



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**MAESTRÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES CON MENCIÓN
EN MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES**

TÍTULO

**“IDENTIFICACIÓN DE ESPACIOS INUNDABLES MEDIANTE EVALUACIÓN
MULTICRITERIO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA
CUENCA DEL RÍO CHONE, PROVINCIA MANABÍ”**

AUTOR

JULIO ENRIQUE GARCIA GILER

MODALIDAD DE TITULACIÓN

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TUTOR(A):

SEGUNDO AURELIO MARIN GOMEZ

“El mundo no será destruido por quienes hacen el mal sino por quienes los observan sin hacer nada” (Albert Einstein)

DEDICATORIA

A mi novia que desde el cielo me mira

A mis padres en el cielo

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo a las personas que me han brindado su apoyo durante mi formación académica y profesional a mi tía **Julia García** y a mi suegro **Francisco Benejam** quienes no solo me han apoyado económicamente para poder alcanzar este objetivo si no que me han dado consejos y ejemplos de vida para poder desarrollarme como persona y profesional, a mi prima **Kelly Delgado** quien también en algunos pasajes de mi vida me ha ayudado de muchas manera a mi tía **Beatriz Garcia** por siempre apoyar a mi y a mi familia cuando era niño , a mi abuelita **Imelda Navia** quien siempre me inculcaba el estudio y que siempre soñaba con que fuera un gran profesional, a mis padres **Oswaldo Garcia e Isabel Giler** quienes dentro de sus límites económicos y formativos hicieron lo posible por sacarme adelante, a mis tíos maternos , **Luis Giler, Gonzalo Giler, Angela Giler e Inés Giler** quienes en algún momento de mi vida contribuyeron de muchas formas para mi formación.

Agradecer también en el campo académico y profesional a la Doctora **Scarleth Cartaya** quien sembró en mi la semilla de la ciencia y la investigación guiándome siempre en el campo académico, al **Arquitecto Jorge Franco** con quien di mis primeros pasos en el mundo profesional y con quien consolidé muchos conocimientos, al **Ing. Yulio Loor** por ayudarme a descubrir mi vocación de vida en los sistemas de información geográfica.

Y por último y lo más importante que me ha pasado en la vida agradecer a mi eterno amor **Cristina Benejam** por ayudarme a sacar el chip de pobre e insertarme el chip del progreso , gracias por inspirarme a ser cada día mejor y a no sentirme inferior ante nadie , gracias por acompañarme y darme los mejores días de mi vida mientras estuviste presente físicamente y seguir inspirándome ahora que estas en el cielo y como le decía Simón Bolívar a manuelita Saenz gracias por ser la libertadora del libertador .

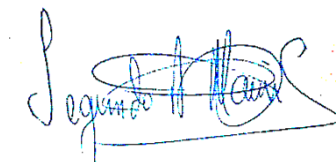
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo **SEGUNDO AURELIO MARIN GOMEZ** con **C.C 1101779104** a través de la presente informo que el contenido del trabajo final de titulación, Titulado **“IDENTIFICACIÓN DE ESPACIOS INUNDABLES MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA CUENCA DEL RÍO CHONE, PROVINCIA MANABÍ.”**, desarrollado por el egresados, aspirante a obtener el Título de magister en Recursos Naturales Renovables con mención en Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, bajo la modalidad de Proyecto de Investigación y como responsable de este trabajo de titulación doy fe del desarrollo del mismo, elaborado bajo las normas técnicas de la investigación, dándole el carácter de originalidad propia de un trabajo académico universitario.

Considero que el desarrollo contiene los elementos necesarios aplicables al caso investigado y demuestra un apropiado conocimiento del tema. El cual se lo expone con solvencia cumpliendo con los requerimientos de la guía metodológica aprobada por la Universidad.

Particular que comunico a ustedes para los fines del caso.

Atentamente,



SEGUNDO AURELIO MARIN GOMEZ

CC: 1101779104

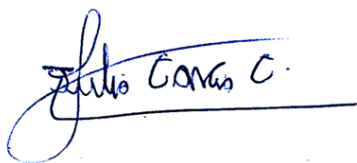
Tutor

Machala, 2024 /02/10

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Julio Enrique García Giler**, con cedula de ciudadanía **1313272534** declaro que el trabajo de **“IDENTIFICACIÓN DE ESPACIOS INUNDABLES MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA CUENCA DEL RÍO CHONE, PROVINCIA MANABÍ”**, en opción al título de Magister en Recursos Naturales Renovables con mención en Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, es original y auténtico; cuyo contenido: conceptos, definiciones, datos empíricos, criterios, comentarios y resultados son de mi exclusiva responsabilidad.

la autoría del presente trabajo, su argumentación, investigación, propuesta y criterios vertidos en este documento. Los mismos son de originalidad y es responsabilidad de la misma.



GARCIA GILER JULIO ENRIQUE
C.I:131327253-4

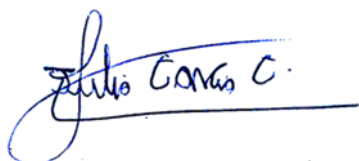
AUTOR

Machala, 2024/02/10

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, **Julio Enrique Garcia Giler** con C.C./ **1313272534**, autor del trabajo de titulación **“IDENTIFICACIÓN DE ESPACIOS INUNDABLES MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA CUENCA DEL RÍO CHONE, PROVINCIA MANABÍ”**, en opción al título de Magister en Recursos Naturales Renovables con mención en Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cede a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
 - a. Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su demostración a nivel mundial, respetando lo establecido por la Licencia *Creative Commons Attribution-NoCommercial* – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4.0); la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional.
 - b. Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndome como Autor la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de la misma.



GARCIA GILER JULIO ENRIQUE

C.I:131327253-4

AUTOR

Machala, 2024/02/10

IDENTIFICACIÓN DE ESPACIOS INUNDABLES MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA CUENCA DEL RÍO CHONE, PROVINCIA MANABÍ.

INDICE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	V
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	VI
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	VII
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	4
1.3. Pregunta de investigación.....	5
1.4. Hipótesis.....	5
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	9
2.1. Localización de área de estudio.....	9
2.2. Definición de las variables y estructuración de mapas índice.....	9
2.3. Superposición ponderada de variables y elaboración de mapas de susceptibilidad específica ponderada y final.....	12
2.4. Técnica Compensatoria Aditiva.....	13
CAPÍTULO III RESULTADOS.....	18
3.1. Asignación de peso relativo a los indicadores de las variables físicas intervinientes en el desarrollo de las inundaciones.....	18
3.2. Reclasificación de los indicadores de las variables a 5 categorías de susceptibilidad.....	25
3.3. Mapa de susceptibilidad final.....	32
3.4. Validación de datos.....	34
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....	36
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	41

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES.....	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de localización del área de estudio. Cuenca hidrográfica del río Chone.	9
Figura 2 Mapas de susceptibilidad específica de la variable permeabilidad. ...	27
Figura 3 Mapa de susceptibilidad específica de la variable permeabilidad.....	28
Figura 4 Mapas de susceptibilidad específica de la variable geofoma.	30
Figura 5 Mapas de susceptibilidad específica de la variable Talla de los materiales.	32
Figura 6 Mapa de susceptibilidad final	33
Figura 7 Mapa de validación de datos.....	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables e indicadores que intervienen en el desarrollo de la susceptibilidad a las inundaciones.	10
Tabla 2 Matriz de comparación del método de jerarquías analíticas.	13
Tabla 3 Escala de valoración para estimar el coeficiente a asignarle a cada una de las variables consideradas en la matriz de jerarquías analíticas, modificado de Saaty (1990).	14
Tabla 4 Índice aleatorio (ri).....	15
Tabla 5 Categorías de susceptibilidad a las inundaciones.	16
Tabla 6 Matriz de Comparación del Método de las Jerarquías Analíticas para la variable pendiente.....	20
Tabla 7 Matriz de Comparación del Método de las Jerarquías Analíticas para la variable Permeabilidad.....	21
Tabla 8 Matriz de Comparación del Método de las Jerarquías Analíticas para la variable Geofoma.....	22

Tabla 9 Matriz de Comparación del Método de las Jerarquías Analíticas para la variable Talla de los Materiales.	23
Tabla 10 Estadísticos de los pesos relativos de los indicadores de las variables	25
Tabla 11 Rangos de cinco categorías de susceptibilidad para las variables. ..	25
Tabla 12 Reclasificación de la variable permeabilidad	26
Tabla 13 Reclasificación de la variable pendiente	28
Tabla 14 Reclasificación de la variable geoforma.	29
Tabla 15 Reclasificación de la variable geoforma	31
Tabla 16 Extensión de las categorías de susceptibilidades	32

RESUMEN

La investigación trata sobre Identificación de espacios inundables mediante evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica en la cuenca del río Chone, provincia Manabí. En el que se establecen zonas susceptibles a inundaciones, se realizó mediante el uso de geotecnologías, la principal herramienta para el procesamiento y análisis de la información fue el programa ArcGIS 10.4.2; así como la cartografía digital oficial. La investigación inició con la selección de las variables considerando los aspectos que se relacionan con el medio físico, su importancia en el desarrollo del fenómeno y la disponibilidad de información cartográfica digital oficial (shapefile) para el área de estudio. Las variables seleccionadas fueron: pendiente del terreno, permeabilidad, geoforma, talla de los materiales, con los cuales se elaboraron los mapas índices bajo la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), georreferenciada al datum WGS84 zona 17S, para la superposición de las variables, se adjudicó un peso relativo a cada indicador para así obtener el mapa de susceptibilidad específica ponderada. Tanto a las variables como a los indicadores se les asignaron valores relativos a la técnica compensatoria aditiva la cual está basada en el Método de las Jerarquías Analíticas de la Evaluación Multicriterio, el cual propone el uso de una matriz de contraste entre pares, en donde el número de filas y columnas estará determinado por las variables o indicadores a ponderar; las cuales se compararon para definir si una tiene mayor peso que la otra (a_{ij}), para luego pasar a determinar el eigenvector el cual es el vector principal estableciendo los pesos (w_j) y el eigenvalor que crea una medida cuantitativa de la correspondencia de los juicios de valor entre pares de variables o indicadores.

Los mapas de susceptibilidad se obtuvieron a partir de la reclasificación previa de los indicadores.

Finalmente, se procedió a crear el mapa de susceptibilidad final una vez asignados los pesos relativos a juicio de expertos mediante el diseño de un algoritmo modificado el mismo que permitió determinar que las áreas más susceptibles a inundaciones están localizadas en la transición entre cuenca media y baja.

PALABRAS CLAVE: Geotecnologías, Evaluación Multicriterio, ArcGIS.

ABSTRACT

This research work deals with the multi-criteria evaluation and geographic information systems for the identification of floodplains in the Chone river basin, Manabí province, in which zones susceptible to flooding are established. This study was carried out using geotechnologies, the ArcGIS 10.4.2 program was used as the main tools for the processing and analysis of the information; as well as the official cartography. The methodology began with the selection of the variables considering all the aspects that can be related to the physical environment, their importance in the development of the phenomenon and the availability of official digital cartographic information (shapefile) for the study area. The variables chosen were: slope of the terrain, permeability, geoform, size of the materials with which the index maps were elaborated under the Universal Transverse Mercator projection (UTM), georeferenced to the WGS84 datum for zone 17S, then for the superposition of variables, a relative weight was assigned to each variable indicator in order to obtain the weighted specific susceptibility map. Both the variables and the indicators were assigned relative values according to their importance using the additive compensatory technique which is based on the Method of Analytical Hierarchies of Multicriteria Evaluation, this method proposes the use of a contrast matrix between pairs, where the number of rows and columns will be determined by the variables or indicators to be weighted; which will be compared to define if one has greater weight than the other (a_{ij}), and then proceed to determine the eigenvector which is the main vector establishing the weights (w_j) and the eigenvalue that creates a quantitative measure of the correspondence of the value judgments between pairs of variables or indicators. The susceptibility maps were obtained from the previous reclassification of the indicators. At the end of the previous stage, the final susceptibility map was created once the relative weights had been assigned according to expert judgment, a modified algorithm was designed.

KEY WORDS: Geotechnologies, Multicriteria Assessment, ArcGIS.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones han venido causando afectaciones en la zona de trabajo, con perjuicios a la producción y pérdidas humanas, de ahí la vital importancia de que se tengan claras cuáles son las zonas inundables para preparar planes de contingencias, las cuáles ayudarán a controlar las pérdidas.

Para lograr esto, es necesario un estricto trabajo técnico en el que no sólo deben participar las autoridades sino también la sociedad civil, no sirve de mucho que se realicen estudios si los habitantes no cumplen la normativa.

