento (°), horas Sol (h), radiación Solar (W/m²); evapotranspiración (mm/día). En la Figura 13 se muestra la ubicación por OpenStreetMap de la estación.

Figura 13.

Ubicación de la estación meteorológica Pedro Fermín Cevallos.



Fuente: OpenStreetMap.

De acuerdo con los datos registrados por la INAMHI, en los puntos cercanos al cantón Tisaleo se han registrado precipitaciones máximas, con valores máximos registrados en la estación M0128 Cevallos (Colegio) de 97,7 mm en abril de 2012 y en la estación M0258 Querochaca (UTA) de 38,6 mm en diciembre de 2011. Por otro lado, en promedio para las estaciones, se puede definir un promedio de precipitaciones máximas: 33,44 mm y 28,87 mm, respectivamente. En la Tabla 13 se

muestran los datos tomados desde el año 1994 hasta el año 2013, con un intervalo de 20 años.

Tabla 13

Precipitaciones máximas, registradas en mm.

Año	Estación M0128 Cevallos (Colegio)		Estación M0258 Querochaca (UTA)	
	Mes	Precipitación (mm)	Mes	Precipitación (mm)
1994	Junio	23,2	Junio	28,1
1995	Agosto	81,7	Julio	32,2
1996	Noviembre	25,7	Noviembre	26,0
1997	Noviembre	29,2	Noviembre	33,2
1998	Abril	23,5	Abril	24,4
1999	Septiembre	32,0	Septiembre	33,0
2000	Junio	38,3	Junio	38,3
2001	Octubre	29,2	Junio	23,8
2002	Abril	30,0	Mayo	27,8
2003	Noviembre	13,0	Octubre	18,3
2004	Noviembre	24,4	Noviembre	37,2
2005	Abril	26,0	Junio	27,2
2006	Junio	27,2	Junio	28,5
2007	Junio	28,3	Junio	30,3
2008	Septiembre	24,5	Septiembre	24,1
2009	Octubre	24,0	Junio	29,5
2010	Noviembre	19,5	Julio	22,5
2011	Mayo	39,0	Diciembre	38,6
2012	Abril	97,7	Octubre	24,2
2013	Febrero	28,0	Febrero	30,2

Fuente: INAMHI, (2013)

2.2.3. Sistema de Información Geográfica (GIS)

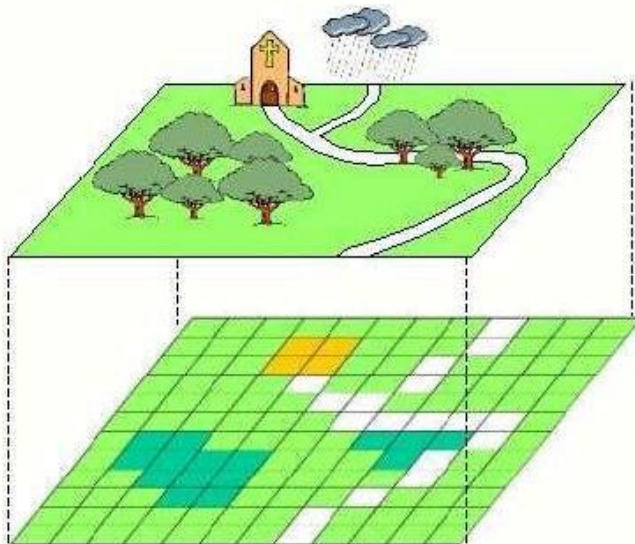
El Sistema de Información Geográfica o GIS, es un conglomerado de sistemas informáticos que permiten recolectar datos espaciales enfocados en temas relacionados a Ciencias de la Tierra y Ambientales (Sarría), s.f). Este sistema se

desarrolla a partir de una facilidad de estudio e investigación en las áreas mencionadas, debido a la complejidad de recolectar información espacial, desde las curvas de nivel de un terreno hasta las líneas de comunicación de zonas urbanas. En el área de ingeniería civil, este sistema es vital en la planificación urbana, así como en la definición de zonas propensas a eventos naturales. Los formatos de almacenamiento de datos espaciales más utilizados en GIS son el formato ráster o archivo de imagen, y formato vectorial o cobertura.

Formato ráster

Puerta, Rengifo y Bravo (2011), definen el formato raster como la información espacial capturada mediante instrumentos satelitales, cámaras de video o fotografías aéreas, incluso herramientas de información digital espacial (Google Maps o Google Earth). Este formato es el más utilizado en GIS, debido a la precisión que posee al analizar información relacionada a la geografía y morfología de la zona de estudio, como la pendiente del terreno y precipitaciones.

Figura 14.
Ejemplo de un formato ráster en ArcGIS.

















Fuente: Puerta, *et al.* (2011).



Como podemos dilucidar con la Figura 14 son importantes para la representación y análisis de información digital espacial, permitiendo una comprensión del entorno físico y digital.

Formato vectorial

El formato vectorial es un tipo de formato el cual es creado mediante información espacial previa o creada mediante un software GIS, como por ejemplo ArcGIS (Puerta *et al*, (2011). Algunos elementos utilizados en el software ArcGIS para definir un formato vectorial se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 14
Formato de datos del ArcCatalog

Nombre	Tipo	Dataset	Layer	Descripción
Shapefile	Punto			Este elemento es representado como coordenadas X, Y, Z.
	Línea			Elemento construido por una cadena de puntos.
	Polígono			Elemento constituido por un conjunto de puntos, formando una figura geométrica con un interior y un exterior.
Cobertura	Anotación			Los elementos dentro de la cobertura forman una colección de archivos dentro de los directorios o carpetas.
	Arco			
	Cobertura			
	Polígono			
	Punto			
GRID				

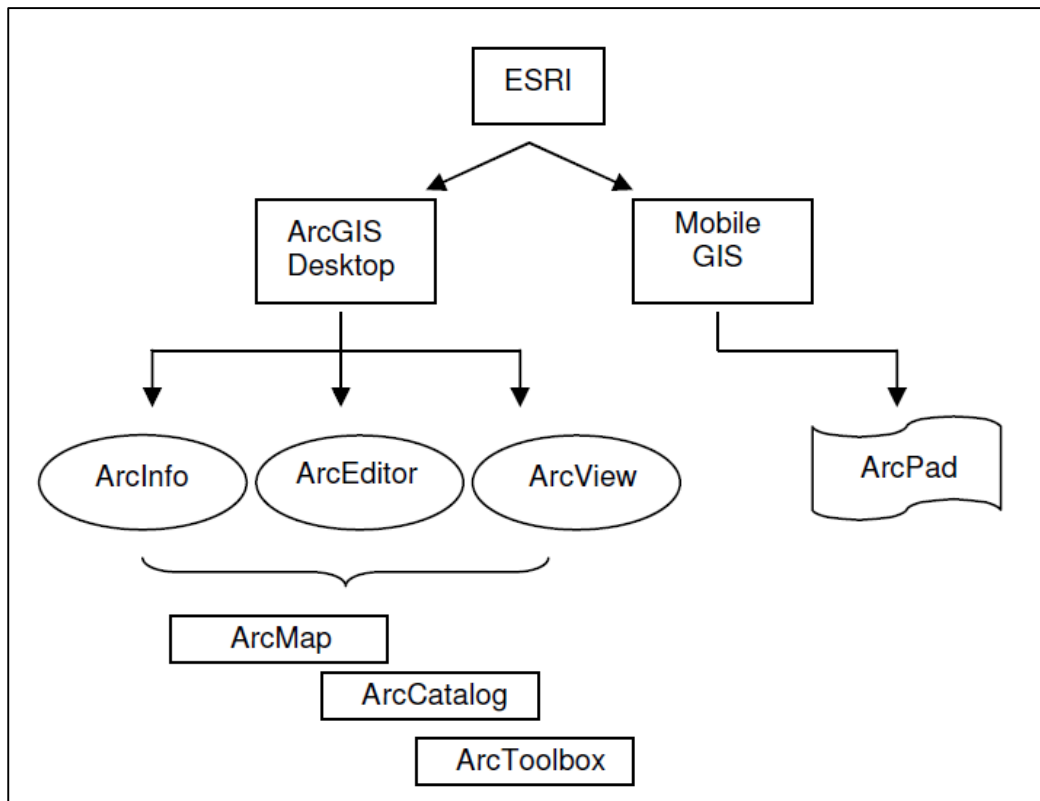
TIN	
Geodatabase	

Fuente: Puerta *et al*, (2011).

Software ArcGIS

ArcGIS es un software que permite realizar las tareas relacionadas al SIG, un proyecto puede ser desarrollado de manera individual, donde se sigue una metodología de cuatro pasos: Ubicación del proyecto, creación del registro de la información geográfica disponible, análisis de los datos obtenidos y por último, definir los resultados obtenidos y presentarlos hacia los entes interesados en el proyecto (Booth y Mitchell, (2001).

Figura 15.
Esquema explicativo de la arquitectura de ArcGIS.



Fuente: Puerta *et al*, (2011).

El ArcGIS es un sistema de datos que disminuye el tiempo de trabajo en recolectar información geográfica de la zona a estudiar, por lo cual será utilizado para la definición de las zonas propensas a inundación en el Cantón Tisaleo. En la Figura 15 se muestra un desglose del software ArcGIS.

ArcMap

Es una herramienta donde su objetivo es la creación de mapas a partir de capas o datos espaciales, definirlos mediante colores y simbología, y su posterior análisis de relaciones espaciales (Puerta et al, (2011). ArcMap posee una interfaz donde se encuentra una tabla de contenido donde se desglosan todas las capas que componen el mapa desarrollado, una ventana donde se presenta el mapa y una serie de menú y herramientas para trabajar con los mapas.

ArcCatalog

Es una herramienta donde se accede fácilmente a la información geográfica del mapa que se está trabajando. Con el catálogo definido, es posible obtener distintos puntos para ver las fuentes de información geográfica disponibles, permitiendo explorar toda la información del mismo modo que esta fue guardada (Puerta et al, (2011).

ArcToolbox

Como su nombre lo indica, es un conjunto de herramientas que posee ArcGIS donde su objetivo es convertir los datos espaciales de un formato a otro, así como la introducción de un sistema de referencia o cambio de proyecciones (Puerta et al, (2011). La interfaz posee todas las herramientas ordenadas de acuerdo a la tarea o actividad, lo que permite que estas sean realizadas de manera rápida y sencilla.

2.3. Marco Legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador, 2008. Art. 389 y Art. 390

La Constitución de la República del Ecuador estipula en el Artículo 389 al Estado como el protector de personas, comunidades y naturaleza; frente a los eventos naturales o antrópicos que afectan de manera negativa, por medio de medidas preventivas para mitigación, recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales ante riesgos y amenazas (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Seguidamente, el Artículo 390 estipula la responsabilidad directa de los gobiernos autónomos descentralizados dentro de sus límites geográficos, en la gestión de riesgos. De caso de que uno no posea la ayuda suficiente, recibirá apoyo de los demás gobiernos autónomos sin relevarlos de responsabilidad y respetando su autoridad en su territorio. (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.3.2. Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización (COOTAD). Art. 140

El artículo 140 del COOTAD (2010), menciona la gestión de riesgos ante amenazas de origen natural o artificial, la cual debe incluir planes de prevención, mitigación, ayuda y reconstrucción de las comunidades pertenecientes a los cantones. Asimismo, los gobiernos autónomos de cada cantón deben tomar la responsabilidad de utilizar las normas técnicas para la gestión de riesgos, con el propósito de proteger a dichas comunidades y la naturaleza.

2.3.3. Reglamento a la Ley de Seguridad Pública y del Estado. Art. 3

El Artículo 3 define a la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos como el ente gubernamental encargado de ejecutar el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos o SNDGR, sus competencias incluyen la identificación de riesgos y amenazas de origen natural o artificial, acceso completo a información relacionada al riesgo, el papel fundamental de las instituciones públicas, privadas y la ciudadanía

en la identificación del mismo, un buen financiamiento del sistema, crear programas de planificación con puntos clave de prevención, mitigación, respuesta y recuperación frente a desastres, dirigidos a los entes públicos, privados y a la ciudadanía (Reglamento a la Ley de Seguridad Pública y del Estado, 2010).

2.4. Terminología básica

2.4.1. Amenaza: Es un tipo de probabilidad el cual tendría un efecto negativo en uno o más proyectos o situaciones (Project Management Institute, 2021).

2.4.2. Análisis multicriterio: Herramienta analítica el cual tiene el propósito de evaluar distintas alternativas mediante un conjunto de criterios con pesos asignados de acuerdo al nivel de prioridad de cada uno (Murillo *et al*, (2021).

2.4.3. Análisis de procesos jerárquicos: Método de análisis cuantitativo o cualitativo, con el objetivo de desglosar los elementos relacionados con la toma de decisiones, basados en criterios, objetivos y atributos (Almario, 2021).

2.4.4. ArcGIS: Sistema de información geográfica el cual posee las herramientas necesarias para la carga, presentación en forma de mapas, tablas, gráficos, análisis y resultados de los datos geográficos de una zona de estudio (Puerta *et al*, (2011).

2.4.5. Formato raster: Es un formato presentado en forma de fotografía, información digital o satelital de datos espaciales, dicho formato trabaja con celdas de igual tamaño que posee un valor, donde dicho valor define el nivel de detalle de la información (Puerta *et al*, (2011).

2.4.6. Formato vectorial: Es un formato el cual modifica información espacial existente mediante la aplicación de elementos provenientes del software ArcGIS (Puerta *et al*, (2011).

2.4.7. Inundación: Condición general y temporal del aumento del agua en zonas, de manera parcial o completa de 2 propiedades o más de un terreno normalmente seco (Federal Emergency Management Agency, 2022).

2.4.8. Riesgo: Un evento incierto el cual, si ocurre, puede resultar en un efecto positivo o negativo en uno o más objetivos de un proyecto (Project Management Institute, 2021).

2.4.9. Vulnerabilidad: Susceptibilidad de una unidad social, estructura física o actividad económica que la sustentan, de sufrir daños por acción de una amenaza (Celmi, 2007).

3. CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

Hernández, Fernández y Baptista (2014), definen la investigación cuantitativa a partir de la recolección de información y datos, para luego medirlos y analizarlos, confirmando la hipótesis. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, debido a la recolección de datos numéricos para el uso de los SIG con el software ArcGIS, el cual presenta datos geográficos de la zona de estudio de forma precisa. Posteriormente, se definieron los mapas de zonas propensas a inundaciones debido a lluvias torrenciales con las técnicas de análisis multicriterio, mediante un cálculo promedio de los criterios se obtuvieron las distintas alternativas estratégicas para comprobar la hipótesis de la investigación.

3.2. Tipo de investigación

Hernández et al. (2014), describen los estudios descriptivos como la caracterización y definición de los eventos y/o fenómenos analizados en la investigación. También los autores definen los estudios explicativos como la respuesta a las causas de los eventos y/o sucesos que se están estudiando.

El objetivo de la investigación es la definición de las zonas de inundación en el cantón Tisaleo, obteniendo posibles soluciones al riesgo por lluvias torrenciales en la zona. Por ende, tuvo importancia el uso de datos históricos de la zona relacionados a lluvias torrenciales, obteniéndose datos físicos y demográficos del cantón Tisaleo. Con ambas premisas anteriores, se define la investigación como descriptiva – explicativa.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Teórico

Para deducir la hipótesis de la investigación, el método de investigación teórico tuvo un papel importante, debido a que se establecieron distintos criterios y factores

relacionados a las zonas definidas por la información geográfica suministrada, mediante la utilización del árbol de jerarquía de Saaty.

3.3.2. Empíricos

Para este trabajo fue fundamental el uso de los SIG para el modelamiento de los mapas de inundación del cantón Tisaleo, mediante el uso del software ArcGIS. También el análisis multicriterio fue importante en el cálculo promedio de los criterios necesarios para definir el mapa y confirmar la hipótesis definida previamente.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información

Técnicas

Con el tipo y métodos de investigación definidos, se mencionan las técnicas e instrumentos de recolección de información utilizadas. La recolección de datos permite la elaboración de un plan metodológico, registrando los valores de mayor importancia para comprobar la hipótesis (Hernández et al, (2014).

La técnica utilizada en el trabajo fue la recolección de datos secundarios, la cual permite revisar documentos y bibliografía en forma física y digital (Hernández et al, (2014). Esta técnica fue utilizada en el estudio, mediante el cual se logró recopilar información previa de investigaciones anteriores, así como de datos suministrados por entes gubernamentales.

Igualmente, la clasificación de criterios fue una técnica utilizada en la investigación para clasificar y determinar los posibles criterios que formaban parte de la problemática de la investigación y desarrollar el análisis multicriterio.

3.4.1. Instrumentos de recolección de información

La utilización de fichas técnicas y referencias bibliográficas como instrumento fue crucial para la recolección de datos como son la topografía, tipo de suelo,

economía, demografía e hidrología de la zona. Asimismo, el análisis de contenido fue utilizado para analizar y determinar la información necesaria para la investigación.

Por otro lado, ArcGIS fue un instrumento clave en el desarrollo de los mapas de las zonas de inundación, mediante tres sub programas que son ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox. Con estos subprogramas y la información del cantón, estos se vaciaban al software generando nueva información con los mapas.

Para el análisis multicriterio se utilizaron instrumentos como un cuadro de registro, una escala de evaluación y varias matrices de datos. Estos instrumentos tienen el objetivo de determinar los criterios y posibles soluciones a la problemática de los riesgos de inundación.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población es el conjunto de todos los casos relacionados entre sí, en determinadas especificaciones (Hernández et al, (2014). La población en este estudio es la incidencia de registros de lluvias torrenciales en las estaciones M0380 Inamhi-Huambalo, HGPT-MT-01 Embalse Chiquihurco, HGPT-MT-03 Hacienda Cunchibamba, M0376 Inamhi Pilahuin, HGPT-MT-06, HGPT-MT-10 Embalse Mula Corral, M0128 Pedro Fermín Cevallos (Colegio) y M0258 Querochaca (UTA), que son las más cercanas a la cuenca hidrográfica de estudio, en este caso ubicadas dentro del cantón Tisaleo.

3.5.2. Muestra

El estudio fue realizado a partir de la muestra no probabilística o dirigida, la cual Hernández et al, (2014), definen como un subgrupo de la población donde la elección de los elementos depende de las características del trabajo. La muestra de la investigación fue determinada por los datos hidrológicos obtenidos de las estaciones meteorológicas M0128 Pedro Fermín Cevallos (Colegio) y M0258

Querochaca (UTA), las cuales se encuentran en puntos cercanos al cantón Tisaleo, a partir de informes técnicos suministrados por la INAMHI.

3.6. Operacionalización de variables

A continuación, se presenta la Operacionalización de las variables dependientes e independientes de la investigación.

Tabla 15

Operacionalización de la variable independiente

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Técnicas multicriterio	El análisis multicriterio es utilizado en la toma de decisiones, con el propósito de escoger la mejor solución a un problema, en base al análisis de los criterios definidos por objetivos específicos y factores externos.	D1: Criterios definidos por el problema	Precipitaciones medias anuales	Estaciones meteorológicas Tungurahua
			Pendientes Topografía Cobertura del suelo Uso del suelo	Mapa Cartográfico Tungurahua
		D2: Riesgos encontrados	Escala de evaluación	Análisis de jerarquía de Saaty
			Matrices de datos	Comparación pareada

Elaborado por: Merchán, (2024).