En este sentido Díaz y Delgado (2001), manifestaron que las inundaciones no previstas y de gran intensidad constituyen un riesgo natural frecuente que, en general, resultan ser muy costosas en términos de pérdidas económicas y en algunos casos de pérdidas de vidas humanas.

Chone se ha visto afectado en el transcurso de tiempo debido a sus inundaciones que se dan en los meses de invierno, y sus intensas lluvias que provocan desbordamiento en los ríos afectando a la población, cultivos y pérdidas económicas y humanas.

Las afectaciones causadas por inundaciones presentan una elevada recurrencia en los últimos años en el cantón, las precipitaciones aumentan en las épocas de invierno sobrepasando los 421mm al año, obteniendo como resultado el incremento de los caudales en los ríos Garrapata, Río Grande y Mosquito que afectan, principalmente, a la cabecera urbana con desbordamientos y grandes pérdidas económicas al sector agrícola y ganadero (ESPOL, 2013).

Según Vásquez *et al.* (2005), Chone se encuentra ubicada en un área inundable, lo que le imprime una alta vulnerabilidad, cuyas consecuencias guardan relación directa con la magnitud de los fenómenos naturales, la dinámica de la cuenca, el tamaño y la localización de la población.

Chone no cuenta con estudios de zonas susceptibles a inundaciones que puedan ayudar a la población y los GAD competentes, de ahí la necesidad de elaborar mapas temáticos que representen zonas vulnerables a inundaciones, que sirvan como antecedente para prevenir desastres, partiendo de un diagnóstico que permita elaborar planes de contingencia.

Los datos del sistema de información geográfica y la evaluación multicriterio permitieron generar los mapas temáticos donde se detallaron los espacios susceptibles a inundaciones agregándole porcentaje de importancia a las variables que decidirán los expertos en este tema.

1.1. Planteamiento del problema

En la parte occidental de Ecuador las lluvias están concentradas entre los meses de febrero y mayo, en los cuales muchas poblaciones del país se ven afectadas por inundaciones, a su vez, durante estos meses la corriente cálida de "El Niño" rebasa la corriente fría de Humboldt hacia el sur con fuertes lluvias, la comparecencia del Fenómeno de "El Niño" hace que se presenten precipitaciones extraordinariamente fuertes, las mismas que pueden extenderse por varios meses, generando graves inundaciones en las zonas bajas de la región costanera ecuatoriana (Cadier *et. al*, 2011), dejando cuantiosos quebrantos económicos debido a que la mayor parte de estas áreas son zonas agrícolas (Vásquez, *et. al*, 2005).

El cantón Chone a lo largo de los años se ha venido inundando en época lluviosa debido a la incidencia directa de las corrientes del niño el cual también ha sido un problema en todo el litoral ecuatoriano, según Aroca *et. al*. (2016), también acentúa el problema, la cantidad de ríos que lo atraviesan, muchos de ellos cercanos al perímetro urbano y según los mismos autores, el comportamiento hidrológico de los ríos está en convergencia con el régimen pluviométrico de la zona, ya que en épocas de grandes precipitaciones los ríos aumentan su caudal y producen daños a los sectores que se encuentran asentados cerca de sus orillas.

A pesar de que el problema de inundación se trató de mitigar con la construcción del proyecto multipropósito Chone, este cantón se sigue inundando y no porque este proyecto no cumpla su finalidad, sino, que hay otro factor que está influenciando el cual es el deficiente sistema de alcantarillado que tiene la ciudad, el mismo está totalmente colapsado, Según Hidalgo y Boelens (2018), con la construcción e implementación del megaproyecto hídrico, Chone ha sido legitimada como medio para promover el desarrollo de la ciudad, pero ha inundado y transformado territorios rurales campesinos de manera continua, lo cual puede generar que el comportamiento ante inundaciones en estas áreas sea muy diferente agravando el problema en vez de mitigarlo.

Esta investigación adquiere una relevancia significativa al identificar con precisión las zonas más propensas a inundaciones en la cuenca del río Chone, para prevenir futuros desastres ambientales y que las entidades responsables de estas áreas puedan realizar planes de contingencia para posibles impactos y que las comunidades locales de estas áreas, estén informadas para prevenir, por estas razones es de suma importancia la identificación de espacios inundables en la cuenca del río Chone.

Este trabajo se lo realizó con el fin de generar información vital para posibles investigaciones y planes de manejos, que garanticen una mayor seguridad para moradores cercanos a estas áreas relacionadas a esta problemática ya que se carece de información actualizada.

Para llegar a ese cometido, fue necesario recopilar información geográfica e histórica para una buena clarificación de los datos y generar cartografía adecuada, basándose en criterios bien definidos, y que responden a la necesidad de la propuesta planteada en este trabajo.

1.2. Justificación

Desde siempre las inundaciones han sido uno de los problemas que han causado grandes afectaciones como pérdida agrícola, desastres en viviendas y en muchos casos pérdidas de vida humana.

De ahí la gran importancia de este trabajo que aportará información útil para futuras investigaciones y también ayudará a identificar cuáles son las áreas con mayores riesgos a inundaciones por medio de mapas temáticos.

La problemática de las inundaciones de la cuenca del río Chone requiere de una investigación profunda para poder establecer su afectación de inundación provocada por las grandes precipitaciones de esta zona.

Es indispensable realizar un análisis de la geoforma, pendiente y permeabilidad existente en esta cuenca hidrográfica mediante la implementación de mapas susceptibles a inundaciones.

Los sistemas de información geográficos y evaluación multicriterio son fundamental para los estudios de riesgos naturales y otros temas vinculados con la problemática del suelo, de esta manera se pueden proponer alternativas para que el manejo de la cubierta vegetal sea más eficiente para la protección del suelo contra las inundaciones.

Esta investigación busca determinar cuáles son las zonas más expuestas a inundaciones por las cuatro variables seleccionadas específicamente para este trabajo las cuales son pendiente, permeabilidad, geoforma y talla de los materiales, y así, de esta manera que la información generada sea utilizada para encontrar soluciones que ayuden a disminuir el impacto sobre el recurso suelo de forma directa e indirecta sobre el proceso de sedimentación y riesgo de inundación.

1.3. Pregunta de investigación

1. ¿Cuáles son las zonas de la cuenca del río Chone susceptibles a inundación en la época lluviosa?
2. ¿Cuáles son las variables físico-naturales que tienen mayor intervención en las inundaciones de la cuenca del río Chone?

1.4. Hipótesis

Las zonas susceptibles a inundaciones en la cuenca del río Chone, determinadas mediante Análisis Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica, son las más cercanas a los ríos principales, donde inciden directamente variables como pendiente del terreno suave, baja permeabilidad y drenaje, depósitos cuaternarios y formaciones geológicas con materiales sedimentarios de grano fino, suelos con textura fina, cobertura vegetal rala, y sobreuso del suelo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Zonificar espacios inundables en la cuenca del río Chone mediante Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Determinar los pesos ponderados y la jerarquización de las variables que intervienen en el desarrollo de las inundaciones.
2. Identificar las áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Chone.

1.6. Marco conceptual

La identificación de espacios inundables es un aspecto crucial en la gestión de riesgos y planificación territorial. El uso de técnicas avanzadas como la evaluación multicriterio (EMC) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha revolucionado este campo, proporcionando herramientas robustas para la toma de decisiones informadas. Este marco conceptual explora las bases teóricas y metodológicas de la EMC y los SIG en la identificación de áreas susceptibles a inundaciones, centrándose en la cuenca del río Chone, en la provincia de Manabí.

Evaluación Multicriterio (EMC)

La evaluación multicriterio es una metodología que permite considerar múltiples factores y criterios en la toma de decisiones. Según Malczewski y Rinner (2015), la EMC es esencial en contextos donde se deben integrar diferentes tipos de información y preferencias para resolver problemas complejos. En el ámbito de la gestión de riesgos, la EMC facilita la identificación de áreas de riesgo mediante la ponderación de factores como la topografía, uso del suelo, hidrología y vulnerabilidad social.

Principios de la EMC

La EMC se basa en la selección y ponderación de criterios relevantes para la evaluación. Estos criterios pueden ser cualitativos o cuantitativos y deben reflejar aspectos cruciales del problema en estudio. De acuerdo con Roy (2016), el proceso de EMC generalmente incluye las siguientes etapas:

1. Definición del problema y objetivos.
2. Selección de criterios.
3. Asignación de pesos a los criterios.
4. Evaluación de alternativas.
5. Integración y análisis de resultados.

La correcta definición y ponderación de estos criterios son esenciales para obtener resultados fiables y útiles para la planificación y gestión del territorio.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG son herramientas poderosas para la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos geospaciales. Como señala Longley et al. (2015), los SIG permiten integrar y analizar grandes volúmenes de datos provenientes de diversas fuentes, lo cual es fundamental para la evaluación de riesgos de inundación. En el caso de la cuenca del río Chone, los SIG pueden manejar información sobre la topografía, precipitación, cobertura del suelo y datos históricos de inundaciones, proporcionando una plataforma integral para el análisis espacial.

Funcionalidades de los SIG en la Identificación de Espacios Inundables

Las funcionalidades clave de los SIG en este contexto incluyen:

- **Análisis de Terreno:** Mediante el uso de modelos digitales de elevación (MDE), los SIG permiten identificar zonas bajas y susceptibles a acumulaciones de agua.
- **Modelado Hidrológico:** Los SIG pueden simular flujos de agua y su comportamiento ante diferentes escenarios de precipitación, facilitando la identificación de áreas potencialmente inundables (Chen et al., 2016).
- **Integración de Datos Multitemporales:** Los SIG permiten el análisis de series temporales de datos, ayudando a entender las tendencias y patrones de inundación a lo largo del tiempo.

Aplicación de EMC y SIG en la Cuenca del Río Chone

Características de la Cuenca del Río Chone

La cuenca del río Chone, situada en la provincia de Manabí, Ecuador, es una región que frecuentemente enfrenta problemas de inundación debido a su topografía y régimen de precipitaciones. Según un estudio de Zambrano-Barragán et al. (2019), las inundaciones en esta área son exacerbadas por factores antropogénicos como la deforestación y el uso inadecuado del suelo.

Implementación de EMC y SIG

La integración de EMC y SIG en la cuenca del río Chone implica los siguientes pasos:

1. **Recolección de Datos:** Datos topográficos, hidrológicos, de uso del suelo y socioeconómicos son recolectados y almacenados en un SIG.
2. **Definición de Criterios:** Basado en estudios previos y consultas con expertos locales, se definen criterios relevantes para la evaluación de riesgos de inundación (e.g., pendiente, distancia a cuerpos de agua, tipo de suelo).
3. **Asignación de Pesos:** Utilizando técnicas como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), se asignan pesos a los criterios seleccionados (Saaty, 2017).
4. **Análisis Multicriterio:** Se aplican métodos de EMC dentro del entorno SIG para evaluar la susceptibilidad a inundaciones.
5. **Generación de Mapas de Riesgo:** Los resultados del análisis son visualizados en mapas temáticos que identifican las áreas con mayor riesgo de inundación.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Localización de área de estudio

La cuenca del río Chone está comprendida entre las coordenadas:

0°27'20.14 y 1°4'15.04"S,

79°52'11.79" y 80°27'14.23"W

Cubre un área de aproximadamente 2.267 Km² (figura 1). Limita al norte con las cuencas del río Briseño y río Jama, al sur con las cuencas del río Portoviejo y río Guayas, al este con el océano Pacífico, la cuenca del estero Pajonal y al oeste con la cuenca del río Guayas, la cuenca del río Chone abarca los cantones de, Sucre, Chone, Flavio Alfaro, Portoviejo, Pichincha, Junín, Rocafuerte, Bolívar y Tosagua.

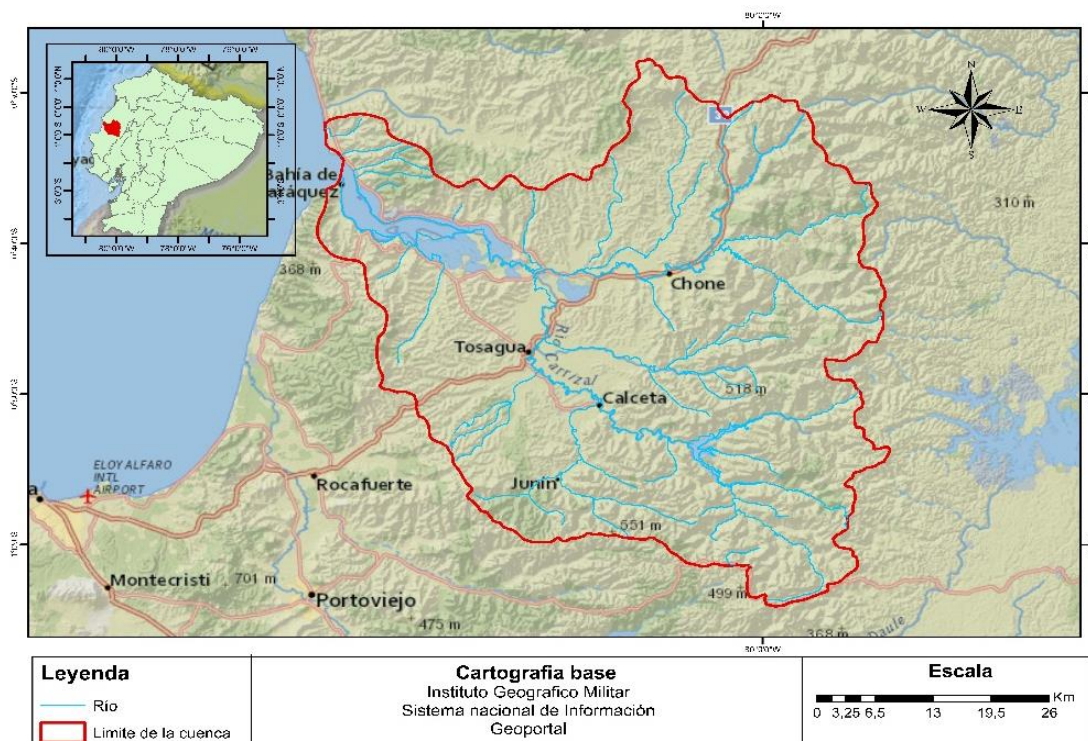


Figura 1 Mapa de localización del área de estudio. Cuenca hidrográfica del río Chone.

Nota : Elaboración propia.

2.2. Definición de las variables y estructuración de mapas índice

La definición de variables se fundamentó en los estudios realizados por Montecelose et al. (2011), Pedrosa et al. (2014), Lixinski et al. (2016), Ozkan y Tarhan (2016) y Rincón et al. (2018), la selección de las

variables se realizó considerando todos los aspectos que pueden relacionarse con el medio físico, su importancia en el desarrollo del fenómeno y la disponibilidad de información cartográfica digital oficial (shapefile) para el área de estudio. Las variables escogidas fueron: 1) pendiente del terreno, 2) permeabilidad, 3) geoforma, 4) talla de los materiales (tabla 1).

Las variables elegidas incluyeron pendiente del terreno, permeabilidad, geoforma y talla de los materiales, se asignó un peso relativo a cada indicador de las variables mediante el uso de la técnica compensatoria aditiva basada en el Método de las Jerarquías Analíticas de la Evaluación Multicriterio, esto implicó la comparación de pares de variables para determinar su importancia relativa.

Los mapas de susceptibilidad se obtuvieron mediante la reclasificación de los indicadores, considerando los pesos relativos asignados a cada variable, se creó un mapa de susceptibilidad final al asignar los pesos relativos según el juicio de expertos, este mapa reveló que las áreas más susceptibles a inundaciones se encuentran en la transición entre la cuenca media y baja del río Chone.

Tabla 1. Variables e indicadores que intervienen en el desarrollo de la susceptibilidad a las inundaciones.

Variable	Indicador	Escala	Fuente
Pendiente	0 -a 3% Plano 3,1a7% Ligeramente inclinada 7,1-12% Moderadamente inclinada 12,1-25% Fuertemente inclinada 25,1-50% Ligeramente empinada 50,1-75% Moderadamente empinada 75,1-100% Fuertemente empinada	1:25.000	IGM
Pemeabilidad	Muy Baja Baja Media Alta	1:25.000	IGM
Geoforma	Terraza y cauce actual Valle fluvial Garganta Relieve ondulado Relieve colinado Relieve tipo mesa Frente y superficie chevron Estuario Depósitos coluvio aluviales	1:25.000	IGM

	superficie disectada de cuesta Vertiente de mesa		
Talla de los materiales	Arenas finas, limos y arcillas con presencia de grava, clastos y grava redondeada Depósitos limo arcillosos y arenas de grano fino a medio con intercalaciones de grava fina Arenisca de grano fino a grueso con conglomerado de clastos volcánicos y presencia de fósiles localmente conglomerados. Lutitas con presencia de yeso y fósiles. Limonitas con intercalación de arenisca y lutitas de grano fino a medio. Bloques y grava con presencia de limo y arena de grano fino a grueso. Arenisca amarillenta de grano fino a grueso con presencia de fósiles y clastos volcánicos. Arenisca arcillosa de grano fino a medio Arenisca limosa blanquecina, blanquecinas y grises de grano fino a medio.	1:25.000	IGM

Nota: elaboración propia.

Los rangos de pendiente se definieron según su influencia en las inundaciones, estos fueron:

suave (< 5 %),

moderada (5,1- 25 %),

fuerte (25,1 – 40 %) y

muy fuerte (> 40%).

El rango de la pendiente se definió con relación a las características del área de estudio teniendo en cuenta la clasificación propuesta por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el año 2005, antes de proceder a la obtención de estas capas, se necesitará una separación estratégica, y que aporten a la resolución de la problemática establecida.

La información de las variables, pendiente, geoforma, talla de los materiales y permeabilidad se extrajeron de la capa (shapefile) (fuente, con escala) , así como los criterios para sus indicadores. Las capas están definidas y clasificadas, se

elaboraron los mapas índices en el cual cada uno de ellos representará a una variable con sus criterios, todos los mapas elaborados se presentaron en formato vectorial, bajo la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), georreferenciada al datum WGS84 para la zona 17S.

2.3. Superposición ponderada de variables y elaboración de mapas de susceptibilidad específica ponderada y final.

La superposición ponderada de variables es un conjunto de geo procesos que consiste en substraer datos de diferentes variables en capas digitales en formato ráster, cuyo fin es la superposición, celda a celda, para obtener una capa diferente del mismo espacio geográfico a ser analizado (Ordoñez y Martínez-Alegría, 2003; Huisman y de By, 2009; Pérez *et al.*, (2015), Gómez, *et al.* (2018); Liendro Moncada y Ojeda, 2018; Iturralde, 2018).

La superposición ponderada tiene la cualidad de estandarizar o normalizar los datos. Esta estandarización parte de la lógica fuzzy que permite romper con las clasificaciones rígidas ya que cada píxel se clasifica en cuanto al nivel que tiene entre los extremos de mínimo y máximo riesgo, creando una escala continua para cada variable considerada (Celemín, 2014), durante la ejecución, primero se requiere adjudicar un peso relativo a cada indicador de las variables y así obtener el mapa de susceptibilidad específica ponderada.

La superposición ponderada de variables reúne varias capas individuales para componer un pronóstico más cercano a la realidad, la finalidad de esta metodología es cuantificar los escenarios más semejantes, que en primeras instancias se considerarían como criterios distintos entre sí, pero al momento de compaginarlas, responderá a la problemática estudiada, por este motivo, es importante estructurar una secuencia de ejecuciones claras, e ignorar variables que no se vinculen o relacionen sus características al compendio general, ya que sería un desperdicio de recursos, además de influir negativamente al momento de explicar e interpretar los mapas de susceptibilidades, los cuales deberán ser fácilmente entendibles, y contendrán toda la información que se requiera para su

posterior interpretación, es tan importante tener presente las variables a trabajar y que persigan el objetivo del planteamiento propuesto originalmente.

2.4. Técnica Compensatoria Aditiva

La técnica compensatoria aditiva consiste en asignarle tanto a las variables e indicadores, valores relativos de acuerdo con su importancia utilizando la técnica compensatoria aditiva la cual está basada en el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) o Analytic Hierarchy Process (AHP) de Saaty (1990; 2008) de la Evaluación Multicriterio (EMC) (Gómez y Barredo, 2005), este método propone el uso de una matriz de contraste entre pares, en donde el número de filas y columnas estará determinado por las variables o indicadores a ponderar; las cuales se compararán para definir si una tiene mayor peso que la otra (a_{ij}), para luego pasar a determinar el eigenvector el cual es el vector principal estableciendo los pesos (w_j) y el eigenvalor que crea una medida cuantitativa de la correspondencia de los juicios de valor entre pares de variables o indicadores (tabla 2). A esta matriz se establece en cada casilla un juicio de valor (a_{xj}), que simboliza la importancia relativa de cada una de las variables o indicadores; en este caso los componentes de la columna principal (x) tienen prioridad sobre los principales de la fila (j), para lo cual se utiliza una escala del 1 al 4 en nivel de primacía entre las variables x y j (Saaty, 1990; Gómez y Barredo, 2005) (tabla 2).

Tabla 2. Matriz de comparación del método de jerarquías analíticas.

(x)	(j)					Σx_j Eigenvector principal	$\Sigma x_j/n$ Eigenvector (* Principal normalizado	$\Sigma(\Sigma x_j/n) / \Sigma x_j/n$ Eigenvector Peso Relativo	Peso Relativo (%)
		1,00							
			1,00						
				1,00					
					1,00				
						$\Sigma(\Sigma x_j/n)=$			

Fuente: Saaty, 1990 y Gómez y Barredo, 2005.

La tabla es parte de un análisis y muestra cómo se están comparando los elementos (x) con los criterios (j) y cómo se están calculando los pesos relativos

para ayudar en la toma de decisiones basada en esos criterios, los cálculos específicos y la interpretación de los resultados dependen del contexto y los valores reales proporcionados en la (tabla 2).

Tabla 2. Escala de valoración para estimar el coeficiente a asignarle a cada una de las variables consideradas en la matriz de jerarquías analíticas, modificado de Saaty (1990).

Importancia	Definición	Descripción
1	Igual preferencia	Los dos variables o unidades (x, j) contribuyen de igual manera
2	Moderada preferencia	Favorece ligeramente a la variable o unidad (x) sobre el (j)
3	Fuerte preferencia	Dominancia de la variable o unidad (x) sobre el (j)
4	Absoluta preferencia	Supremacía de la variable o unidad (x)

Estas matrices están basadas en el criterio de, en donde asignaban en cada celda un juicio de valor que representa la preferencia relativa de cada variable o indicadores (en la columna principal “x” con otros de la fila principal “j”); en la matriz se produce un efecto recíproco, porque los valores asignados a ambos lados de la diagonal son inversos, por lo que la asignación de juicios de valor se reduce a la diagonal mitad inferior izquierda (Gómez y Barredo, 2005).

Por lo tanto, las matrices mostrarán la información asignada, en el trasfondo que se necesita interpretar, a su vez, también cumplen de delegar valores cuantificables, a las variables consignadas para efectuar su planteamiento, que persigue el de conceptualizar con los indicadores propuestos, y tomar una connotación más valorativa y destacable.

Teniendo las matrices caracterizadas , se les asigno los debidos juicios a las variables e indicadores , obteniéndolos al realizarse cálculos aritméticos para proporcionar sus pesos (w_j) a la variable y a sus indicadores, como el cálculo del autovector (eigenvector principal), el cual representa el orden de prioridad de los factores y el eigenvector máximo ($\lambda_{\text{máx}}$), que es una medida de consistencia. El

eigenvector principal es normalizado, para obtener el vector de prioridades (Gómez y Barredo, 2005).

Finalmente, se determinó la consistencia (cr) de los datos, la cual es el cociente entre el valor del índice de consistencia (ci) y el índice aleatorio (ri) (tabla 4); si los valores de consistencia (cr) son mayores o iguales a 0,10, los juicios deben ser revisados, ya que no son suficientemente consistentes para establecer peso (wj), si por el contrario el ci es menor a 0,10 se considera perfectamente consistente (Gómez y Barredo, 2005), para este procedimiento se trabajó con la siguiente ecuación:

$$Cr = \frac{ci}{ri}$$

Donde:

cr (consistency ratio): consistencia ci (consistency index): índice de consistencia
ri (radom index): índice aleatorio.

Cuando: cr < 0,1 es consistente cr > 0,1 es inconsistente cr = 0 es perfectamente consistente.

Se empleó esta ecuación con el propósito de caracterizar las variables planteadas, para obtener un valor concluyente y significativo.

$$Ci = \lambda_{\text{máx}} - \frac{n}{n - 1}$$

Donde:

$\lambda_{\text{máx}}$: producto del total del eigenvector principal normalizado x la matriz de comparación de factores n: número de factores de la matriz de comparación (tabla 4).

Tabla 4. Índice aleatorio (ri).

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio (ri)	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Fuente: Saaty y Tran (2007).

Una vez verificada la coherencia de los datos de las matrices de jerarquías, se calcularon datos estadísticos básicos, los mismos que para decidir la magnitud de los intervalos los cuales fueron usados en la reclasificación de los eigenvector normalizados en cinco categorías de susceptibilidad como muestra a continuación la tabla 5.