Tabla 16*Operacionalización de la variable dependiente*

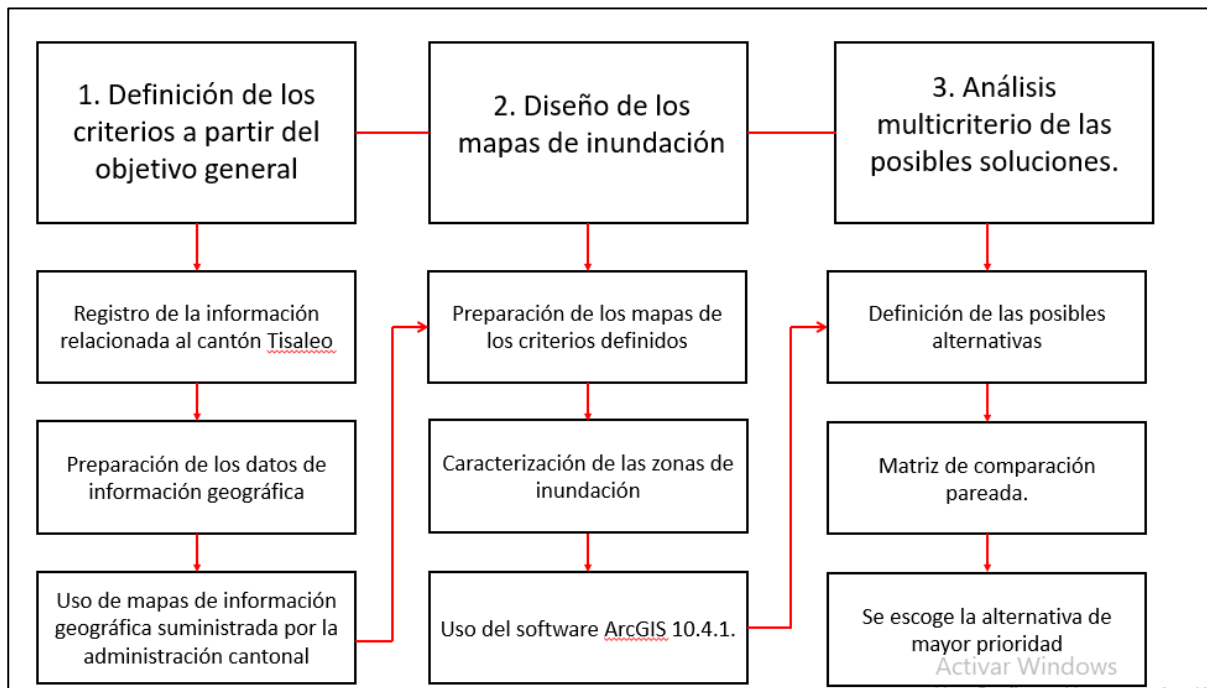
Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Zonificación de las áreas con posibilidad de inundación	Las zonas de inundación son aquellas donde presentan desbordamiento de agua de manera temporal, a causa de eventos naturales (lluvias torrenciales) que conllevan a crecidas de ríos, mares y/o cuerpos de agua, desbordamiento de agua y capa vegetal, entre otros.	D1: Parámetros físicos e hidrológicos de la zona de inundación.	Topografía de la zona	Recolección bibliográfica
			Pendientes de la zona	Fichas técnicas
			Cobertura y uso del suelo	Análisis de contenido
		D2: Caracterización de zonas de inundación	Precipitaciones medias	
			Mapas de criterios definidos	Software ArcGIS 10.3
			Mapa de las distancias entre ríos	
		Mapa de las distancias entre vías de comunicación.		

Elaborado por: Merchán, (2024).

3.7. Análisis e interpretación de los resultados

Los resultados fueron conseguidos mediante fichas bibliográficas y técnicas, con el propósito de caracterizar y conocer el panorama de la zona de estudio. Asimismo, el análisis multicriterio y el uso del software ArcGIS 10.4.1 fueron necesarios para conocer los resultados y obtener distintas propuestas. En la siguiente figura se presenta un esquema con los pasos a seguir en la investigación y obtener los datos necesarios para la propuesta.

Figura 16.
Esquema metodológico de la investigación.



Elaborado por: Merchán, (2024).

Este esquema nos proporciona una guía estructurada que garantiza que la investigación se realizará de forma efectiva con soluciones válidas. Es fundamental tener claro el esquema para mantener el enfoque y claridad durante todo el proceso de la investigación.

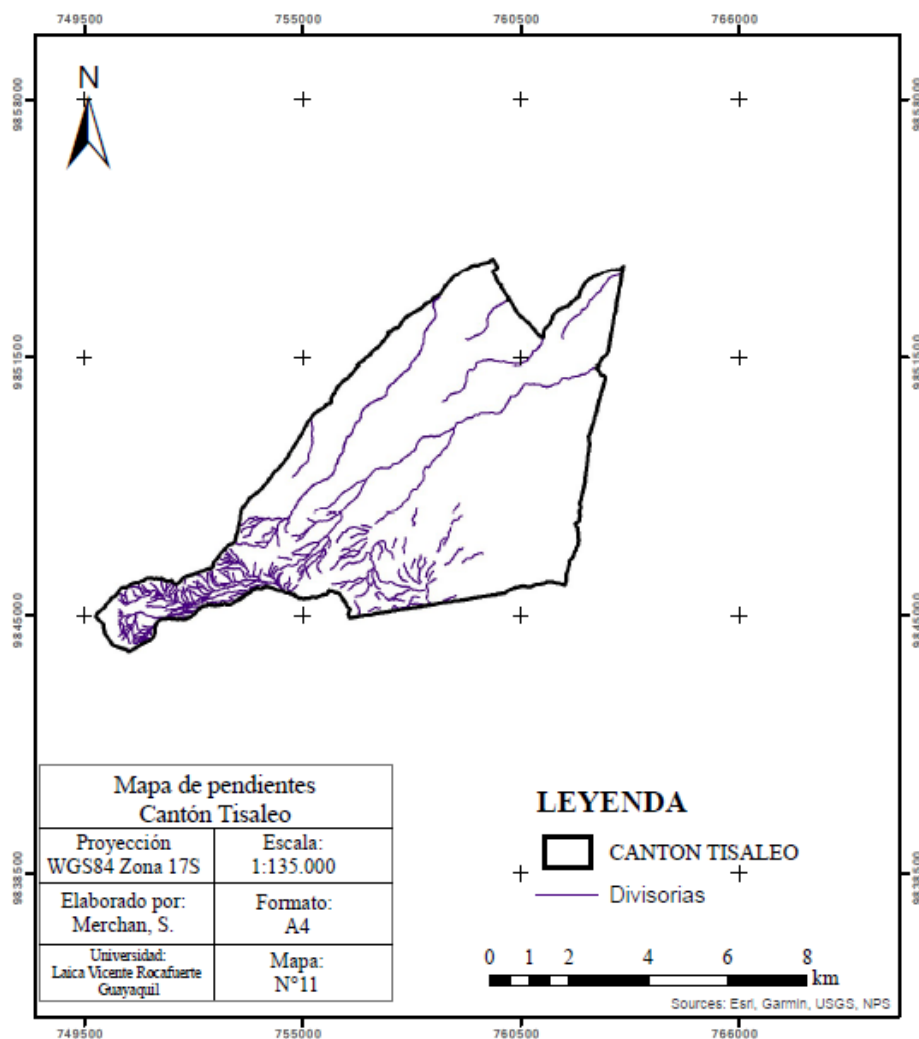
3.7.1 Mapas de los criterios definidos

El primer paso fue determinar la cuenca principal en el mapa de Ecuador, partiendo de lo general a lo específico. En segundo lugar, se estableció la metodología dirigida a la recolección de información relacionada a los parámetros físicos y demográficos del cantón Tisaleo. Esta información fue suministrada por la administración cantonal, la cual fue entregada en los idiomas “shapefile” y “raster”, las cuales son utilizados en el software ArcGIS, permitiendo una facilidad a la hora de la creación de los mapas.

Cuenca Hidrográfica

Si bien la cuenta hidrográfica está delimitada por divisorias de agua, en la que todas las precipitaciones y cuerpos de agua convergen hacía un punto común, como lo podemos observar en la figura 17.

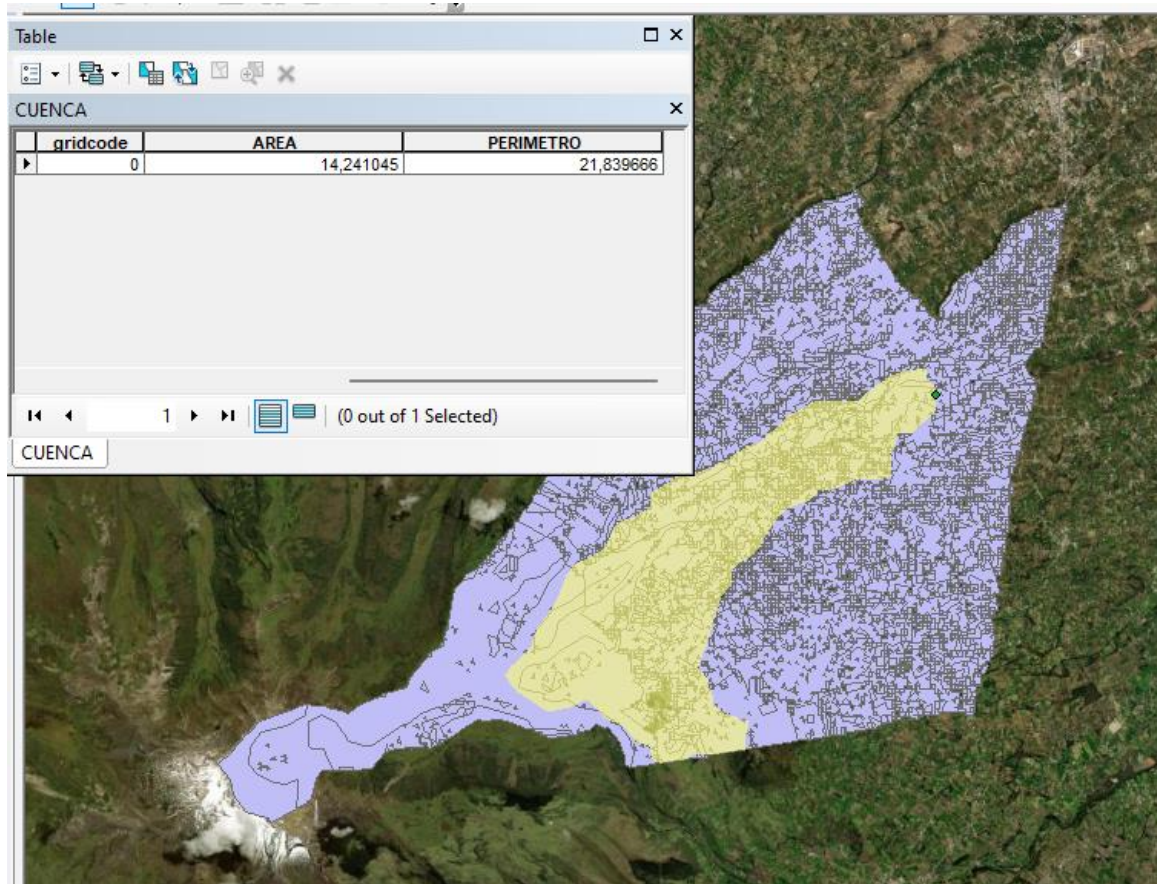
Figura 17.
Divisorias de agua del cantón Tisaleo.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

En la figura 17 Se puede observar las divisorias de agua dentro del perímetro del cantón Tisaleo, en los que se encuentran ríos, lagunas, arroyos, entre otros.

Figura 18.
Área de la cuenca principal del cantón Tisaleo.



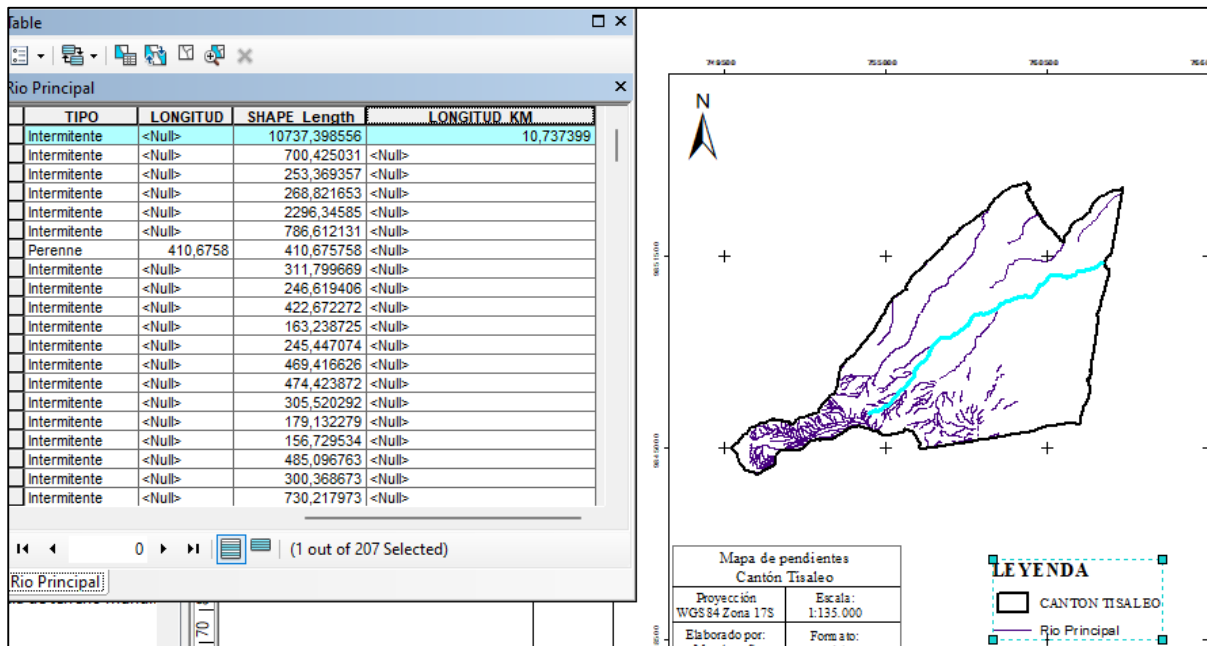
Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Dentro de nuestro perímetro de trabajo se delimitó una cuenta de 21.84km de perímetro como se muestra en la figura 18. Así mismo se tiene un área de la cuenca de 14.24km².

Los criterios definidos para la zonificación de áreas de inundación en el cantón Tisaleo son: las precipitaciones medias anuales, las pendientes, la topografía, tipos y uso de los suelos. Mediante el procedimiento del registro y procesamiento de datos, el cual se explica en este análisis posteriormente, se obtuvieron los siguientes mapas de cada criterio.

Rio Principal

Figura 19.
Longitud del rio principal del cantón Tisaleo.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

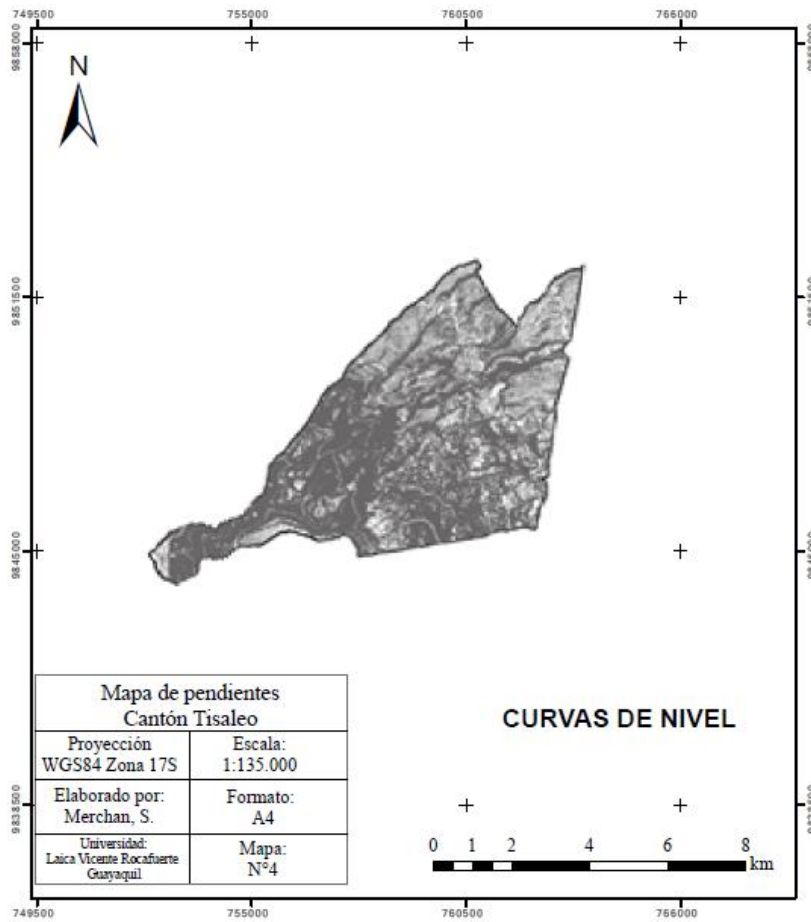
Como podemos observar en la figura 19, la longitud del rio principal es de 10.74 km, lo que corresponde a nuestra longitud de corriente.

Topografía del cantón Tisaleo

Los niveles del terreno de la zona forman parte del estudio de las zonas de inundación en distintos estudios hidrológicos, por lo cual fue definido como criterio para el análisis de la investigación. Esta información fue entregada en un mapa de curvas de nivel de la zona realizado por la administración cantonal, como se evidencia en la Figura 20.

Figura 20.

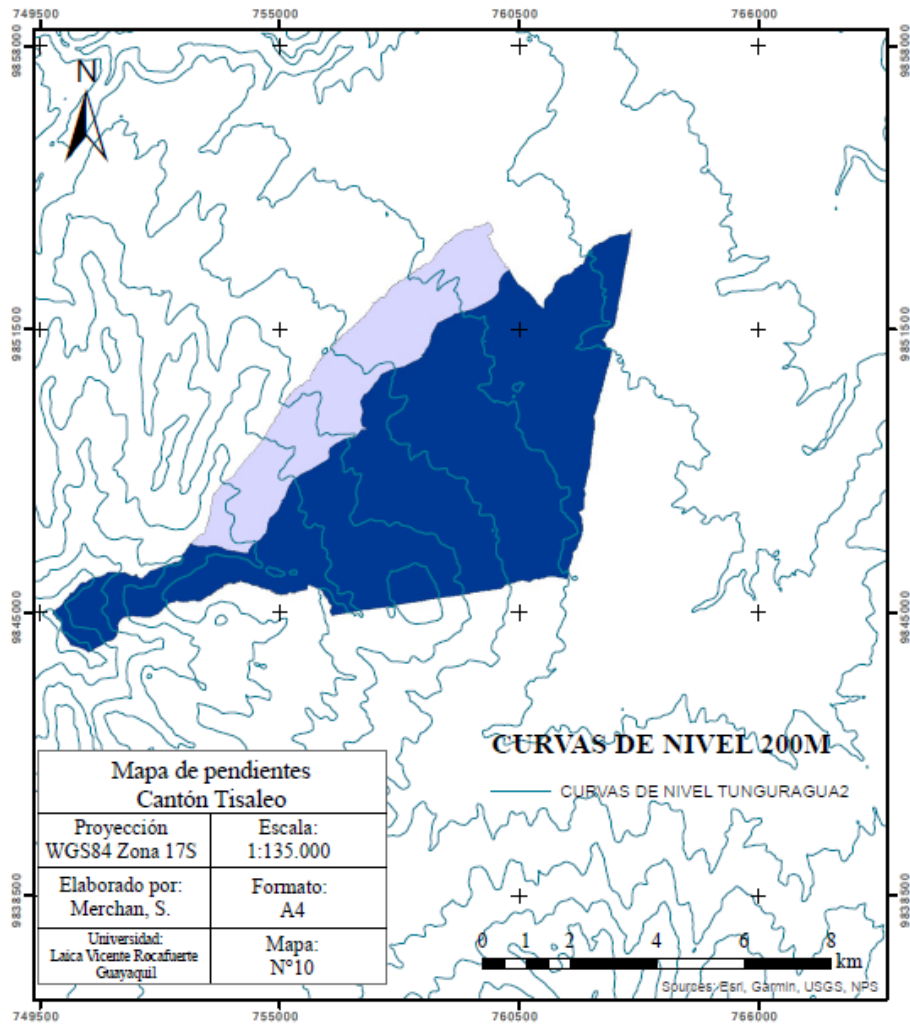
Curvas de nivel del cantón Tisaleo.