Tabla 3. Categorías de susceptibilidad a las inundaciones.

Valor	Categoría de susceptibilidad	Color
1	Baja	Verde fuerte
2	Media	Amarillo
3	Alta	Naranja
4	Muy bajo	Verde claro
5	Muy alto	Rojo

Nota: Elaboración propia

Los mapas de susceptibilidad se obtuvieron a partir de la reclasificación previa de los indicadores, en este procedimiento, se trabajó como propuso Celemín, (2014), con capas de formato ráster en el cual se permite que cada capa que sean sujetas a procesos matemáticos.

Previamente, antes de constituirse del mapa explicativo general de la susceptibilidad, es imperativo la valoración de los datos que se obtendrán en los cálculos, siendo necesario filtrar variables que no tengan un peso válido en la esquematización del mapa de la susceptibilidad de las inundaciones, y mucho menos se debe ignorar atributos que sean críticos para la proyección y aproximación realista de la situación actual, debido a que pueden proporcionar una mayor relevancia al momento de componer el mapa de susceptibilidad final

Al finalizar con la etapa anterior, se creó el mapa de susceptibilidad final, una vez asignados los pesos relativos a juicio de expertos, se diseñó un algoritmo modificado, basado en el trabajo de Sánchez et al. (2002), el cual se

operacionalizará mediante el cálculo ráster, adicionando el peso relativo por la susceptibilidad de cada variable y el resultado final se dividió para el número total de asignaciones planteadas, después de aquella fase, se entrará en su procesamiento valorativo, para especificar su propósito en la resolución de la problemática, y tratarse como una proyección que dará las herramientas necesarias para entender los efectos que causan las inundaciones a las poblaciones adyacentes al río Chone.

Una vez procesados todos los datos estos fueron verificados y validados con visitas de campo para de esa forma evitar cualquier tipo de error que pueda afectar el resultado final.

CAPÍTULO III RESULTADOS

3.1. Asignación de peso relativo a los indicadores de las variables físicas intervinientes en el desarrollo de las inundaciones.

Se empleó el uso de geo tecnologías y el software ArcGIS 10.4.2 como la principal herramienta de procesamiento y análisis de información, junto con cartografía digital oficial, se seleccionaron variables relacionadas con el medio físico, considerando aspectos relevantes para el desarrollo de inundaciones y la disponibilidad de información cartográfica digital oficial.

La geo tecnologías son fundamentales para comprender y abordar los riesgos de inundación en la cuenca del río Chone y pueden servir como base para la toma de decisiones en la gestión de desastres y la planificación del uso de la tierra en la región de Manabí.

El método de jerarquías analíticas permitió categorizar tanto las variables como cada uno de sus indicadores permitiendo establecer según los juicios de expertos cual variable tiene preponderancia sobre la otra, lo cual fue de mucha importancia para la elaboración de los mapas finales y clave para determinar las áreas más susceptibles a inundaciones en la cuenca del río Chone.

En cuanto a la ponderación de la variable pendiente (tabla 6), los indicadores que tuvieron mayor preponderancia fueron plana 0-2 % y muy suave 2.1 -5% a las que se les dio un peso ponderado de 4, lo que según el método aplicado estos dos indicadores tendrían absoluta preferencia sobre los demás, es decir; entre menor porcentaje de pendiente mayor susceptibilidad a inundaciones. Para la variable de los cálculos de consistencia (cr) se obtuvo un valor de 0,09 y según la metodología utilizada para este trabajo los resultados obtenidos en la matriz de contraste, es consistente.

Para el caso de la variable permeabilidad (tabla 7), los indicadores a los que se les asignó fueron muy baja y baja, ya que entre menor permeabilidad mayor riesgo de inundación, aquí se les asignaron pesos relativos de tres y cuatro dependiendo el caso, lo cual indica que estos indicadores tienen una fuerte y absoluta preferencia sobre los demás.

En cuanto a la consistencia de la matriz de contraste, se obtuvo un valor de 0,01 por lo que los resultados son consistentes y muy cercana a valorarse como perfectamente consistente, por lo que se puede ratificar que las áreas donde se encuentran las subvariables con mayor ponderación efectivamente son áreas más susceptibles a inundaciones.

La ponderación en el caso de la variable geoforma fue de cuatro para los indicadores terraza y cauce actual, Valle Fluvial y gargantas (tabla 8), teniendo una absoluta preferencia sobre los demás indicadores, por lo que estas formaciones geológicas son mucho más vulnerables a procesos de inundación que las demás, la matriz de contraste para esta variable tuvo un valor de 0,07 por lo que es consistente y concordante con las ponderaciones asignadas.

Para el caso la variable tallas de los materiales, los expertos determinaron que las que tienen mayor preponderancia fueron arenas finas limos y arcillas con presencia de grava, grava redondeada y clastos volcánicos teniendo una absoluta preferencia en cuanto a los demás es decir las áreas con ese tamaño de material van a hacer en teoría más susceptibles que las otras, según los datos, una vez calculada la consistencia cuyos resultados fueron de 0,083 esta matriz de contraste es consistente con la ponderación asignada.

Tabla 4. Matriz de Comparación del Método de las Jerarquías Analíticas para la variable pendiente.

xj	Plano 0-2 %	Muy suave entre 2.1 y 5%	suave entre 5.1 y 12 %	Media entre 12.1-25 %	Media a fuerte 25.1-40 %	Fuerte 40.1-70 %	Muy fuerte 70.1-100 %	escarpada entre 100.1 y 150 %	Eigivector principal £ xj	Eigivector Principal normalizado £ xj/n	Multiplicación entre matrices	λ máx	£ (£ xj/n) /£ xj/n	%
Plano 0-2 %	1	4	4	4	4	4	4	4	29	3,63	39,88	11,00	0,29	28,57143
Muy suave entre 2.1 y 5%	0,25	1	4	4	4	4	4	4	25,25	3,16	27,69	8,77	0,25	24,87685
suave entre 5.1 y 12 %	1	0,25	1	2	2	2	2	2	12,25	1,53	14,70	9,60	0,12	12,06897
Media entre 12.1-25 %	0,25	0,25	0,5	1	2	2	2	2	10	1,25	9,96	7,97	0,10	9,852217
Media a fuerte 25.1-40 %	0,25	0,25	0,5	0,5	1	2	2	2	8,5	1,06	8,27	7,79	0,08	8,374384
Fuerte 40.1-70 %	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	1	2	2	7	0,88	6,87	7,85	0,07	6,896552
Muy fuerte 70.1-100 %	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1	2	5,5	0,69	5,74	8,35	0,05	5,418719
escarpada entre 100.1 y 150 %	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	4	0,50	4,90	9,80	0,04	3,940887
									£ (£ xj/n)	12,69		8,89	1	100

Tabla 5. Matriz de Comparación del Método de las Jerarquías Analíticas para la variable Permeabilidad

x_j	Muy baja	Baja	Media	Alta	Eigenvector principal λx_j	Eigenvector Principal normalizado $\lambda x_j/n$	Multiplicación entre matrices	$\lambda_{\text{máx}}$	$\lambda(\lambda x_j/n)/\lambda x_j/n$	%
Muy baja	1	2	3	4	10	2,5	10,70	4,28	0,4	44,6
Baja	0,5	1	2	3	6,5	1,6	6,35	3,91	0,3	29,0
Media	0,33	0,5	1	2	3,83	1,0	3,64	3,80	0,2	17,1
Alta	0,25	0,33	0,5	1	2,08	0,5	2,16	4,15	0,1	9,3
					$\lambda(\lambda x_j/n)$	5,6		4,03	1	100

Tabla 6 .Matriz de Comparación del Método de las Jerarquías Analíticas para la variable Geoforma.

Xj	Terraza y cauce actual	Valle fluvial	Garganta	Relieve ondulado	Relieve colinado	Relieve tipo mesa	Frente y superficie chevron	Estuario	Depósitos coluvio aluviales	superficie disectada de cuesta	Vertiente de mesa	Eigenvector principal	Eigenvector principal normalizado	Mult. entre	$\lambda_{\text{máx}}$	$\frac{\lambda(\lambda_{xj/n})}{\lambda_{xj/n}}$	%
Terraza y cauce actual	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	41	4,1	65,2	15,90	0,21	21,16
Valle fluvial	0,25	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	37,25	3,73	51,0	13,68	0,19	19,23
Garganta	0,25	0,25	1	4	4	4	4	4	4	4	4	33,5	3,35	38,1	11,38	0,17	17,29
Relieve ondulado	0,25	0,25	0,25	1	2	2	2	2	2	2	2	15,75	1,58	17,6	11,19	0,08	8,13
Relieve colinado	0,25	0,25	0,25	0,5	1	2	2	2	2	2	1	13,25	1,33	15,0	11,31	0,07	6,84
Relieve tipo mesa	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	1	2	2	2	2	2	12,75	1,28	13,6	10,64	0,07	6,58
Frente y superficie chevron	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	1	1	2	2	2	10,25	1,03	10,9	10,66	0,05	5,29
Estuario	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1	2	2	2	9,75	0,98	10,4	10,69	0,05	5,03
Depósitos coluvio aluviales	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	2	8,25	0,83	9,1	11,04	0,04	4,26
superficie disectada de cuesta	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	2	6,75	0,68	8,0	11,9	0,035	3,48
Vertiente de mesa	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	5,25	0,53	7,2	13,6	0,027	2,71
												$\lambda (\lambda_{xj/n})$	19,375		12,00	1,00	100,00

Tabla 7. Matriz de Comparación del Método de las Jerarquías Analíticas para la variable Talla de los Materiales.

xj	Arenas finas, limos y arcillas con presencia de grava, clastos y grava redondeada	Depósitos limo arcillosos y arenas de grano fino a medio con intercalaciones de grava fina	Arenisca de grano fino a grueso con conglomerado de clastos volcánicos y presencia de fósiles localmente conglomerados	Lutitas con presencia de yeso y fósiles	Limonitas con intercalación de arenisca y lutitas de grano fino a medio	Bloques y grava con presencia de limo ya arena de grano fino a grueso	Arenisca amarillenta de grano fino a grueso con presencia de fósiles y clastos volcánicos	Arenisca arcillosa de fino a medio	Arenisca limosa blanquesina y grises de grano fino a medio	Eiginvector principal £ xj	Eiginvector principal normalizado £ xj/n	Multiplicación entre matrices	AMáx	£ (£ xj/n) /£ xj/n	%
Arenas finas, limos y arcillas con presencia de grava, clastos y grava redondeada	1	4	4	4	4	4	4	4	4	33	3,67	49,22	13,42	0,25	25,14
Depósitos limo arcillosos y arenas de grano fino a medio con intercalaciones de grava fina	0,25	1	4	4	4	4	4	4	4	29,25	3,25	36,72	11,30	0,22	22,29
Arenisca de grano fino a grueso con conglomerado de clastos volcánicos y presencia de fósiles localmente conglomerados	0,25	0,25	1	4	4	4	4	4	4	25,5	2,83	25,78	9,10	0,19	19,43
Lutitas con presencia de yeso y fósiles	0,25	0,25	0,25	1	2	2	2	2	2	11,75	1,31	11,74	8,99	0,09	8,95
Limonitas con intercalación de arenisca y lutitas de grano fino a medio	0,25	0,25	0,25	0,5	1	2	2	2	2	10,25	1,14	9,95	8,74	0,08	7,81
Bloques y grava con presencia de limo y arena de grano fino a grueso	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	1	2	2	2	8,5	0,94	7,63	8,07	0,06	6,48

Arenisca amarillenta de grano fino a grueso con presencia de fósiles y clastos volcánicos	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	1	2	2	7,25	0,81	7,16	8,89	0,06	5,52
Arenisca arcillosa de grano fino a medio	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1	2	5,75	0,64	6,12	9,58	0,04	4,38
Arenisca limosa blanquecina, blanquecinas y grises de grano fino a medio	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	4,25	0,47	5,33	11,28	0,03	3,24
										£ (£ xj/n)	14,58		9,93	1,00	100,00

3.2. Reclasificación de los indicadores de las variables a 5 categorías de susceptibilidad.

Tabla 8 .Estadísticos de los pesos relativos de los indicadores de las variables

ESTADISTICO	GEOFORMA	PENDIENTE	TALLA DE LOS MATERIALES	PERMEABILIDAD
TAMAÑO	11	8	9	4
VALOR MAXIMO	0,2	0,29	0,3	0,4
VALOR MINIMO	0,02	0,4	0,03	0,1
RANGO	0,18	0,25	0,21	0,4
TAMAÑO DE INTERVALO (3)	0,061	0,08	0,07	0,11
TAMAÑO DE INTERVALO (5)	0,036	0,04	0,04	0,07
MEDIA ARITMETICA	0,072	0,10	0,08	0,16
DESVIACION ESTÁNDAR	0,067	0,09	0,08	0,09

Las variables se clasificaron en cinco categorías de susceptibilidad que fueron muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (tabla 11).