Fuente: Información entregada por la administración cantonal. ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

La topografía de la zona de estudio abarca desde los niveles más bajos (2.905 m.s.n.m) hasta los niveles más altos (4.915 m.s.n.m) siendo el ultimo los niveles de la falda del volcán Carihuairazo.

Figura 21.
Curvas de nivel cantón Tisaleo a 200m.

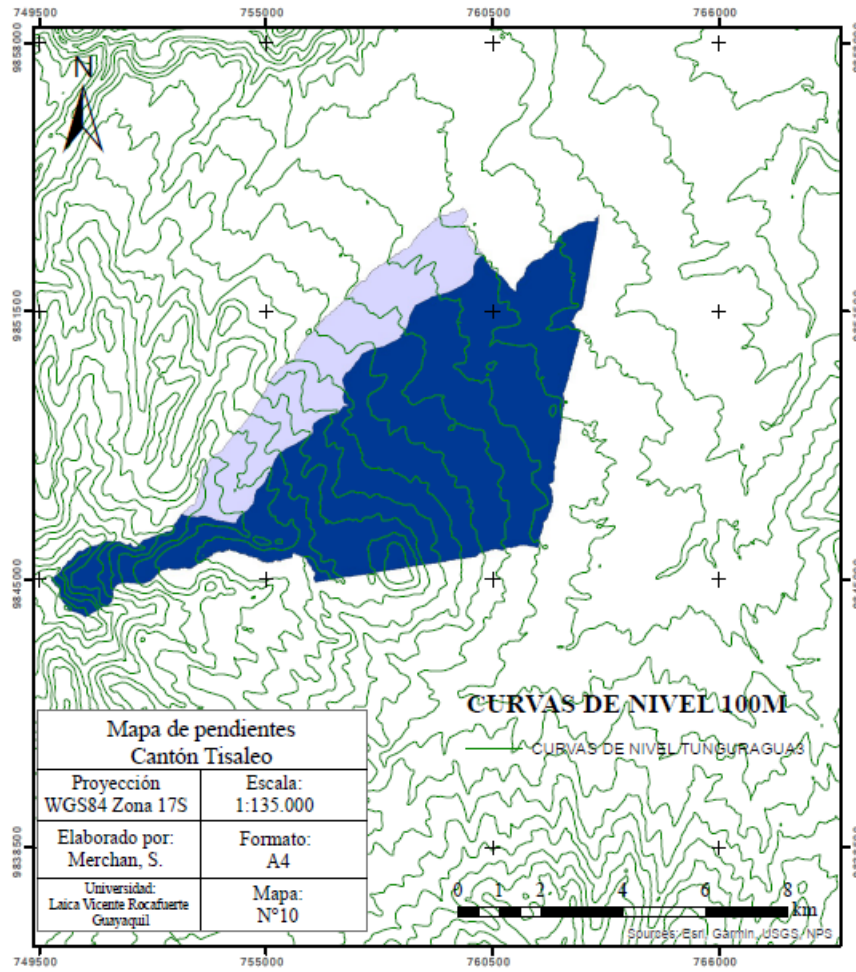


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Para tener una vista más detallada de las curvas de nivel se han considerado su análisis tanto a 200 m como a 100 m como se muestra en la figura 21 y 22 respectivamente.

Figura 22.

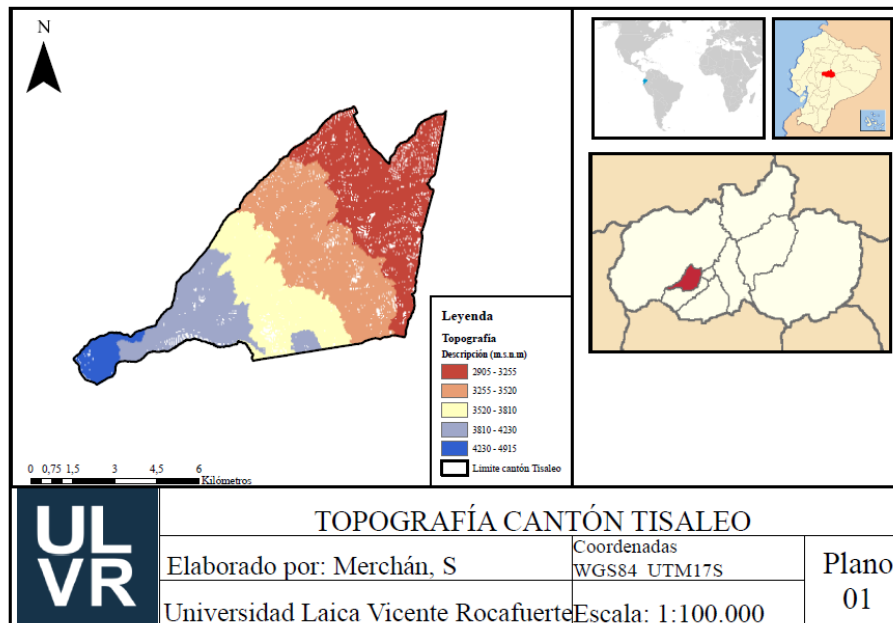
Curvas de nivel cantón Tisaleo a 100m.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Estos fueron definidos en formato ráster y presentados en cinco clases, como se presenta en la Figura 23.

Figura 23.
 Mapa resultante de la topografía del cantón Tisaleo. Plano 01.



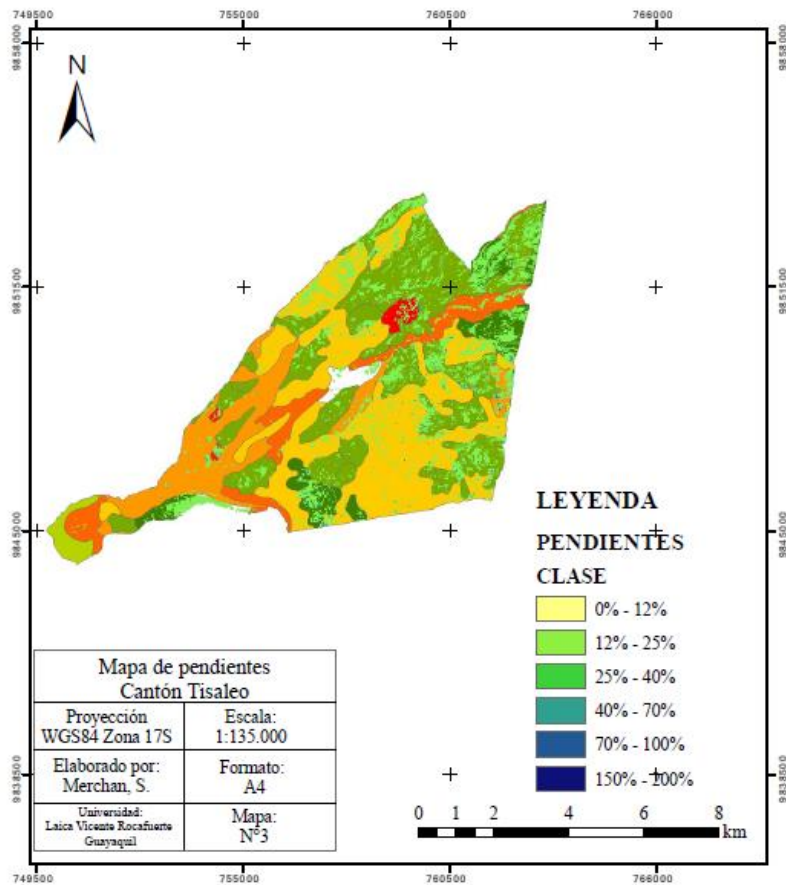
Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

La topografía del terreno resalta en su mayor parte una altura que ronda los 3300 msnm, siendo esta destacada por los colores naranja y rojo mediante la utilización del ArcGIS.

Pendientes del cantón Tisaleo

La pendiente en una zona o cuenca permite un mejor flujo del agua superficial que proviene de las precipitaciones, sin embargo, existen casos donde las pendientes pueden ser leves y con ello crear cuerpos de agua, es por ello que se definieron las pendientes del cantón Tisaleo como criterio en el análisis. La información fue solicitada ante la administración cantonal, la cual fue igualmente entregada de manera digital en idioma relacionado al ArcGIS, como se muestra en las Figuras 24 y 25.

Figura 24.
Definición de las pendientes del cantón Tisaleo

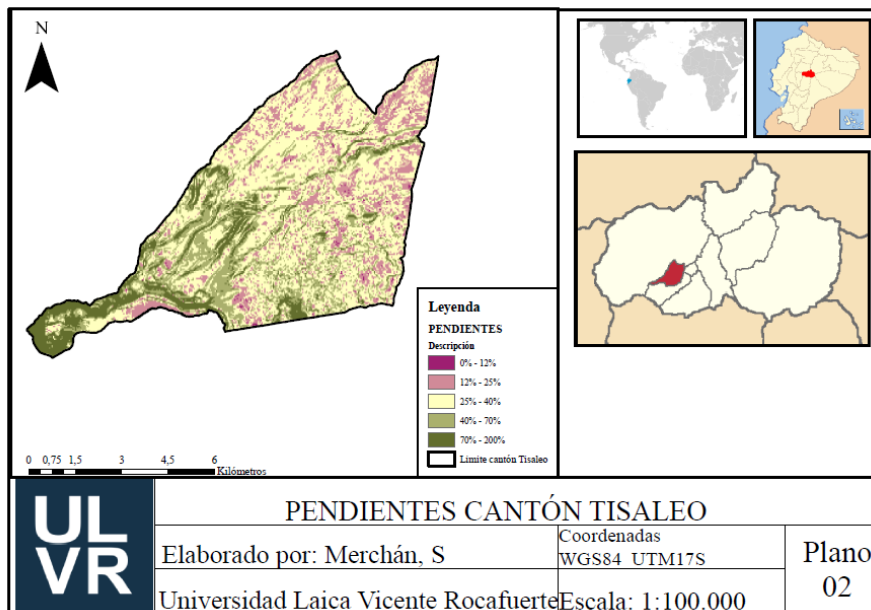


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Las pendientes medianamente onduladas indican áreas con moderada inclinación, que pueden presentar un riesgo medio de erosión y escorrentía superficial, especialmente en eventos de lluvia intensa. Estas condiciones pueden afectar tanto a la estabilidad de las construcciones como a las prácticas agrícolas. Por otro lado, las pendientes fuertemente disectadas representan áreas con inclinaciones más pronunciadas, lo que sugiere una mayor susceptibilidad a deslizamientos y una mayor dificultad para el desarrollo de infraestructuras.

Figura 25.

Mapa resultante de las pendientes del cantón Tisaleo. Plano 02.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

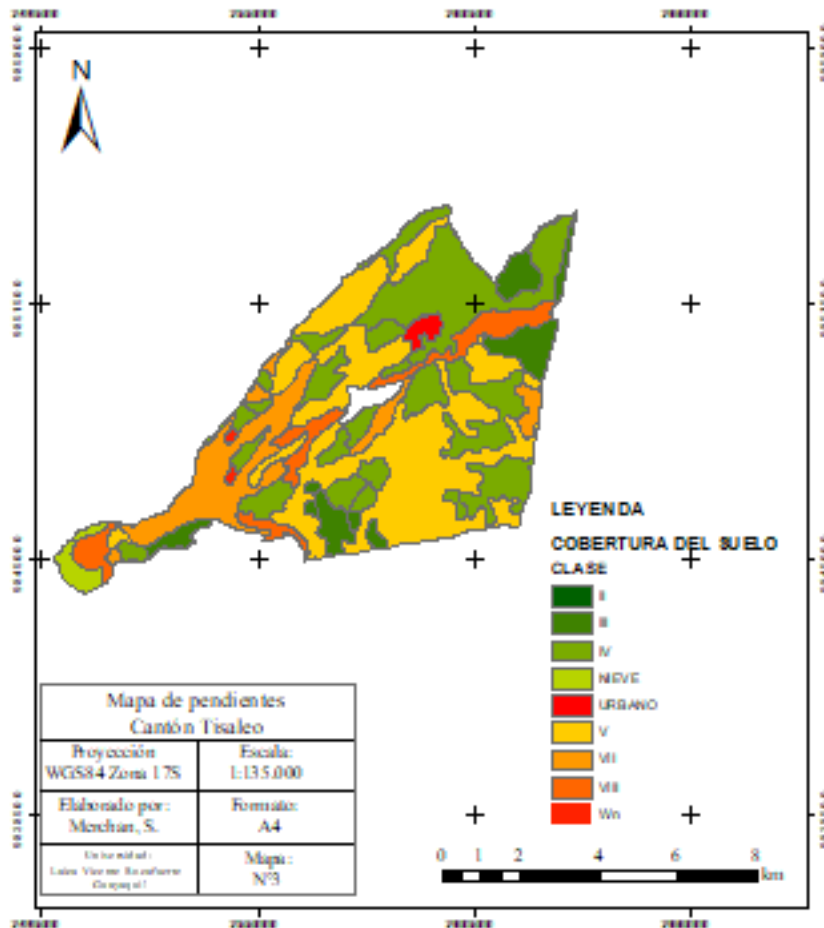
En la figura anterior se observa que el cantón Tisaleo presenta una variedad significativa en cuanto a la pendiente del terreno. La mayor parte de su superficie está caracterizada por pendientes que oscilan entre el 12% y el 40%. Este rango de inclinación clasifica el terreno como medianamente ondulado a fuertemente disectado, lo cual tiene implicaciones importantes para la geomorfología y la gestión del uso del suelo en la región.

Es notable que, hacia el suroeste del cantón, conforme se aproxima a las laderas del volcán Carihuairazo, las pendientes aumentan significativamente. Este incremento en la inclinación se debe a la proximidad con el cono volcánico, donde las condiciones topográficas son naturalmente más empinadas. Las laderas del volcán presentan pendientes pronunciadas que superan el 40%, indicando terrenos altamente disectados y con un riesgo considerable de inestabilidad geológica. Este gradiente topográfico influye directamente en los patrones de escorrentía y en la potencialidad de inundaciones, especialmente en áreas de acumulación de aguas pluviales.

Uso y cobertura del suelo del cantón Tisaleo

En muchos estudios hidrológicos, el uso y tipo de los suelos de la zona de estudio juegan un papel fundamental en la caracterización de las zonas de inundación debido a los suelos que pueden o no retener agua, es decir, presencia de humedad en ellos. Por ende, se definieron ambos parámetros para el análisis multicriterio, estos fueron entregados en mapas de información geográfica por la administración cantonal, de manera individual, como se muestra en las Figuras 26 y 27.

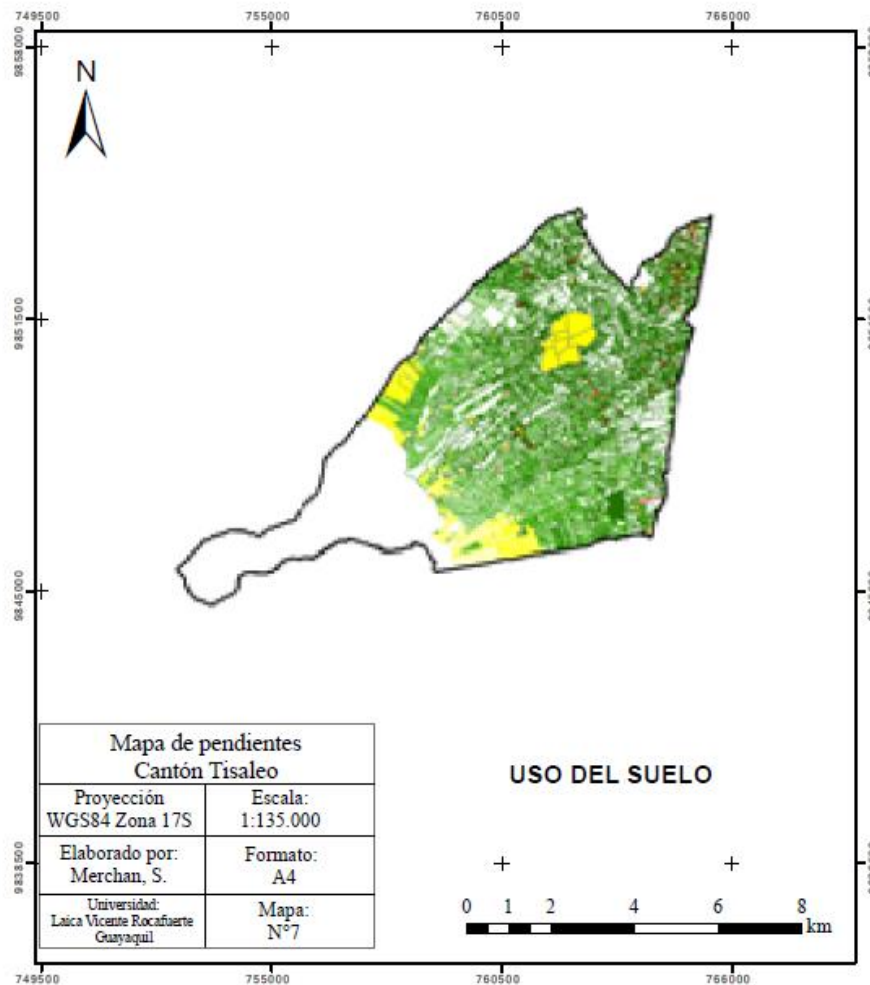
Figura 26.
Cobertura del suelo del cantón Tisaleo.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1

Como se puede observar la actividad predominante es la agricultura, así mismo algunas áreas están cubiertas por suelos desnudos, en específico las zonas de mayor pendiente.

Figura 27.
Uso del suelo del cantón Tisaleo.



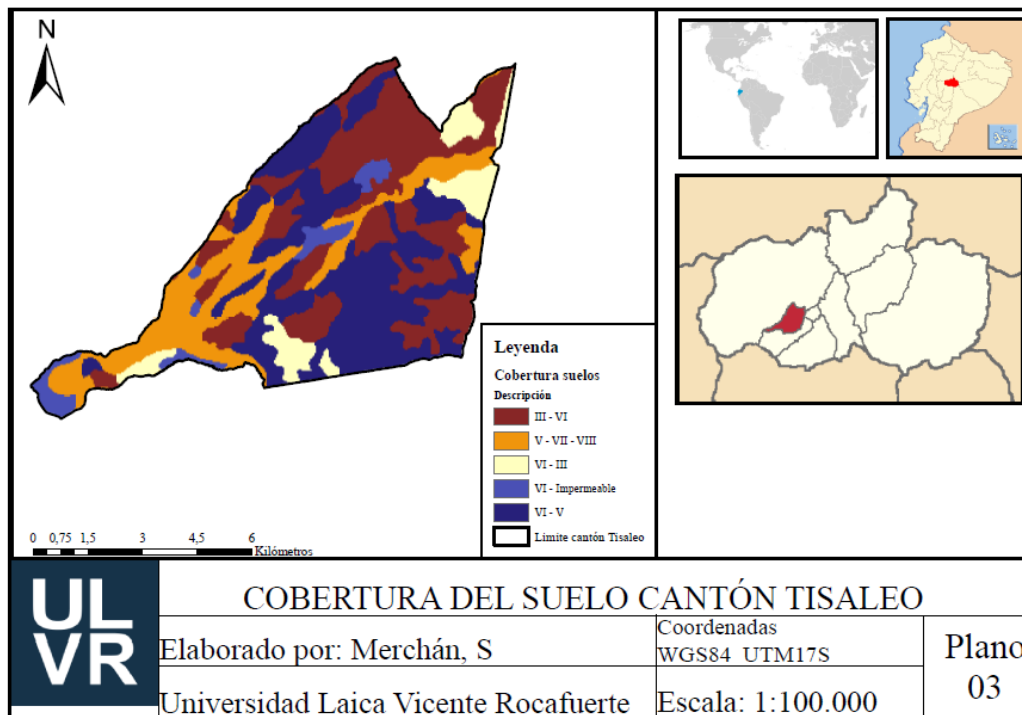
Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Como se puede dilucidar es una combinación de actividades agrícolas, forestales y cuerpos de agua, destacando la importancia de manejar de manera estratégica los recursos naturales.

Mapa resultante de la cobertura del suelo

El cantón Tisaleo posee distintos tipos de suelos, como se explica en el marco teórico, un 51,58% de la cobertura total del suelo se utiliza para aprovechamiento forestal con fines de conservación, y puede evidenciarse en la Figura 28, donde se muestran que esos mismos suelos destinados a conservación (tipos V-VI-VII-VIII) abarcan la mayor superficie cantonal.

Figura 28.
Cobertura del suelo del cantón Tisaleo. Plano 03.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

En la Figura 28, se visualiza claramente cómo estos suelos, clasificados en las categorías V, VI, VII y VIII según el Sistema de Capacidad de Uso del Suelo, abarcan la mayor parte de la superficie cantonal. Estas categorías indican suelos que presentan limitaciones significativas para la agricultura intensiva debido a factores como la pendiente, la erosión, la profundidad y la fertilidad. Específicamente:

- Suelos de clase V: Son suelos con limitaciones severas que restringen su uso principalmente a pastos o cultivos muy específicos y requieren prácticas de manejo intensivo para evitar la degradación.
- Suelos de clase VI: Estos suelos presentan limitaciones muy severas, adecuándose principalmente para pastizales, zonas forestales y vida silvestre, debido a restricciones como la pendiente pronunciada y la susceptibilidad a la erosión.
- Suelos de clase VII: Los suelos de esta clase son aptos casi exclusivamente para actividades forestales o recreativas, presentando condiciones extremas que impiden prácticamente cualquier otra forma de uso agrícola.

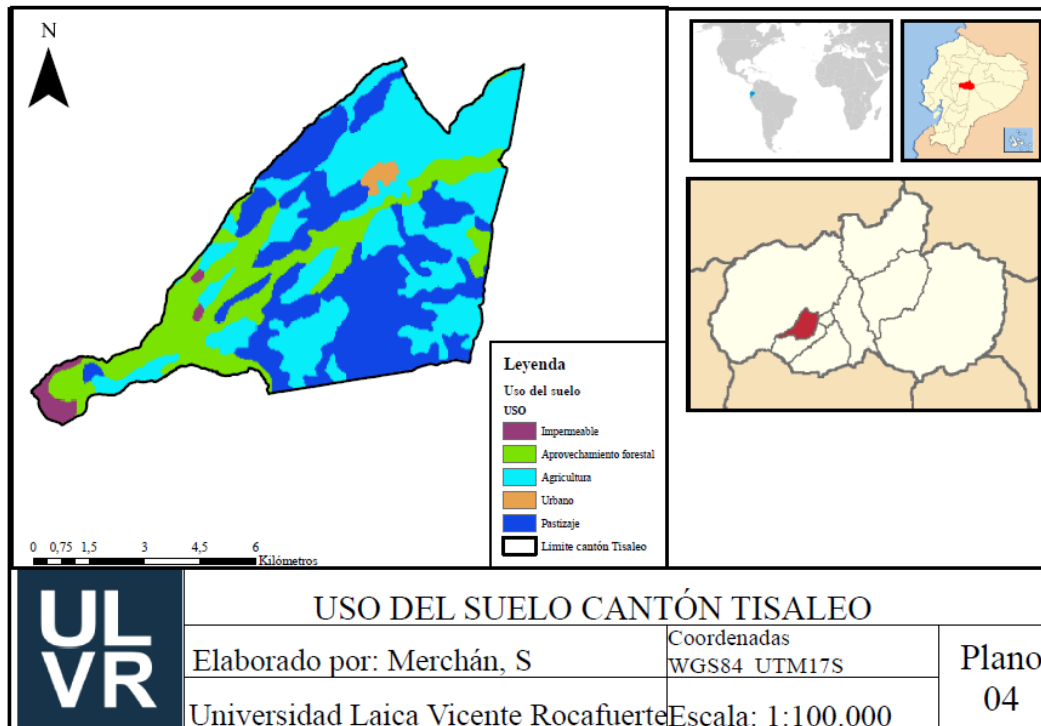
- Suelos de clase VIII: Estos suelos tienen limitaciones tan extremas que su uso se restringe a la conservación de la flora y fauna y a funciones ecológicas, siendo inadecuados para cualquier tipo de actividad agrícola o ganadera.

La predominancia de estos tipos de suelo en Tisaleo subraya la importancia de las estrategias de conservación y manejo sostenible de los recursos naturales. El uso de estas tierras para aprovechamiento forestal con fines de conservación no solo contribuye a la protección del medio ambiente, sino que también ayuda a mitigar los riesgos de erosión y desastres naturales como inundaciones y deslizamientos de tierra.

Mapa resultante del uso del suelo

El uso y la cobertura del suelo son complementarias, es importante conocer el tipo de suelo para conocer que métodos de uso del suelo se pueden aplicar. Como se mencionó previamente, una mayor superficie del suelo se utiliza para aprovechamiento forestal, sin embargo, se muestra en la Figura 29 que una parte del suelo también es utilizada en pastizales y agricultura, actividades que forman parte de la economía central del cantón.

Figura 29.
 Uso del suelo del cantón Tisaleo. Plano 04.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

El uso de suelo para pastizales permite el desarrollo de la ganadería, una actividad económica que proporciona productos lácteos y cárnicos a la región. Estos pastizales se encuentran generalmente en suelos con pendientes moderadas, donde la erosión es manejable y las condiciones climáticas permiten el crecimiento de pastos adecuados para el ganado.

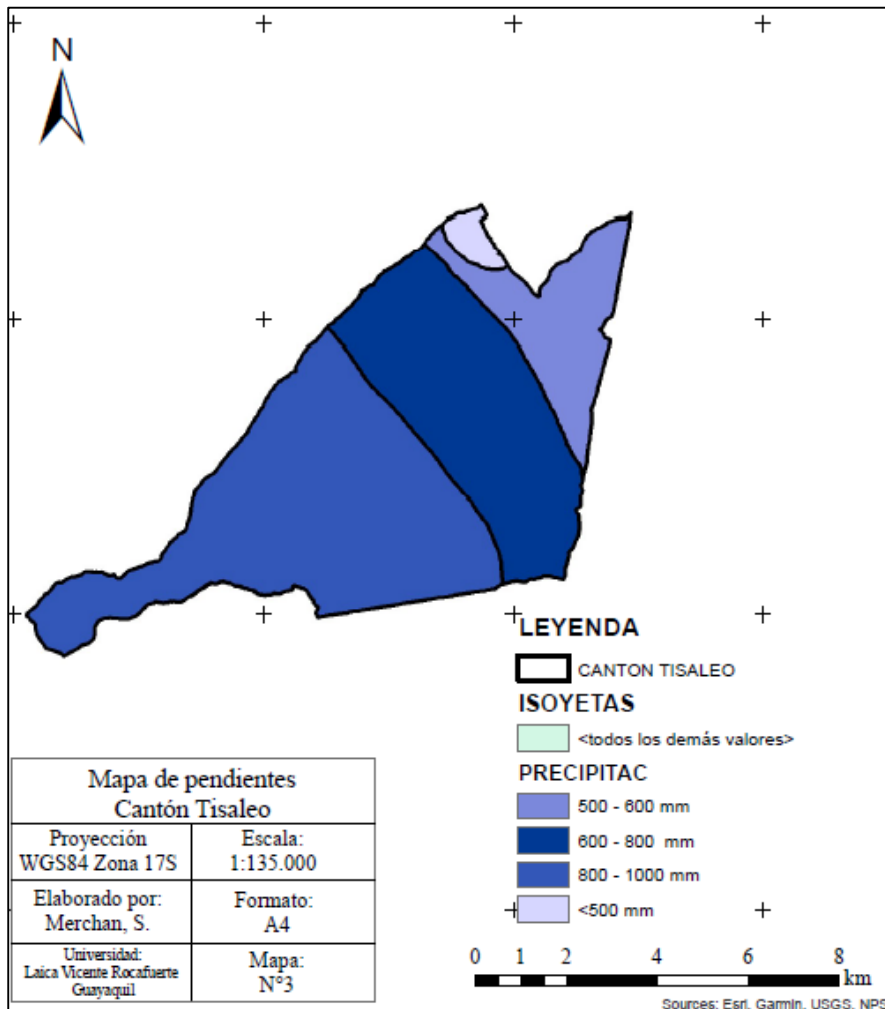
Por otro lado, la agricultura en Tisaleo se desarrolla en suelos que, aunque presentan ciertas limitaciones, son lo suficientemente fértiles para cultivos específicos. Las prácticas agrícolas en el cantón están adaptadas a las características físicas del suelo y al clima local, permitiendo la producción de cultivos tradicionales que forman parte de la dieta y la economía regional.

Precipitaciones medias anuales del cantón Tisaleo

Para la investigación se utilizaron las precipitaciones medias anuales de la zona de estudio las cuales fueron definidas como criterio en el análisis multicriterio, estos datos se encuentran registrados en la información geográfica entregada por la

administración del cantón. En la Figura 25 se presenta la información geográfica de las precipitaciones, las cuales están representadas por isoyetas previamente calculadas con los datos.

Figura 30.
Isoyetas definidas del cantón Tisaleo.

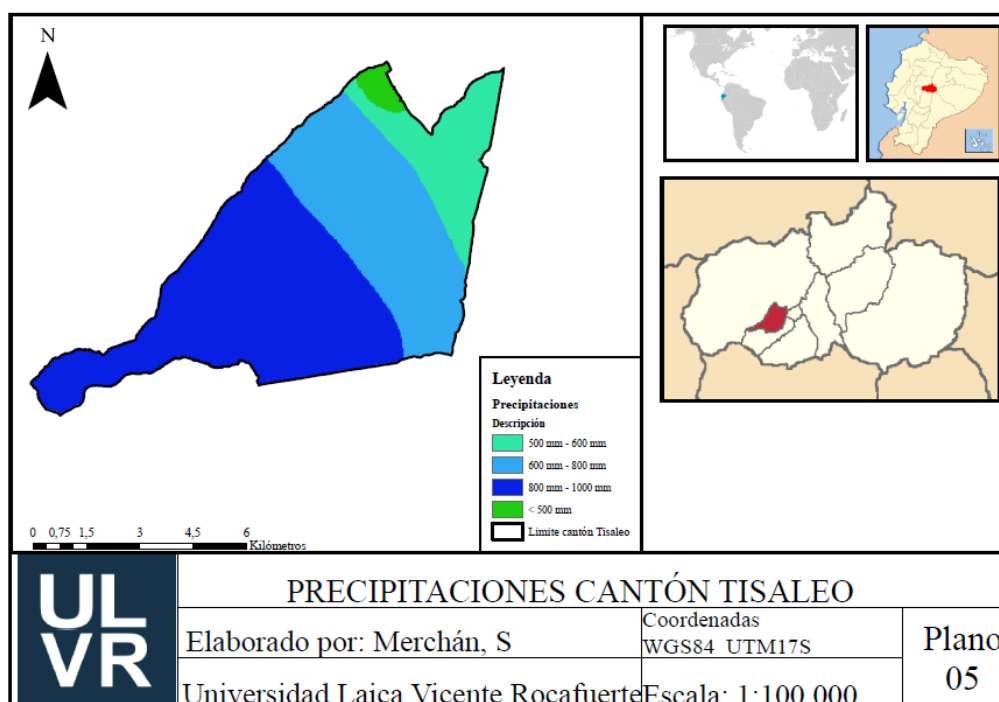


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Para la investigación, se utilizaron las precipitaciones medias anuales que habían sido suministrados por la administración cantonal en mapas de ArcGIS en polígonos de isoyetas, las cuales fueron transformadas a formato ráster y reclasificadas para el análisis de las zonas de inundación. En la siguiente figura se muestra el mapa resultante de las precipitaciones ocurridas al año en el cantón.

Figura 31.

Precipitaciones del cantón Tisaleo. Plano 05.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

En la figura anterior se puede observar que una gran parte del cantón Tisaleo registra precipitaciones medias anuales que varían entre 800 mm y 1000 mm. Estos datos son cruciales para comprender los patrones climáticos de la región y sus implicaciones en la planificación y gestión territorial. De acuerdo con la información proporcionada en la Tabla 12 del marco teórico, una superficie de 3.375,40 hectáreas del cantón recibe precipitaciones anuales en el rango de 800 mm a 900 mm. Esta información es coherente con los datos suministrados por la administración cantonal, lo que refuerza la fiabilidad de los registros climáticos disponibles.

Las precipitaciones medias anuales de 800 mm a 1000 mm tienen un impacto significativo en la hidrología y el manejo del suelo en Tisaleo. La cantidad y distribución de las lluvias afectan directamente la recarga de acuíferos, la disponibilidad de agua para la agricultura y la formación de escorrentía superficial, factores que son esenciales para la sostenibilidad del uso del suelo. Las áreas con precipitaciones anuales de 800 mm a 900 mm, que abarcan una superficie considerable del cantón, presentan un régimen hídrico que debe ser gestionado

adecuadamente para prevenir la erosión del suelo y optimizar el uso del agua en actividades agrícolas y forestales.

El análisis detallado de las precipitaciones es fundamental para la zonificación de áreas susceptibles a inundaciones, ya que permite identificar las zonas con mayor riesgo y planificar las medidas de mitigación necesarias. La comparación de los datos climáticos registrados con los entregados por la administración cantonal demuestra una alta concordancia, lo que valida la precisión de las mediciones y fortalece la base de datos climáticos utilizados en la investigación.

Con todo lo presentado previamente, se definieron los criterios necesarios para desarrollar el análisis multicriterio de la investigación. Estos criterios definidos son los siguientes:

- ✓ Precipitaciones medias anuales (Isoyetas);
- ✓ Pendientes;
- ✓ Topografía;
- ✓ Uso del suelo;
- ✓ Cobertura del suelo;

Con estos criterios definidos, se obtiene el mapa de zonas posibles a inundación mediante la herramienta de ArcGIS, superposición ponderada. Este mapa representa el grado de exposición en la ecuación de vulnerabilidad.

3.7.2 Mapa de la vulnerabilidad de la zona

La vulnerabilidad se define mediante la ecuación (1) presentada en el marco teórico, con las tres variables que permiten conocer que tan expuesto se encuentra una zona ante un evento natural como inundaciones. Estas variables vienen siendo el grado de exposición de la zona, fragilidad y resiliencia ante los desastres, estos son definidos de la siguiente manera.

- Grado de exposición: Zonas con posibilidad de inundación (Análisis multicriterio);
- Fragilidad: Distancias entre la red hidrográfica del cantón Tisaleo;
- Resiliencia: Distancia entre la red vial del cantón Tisaleo.

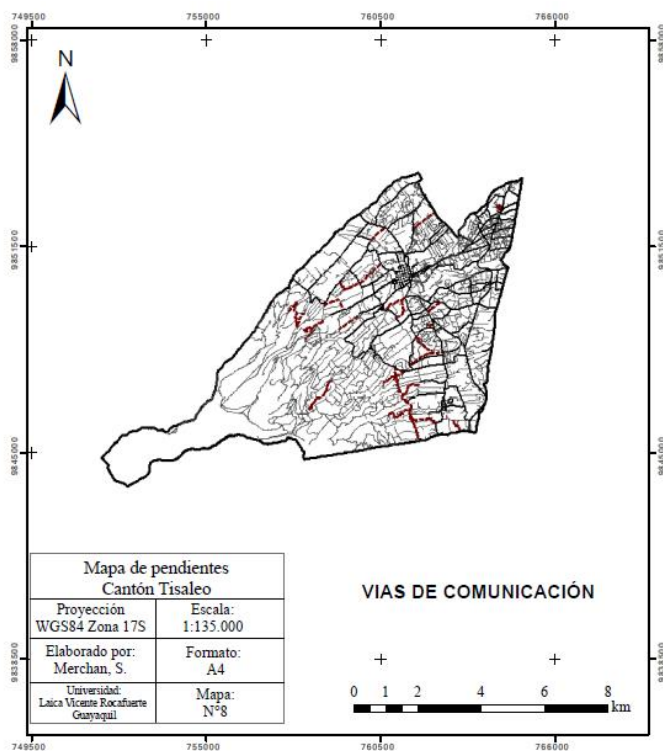
La distancia entre los ríos pertenece a la acumulación de flujo entre la red hidrográfica, véase el caso de que ocurra una inundación por crecidas de algunos ríos y esto se vuelva una inundación en las zonas cercanas a los ríos. La red vial viene representada por la distancia entre las vías de comunicación de todo el cantón, con el propósito de conocer que tan resiliente puede llegar a ser la zona de estudio con las infraestructuras viales. Se presenta a continuación los mapas de los criterios definidos para conocer la fragilidad y la resiliencia del área.

Vías de comunicación rurales y urbanas

Para la zonificación de las áreas de inundación se tomó en cuenta las vías de comunicación, con el propósito de observar cómo influyen las construcciones en un evento de este tipo, asimismo es importante destacar que muchas de las vías rurales están hechas de tierra, por lo cual es un factor importante en la vulnerabilidad de las construcciones frente a inundaciones. En la Figura 32 se presenta el mapa con todas las carreteras y calles urbanas de la zona de estudio.

Figura 32.

Vías de comunicación rural y urbana del cantón Tisaleo.

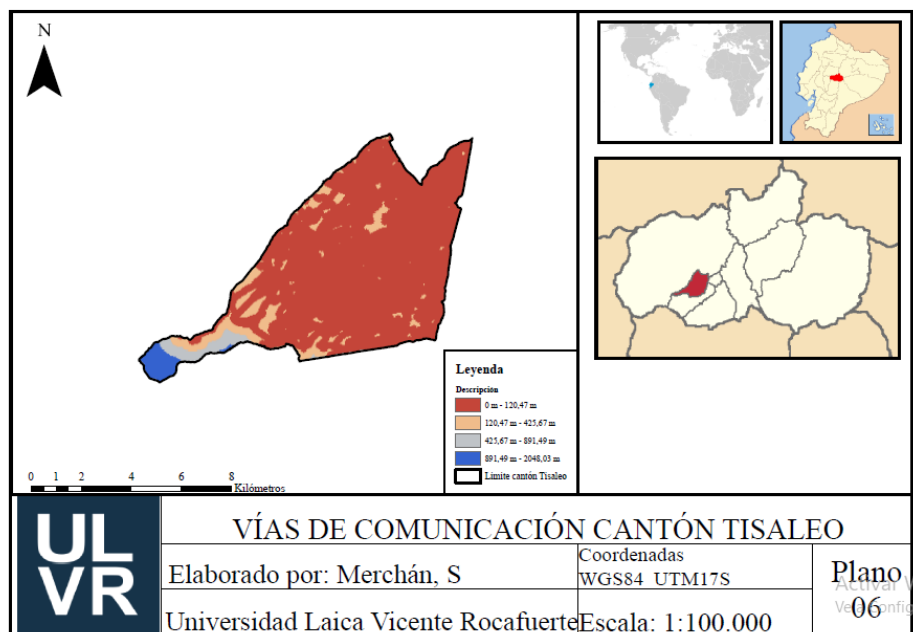


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

La distancia entre la red vial del cantón fue definida como la resiliencia, con el objetivo de conocer las zonas con mayor vulnerabilidad frente a inundaciones, es decir, aquellas zonas que se encuentran más alejadas de las vías de comunicación. Mediante la herramienta “distancia euclidiana” del software ArcGIS, se definió el mapa mostrado en la Figura 33, con su respectiva leyenda.

Figura 33.

Vías de comunicación del cantón Tisaleo. Plano 06.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Como se puede observar predomina una conectividad vial de 120 metros, aunque es preocupante la zona alta que presenta una conectividad que supera los 2000 metros, recordando que esta zona se encuentra superando los 4000 metros sobre el nivel del mar.