Tabla 9. Rangos de cinco categorías de susceptibilidad para las variables.

Valor	Categoría	Color	Geoforma	Pendiente	Talla de los materiales	Permeabilidad
1	Muy bajo	Azul	0.02-0.05	0.04-0.09	0.03-0.07	0.10-0.17
2	Bajo	Verde	0.05-0.08	0.09-0.14	0.07-0.11	0.17-0.24
3	Medio	Amarillo	0.08-0.11	0.14-0.18	0.11-0.15	0.24-0.31
4	Alto	Naranja	0.11-0.14	0.18-0.22	0.15-0.19	0.31-0.38
5	Muy alto	Rojo	0.14-0.17	0.22-0.26	0.19-0.23	0.38-0.45

Una vez realizado el cálculo de los estadísticos se generaron datos suficientes para poder elaborar los mapas de susceptibilidad específica de cada variable, los cuales permitieron establecer de acuerdo con el peso ponderado de cada indicador, el riesgo de inundación que tiene un área específica en la cuenca del río Chone.

En la reclasificación de la variable permeabilidad (tabla 12), se destacó que la variable de permeabilidad fue especialmente relevante en la identificación de áreas susceptibles a inundaciones. Donde las áreas con muy baja y baja permeabilidad eran las más susceptibles y cubrían una superficie significativa en la cuenca. El indicador más susceptible a las inundaciones que es la permeabilidad muy baja abarca un área de 289,32 km² mientras que el segundo indicador más susceptible es la baja permeabilidad la cual cubre una superficie de 484,5 km², ambas; como se observaron en la figura 2, están en el centro de la cuenca en áreas cercanas a los cauces de los ríos y zonas urbanas.

Tabla 10. Reclasificación de la variable permeabilidad.

Categoría	Superficie (km²)	Peso relativo	%	Valor	Categoría	Color
Muy baja	289,32	0,4	44,6	1	Muy Alta	Rojo
Baja	484,5	0,3	29,0	2	Baja	Amarillo
Media	949,86	0,2	17,1	3	Media	Amarillo
Alta	570,99	0,1	9,3	5	Baja	Verde

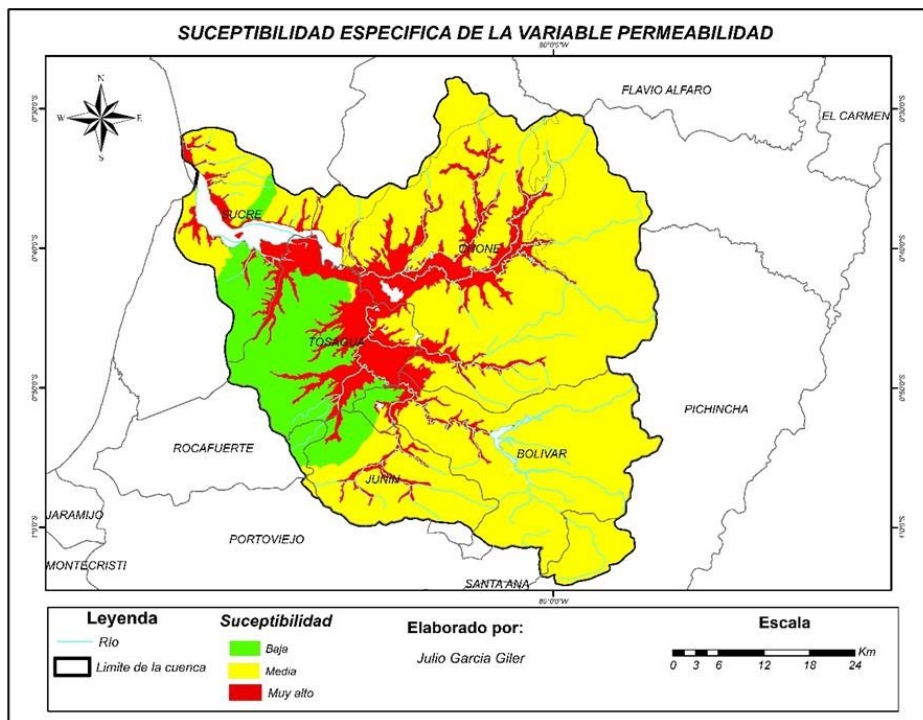


Figura 2 Mapas de susceptibilidad específica de la variable permeabilidad.

En la reclasificación de la variable pendiente (tabla 13), el indicador Plano 0-2% abarca un área de 23,56 km² encontrándose en la categoría de susceptibilidad alta, así como el indicador muy suave entre 2,1 y 5% que abarca un área de 81,24 km² y también se encuentra en la categoría de susceptibilidad alta, lo cual es consecuente con las matrices de contraste, estas áreas de mayor susceptibilidad de la variable pendiente se encuentran ubicadas en las transiciones de la cuenca media a baja (figura 3), donde confluyen con formaciones como terrazas y depósitos aluviales que son también formaciones muy susceptibles a inundaciones.

Estos hallazgos son coherentes con las matrices de contraste utilizadas en la ponderación de variables, lo que respalda la precisión de la reclasificación y la identificación de áreas críticas, siendo la variable pendiente la que mas áreas de alta susceptibilidad a inundaciones revelo en las transiciones de la cuenca media a baja, especialmente en terrenos planos y muy suaves.

Tabla 11. Reclasificación de la variable pendiente.

Indicador	Superficie (km ²)	Peso relativo	%	Valor	Categoría	Color
Plano 0-2 %	23,56	0,29	28,57	5	alto	naranja
Muy suave entre 2.1 y 5%	81,24	0,25	24,87	5	alto	naranja
Suave entre 5.1 y 12 %	167	0,12	12,06	3	medio	amarillo
Media entre 12.1-25 %	246,96	0,10	9,85	3	medio	amarillo
Media a fuerte 25.1-40 %	850,84	0,08	8,37	1	muy bajo	azul
Fuerte 40.1-70 %	464,13	0,07	6,89	1	muy bajo	azul
Muy fuerte 70.1-100 %	428,65	0,05	5,41	1	muy bajo	azul
Escarpada entre 100.1 y 150 %	9,33	0,04	3,94	1	muy bajo	azul

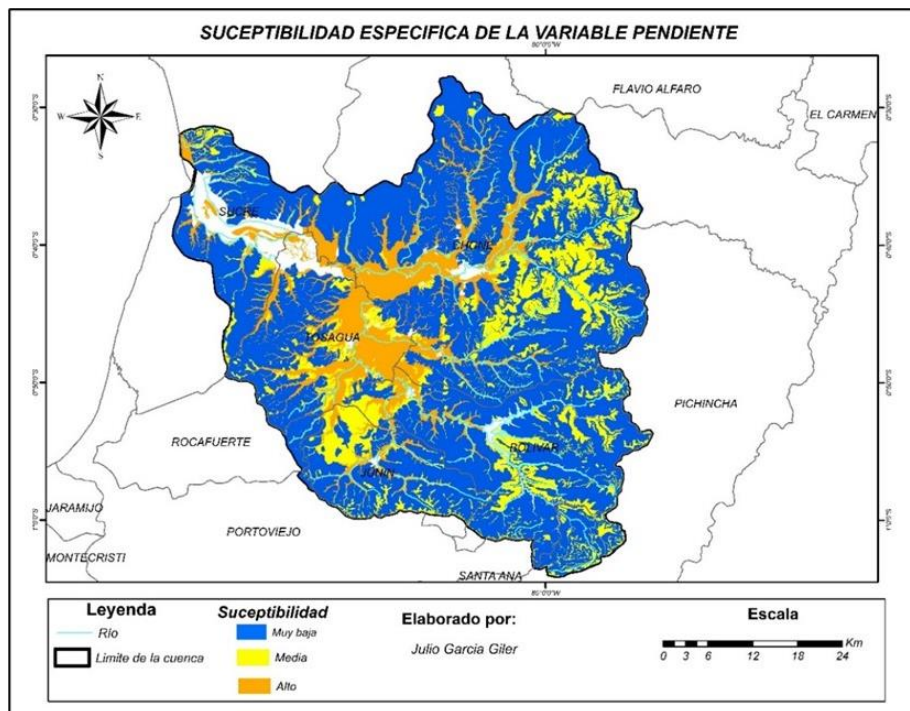


Figura 3 Mapa de susceptibilidad específica de la variable permeabilidad.

En la reclasificación de la variable geoforma (tabla 14), el indicador terraza y cauce actual ocupa un área de 238,25 km², el indicador valle fluvial cubre 135,71 km² de la superficie de la cuenca mientras que el indicador garganta ocupa 37,10 km² y todos estos tienen una categoría de muy alta susceptibilidad a inundaciones (Figura,4).

Tabla 12. Reclasificación de la variable geoforma.

Indicador	Area	Peso relativo	%	Valor	Categoría	Color
Terraza y cauce actual	238,25	0,21	21,16	5	Muy alto	Rojo
Valle fluvial	135,71	0,19	19,23	5	Muy alto	Rojo
Garganta	37,10	0,17	17,29	5	Muy alto	Rojo
Relieve ondulado	1,88	0,08	8,13	2	Bajo	Verde
Relieve colinado	824,64	0,07	6,84	2	Bajo	Verde
Relieve tipo mesa	312,40	0,07	6,58	2	Bajo	Verde
Frente y superficie chevron	11,55	0,05	5,29	1	Muy bajo	Azul
Estuario	19,19	0,05	5,03	1	Muy bajo	Azul
Depositos coluvio aluviales	63,12	0,04	4,26	1	Muy bajo	Azul
superficie disectada de cuesta	9,31	0,03	3,48	1	Muy bajo	Azul
Vertiente de mesa	921,58	0,03	2,71	1	Muy bajo	Azul

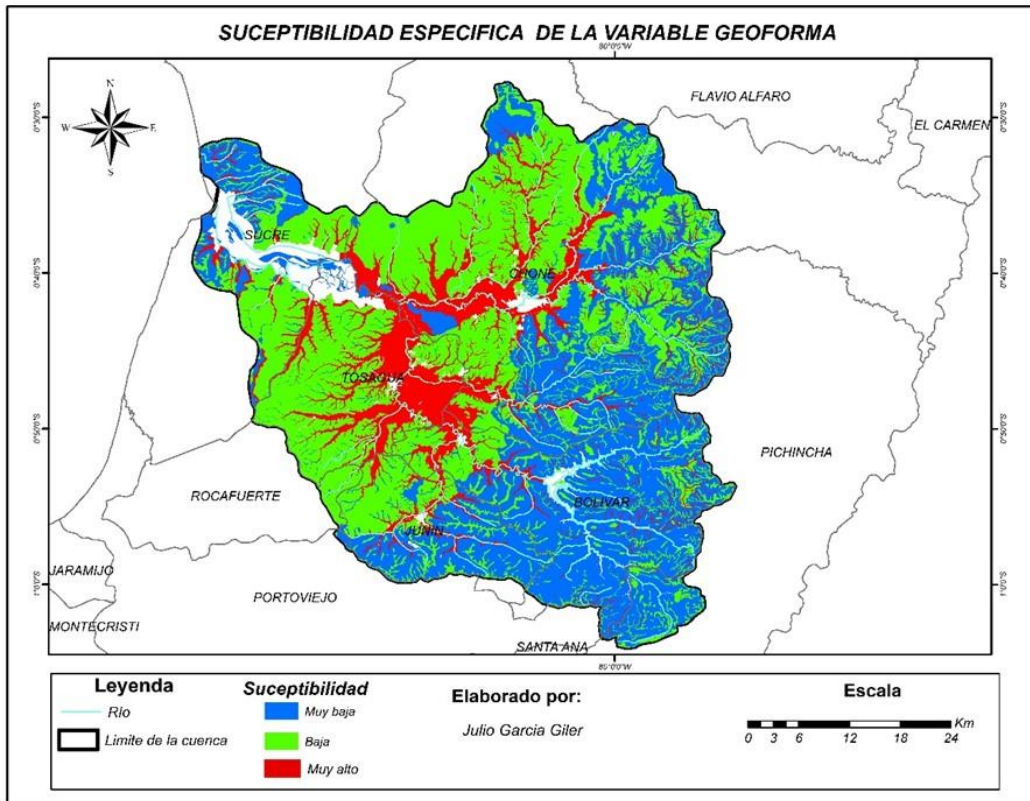


Figura 4 Mapas de susceptibilidad específica de la variable geoforma.

En cuanto a la reclasificación de la variable talla de los materiales (tabla 15), el indicador Arenas finas, limos y arcillas una extensión de 342 km², el indicador depósitos limo arcillosos y arenas de grano fino a medio con intercalaciones de grava fina abarca un área de 11,72 km² y el indicador Arenisca de grano fino a grueso con conglomerado de clastos volcánicos y presencia de fósiles localmente conglomerados una extensión de 11,41, estos son los indicadores con mayor preponderancia de esta variable por lo que están en la categoría de muy alta susceptibilidad y su localización coincide en gran parte con las zonas de riesgos de los otros indicadores (figura 5), que son las transiciones entre la cuenca media y baja.

Tabla 13. Reclasificación de la variable talla de los materiales .

Xj	Superficie (km2)	Peso relativo	%	Valor	Categoría	Color
Arenas finas, limos y arcillas con presencia de grava, clastos y grava redondeada	342,8	0,25	25,14	5	Muy alto	Rojo
Depósitos limo arcillosos y arenas de grano fino a medio con intercalaciones de grava fina	11,72	0,22	22,29	5	Muy alto	Rojo
Arenisca de grano fino a grueso con conglomerado de clastos volcánicos y presencia de fósiles localmente conglomerados	11,41	0,19	19,43	5	Muy alto	Rojo
Lutitas con presencia de yeso y fósiles	642,61	0,09	8,95	2	Bajo	Verde
Limonitas con intercalación de arenisca y lutitas de grano fino a medio	18,61	0,08	7,81	2	Bajo	Verde
Bloques y grava con presencia de limo y arena de grano fino a grueso	66,57	0,06	6,48	1	Muy bajo	Azul
Arenisca amarillenta de grano fino a grueso con presencia de fósiles y clastos volcánicos	784,51	0,06	5,52	1	Muy bajo	Azul
Arenisca arcillosa de grano fino a medio	57,73	0,04	4,38	1	Muy bajo	Azul
Arenisca limosa blanquecina, blanquecinas y grises de grano fino a medio	183,24	0,03	3,24	1	Muy bajo	Azul

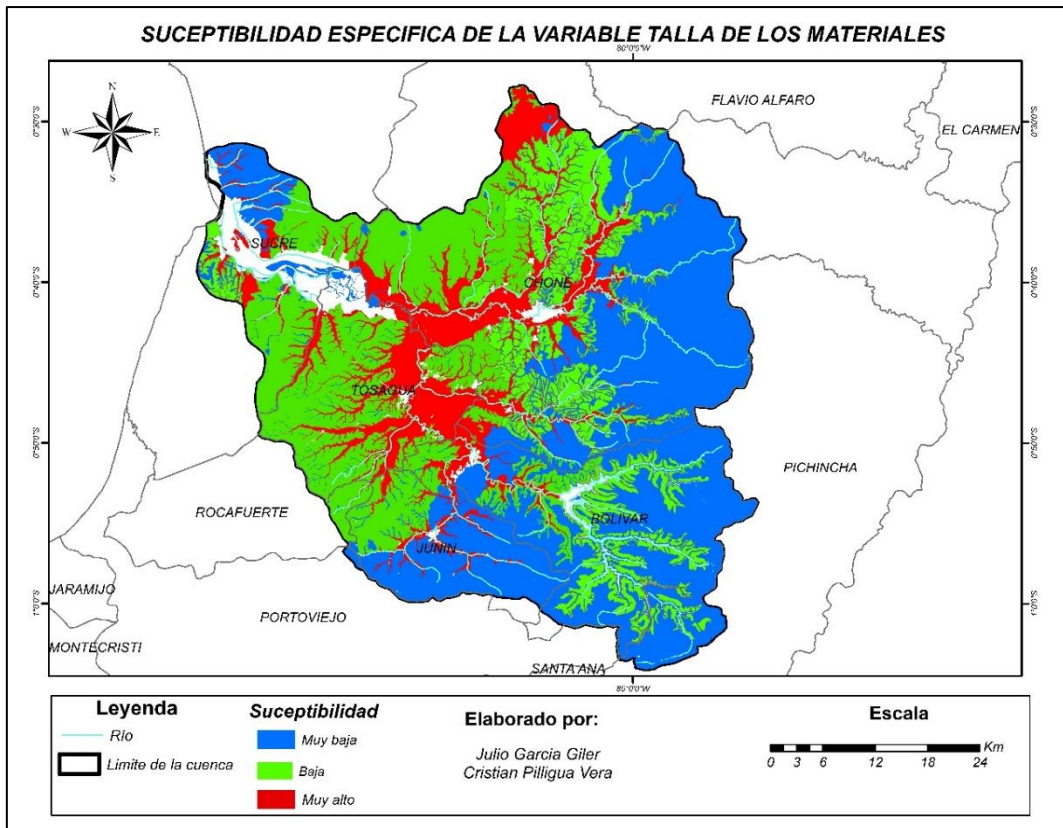


Figura 5 Mapas de susceptibilidad específica de la variable Talla de los materiales.

3.3. Mapa de susceptibilidad final

El mapa resultante, tras los valores ponderados, contiene exclusivamente las combinaciones de cuatro factores de susceptibilidad específica (figura 6), que se obtuvo mediante el sistema de información geográfica correspondiente, teniendo como base la matriz de contrastes cuyos datos permitió generar en mapa de susceptibilidad final, en el mismo que se puede evidenciar el área que ocupa cada categoría de susceptibilidad (tabla 16) en donde las zonas de mayor susceptibilidad ocupan 466 km², las áreas con susceptibilidad media 512 km² y las áreas con baja susceptibilidad 1288 km²

Tabla 14. Extensión de las categorías de susceptibilidades.

Categoría	Superficie (km ²)	%	Color
Muy alta	466	20,6	Rojo
Media	512	22,6	Amarillo
Baja	1288	56,8	Verde

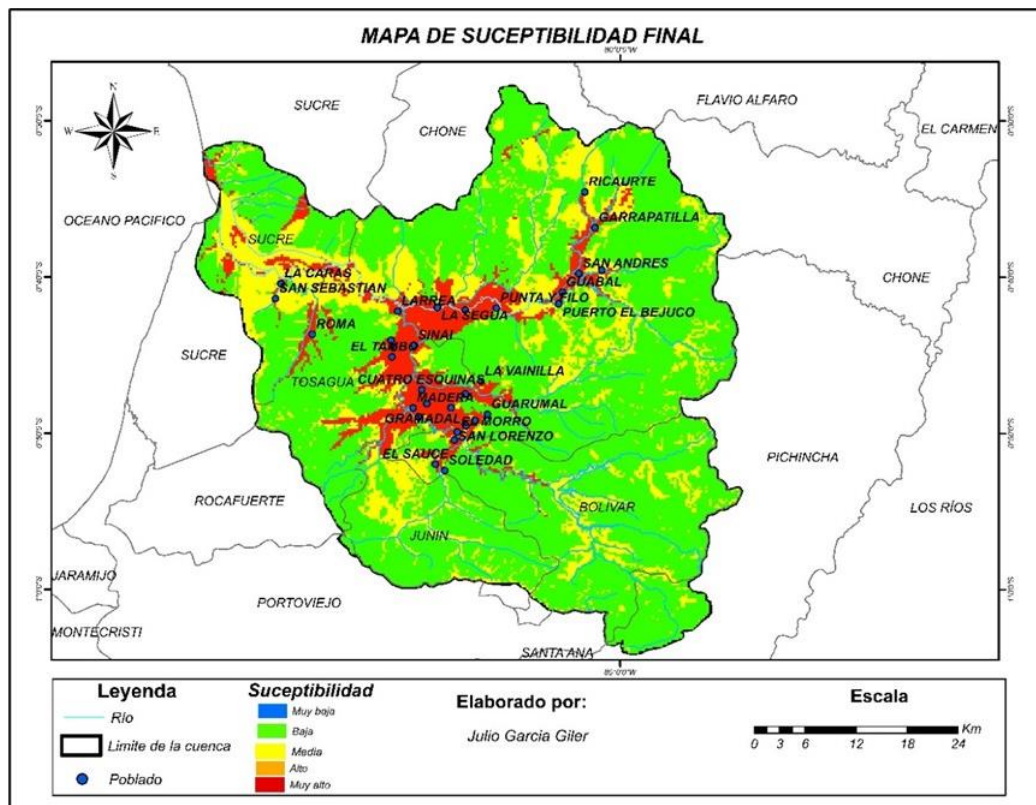


Figura 6 Mapa de susceptibilidad final

Es evidente que las pendientes con un rango de inclinación entre 0 y 5% se destacan como un factor crítico en la evaluación de las inundaciones, esto se debe a que las pendientes más bajas contribuyen a una mayor vulnerabilidad a las inundaciones, ya que las aguas de lluvia tienden a acumularse en lugar de fluir de manera dinámica.

En el estudio se observó que este tipo de pendiente predominaba, principalmente, en las áreas urbanas de los cantones Chone y Tosagua, lo que aumenta el riesgo de daños significativos. Estas zonas urbanas están densamente pobladas y caracterizadas por construcciones que pueden no ser adecuadas desde el punto de vista de la resistencia a inundaciones, lo que agudiza aún más su vulnerabilidad.

Por otro lado, las áreas con vulnerabilidad media se caracterizaron por su presencia en áreas urbanas, donde las viviendas eran de madera o de construcción mixta, con uno o dos pisos y en un estado de conservación regular. En general, este análisis destaca la importancia de considerar la calidad de las

estructuras y su alineación con respecto a las corrientes fluviales al evaluar la vulnerabilidad a inundaciones en la cuenca del río Chone, provincia de Manabí.

Es notable que la investigación que se llevó a cabo refleja una tendencia constante en la cual las áreas de mayor riesgo de inundaciones se localizan en zonas urbanas, este patrón se debe a que, a lo largo de los años, las personas han establecido sus hogares cerca de los ríos sin una regulación territorial efectiva. Esta tendencia se puede corroborar y comparar con el estudio realizado por Burgos y colaboradores en 2016, quienes encontraron que el 33% de la población se ha asentado en áreas vulnerables a inundaciones en la misma provincia, lo que representa un total de 1,676 viviendas, este paralelismo subraya la existencia de un denominador común en la problemática de inundaciones en la provincia de Manabí.

En lo que respecta a la permeabilidad, las áreas de mayor riesgo se concentran en la parte media de la cuenca, con algunas expansiones hacia la parte baja. Estas áreas se sitúan principalmente en torno al río principal y sus afluentes, lo que indica claramente que los suelos en estas zonas están saturados de agua y han perdido su capacidad de filtración, esto acentúa el riesgo de inundaciones en estas áreas y subraya la importancia de considerar la permeabilidad del suelo en las evaluaciones de vulnerabilidad a inundaciones en la cuenca del río Chone en la provincia de Manabí.