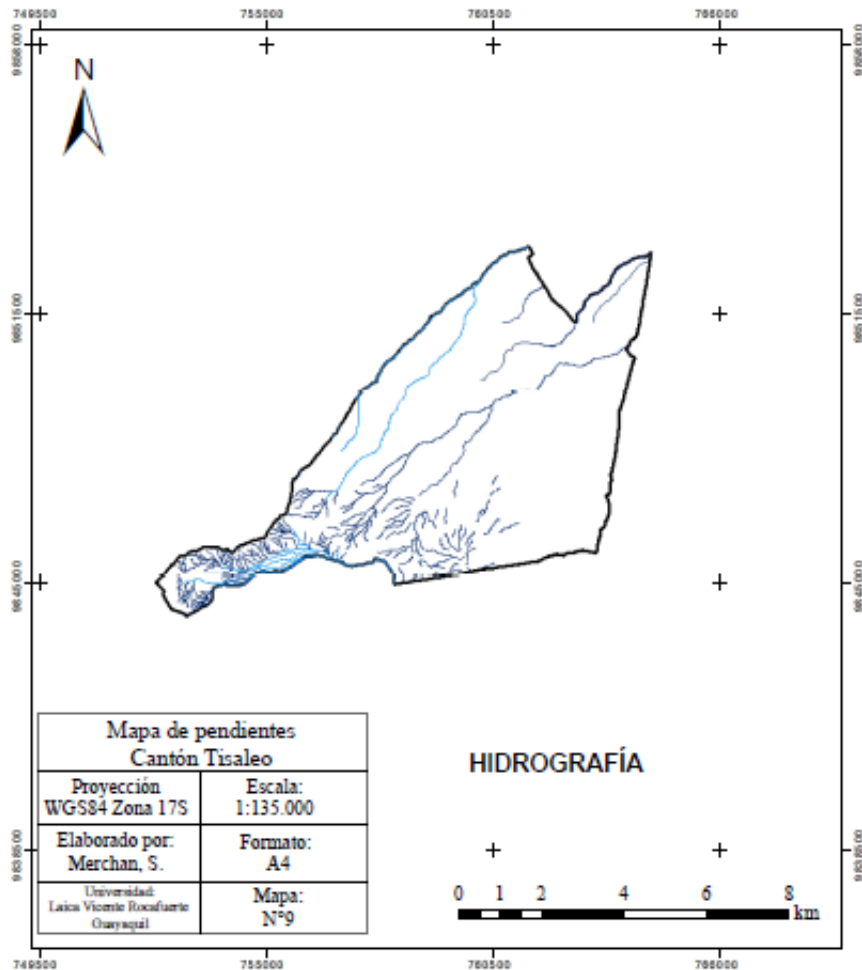
Red hidrográfica

Los registros históricos de crecidas de los ríos y quebradas de una cuenca son importantes debido a que estos registros se les calcula la probabilidad de que ocurran en un período determinado, es por ello que para la investigación se determinó la red hidrográfica del cantón Tisaleo como criterio para la obtención de las posibles soluciones a las zonas de inundación. En la Figura 29 se muestra la información

geográfica entregada por la administración cantonal, en la cual se presentan las distintas quebradas de la zona de estudio.

Figura 34.

Red hidrográfica del cantón Tisaleo.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

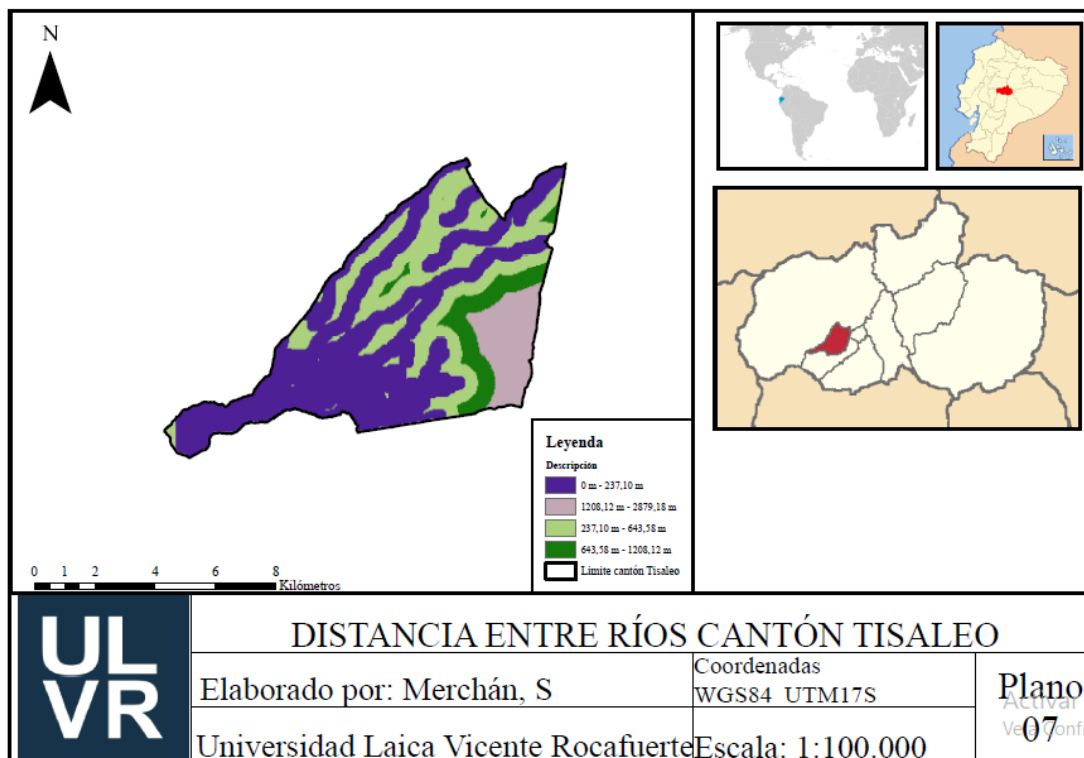
Para el desarrollo del mapa de las zonas de inundación en el cantón Tisaleo, se empleó un enfoque metodológico riguroso que incluyó la generación de un mapa de distancias entre los ríos que conforman la red hidrográfica del cantón. Este análisis se realizó utilizando la herramienta "distancia euclidiana" disponible en el software ArcGIS. La aplicación de esta herramienta permite calcular y visualizar las distancias mínimas desde cualquier punto del terreno hasta el río más cercano, proporcionando una representación clara de la proximidad a cuerpos de agua que pueden representar un riesgo de inundación.

El propósito de esta metodología es identificar áreas con mayor probabilidad de inundación debido a su cercanía a los ríos, especialmente en eventos de lluvias torrenciales. Este análisis es crucial ya que la proximidad a los ríos aumenta significativamente el riesgo de inundaciones, convirtiéndose en una variable fundamental para la evaluación de la exposición en la ecuación de vulnerabilidad a desastres naturales. La distancia a los ríos se considera una variable de exposición porque las áreas más cercanas a estos cuerpos de agua están más expuestas a los riesgos asociados con desbordamientos e inundaciones repentinas.

La Figura 35 presenta el mapa resultante de la aplicación de la herramienta "distancia euclidiana" en ArcGIS. En este mapa, las diferentes zonas de proximidad a los ríos están claramente delimitadas, lo que permite una visualización intuitiva de las áreas más vulnerables. Las zonas más oscuras indican áreas más cercanas a los ríos y, por lo tanto, con mayor exposición al riesgo de inundación.

Figura 35.

Distancia entre los ríos del cantón Tisaleo. Plano 07.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Con los mapas de las distancias de la red vial y la red hidrográfica del cantón Tisaleo, presentados en las Figuras 33 y 35 respectivamente, y en conjunto con el mapa desarrollado por análisis multicriterio, se obtiene mediante la herramienta “álgebra de mapas”, las zonas con mayor vulnerabilidad ante inundaciones del cantón Tisaleo.

3.7.3. Procesamiento de los datos suministrados

El siguiente paso para el análisis de los resultados es la preparación de los datos con el uso de las herramientas del software ArcGIS, estas son definidas a continuación.

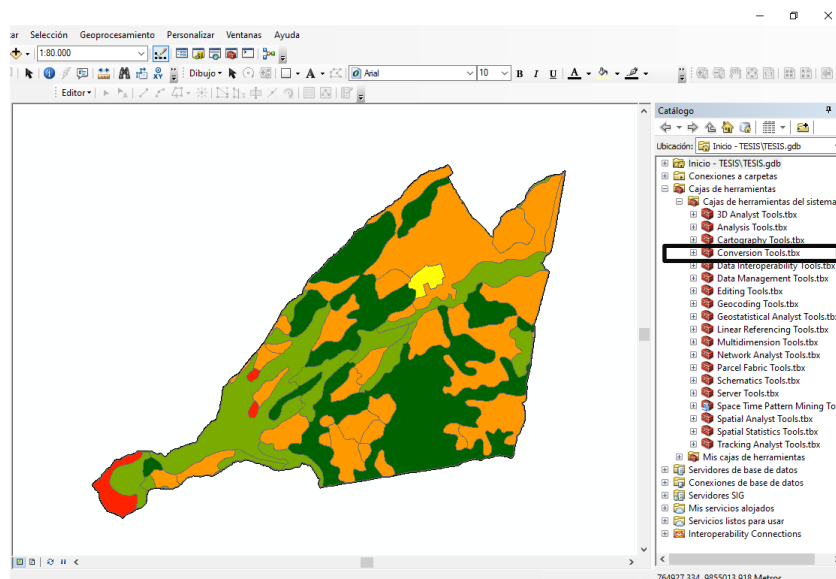
De polígono a ráster

En la mayoría de los mapas suministrados la información se encuentra definida por entidades o polígonos, sin embargo, para la creación de las zonas de inundación es necesario que los mapas tengan la información en formato raster, debido a que muchas herramientas del software trabajan con formato raster. Se presenta los pasos a seguir para realizar la conversión

1. Se selecciona la caja de herramientas del software, que se encuentra a mano derecha, y se presiona el botón que dice “Conversion Tools” o “Herramientas de conversión” (Figura 36).

Figura 36.

Selección de la caja de herramientas de conversión “Conversion tools”.

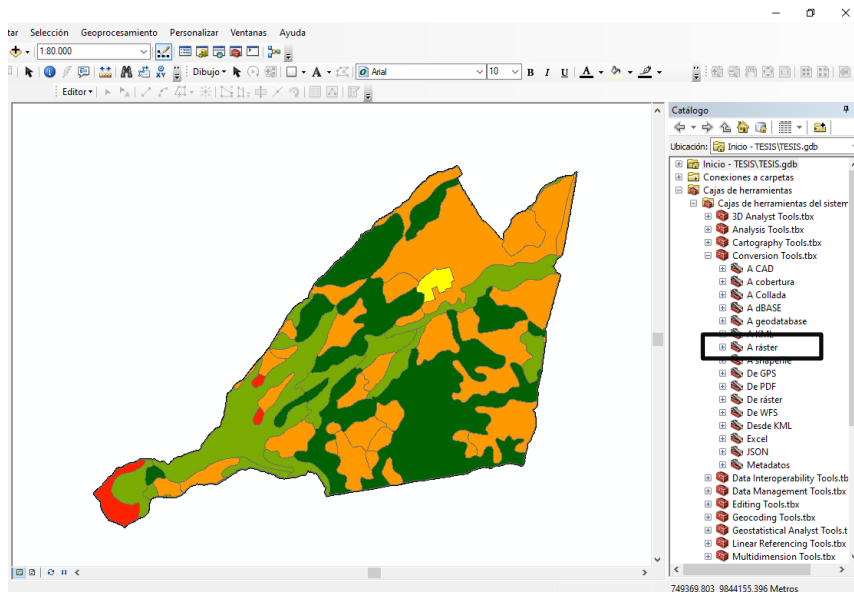


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

2. El segundo paso es abrir las herramientas de conversión y seleccionar la herramienta que dice “A ráster” y abrir las opciones desde que tipo de información se va a convertir (Figura 37).

Figura 37.

Selección de la herramienta “A ráster” para la conversión de una entidad a ráster.

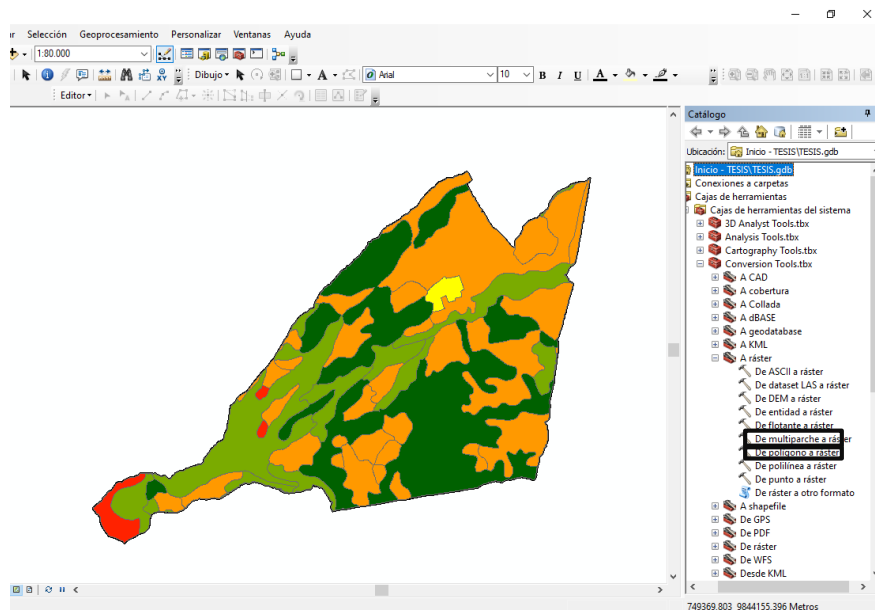


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

3. Posteriormente, se procede a seleccionar cualquiera de las opciones siguientes “De entidad a ráster” o “De polígono a ráster”, y se abrirá una ventana para seleccionar la información solicitada. Cabe destacar que cualquier opción es válida, debido a que muchos mapas están presentados con polígonos o líneas, este último no es identificado como polígono por el software, pero si como entidad.

Figura 38.

Selección de las herramientas para la conversión a ráster

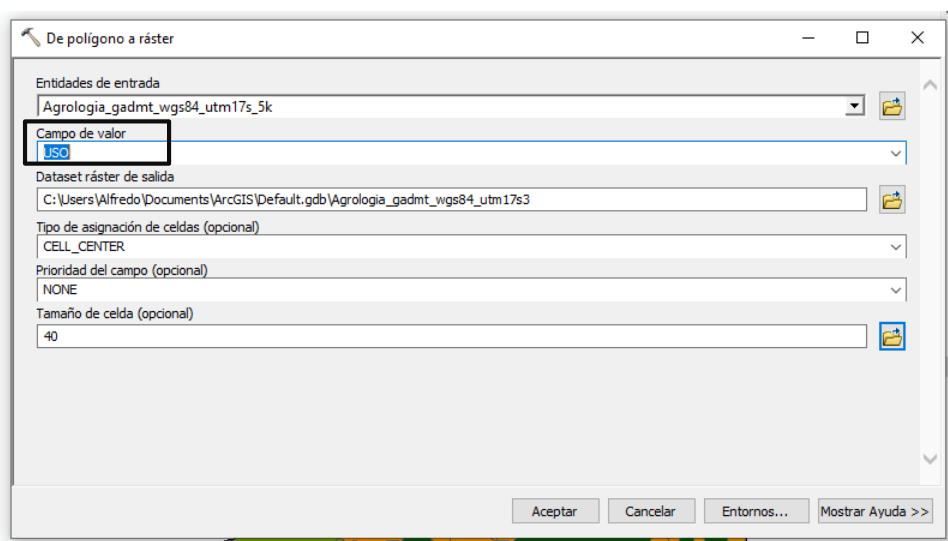


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

4. Por último, se abre la ventana para la selección de la información (Figura 39), se seleccionan los datos a utilizar en la celda que dice “Campos de valor”, se identifica el documento resultante y se realiza la conversión, obteniéndose el mapa en formato ráster (Figura 40).

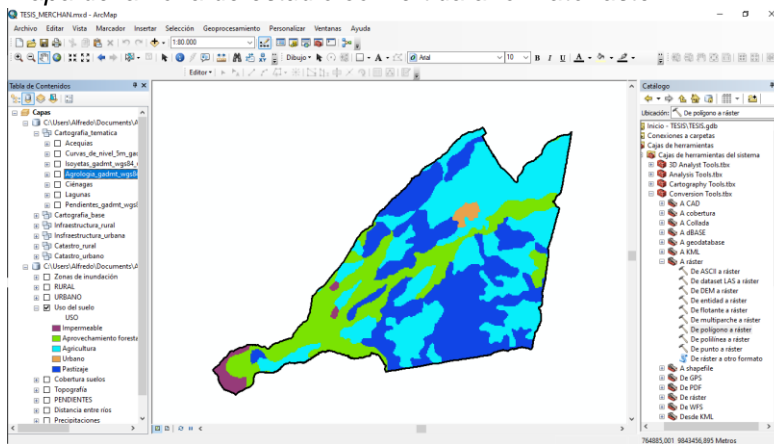
Figura 39.

Ventana de conversión “De polígono a ráster”.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Figura 40.
 Mapa de la zona de estudio convertida a formato ráster.



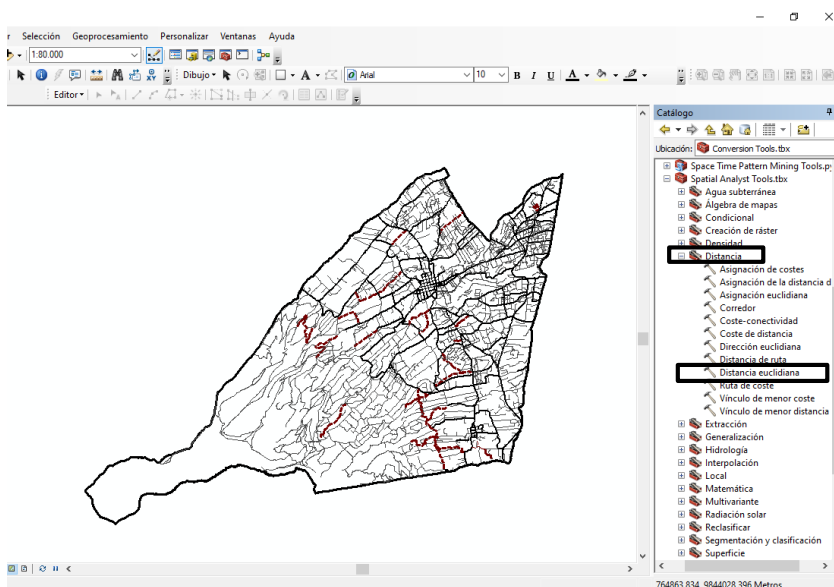
Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Distancia euclidiana

Esta herramienta de ArcGIS es utilizada para definir las distancias entre elementos de los mapas. Esta se utilizó para definir las distancias entre los ríos y las vías de comunicación del cantón Tisaleo, y se utilizó de la siguiente manera.

1. Se seleccionó en la caja de herramientas, el botón que dice “Spatial Analysis” o Análisis Espacial y se abren las opciones, se selecciona la opción que dice “Distancia” (Figura 41).

Figura 41.
 Selección de la herramienta “Distancia euclidiana”.

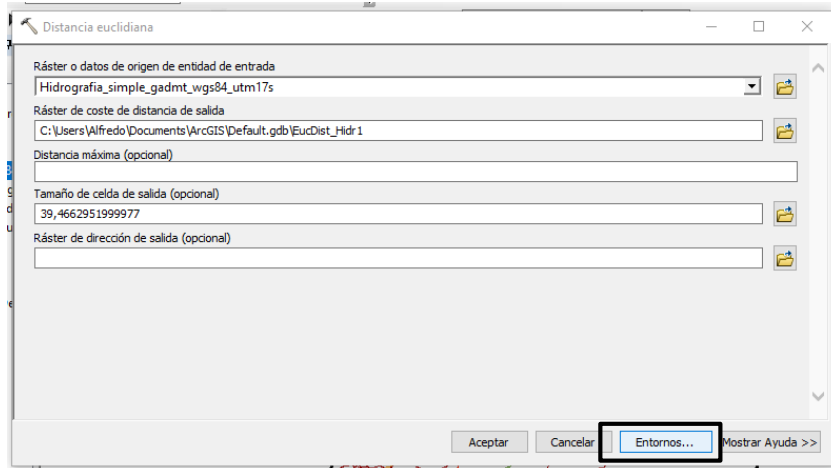


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

2. Posteriormente, se selecciona la opción de “Distancia euclidiana” donde se abrirá una ventana para seleccionar y definir los datos a procesar (Figura 42)

Figura 42.