3.4. Validación de datos

Para validar los resultados obtenidos se superpuso la capa oficial de inundaciones del año 2016 proporcionadas por el geo portal del instituto geográfico militar, sobre el mapa de susceptibilidad generado en esta investigación (figura 7), realizándose una regla de tres simple entre los datos del área de las dos capas y se obtuvo el porcentaje de confiabilidad que fue del 82.75% que se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de confiabilidad} = \frac{AC}{AR} * 100\%$$

Donde:

AC representa el área calculada

AR representa área de referencia

Al Despejar la formula tenemos que % de confiabilidad = $(38562/466) \times 100\%$

Donde % confiabilidad = 82,75 %

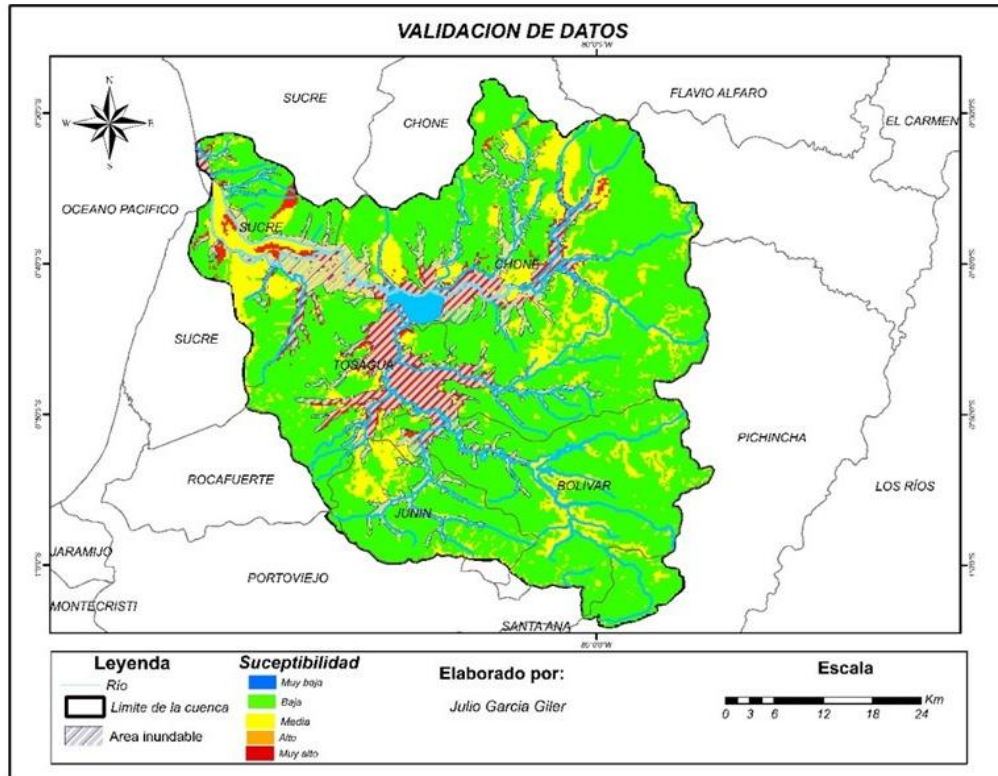


Figura 7 Mapa de validación de datos

Las áreas de mayor susceptibilidad a inundación son aquellas en donde coinciden pendientes entre el 0 y 5% de permeabilidad muy baja, formaciones geológicas con terrazas, valles fluviales, gargantas y tallas de materiales con arenas finas, limos y arcillas con presencia de grava, clastos y grava redondeada, depósitos limo arcillosos y arenas de grano fino a medio con intercalaciones de grava fina y arenisca de grano fino a grueso con conglomerado de clastos volcánicos y presencia de fósiles localmente conglomerados.

La mayor parte de las zonas con muy alta susceptibilidad a inundaciones se localiza en el centro de la cuenca extendiéndose una parte al oeste hacia el estuario del río Chone y al este hacia los poblados de Garrapatilla y Ricaurte. Estas áreas de mayor susceptibilidad se dan sobre todo en la transición entre la

cuenca media y baja, siendo Tosagua y Chone los cantones más afectados principalmente el área urbana de este, lo cual es muy preocupante ya que la atraviesan algunos ríos o afluentes convirtiéndolas en zonas muy vulnerables a inundaciones.

Se pueden observar también, pequeñas áreas con alta vulnerabilidad a las inundaciones en la parte norte de la cuenca específicamente en el cantón Sucre y en ciertas áreas altas del cantón Chone, éstas se encuentran más o menos cercanas a un río o cuerpo de agua.

Con respecto a las áreas con susceptibilidad media, se encuentran en su mayoría hacia el noroeste de la cuenca abarcando parte de los cantones Chone Tosagua y Sucre, también al sur en ciertas partes de los cantones Junín, Bolívar y Pichincha.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

La investigación sobre identificación de espacios inundables mediante evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica en la cuenca del río Chone, provincia Manabí, proporciona resultados significativos que tienen un impacto directo en la comprensión y la gestión de las amenazas de inundación en esta región. Estudios como el de Rodríguez-Rincón et al. (2020) han demostrado que la integración de estas herramientas permite una mejor planificación y mitigación de riesgos. Los mapas de riesgo generados proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en gestión de emergencias y planificación de reacción ante las inundaciones.

Los resultados subrayan la importancia de las pendientes del terreno en la evaluación de la vulnerabilidad a las inundaciones. En particular, se encontró que las pendientes con un rango de inclinación entre 0 y 5% son críticas en este

contexto. Estas pendientes bajas contribuyen a una mayor acumulación de aguas pluviales, lo que aumenta la vulnerabilidad a inundaciones, especialmente en las áreas urbanas de los cantones Chone y Tosagua. Lo que se puede contrastar con estudios realizados en otras cuencas como el análisis de la susceptibilidad a inundaciones asociadas a la dinámica fluvial del río Guatiquía. Este estudio destacó que las pendientes menores al 5% influyen significativamente en las condiciones de drenaje y la capacidad de los cauces para transportar sedimentos, lo cual afecta directamente la probabilidad y severidad de las inundaciones (López & Pérez, 2022).

Se pueden comparar a los resultados de la investigación a la realizada por Ramos et al. (2016), quienes tomaron indicadores geomorfológicos para determinar zonas vulnerables a inundaciones, los resultados determinaron que las zonas más vulnerables a inundaciones tienen pendientes menores al 3% en donde las mismas se combinaron con material arenoso lo que favorece a que sean zonas susceptibles a inundaciones.

Asimismo, un informe sobre las inundaciones en Haití señaló que las áreas con pendientes bajas son particularmente vulnerables debido a la falta de un drenaje adecuado, lo que lleva a una mayor acumulación de agua durante las lluvias intensas (Ramírez, 2023).

Estas referencias proporcionan una base sólida para contrastar la afirmación de que las pendientes del terreno, especialmente aquellas entre 0 y 5%, son críticas en la evaluación de la vulnerabilidad a las inundaciones en áreas urbanas, como los cantones de Chone y Tosagua. Las pendientes bajas facilitan la acumulación de aguas pluviales, incrementando así la vulnerabilidad de estas áreas a eventos de inundación.

Otros de los factores de riesgo que se encontró es alta densidad de población en estas áreas y la presencia de viviendas que pueden no ser adecuadas en términos de resistencia a las inundaciones exacerban aún más la vulnerabilidad. Pudiendo ser comparables al estudio realizado al cantón el cantón Chillanes en la provincia de Bolívar. Aquí, las comunidades rurales han tenido que enfrentar

desafíos adicionales debido a la combinación de alta densidad poblacional y la vulnerabilidad de las viviendas ante desastres naturales como terremotos e inundaciones (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2023) .

Se identificaron que las áreas con alta vulnerabilidad a inundaciones se caracterizan por una alta densidad de población, viviendas de madera de un solo piso, signos de deterioro en las estructuras y una orientación perpendicular a las corrientes fluviales desbordadas, estos resultados concuerdan con los resultados de la investigación actual.

Un estudio anterior llevado a cabo por Mardones & Vidal (2001), también respalda estos hallazgos. En dicho estudio, se identificaron áreas con alta vulnerabilidad frente a la amenaza de inundación que comparten características comunes: una alta densidad de población, la presencia de viviendas de madera de un solo piso, signos de deterioro en las estructuras y una orientación perpendicular a la corriente fluvial desbordada

La permeabilidad del suelo se identifica como otro factor crítico. Las áreas de mayor riesgo se concentran en la parte media de la cuenca, cerca del río principal y sus afluentes, esto indica que los suelos en estas zonas están saturados de agua y han perdido su capacidad de filtración, lo que aumenta el riesgo de inundaciones en estas áreas. Lo cual se puede comparar con un estudio reciente en la provincia de Manabí elaborado por Gómez & Paredes (2021), donde se determinó que saturación del suelo y su reducida capacidad de filtración fueron variables determinantes en la ocurrencia de inundaciones, especialmente en zonas cercanas a cuerpos de agua principales .

Sin embargo en otro estudio realizado por Pérez et al. (2023), donde también se empleó mapas temáticos para zonificar áreas de riesgo a inundaciones en el cantón Santa Ana de la provincia de Manabí se determinó que las áreas con mayor riesgo a inundaciones son las zonas bajas , esto da cuenta que cada área hidrográfica tiene características físicas diferentes.

Dentro del desarrollo de resultados la variable geoforma esta tiene una preponderancia mucho menor en cuanto a la pendiente y permeabilidad del terreno sin embargo combinadas con otros factores como la deforestación , la erosión y la meteorización las formaciones geológicas que contengan terrazas, gargantas y valle fluviales pueden convertirse en un gran problema sobre todo en la cuenca del río Chone donde la mayor parte de la población se asienta en la cuenca media cerca de cauces de agua que son las zonas donde estas formaciones prevalecen y a la vez también como se observa en los mapas converge con áreas de baja permeabilidad y pendientes menores al 5% generando la condiciones ideales para que sean zonas con alto riesgo a inundaciones.

Esto se puede corroborar con varios estudios como el de Gómez et al. (2015), quien manifestó que las gargantas en regiones tropicales como la cuenca del río Chone, contribuyen significativamente a la rápida acumulación y liberación de agua durante eventos de lluvias extremas, aumentando la frecuencia y magnitud de las inundaciones. En el estudio de Parker (2013), se destaca que las áreas con gargantas presentan una mayor variabilidad en el caudal del río, lo que incrementa el riesgo de desbordamiento y eventos de inundación repentinos.

Martínez y Rodríguez (2017), señalaron que los valles fluviales en la cuenca del río Chone son particularmente vulnerables a las inundaciones debido a la combinación de su baja altitud y la presencia de suelos altamente permeables que, aunque permiten la infiltración, también pueden saturarse rápidamente durante lluvias intensas.

Un estudio de Hidalgo y Morales (2016), sobre la dinámica fluvial de la cuenca del río Chone indica que los valles fluviales juegan un papel clave en la dispersión de las aguas durante las crecidas, lo que puede mitigar o exacerbar las inundaciones dependiendo de la gestión del suelo y la vegetación.

El trabajo de Sánchez et al. (2018), indica que las terrazas fluviales en la cuenca del río Chone son zonas de riesgo moderado a inundaciones, ya que aunque están elevadas, la erosión y la sedimentación pueden modificar su estabilidad y capacidad de retener agua.

Algo similar sucede con la variable talla de los materiales por lo general los suelos con presencia de materiales finos como arcilla y arena de granos contribuyen a una baja permeabilidad de los suelos pero si convergen en zonas con pendiente baja como en el caso de la cuenca del río Chone contribuye a que los suelos se inunden mucho mas rápido. En el caso de este estudio esta variable converge con zonas de pendientes menores al 5% y formaciones geológicas que favorecen a riesgo de inundaciones y casi todas las variables de riesgo coinciden en la parte media de la cuenca es decir son suelos que tienen combinaciones de varios materiales principalmente aquellos que favorecen la retención de agua.

En el estudio Martínez et al. (2020), destacan que la heterogeneidad de los suelos en la cuenca del río Chone, con parches de arena fina y arcilla, contribuye a una distribución desigual del riesgo de inundaciones. Las áreas con predominio de suelos arenosos experimentan inundaciones rápidas y breves, mientras que las zonas arcillosas sufren inundaciones más prolongadas. Así mismo Un estudio de Castro & Pérez (2019), muestra que los suelos arcillosos en la cuenca del río Chone tienen una alta capacidad de retención de agua, lo que contribuye a la saturación rápida del suelo durante eventos de lluvias intensas, aumentando el riesgo de inundaciones prolongadas.

La investigación realizó una validación de los resultados al incorporar la capa oficial de inundaciones del año 2016 sobre el mapa de susceptibilidad generado. El alto porcentaje de confiabilidad del 82.75% respalda la solidez de los hallazgos y sugiere que el enfoque utilizado en la investigación es efectivo para identificar áreas de riesgo. Este método se puede comparar con el estudio de Fernández et al. (2022), quien realizó la validación de los modelos hidrológicos que le permitieron generar áreas inundables en la cuenca de río Chone. Entre ellos utilizó la precisión global que le dio una efectividad del 85% un poco mas alto que el utilizado en este estudio lo cual se debe a que los autores validaron áreas inundables ya determinadas por Instituciones y no tienen ese porcentaje de error, también emplearon el coeficiente de Kappa que es un método de validación que comparan los datos generados en mapas con datos reales en campo donde el porcentaje de precisión fue del 80% es decir por debajo de este estudio.

Un hallazgo destacado es la tendencia constante de que las áreas de mayor riesgo de inundaciones se encuentran en zonas urbanas. Esto se debe a la falta de regulación territorial efectiva a lo largo de los años, lo que ha permitido que las personas establezcan sus hogares cerca de los ríos, este patrón subraya la existencia de un denominador común en la problemática de inundaciones en la provincia de Manabí.