Ventana de procesamiento de datos para la herramienta “Distancia euclidiana”

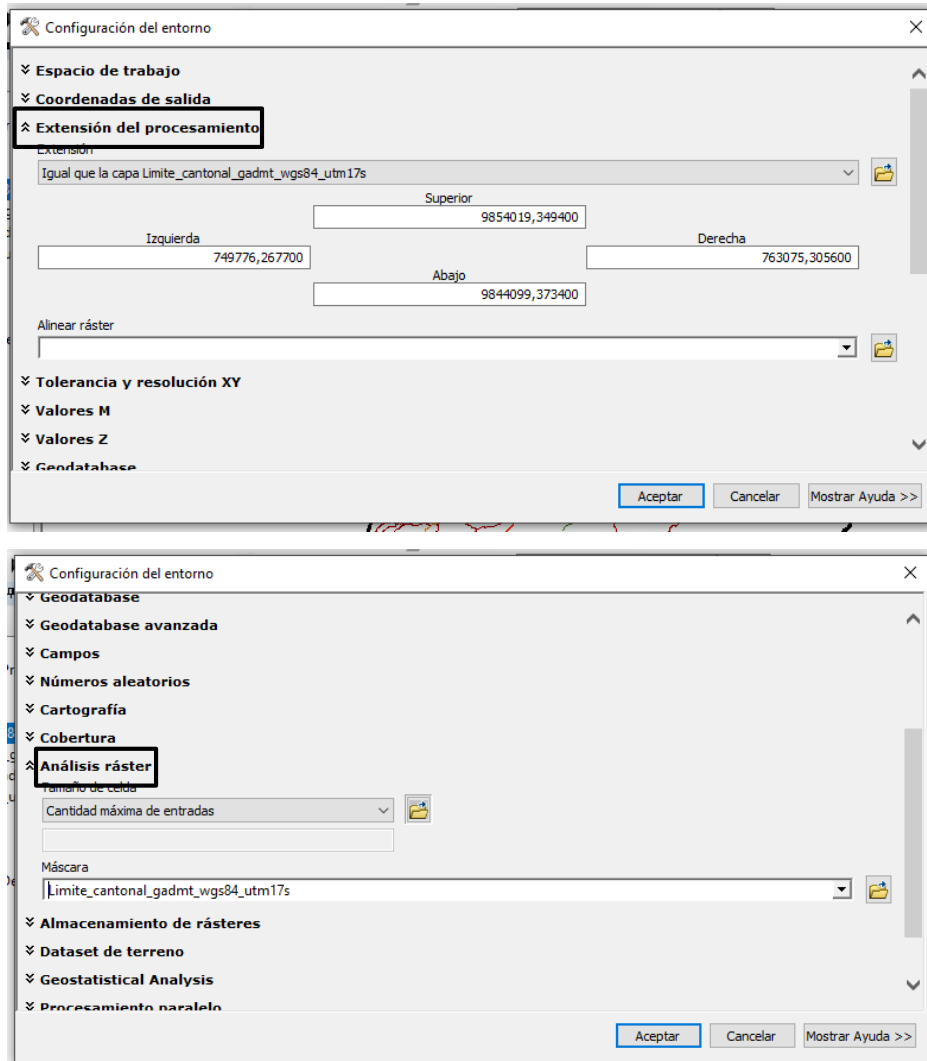


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

3. Para limitar la información a la zona del cantón Tisaleo, se selecciona el botón que dice “Entornos” y se definen la información relacionada al límite cantonal en “Extensión de procesamiento”, donde se determina la extensión del mapa y “Análisis de ráster”, donde se determina el número de celdas (Figura 43).

Figura 43.

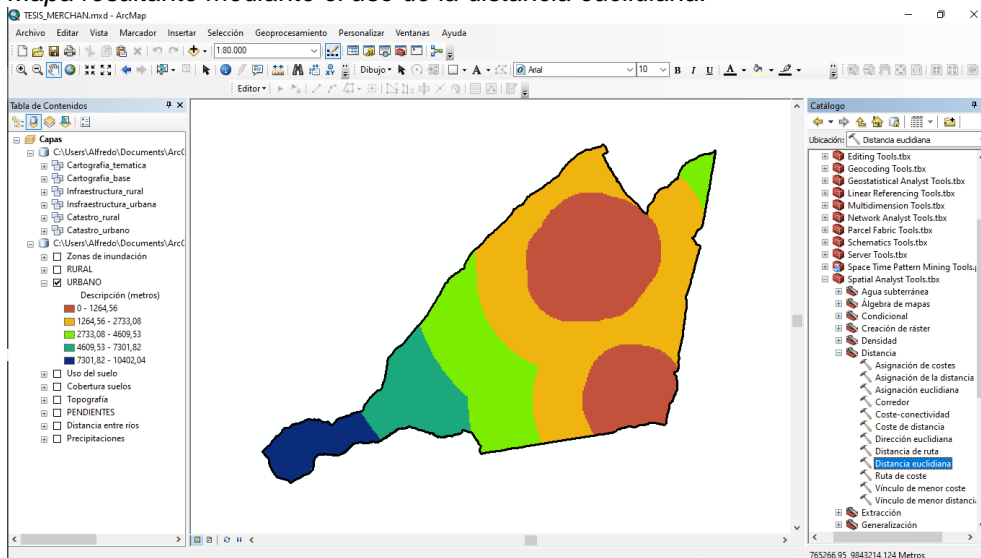
Configuración del entorno para definir la extensión de la información a procesar en la distancia euclidiana.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

4. Por último, se le da "Aceptar" y se obtiene el mapa solicitado, con las distancias entre los elementos, como se muestra en la Figura 44.

Figura 44.
Mapa resultante mediante el uso de la distancia euclidiana.



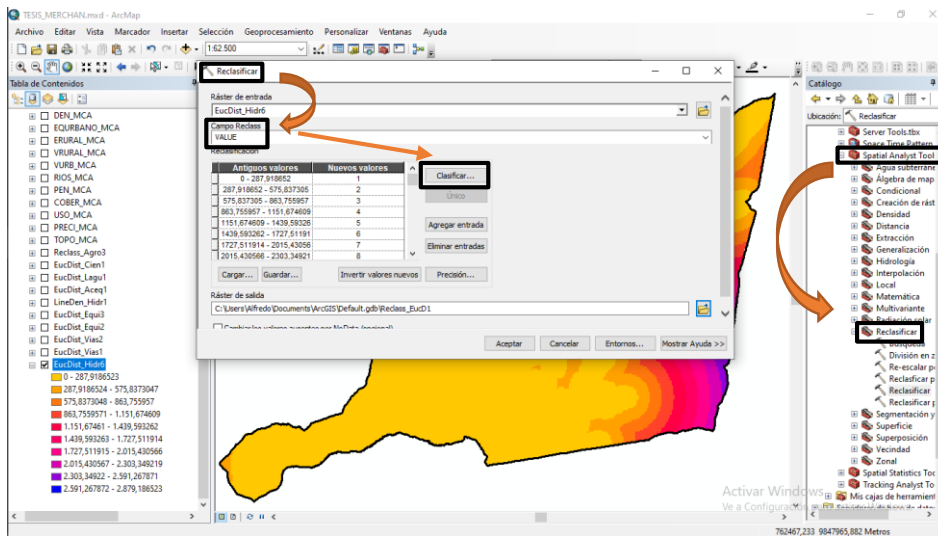
Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Gracias a la aplicación de la herramienta “distancia euclidiana” se pudo obtener el mapa de la Figura 44 que en pocas palabras es el resultado de la distancia entre los ríos y las vías de comunicación.

Reclasificación de datos

La reclasificación de datos, como su nombre lo indica, permite darle un número nuevos de valores con nueva clasificación con la intención de tener los mismos valores que otros elementos para una próxima actividad a realizar en el software. Esta herramienta se puede obtener en el botón de “Spatial Analysis Tools” y luego se va a donde dice “Reclasificación” y se abre una ventana, donde se selecciona la información a reclasificar. Figura 45.

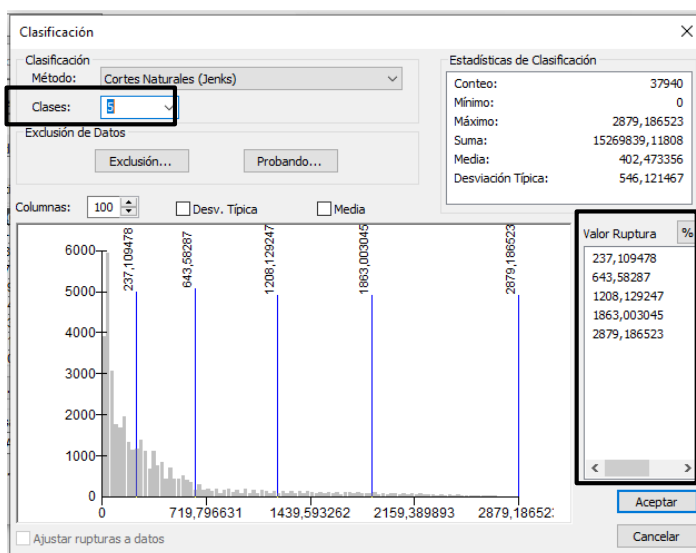
Figura 45.
Ventana con los datos a reclasificar



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Se selecciona en la casilla de “Campo reclass” los valores con la clasificación “VALUE” y se desglosan todos los datos relacionados. Luego se selecciona el primer botón ubicado a la derecha que dice “Clasificar” y se abre una segunda ventana, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 46.
Selección del número de clases en la reclasificación.

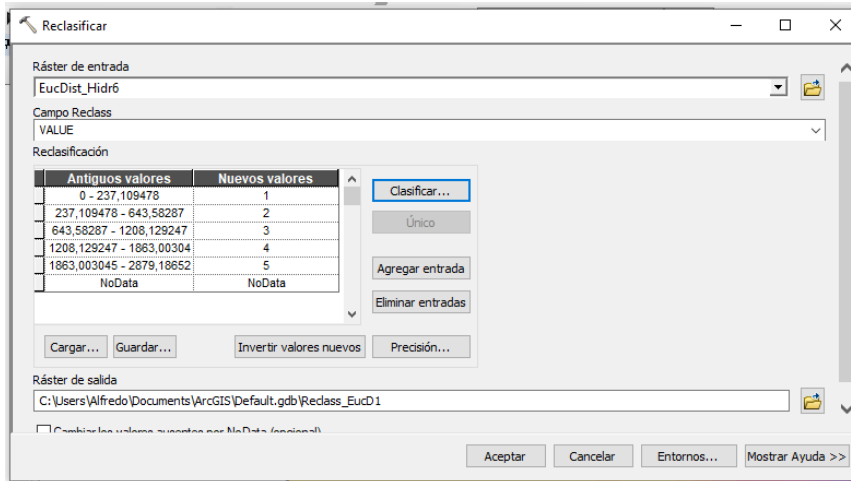


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

En esta ventana se define el número de clases como se muestra en la figura anterior. Con esto, se obtiene automáticamente los intervalos en base a las clases

definidas (Figura 46) asimismo, es posible asignar a cada intervalo un numero distinto al que aparece en la Figura 47.

Figura 47.
Nuevos valores y clases asignados.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

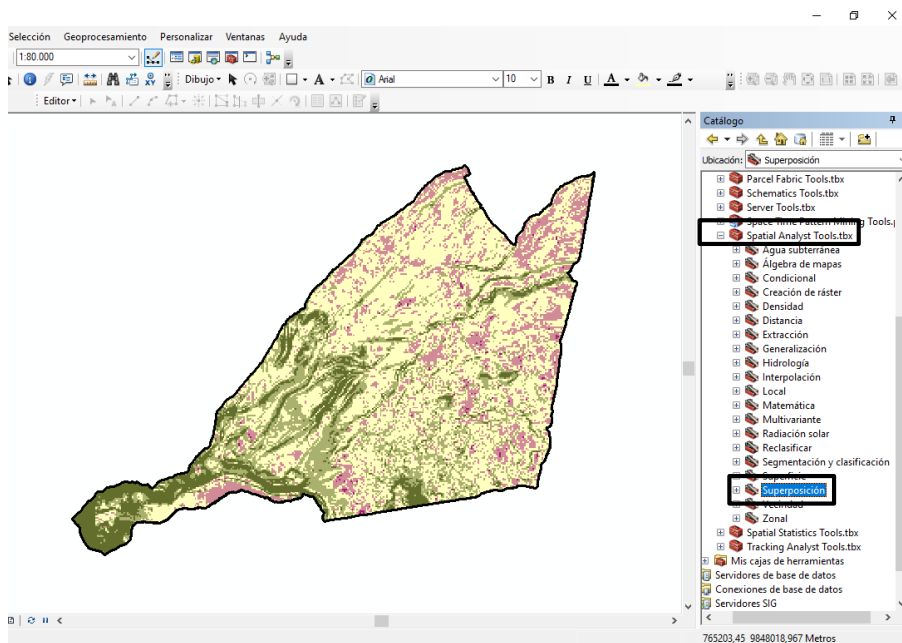
En la figura 47 podemos observar los nuevos valores obtenidos y las clases asignadas para próximas actividades a realizar en el software.

Superposición ponderada

Por último, se utilizó esta herramienta de ArcGIS para la caracterización de las zonas de inundación. Como su nombre lo indica, es la superposición de varios elementos a utilizar mediante un promedio entre los mismos. Los pasos a seguir para utilizar esta herramienta son los siguientes.

1. Con todos los criterios definidos, en formato raster y con sus distancias, se selecciona la caja de herramientas de "Spatial Analyst Tools" y se selecciona el botón que dice "Superposición" como se muestra en la Figura 48.

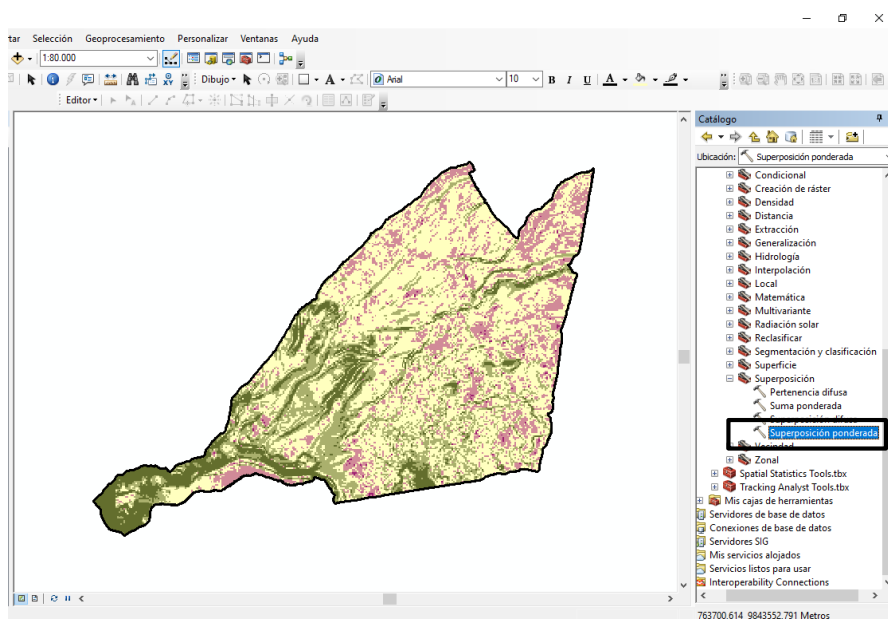
Figura 48.
Selección de la caja de herramientas “Superposición”.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

2. Luego, se selecciona la herramienta “Superposición ponderada” (Figura 49) donde se va a abrir una ventana vacía, en la cual se registra la información (Figura 50).

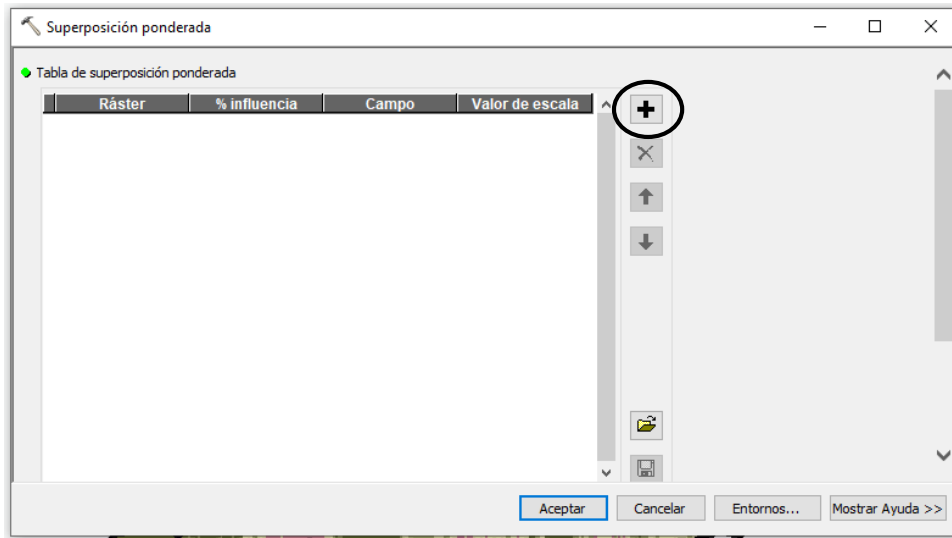
Figura 49.
Selección de la herramienta “Superposición ponderada”.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Figura 50.

Ventana de procesamiento de datos para la superposición ponderada.

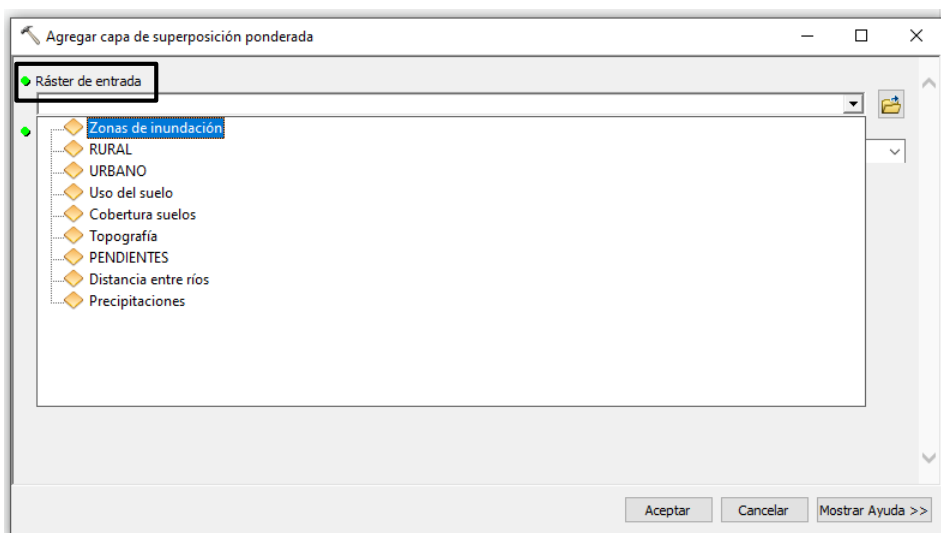


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

3. En la ventana que se acaba de abrir, se selecciona el botón “+” que aparece reflejado en la Figura 50, y se abre otra ventana donde se selecciona la información necesaria como ráster de entrada, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 51.

Selección de los datos de entrada en formato ráster.

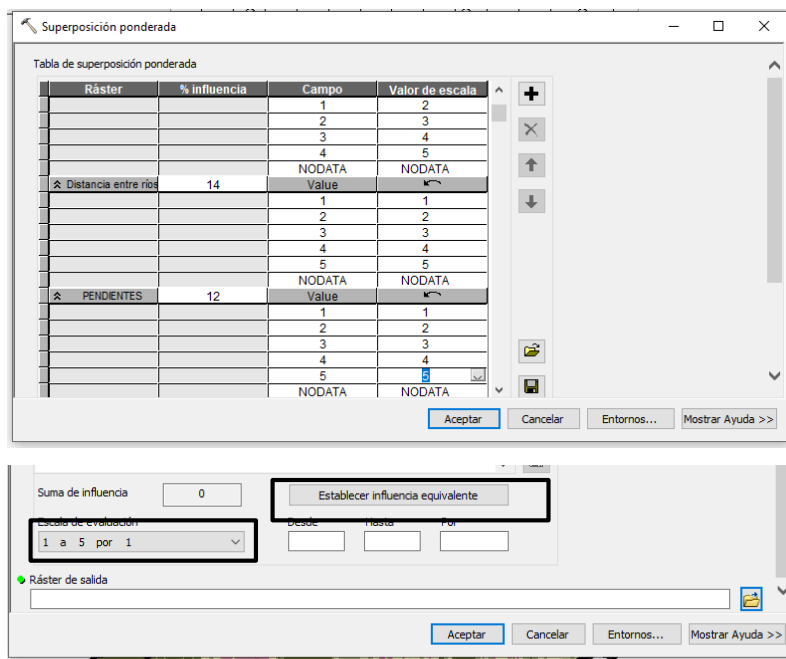


Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

4. Con la información registrada, se ordenan los valores y al final de la ventana, se selecciona la opción “Establecer influencia equivalente” para definir un promedio equivalente para cada elemento a evaluar, y también se selecciona la opción “Escala de evaluación” (Figura 52) para definir el número de la escala del mapa.

La superposición ponderada es útil en el análisis multicriterio, debido a que el criterio con mayor importancia en el estudio se le asigna un porcentaje mayor en la herramienta, seguido de la asignación de porcentaje de los demás criterios. El mapa resultante es el mapa de inundaciones en base a la importancia de los criterios definidos, siendo este la evidencia para la definición de las posibles alternativas o soluciones frente a este evento.

Figura 52.
Definición de los datos procesados en la herramienta “Superposición ponderada”.



Fuente: ArcGIS: ArcMap 10.4.1.

Como se observa en la figura 52, la superposición ponderada es una herramienta de análisis espacial dentro de los Sistemas de Información Geográfica, muy fácil de aplicar.

3.7.4. Análisis multicriterio de las posibles alternativas

Para conocer los resultados y posibles alternativas a la problemática, se utilizó el análisis multicriterio o MCA como herramienta para obtener, a partir de un objetivo o problema, los criterios y alternativas estratégicas. Desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty, el análisis permite descomponer un objetivo en criterios, con la intención de conocer distintas soluciones y luego unirlos en una sola conclusión. Para la investigación, este análisis fue realizado en distintos procesos.

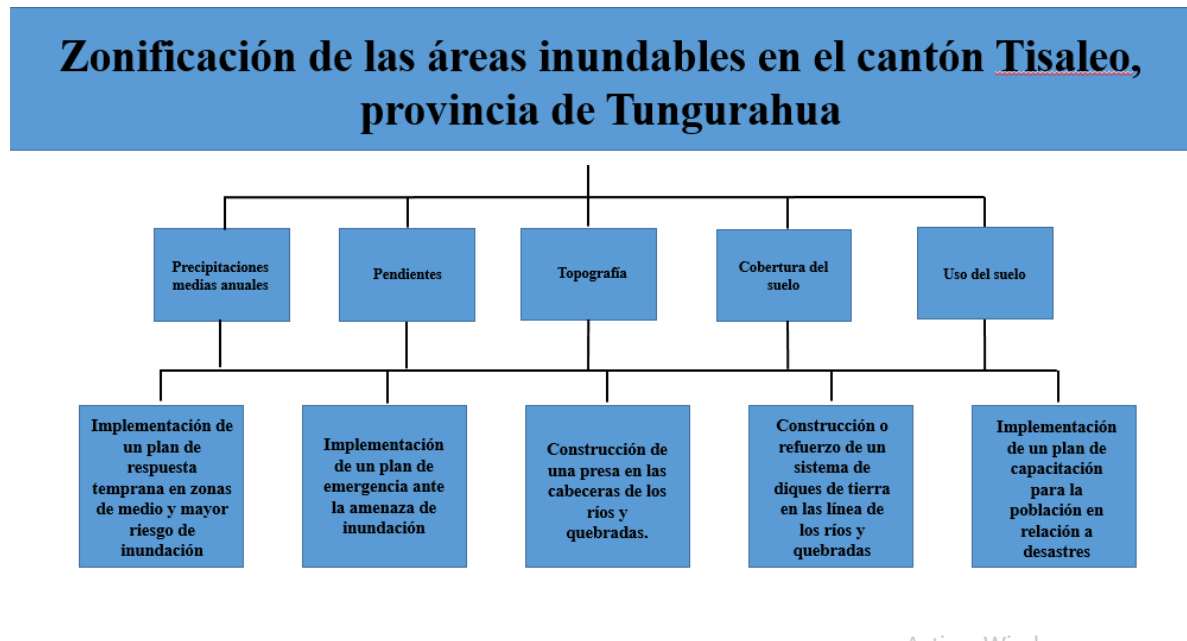
Árbol de jerarquía de Saaty

El análisis MCA se desarrolla a partir del árbol de jerarquía de Saaty, el cual inicia con el objetivo principal, el cual se define como el objetivo general de la investigación: zonificación de las áreas con posibilidad de inundación en el cantón Tisaleo, en la provincia de Tungurahua del Ecuador.

Seguidamente, se identifican los criterios o factores influyentes en el objetivo general de la investigación. Basados en los datos presentados previamente, se definieron cinco alternativas para reducir y mitigar las posibles inundaciones del cantón Tisaleo. Estas alternativas son analizadas mediante la comparación pareada, en donde a cada una se le asigna una expresión numérica en base a su importancia en la influencia del problema, estandarizando cada criterio para la creación de la matriz de comparación. Con lo descrito previamente, se presenta el árbol de jerarquía de Saaty mostrado en la Figura 53.

Figura 53.

Esquema del árbol de jerarquía de Saaty con las posibles soluciones al riesgo de inundación.



Elaborado por: Merchán, (2024).

Con el esquema observado en la figura 53 se tiene una estructura organizada con múltiples criterios. Esta herramienta ha permitido descomponer el problema en partes analizables para que su estudio micro nos permita desarrollar lo macro.

Valoración parcial para cada criterio

Se definieron los valores idóneos para cada alternativa, esto en base a la escala de importancia en el análisis multicriterio de la investigación. En base a esto, para conocer la valoración parcial de cada factor es necesario agruparlos en rangos, los cuales fueron asignados mediante la escala presentada por Saaty, (1987) mostrada en la Tabla 4 en el marco teórico.

Matriz de comparación pareada

El siguiente paso de la investigación es la evaluación de las alternativas. Vaca (2018), menciona que la evaluación de los criterios se realiza mediante comparaciones binarias frente a un tercer elemento, es decir, comparaciones mediante valores asignados a cada criterio donde se mide la importancia de cada uno

y se presenta la prioridad de cada alternativa. Con los valores de la escala de Saaty asignados, se realiza la matriz de comparación pareada la cual se presenta un esquema utilizado en la siguiente tabla.

Tabla 17

Modelo de matriz de comparación pareada utilizada en la investigación.

Criterio	C₁	C₂	C₃	C₄
C₁	1	C ₁ / C ₂	C ₁ / C ₃	C ₁ / C ₄
C₂	C ₂ / C ₁	1	C ₂ / C ₃	C ₂ / C ₄
C₃	C ₃ / C ₁	C ₃ / C ₂	1	C ₃ / C ₄
C₄	C ₄ / C ₁	C ₄ / C ₂	C ₄ / C ₃	1

Elaborado por: Merchán, (2024).

Seguido de esto, se realiza el cálculo de la ponderación de los valores de los criterios, definidos en la Tabla 6 del marco teórico, se obtienen los resultados de las prioridades de cada criterio y alternativa.

Síntesis del problema y escala de evaluación

Debido a que se definieron más de tres alternativas y dichas comparaciones de los factores del árbol jerárquico fueron realizados por el investigador, se calculó la razón de consistencia de la comparación de pares, el cual permite conocer si las soluciones definidas poseen consistencia, se destaca que una razón de consistencia mayor de un 10% es igual a una inconsistencia en las comparaciones en pares, en tal caso se ajustan los valores de los criterios. Saaty (1987), define la razón de consistencia con la siguiente ecuación.

$$Rc = \frac{Ic}{I_R} \quad (3)$$

Donde:

$$Ic = \left(\frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \right) \quad (4)$$

N: número de elementos comparados;

I_R: índice de consistencia de una matriz de comparación.

4. CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE SOLUCIÓN O INFORME TÉCNICO

4.1 Priorización de los criterios definidos

El árbol de jerarquía de Saaty permite definir los criterios que provienen de la problemática existente. De acuerdo con el análisis multicriterio definido por Saaty, los criterios son analizados para conocer cuál de ellos es el que posee mayor prioridad, de esa manera caracterizar las zonas de inundación y definir las posibles soluciones a la problemática.

Por ello, se desarrolló el análisis a los criterios mostrados en la Figura 48 presentada en la metodología de la investigación. El cálculo procede a partir de la matriz de comparación pareada mostrada en la siguiente tabla.

Tabla 18
Matriz de comparación pareada. Criterios.

Matriz de comparación pareada					
Criterios	Precipitación	Topografía	Cobertura del suelo	Uso del suelo	Pendientes
Precipitación	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00
Topografía	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33
Cobertura del suelo	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33
Uso del suelo	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33
Pendientes	0,33	3,00	3,00	3,00	1,00
SUMA	3,00	9,00	7,00	9,00	5,00

Elaborado por: Merchán, (2024).

La matriz de comparación pareada es definida de manera arbitraria por el tesista, basado en la información cartográfica y los parámetros físicos de la zona de estudio. De acuerdo con la matriz anterior, la mayoría de los criterios poseen una escala de igual importancia entre sí, a excepción de las precipitaciones y las pendientes, que poseen una escala de importancia moderada. En la siguiente tabla se desarrolla la normalización de la matriz.

Tabla 19*Normalización de la matriz.*

Normalización de la matriz de comparación pareada					
Criterios	Precipitación	Topografía	Cobertura del suelo	Uso del suelo	Pendientes
Precipitación	0,33	0,33	0,14	0,33	0,60
Topografía	0,11	0,11	0,14	0,11	0,07
Cobertura del suelo	0,33	0,11	0,14	0,11	0,07
Uso del suelo	0,11	0,11	0,14	0,11	0,07
Pendientes	0,11	0,33	0,43	0,33	0,20

Elaborado por: Merchán, (2024).

Con la matriz (Tabla 18) y la normalización de la misma (Tabla 19) se calcula el peso ponderado de los cinco criterios, presentados en la siguiente tabla.

Tabla 20*Orden de los criterios*

Criterios	Peso ponderado	%	Orden
Precipitación	0,35	34,86	1
Topografía	0,11	10,86	5
Cobertura del suelo	0,15	15,30	3
Uso del suelo	0,11	10,86	4
Pendientes	0,28	28,13	2

Elaborado por: Merchán, (2024).

De acuerdo con la Tabla 20, la precipitación es el criterio con mayor prioridad, seguido de las pendientes y cobertura del suelo, cabe destacar que los porcentajes de los mismos son valores clave para la definición de las zonas de inundación. Posteriormente, se calcula la razón de consistencia para la matriz de comparación de los criterios, de esa manera se conoce si los resultados del análisis tienen consistencia con el número de criterios definidos, en la siguiente tabla se muestran los resultados presentados en las matrices “A” y “a”.

Tabla 21
Matrices "A" y "a" para el cálculo del índice de consistencia

Matriz A	Matriz a
2,00	5,73
0,58	5,34
0,81	5,31
0,58	5,34
1,51	5,36
Promedio matriz "a"	5,42

Elaborado por: Merchán, (2024).

Con los resultados de la Tabla 21, se procede a calcular la razón de consistencia, tomando en cuenta que son cinco criterios a definir ($n = 5$).

$$IC = \frac{\bar{x}_a - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$IC = \frac{5,42 - 5}{5 - 1} = 0,1042876 \quad (5)$$

$$IR = 1,12 \quad (6)$$

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (7)$$

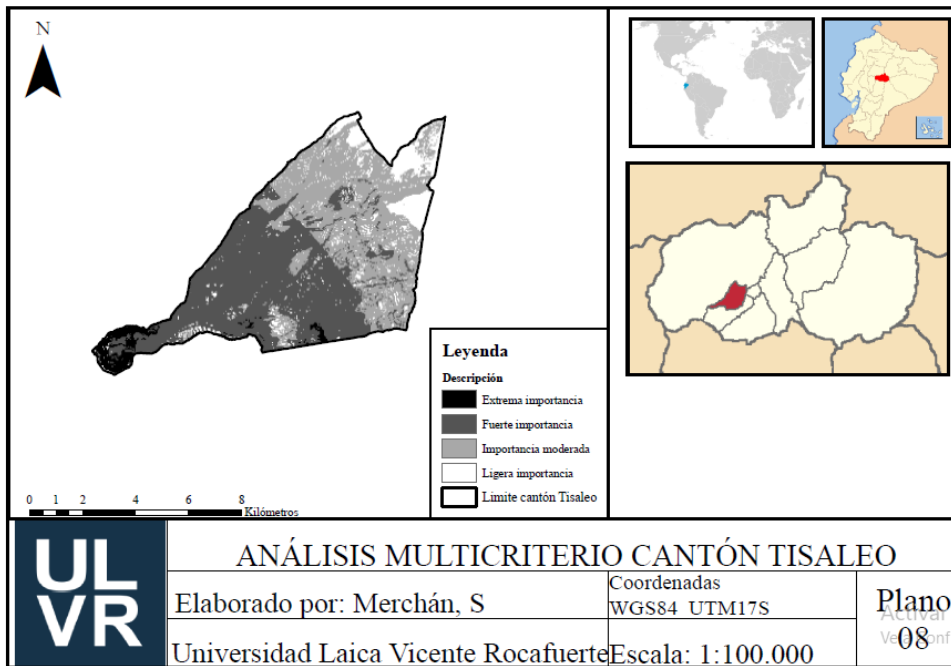
$$RC = \frac{0,1042876}{1,12} = 0,09 \quad (7)$$

La razón de consistencia obtenida es $RC = 0,09$, siendo menor que el valor definido para que una matriz de comparación pareada tenga consistencia ($RC = 0,10$) por ende los criterios definidos en la matriz (Tabla 18) poseen consistencia entre sí.

4.2 Caracterización de las zonas de inundación

Con los mapas presentados, se desarrolló la zonificación de las áreas de inundación mediante el uso de la herramienta "superposición ponderada" en el software de información geográfica ArcGIS, debido a los cálculos realizados en el análisis multicriterio, los porcentajes de prioridad son plasmados en dicha herramienta, resultando en el mapa mostrado en la Figura 54.

Figura 54.
Zonas de inundación del cantón Tisaleo. Plano 08.



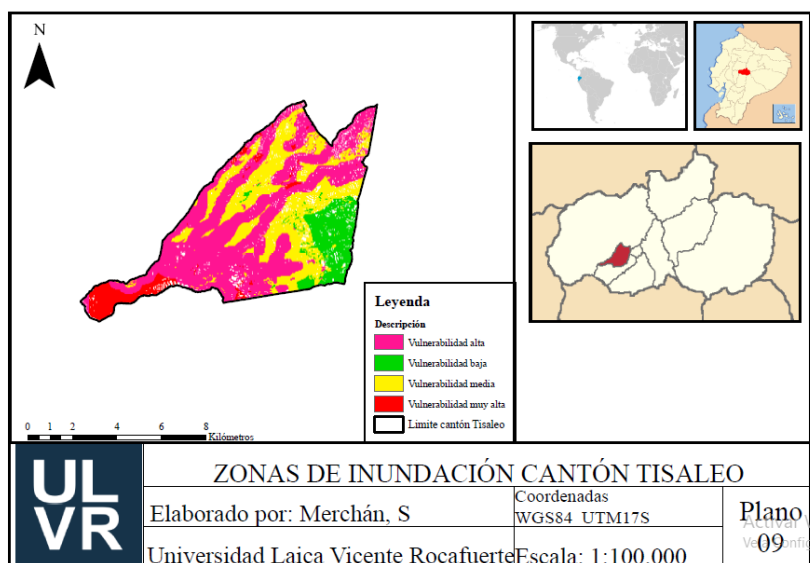
Elaborado por: Merchán, (2024).

Como observa en la figura 54 en su gran mayoría son zonas geográficas de importancia que regularmente se ven afectadas por las inundaciones.

4.2.1 Vulnerabilidad ante inundaciones

Con los mapas mostrados, se utilizó la herramienta de algebra de mapas, la cual permite hacer un cálculo algebraico entre los mapas generados por el software de información geográfica. La operación realizada es la ecuación de vulnerabilidad presentada en el marco teórico de la investigación, con los valores definidos, se obtiene el mapa de las zonas de vulnerabilidad (Figura 55).

Figura 55.
Zonas vulnerables a inundaciones en el cantón Tisaleo.



Elaborado por: Merchán, (2024).

Los valores resultantes de la leyenda fueron reclasificados con etiquetas de los tipos de vulnerabilidad, estos resultados son especificados en la Tabla 22 con sus respectivos colores y áreas.

Tabla 22
Leyenda de las zonas de inundación con sus respectivas áreas.

Etiqueta	Vulnerabilidad	Área (km ²)
Verde	Baja	6,43
Amarillo	Media	17,89
Rosa	Alta	31,54
Rojo	Muy Alta	3,84

Elaborado por: Merchán, (2024).

De acuerdo con los resultados, se observa que las áreas de 31,54 km² y 3,84 km² representan una vulnerabilidad alta y muy alta, respectivamente, ante inundaciones por lluvias torrenciales, representando un 59,24% de toda la superficie cantonal. Asimismo, se observa que estas zonas se encuentran en las áreas rurales cercanas a los ríos y zonas de conservación cercanas al volcán, por lo cual un evento de este tipo puede afectar de manera importante distintas zonas rurales, así como terrenos con uso de tipo agrícola o pecuario.

4.2.2. Amenazas ante inundaciones

Para conocer el riesgo se debe conocer la amenaza ante inundaciones, para esta investigación se calculó el período de retorno de las precipitaciones máximas en la zona. Estas precipitaciones máximas se registraron en la estación hidrológica M0128 Cevallos (Colegio) la cual es una de las estaciones cercanas a la zona de estudio; de la Tabla 7 presentada en el marco teórico, se ordenan los valores de mayor a menor y se le calcularon el período de retorno para cada uno. En la Tabla 23 se presentan los resultados.

Tabla 23
Período de retorno de las precipitaciones máximas registradas

Orden	Precipitaciones máximas	Período de retorno (Tr)	q (%)
1	97,7	21	95,24
2	81,7	10,5	90,48
3	39	7	85,71
4	38,3	5,25	80,95
5	32	4,2	76,19
6	30	3,5	71,43
7	29,2	3	66,67
8	29,2	2,625	61,90
9	28,3	2,333333333	57,14
10	28	2,1	52,38
11	27,2	1,909090909	47,62
12	26	1,75	42,86
13	25,7	1,615384615	38,10
14	24,5	1,5	33,33
15	24,4	1,4	28,57
16	24	1,3125	23,81
17	23,5	1,235294118	19,05
18	23,2	1,166666667	14,29
19	19,5	1,105263158	9,52
20	13	1,05	4,76

Elaborado por: Merchán, (2024)

De acuerdo con los resultados, se observa que los primeros cuatro valores poseen un periodo de retorno desde los 5 años hasta los 21 años, con porcentajes entre el 80,95% y el 95,24%, lo que indica que existe una probabilidad alta que estas

precipitaciones máximas ocurran nuevamente en el tiempo determinado. Estos valores son definidos con la escala de amenaza existente, como se presenta en la Tabla 24.

Tabla 24
Probabilidades de amenaza

Escala de amenaza	Probabilidad de ocurrencia	Período de retorno
Muy Alta	95,24%	21
Alta	90,48%	10,5
Media	85,71%	7
Baja	80,95%	5,25

Elaborado por: Merchán, (2024).