Los resultados de esta investigación son esenciales para la gestión de inundaciones en la cuenca del río Chone. Identificar las áreas de mayor riesgo basándose en pendientes y permeabilidad del suelo permite a las autoridades y planificadores tomar medidas proactivas para reducir la vulnerabilidad de la población, esto podría incluir medidas como la regulación del uso del suelo en áreas críticas, la mejora de la infraestructura de drenaje y la concienciación pública sobre la importancia de evitar la construcción en zonas de alto riesgo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

- Se puede afirmar que las áreas de la cuenca del río Chone más susceptibles a inundaciones se localizan principalmente en las transiciones de la cuenca media y cuenca baja que se caracterizan por tener pendientes que van desde el 0 hasta el 5%, una muy baja permeabilidad, formaciones geológicas compuestas por terrazas, valles fluviales y gargantas, y materiales con tallas variables que van desde arenas finas, limos y arcillas
- Las áreas más susceptibles a inundaciones según la información generada, son las más cercanas a los ríos principales y a sus afluentes, factor que provoca que se den las condiciones físicas necesarias para ser catalogadas zonas de riesgo por inundaciones, estas áreas también están

sometidas a factores antrópicos específicamente a actividades agropecuarias lo cual intensifica el problema.

- Muchas de las áreas inundables son zonas ubicadas en áreas urbanas de los cantones Chone y Tosagua en donde existe gran cantidad de población, mismas que son propensas a sufrir las graves pérdidas económicas y humanas que puede generar un posible evento de inundación.
- El amplio espectro de aplicaciones de las geotecnologías, ilustra su valor como herramienta para el manejo de los peligros naturales y la planificación del desarrollo. Los sistemas de información geográfica pueden mejorar la calidad y poder de análisis de las evaluaciones de los peligros naturales permitiendo así obtener resultados confiables en diferentes estudios relacionados al suelo.
- La investigación encuentra respaldo en estudios anteriores como el de Burgos y Cartaya que identificaron áreas vulnerables a inundaciones con características comunes, como alta densidad de población y estructuras precarias. Esta consistencia en los hallazgos subraya la importancia de abordar la vulnerabilidad en áreas urbanas y la necesidad de políticas efectivas de gestión de riesgos.

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES

Se requiere una revisión y fortalecimiento de las regulaciones de uso del suelo en áreas vulnerables a inundaciones, especialmente en zonas urbanas, esto podría incluir restricciones sobre la construcción en pendientes bajas y la promoción de construcciones resistentes a inundaciones.

Hay que abordar estudios que analicen otras variables que puedan tener incidencia directa en el fenómeno, se podría hacer un diagnóstico de la pérdida de cobertura vegetal durante los últimos 20 años aplicando el Índice de vegetación de diferencia normalizada y así determinar si la pérdida de cobertura vegetal ha favorecido a las inundaciones.

Se debe considerar estudios que permitan evaluar si el problema requiere la construcción de infraestructura de drenaje y sistemas de gestión de aguas pluviales en las áreas identificadas como de alto riesgo, esto puede ayudar a reducir el impacto de las inundaciones y proteger a la población.

Es importante tener estudios hidrológicos que permitan medir la variación de precipitaciones durante los últimos 20 años en toda el área de estudio para ello se requiere la inversión de estaciones meteorológicas cuyos datos generados combinados con los datos de las variables físicas y ambientales podrían ayudar a tener información más exacta del fenómeno.

Se debe trabajar en algún sistema que permita almacenar y compartir Metadatos Sig y de esa forma se podría desarrollar investigaciones de manera conjunta y

no de manera aislada ya que existirá información y capas bases para poder continuar con estudios mas adelante.

La investigación subraya la importancia de la colaboración entre instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y la comunidad en general, la gestión de inundaciones requiere un enfoque coordinado y colaborativo, estas deberían Implementar incentivos económicos y regulaciones que promuevan la construcción segura y resistente a inundaciones en áreas de alto riesgo, esto puede incluir beneficios fiscales y subsidios para mejoras estructurales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burgos Choez, Bryan & Cartaya, Scarlet & Mero del Valle, David. (2019). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. *Investigaciones Geográficas: Boletín - Instituto de Geografía, Universidad Nacional, Autónoma de México.* 1-14. 10.14350/rig.59767
- Celemín, J. P. 2014. El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: Un análisis comparativo. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG).* 6: 47-63.
- Chen, Y., Yu, J., Khan, S. (2016). The Spatial Framework for Weighting Variables in Flood Risk Assessment. *Environmental Modelling & Software*, 83, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.05.018>
- Diaz, C., y Vega, G.(2001). Analisis de la gran visión de las inundaciones en la cuenca alta del río Lerma: Caso de la subcuenca del río Tejalpa. *Ingeniería hidráulica en México.* vol. 16.p 73-86.
<http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/900/871>
- Ellis, E. A., & Romero, J. A., & Hernández, I.U., & Gallo, C. A., & Alanís, J. L. (2012). Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(1), undefined-undefined. [fecha de Consulta 5 de diciembre de 2019]. ISSN: 0188-7890. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=837/83723442002>

- Escuela Superior Politécnica Del Litoral. (2013). Análisis de la vulnerabilidad del cantón Chone. Guayaquil. p 12.
- Escobar, A. A. H., Solórzano, D. R. V., & Gámez, M. R. (2018). Susceptibility to flooding in Abdon Calderon of canton Portoviejo parish. *International Journal of Life Sciences*, 2(3), 111-120. <https://doi.org/10.29332/ijls.v2n3.220>.
- Gómez M., y J. Barredo. (2001). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. 2da edición. Madrid, España. 276 p.
- Fernández, E., Morales, J., & Ramírez, K. (2022). Validation of Flood Risk Maps Using Remote Sensing in Coastal Ecuador. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 26(3), 499-512.
- Gómez, O. A. G., D. Horfan, y C. Londoño. (2018). Análisis multicriterio SIG basado en momentos de orden superior normalizados para el cálculo de superficies de viabilidad ambiental. *Ingenierías USBMed* 9:49-57.
- Gómez, R., & Paredes, L. (2021). Impacto de la permeabilidad del suelo en la gestión de riesgos de inundación en Manabí. *Revista de Estudios Ambientales*, 15(3), 45-60.
- Gómez, P., Pérez, J., & López, R. (2015). Geological Influences on Flood Dynamics in Tropical River Basins. *Journal of Hydrology*, 523, 611-624.
- Parker, S. (2013). Flood Risk and Geomorphology in River Gorges. *Water Resources Research*, 49(3), 1562-1575.
- Hidalgo-Bastidas, J.P. y Boelens, R. (2018). Inundaciones políticamente construidas. El megaproyecto hídrico Chone en Ecuador. *Cuadernos de Geografía*, 101, 127-148. <https://doi.org/10.7203/CGUV.101.13724>.
- Hidalgo, C., & Morales, F. (2016). Hydrological Analysis of the Chone River Basin. *Hydrological Processes*, 30(4), 487-499.
- Huisman, O., and R. de By. (2009). Principles of Geographic Information Systems. The Netherlands. ITC educational textbook. 540 p.
- Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Subdirección Agrológica. (2005). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Cundinamarca*. Bogota, D.C. [Colombia]: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrológica.

- Liendro Moncada, J. L., y E. C. Ojeda. (2018). Aproximación al mapa de susceptibilidad a inundación en la cuenca del río Boconó, Estado Trujillo, Venezuela. *Terra Nueva Etapa* 34:119-140.
- Lixinski, V., I. Silveira M., e P. Aude P. (2016). Identificación de áreas con riesgo de inundación por medio de análisis ambiental e geoprocesamiento. 12° Congreso de Catastro Técnico Multifinalitario e Gestión Territorial. 11p.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- López, J. G., & Pérez, C. R. (2022). *Análisis de la susceptibilidad por inundaciones asociadas a la dinámica fluvial del río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio, Colombia*. *Redalyc*. Recuperado de www.redalyc.org.
- Malczewski, J., Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer.
- Mardones, María, & Vidal, Claudia. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *EURE (Santiago)*, 27(81), 97-122.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612001008100006>
- Martínez, A., & Rodríguez, L. (2017). Flood Vulnerability in Fluvial Valleys of Ecuador. *Geographical Journal*, 183(2), 125-138
- Martínez, S., Gómez, L., & Rodríguez, V. (2020). Interacción de Suelos y Riesgo de Inundación en Cuenas Mixtas. *Journal of Environmental Studies*, 35(1), 99-112.
- Montecelos, Y., D. Batista S., A. Puebla, N. Zaldivar S., and Y. Batista C. (2011). Diseño metodológico para la elaboración de mapas de peligrosidad por inundaciones. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica* 3(3):32-45.
- Muthusamy, S., Natarajan, Ramasamy, T., & Murugesan, B. (2017). Study and Analysis of Chennai Flood 2015 Using GIS and Multicriteria Technique. *Journal of Geographic Information System*, 9, 1-15.
- Omid Rahmati, Hossein Zeinivand & Mosa Besharat (2016) Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7:3, 1000-1017, DOI: 10.1080/19475705.2015.1045043_

- Ordoñez C., y R. Martínez-Alegría. (2003). Sistemas de Información Geográfica, Aplicaciones prácticas con Idrisis32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas ambientales. Alfaomega y Ra-Ma. Madrid, España. 227 p.
- Ozkan, S., and C. Tarhan.(2016). Detection of flood hazard in urban áreas using GIS: Izmir Case. *Procedia Technology* 22:373-381.
- Pedroso, I., M. Fundora G., J. Núñez P., M. Guerra O., and J. Olivera.(2014). Metodología para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundación por intensas lluvias. La Habana, Cuba. 110 p.
- Pérez, E., Gómez, M., & Sánchez, A. (2023). Aplicación de mapas temáticos en la evaluación de la vulnerabilidad a inundaciones en la provincia de Manabí. *Revista de Estudios Ambientales*, 17(2), 56-71
- Pérez, Y., D. Azuara, E. Giralt, T.C. Márquez, R. Saladié, y A. Vallina.(2015). Propuesta metodológica para el análisis de la calidad visual del paisaje. El caso de la comarca de El Priorat. *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*, 797-806.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2023). Resiliencia de la población en situación de vulnerabilidad y riesgo en Ecuador (RPVE). Recuperado de undp.org
- Ramírez, M. (2023). Causas y soluciones para mitigar las inundaciones en la ciudad de Port de Paix, República de Haití. Redalyc. Recuperado de www.redalyc.org.
- Ramos Reyes, Rodimiro, Zavala-Cruz, Joel, Gama Campillo, Lilia María, Pech Pool, Daniel, & Ortiz Pérez, Mario Arturo. (2016). Indicadores geomorfológicos para evaluar la vulnerabilidad por inundación ante el ascenso del nivel del mar debido al cambio climático en la costa de Tabasco y Campeche, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 581-598. Recuperado en 14 de septiembre de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222016000300581&lng=es&tlng=.
- Rincón, D., U. Khan, and C. Armenakis. (2018). Flood Risk Mapping Using GIS and MultiCriteria Analysis: A Greater Toronto Area Case Study. *Geosciences* 8:1-27.
- Rodríguez-Rincón, J. P., Garzón, L. A., Hernández, L. F. (2020). Análisis de vulnerabilidad y riesgo de inundaciones mediante la integración de SIG y evaluación multicriterio. *Revista Internacional de Investigación y*

- Roy, B. (2016). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Springer.
- Saaty, T. L., and L. Tran. (2007). on the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical and Computer Modelling* 46:962-975.
- Saaty, T. L. (2017). *The Analytic Hierarchy Process (Revised edition)*. McGraw-Hill.
- Sánchez L., R., L. Urrego L., R. Mayorga M., y G. Vargas C. (2002). Modelo para el pronóstico de la amenaza por los deslizamientos en tiempo real. In: *Simposio Latinoamericano de Control de Erosión*. Santa Fé de Bogotá, Colombia. 8 p.
- Sánchez, R., Gutiérrez, M., & Ramírez, E. (2018). Terrace Dynamics and Flood Risks in Coastal Ecuador. *Journal of Environmental Management*, 215, 112-120.
- Seenirajan, M., Natarajan, M., Thangaraj, R. and Bagyaraj, M. (2017) Study and Analysis of Chennai Flood 2015 Using GIS and Multicriteria Technique. *Journal of Geographic Information System*, 9, 126-140. doi: 10.4236/jgis.2017.92009.
- Vasquez, N., Gil, V., Varela, C., & Mardones, G. (2005). Gestión integral del riesgo por inundaciones: estudio de caso Chone. Quito. P 18-20.
- Yahaya, S., Noordin, A., & Abdalla, R. (2010). Multicriteria Analysis for Flood Vulnerable Areas in River Hadejia. *European Journal of Scientific Research*, 71-83.
- Zambrano-Barragán, C., Andrade, F., Vásquez, A., Hidalgo, M. (2019). Evaluación del riesgo de inundación en la cuenca del río Chone utilizando SIG y técnicas de modelado hidrológico. *Revista de Gestión del Riesgo y Cambio Climático*, 10(1), 65-78. <https://doi.org/10.1234/rgcrc.v10i1.456>
- Zambrano, J. C. (2013). *Elaboración de mapas tipo atlas de las zonas de riesgo*. Cuenca.