De acuerdo con la tabla anterior, se definieron las probabilidades más altas con las escalas de amenaza ante el desastre natural, siendo de escala muy alta el periodo de retorno de 21 años con una probabilidad de 95,24% y la escala baja con 5,25 años y 80,95% de probabilidad de ocurrencia. Con estos valores se procede a definir la escala de riesgo de las áreas de inundación (Tabla 25).

Tabla 25
Escala de riesgos mediante valores de vulnerabilidad/amenaza

Vulnerabilidad	Muy Alta	Alta	Media	Baja
Amenaza				
Muy Alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto
Alto	Muy Alto	Alto	Medio	Medio
Medio	Alto	Medio	Medio	Bajo
Bajo	Alto	Medio	Bajo	Bajo

Elaborado por: Merchán, (2024).

Con la escala de riesgos se determinó que las zonas con alta y muy alta vulnerabilidad, y con una mayor probabilidad de ocurrencia de inundaciones presentan un riesgo muy alto de inundaciones, representando un 59,24% de la superficie cantonal, más de la mitad de la zona. Es por ello que se presentan las posibles soluciones o alternativas ante la problemática y definidas por el análisis multicriterio.

4.3. Análisis multicriterio de las alternativas definidas

Con lo presentado anteriormente, se demuestra que el cantón Tisaleo posee una superficie de casi el 60% que posee un riesgo muy alto de inundaciones debido a lluvias torrenciales, basado en los registros hidrológicos y el mapa desarrollado por el software. Es por ello que el primer paso para el análisis multicriterio es definir alternativas distintas para la prevención y mitigación de que este evento pueda afectar de manera negativa a una gran parte de la zona, estas son las cinco posibles soluciones presentadas a continuación.

- ✓ Alternativa 1: implementación de un plan de respuesta temprana en zonas de medio y mayor riesgo de inundación;
- ✓ Alternativa 2: implementación de un plan de emergencia ante la amenaza de inundación;
- ✓ Alternativa 3: construcción de una presa en las cabeceras de los ríos y quebradas;
- ✓ Alternativa 4: construcción o refuerzo de un sistema de diques de tierra en la línea de los ríos y quebradas;
- ✓ Alternativa 5: implementación de un plan de capacitación para la población en relación a desastres.

El siguiente paso en el análisis es decidir el orden de prioridad entre las cinco alternativas, mediante la matriz de comparación pareada se definen los valores para cada alternativa, este paso es desarrollado de manera arbitraria por el tesista. En la Tabla 26 se presenta la matriz.

Tabla 26
Matriz de comparación pareada

Matriz de comparación pareada					
Alternativas	1	2	3	4	5
1	1,00	1,00	3,00	3,00	0,33
2	1,00	1,00	5,00	3,00	3,00
3	0,33	0,20	1,00	1,00	0,20
4	0,33	0,33	1,00	1,00	0,20
5	3,00	0,33	5,00	5,00	1,00
SUMA	5,67	2,87	15,00	13,00	4,73

Elaborado por: Merchán, (2024).

Con la matriz definida, el siguiente paso es la normalización de la matriz (Tabla 27) y posteriormente se obtiene el peso ponderado de cada alternativa (Tabla 28) dando como resultado el orden de prioridad de cada una.

Tabla 27

Normalización de la matriz de comparación pareada

Normalización de la matriz					
Alternativas	1	2	3	4	5
1	0,18	0,35	0,20	0,23	0,07
2	0,18	0,35	0,33	0,23	0,63
3	0,06	0,07	0,07	0,08	0,04
4	0,06	0,12	0,07	0,08	0,04
5	0,53	0,12	0,33	0,38	0,21

Elaborado por: Merchán, (2024).

Tabla 28

Peso ponderado de las cinco alternativas

Alternativas	Peso ponderado	%	Orden
Alternativa 1	0,21	20,53	3
Alternativa 2	0,34	34,46	1
Alternativa 3	0,06	6,29	5
Alternativa 4	0,07	7,22	4
Alternativa 5	0,31	31,50	2

Elaborado por: Merchán, (2024).

En la Tabla 28 se presentan los resultados de la matriz de comparación pareada, con el orden de prioridad desde la alternativa 2 con mayor prioridad y la alternativa 3 con menor prioridad, siendo estas la implementación de un plan de emergencia ante la amenaza de inundación y construcción de una presa en las cabeceras de los ríos y quebradas, respectivamente.

Igualmente, es importante rectificar si los resultados poseen consistencia, debido a que los valores asignados en la matriz de comparación fueron definidos por el tesista, por ende, se calculó la razón de consistencia a partir del cálculo de las matrices “A” y “a” mostrados en la Tabla 29.

Tabla 29

Cálculo de las matrices "A" y "a" a partir del peso ponderado

Alternativas	Peso ponderado	A	A
Alternativa 1	0,21	1,06	5,16
Alternativa 2	0,34	2,03	5,88
Alternativa 3	0,06	0,34	5,33
Alternativa 4	0,07	0,38	5,28
Alternativa 5	0,31	1,72	5,46
TOTAL		5,42	

Elaborado por: Merchán, (2024).

Con el valor total del cálculo anterior, se obtiene el índice de consistencia y con el índice de razón asignado para cálculos de cinco valores, se obtiene la razón de consistencia.

$$IC = \frac{\bar{x}_a - n}{n-1} \quad (8)$$

$$IC = \frac{5,42-5}{5-1} = 0,106178 \quad (8)$$

$$IR = 1,12 \quad (9)$$

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (10)$$

$$RC = \frac{0,106178}{1,12} = 0,09 \quad (10)$$

Para que los resultados del orden de prioridad tengan consistencia, la razón de consistencia debe ser menor al 10%. Por lo tanto, el resultado de la RC es de 9%, cumpliendo con la condición de que las alternativas poseen consistencia en el orden de prioridad.

Coefficiente de Torrencialidad

El coeficiente de torrencialidad es un indicador hidrológico nos permite determinar la intensidad de los flujos de agua en un área en específica, para lo cual se debe tener los datos de la longitud y el área de la cuenca.

$$Ct = \frac{Long}{Área} \quad (11)$$

$$Ct = \frac{21,84}{14,24} = 1,53 \quad (11)$$

A mayor sea el coeficiente mayor será la torrencialidad.

Densidad de Drenaje

La densidad de drenaje es otro indicador hidrológico nos permite determinar qué tan propenso está nuestro terreno a inundaciones, a mayor densidad de drenaje se entiende que el terreno es menos permeable, es decir que el agua tiende a escurrir por la superficie, esto a su vez requiere mayor control.

$$Dd = \frac{\text{Long de la corriente}}{\text{Área de la cuenca}} \quad (11)$$

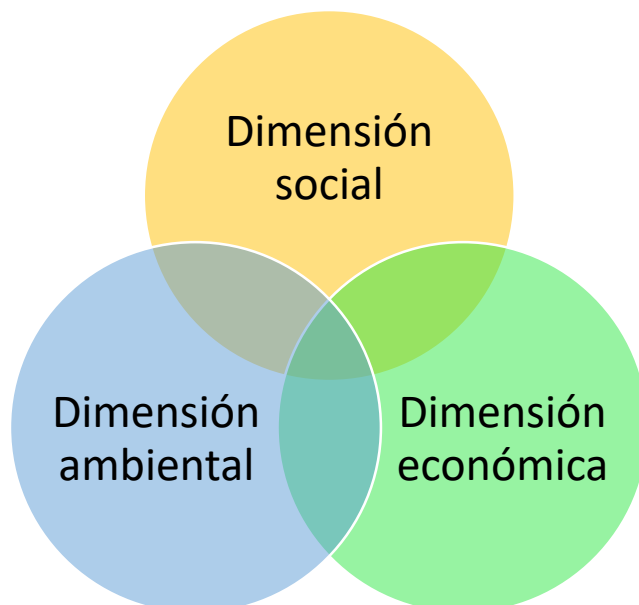
$$Dt = \frac{9.1}{14.24} = 0.63 \quad (11)$$

Posibles soluciones al riesgo de inundaciones

Con el análisis multicriterio desarrollado, se logró definir tres posibles soluciones o alternativas las cuales están relacionadas con la amenaza de lluvias torrenciales, la vulnerabilidad de las zonas del cantón ante el riesgo de inundaciones debido a dicha amenaza. Esta premisa se complementa con lo mencionado en la justificación de la investigación, la cual se pretende relacionar la dimensión social, dimensión económica y dimensión ambiental en las alternativas (Figura 56).

Figura 56.

Esquema de representación de las dimensiones de las alternativas.



Elaborado por: Merchán, (2024).

La figura anterior permite mostrar un esquema de lo que se quiere llegar con las soluciones a la problemática, con ello se procede a describir las alternativas obtenidas del análisis multicriterio.

5. CONCLUSIONES

- Se zonificaron las áreas con posibilidad de inundación mediante análisis multicriterio en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS en el cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua, determinando que existe un riesgo muy alto de inundaciones, representando un 59,24% de la superficie cantonal, que conforma más de la mitad de la zona.
- Se recolectó la información relacionada a los parámetros físicos e hidrológicos del cantón Tisaleo para la caracterización de las zonas con posibilidad de inundación, por medio de una revisión literaria e información entregada por la municipalidad, siendo representada mediante mapas procesados en el software ArcGIS.
- Se caracterizaron las zonas con posibilidad de inundación del cantón Tisaleo, mediante la aplicación del software ArcGIS para el estudio de las variables de vulnerabilidad y amenaza de inundación, resultando una vulnerabilidad representativa alta y muy alta en un 59.24% del total de la zona de estudio y probabilidades de ocurrencia de la amenaza que van desde muy alta con un periodo de retorno de 21 años con una probabilidad de 95,24% hasta baja con 5,25 años y 80,95% de probabilidad de ocurrencia.
- Se determinó el riesgo existente de inundación debido a las precipitaciones máximas en el cantón Tisaleo para el desarrollo del análisis multicriterio, mediante la relación entre escalas de vulnerabilidad y amenaza, resultando un riesgo muy alto frente a las inundaciones.
- Se desarrolló el análisis multicriterio con el resultado de las variables de vulnerabilidad y amenaza del mapa de inundación para la zonificación del riesgo de inundación del cantón Tisaleo.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda desarrollar líneas de investigación de Gestión de Riesgo de Desastres y destinar fondos monetarios y recursos necesarios para la materialización de los mismos, en instituciones de educación superior.
- Se recomienda un monitoreo y vigilancia permanente de los Sistemas de Alerta Temprana, con la finalidad de prevención y disminución de los riesgos de desastres.
- Se recomienda mantener actualizada la información relacionada a los riesgos de desastres, ya sea mediante difusiones físicas y a través de plataformas tecnológicas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcocer, V., Rodriguez, J., Bourguett, V., Llaguno, O., & Albornoz, P. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 33-55. Obtenido de Tecnología y ciencias del agua:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500033&lng=es&tlng=es
- Almario, D. (2021). *Uso de la metodología AHP (Análisis de Procesos Jerárquicos) para la zonificación de riesgos de la variante Luruaco - Arroyo de Piedra en los municipios de Luruaco y Repelón del Departamento del Atlántico*. Maestría, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia.
- Asamblea Nacional Constituyente. (20 de octubre de 2008). Constitución de la República del Ecuador. *Ley 0, Registro Oficial 449, Última modificación 13-jul-2011, Estado: Vigente*. Montecristi, Ecuador.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2010, octubre 19). Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización. *Ley 0, Registro Oficial Suplemento 303, Estado: Vigente*. Quito, Ecuador.
- Asamblea Nacional Constituyente. (30 de septiembre de 2010). Reglamento a la Ley de Seguridad Pública y del Estado. *Decreto Ejecutivo 486, Registro Oficial Suplemento 290, Última modificación: 14-jul-2017, Estado: Reformado*. Quito, Ecuador.
- Ashizawa, T., Sudo, N., & Yamamoto, H. (2022). How do floods affect the economy? An empirical analysis using Japanese flood data. *Bank of Japan Working Paper Series*, 1-40. Retrieved from
https://www.boj.or.jp/en/research/wps_rev/wps_2022/wp22e06.htm/
- Booth, B., & Mitchell, A. (2001). *Getting Started with ArcGIS*. Redlands, California, United States of America: ESRI.
- Burn, D. H., & Whitfield, P. H. (2015, Junio 02). Changes in floods and flood regimes in Canada. *Canadian Water Resources Journal*, 41(1-2), 139-150.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/07011784.2015.1026844>

- Celmi, J. (2007). *Aplicación del análisis de multi-criteria (MCA) en la planificación para la mitigación de inundaciones en la parte baja del Río Chillón*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Cuevas Ojeda, J. L., Fundora Granda, M. J., Polo González, B., Pedroso Herrera, I. I., & González Raynal, B. E. (Enero de 2006). *Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos inducidos por deslizamientos, inundaciones, lluvias y sismos, en condiciones de montaña y valles colindantes: Guamuhaya, Cuba*.
Obtenido de ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/284178834_Riesgos_Geologo-Geofisicos_y_Tecnologicos_inducidos_por_deslizamientos_inundaciones_lluvias_y_sismos_en_condiciones_de_montana_y_valles_colindantes_Guamuhaya_Cuba
- Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L., & Llorente-Isidro, M. (2008, Enero). *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Eliel Hilario, F. A. (2019). *Aplicación de evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para la localización óptima de conjuntos habitacionales: caso de estudio zona metropolitana de Toluca*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/106173/Proyecto_ECATSIG_Eliel_H_Francisco1.pdf?sequence=3
- Espín, D. (2019). *Elaboración del plan de uso y gestión del suelo PUGS del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Tisaleo*. Tisaleo, Ecuador.
- Federal Emergency Management Agency. (2022, agosto 29). *Glossary*. Retrieved from FEMA: <https://www.fema.gov/about/glossary>
- Ferrer, M., Rodríguez, J., & Estrela, T. (1995). *Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica*. Pregrado, Universidad Politécnica de Valencia, Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX, MOPTMA, Valencia, España.
- Genatios, C. (2012). *Vargas, del riesgo al desastre: Los aludes torrenciales de 1999. Gestión de riesgo; entre lo planificado y lo ejecutado*. Caracas, Venezuela: Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales.

- Genatios, C., & LaFuente, M. (2020). *Vargas: desastre, proyecto y realidad*. Caracas, Venezuela: CITECI - ANIH.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Tisaleo. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Tisaleo*. Tisaleo, Ecuador.
- Guano, J. (2018). *Estudio de factibilidad de la etapa hidrológica para la implementación de una represa en la quebrada Santa Lucía del sector San José - La Dolorosa del Cantón Tisaleo; Provincia de Tungurahua*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F: McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). *Anuario Meteorológico*. Quito, Ecuador: INAMHI.
- Kurtz, D. B., Perucca, A. R., Ybarra, D. D., Fernández López, C., Montoya, S. R., & Barrios, R. (2016). *El Fenómeno El Niño. Comparación de superficies afectadas por excesos hídricos en Corrientes*. Grupo Recursos Naturales EEA. Corrientes: INTA. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://inta.gov.ar/sites/default/files/fenomeno_el_nino_2015-2016-1.pdf
- Leocadio, T., & Pacheco, A. (2018). *Formulación de una propuesta de gestión integral del riesgo ante inundaciones y deslizamientos en el municipio de Temoaya, Estado de México*. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Llasat, M., López, L., Barnolas, M., & Llasat-Botija, M. (2008, julio 29). Flash-floods in Catalonia: the social perception in a context of changing vulnerability. *Advances in Geosciences*(17), 63-70. Retrieved from European Geosciences Union: www.adv-geosci.net/17/63/2008/
- López, A. (2022). *Análisis de la amenaza por inundación en caso de rotura de la represa Chiquiurcu, en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Machuca Breña, R. (2014). *Daños personales y materiales por inundaciones en temporada de lluvias, según las categorías El Niño costero en el norte peruano 1994-2012*. Lima: Instituto Geofísico del Perú. Obtenido de <https://resilience-inondations.net/ressources/item/danos-personales-y->

materiales-por-inundaciones-en-temporada-de-lluvias-segun-las-categorias-el-nino-costero-en-el-norte-peruano-1994-2012/

- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2014). *Levantamiento de cartografía temática. Escala 1:25.000, Lote 1*. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Tisaleo, Ecuador.
- Miranda Yáñez, D. G. (2015). *Parque lineal en las riberas de la quebrada Catequilla entre los tramos de La Dolorosa - Palahua en el Cantón de Tisaleo, provincia de Tungurahua*. Tisaleo: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8745>
- Muñoz, J., Boza, J., Moncayo, O., & Tachong, L. (2016). Propuesta de ordenamiento territorial en base al análisis multicriterio, caso Cantón Valencia, Ecuador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 1-21. Retrieved from <http://www.eumed.net/rev/caribe/2016/08/ordenamiento.html>
- Murillo, J., Gómez, N., & Apéstegui, X. (2021, Septiembre). Guía para la priorización de medidas de adaptación al cambio climático utilizando el método de análisis multicriterio. *Plan A. Territorios resilientes ante el cambio climático*.
- Norma Técnica Peruana. (1999). Manejo de residuos de la actividad de la construcción. Reciclaje de concreto de demolición. *NTP 400.053*. Lima, Perú: 1era Edición .
- Orellana Macías, J. M. (2015, Enero 12). *Evaluación de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanos mediante el uso de SIG y técnicas de evaluación multicriterio. El caso de la urbanización difusa en la Axarquía (Málaga)*. Tesis de pregrado, Universidad de Málaga, Málaga, España. Retrieved from Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga.
- Panjon, L. (2015). *Aplicación de Sistemas de Información Geográfica para la Proyección Espacial del Sistema de Distribución Eléctrica en la ciudad de Sucúa, Ecuador*. Tesis de maestría, Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Pico, E. (2014). *El agua lluvia y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de la parroquia urbana de Izamba, cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK GUIDE*. Newton Square, Pennsylvania, USA: Project Management Institute, Inc.

- Puerta, R., Rengifo, J., & Bravo, N. (2011). *ArcGIS Básico 10*. Maestría , Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Tingo Maria - Perú.
- Rivera, L., Belton, V., Scricciu, S., & Majano, A. (29 de marzo de 2013). *Análisis multicriterio de Proyectos de adaptación de la agricultura al cambio climático en Perú: el caso de la región Piura*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/307212233_Analisis_Multicriterio_de_Proyectos_de_Adaptacion_de_la_Agricultura_al_Cambio_Climatico_en_Peru_el_Caso_de_la_Region_Piura?enrichId=rgreq-a91001f620d89e0e8aaf0779cad357d0-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMw
- Saaty, R. (1987). The Analytic Hierarchy Process. *Pergamon Journals Ltd*, 9(3-5), 161-176. Retrieved from https://core.ac.uk/display/82000104?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1
- Sarría, F. (n.d.). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Servicio Nacional de Capacitación para la industria de la Construcción. (2 de julio de 2020). *Plataforma digital única del estado peruano*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Sevillano, M. (2020). Zonificación de la amenaza ante inundaciones a partir de un método de evaluación multicriterio en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. (A. Badia, Ed.) *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*(25), 47-76.
- Vaca, M. (2018). *Aplicación del Modelo de Análisis Multicriterio para la selección de técnicas de conservación de suelo y agua en la cuenca del Río Chota, al norte del Ecuador*. Tesis de maestría, Universidad Técnica del Norte. Instituto de Postgrado, Ibarra, Ecuador.
- Vázquez, R., Manrique, I., & Ramos, R. (2014, junio 27). SIG aplicado a la evaluación de vulnerabilidad por inundación en la ciudad de Tixtla, Guerrero, México. *XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*, 153-162. Retrieved from Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante: <http://hdl.handle.net/10045/46434>

Zuñiga, L. (2018, enero 5). Resiliencia urbana ante inundaciones por intensas lluvias en contribución al desarrollo urbano equilibrado. *Sistemas de Información Científica Redalyc*, XXXIX(1), 39-50. Retrieved from Sistema de Información Científica Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376858935004>