



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**DETERMINACIÓN DE ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN
MEDIANTE MODELACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA EN EL
RÍO YAGUACHI**

TUTOR

PhD. MARCIAL SEBASTIÁN CALERO AMORES

AUTOR

JONATHAN STALIN NINA CRIOLLO

GUAYAQUIL

2024

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante modelación hidráulica e hidrológica en el Río Yaguachi.

AUTOR/ES:

Nina Criollo Jonathan Stalin

TUTOR:

Calero Amores Marcial Sebastián

INSTITUCIÓN:

Universidad Laica VICENTE
ROCAFUERTE de Guayaquil

Grado obtenido:

Ingeniero Civil

FACULTAD:

FACULTAD DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2024

N. DE PÁGS:

99

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVE: Inundación, Riesgos naturales, Hidrología, Clima, precipitación.

KEYWORDS: Flood, Natural hazards, Hydrology, Climate, precipitation.

RESUMEN:

El estudio se centró en la determinación de zonas de riesgo por inundación en la cuenca del río Yaguachi, ubicado al suroeste de Guayaquil, considerando su topografía variada y sus 88 microcuencas, junto con el uso agrícola y la contaminación del agua. Se estableció como objetivo general esta determinación, empleando un enfoque cuantitativo que implicó la recolección y análisis riguroso de datos hidrológicos y climáticos. La metodología incluyó la construcción de modelos hidráulicos e hidrológicos, así como la cuantificación de caudales de retorno para diferentes periodos. Los resultados, obtenidos mediante esta investigación, revelaron patrones significativos, como altos niveles de precipitación durante la temporada de lluvias y áreas críticas de alta densidad poblacional en zonas de riesgo, identificadas visualmente mediante ARCGIS. Asimismo, este modelo reveló caudales máximos de hasta 346,070 m³/s para un periodo de retorno de 15 años, 394,403 m³/s para 25 años, y 453,494 m³/s para 50 años, proporcionando información esencial para el diseño de infraestructuras resilientes. El análisis resaltó la urgencia de intervenciones específicas para la gestión del riesgo, recomendando actualizar y mejorar continuamente los modelos hidrológicos y utilizar los resultados como base para formular políticas y estrategias de gestión del riesgo. Se instó a promover la colaboración interdisciplinaria para implementar medidas integrales que fortalezcan la resiliencia de las comunidades locales ante eventos hidrológicos extremos.

N. DE REGISTRO (en base de datos):**N. DE CLASIFICACIÓN:****DIRECCIÓN URL (tesis en la web):****ADJUNTO PDF:**SI NO **CONTACTO CON AUTOR/ES:**

Nina Criollo Jonathan Stalin

Teléfono:

0982977959

E-mail:jninac@ulvr.edu.ec

CONTACTO	EN	LA	Decano
INSTITUCIÓN:			<p data-bbox="707 282 1114 315">Ph.D Marcial Calero Amores</p> <p data-bbox="707 371 1359 450">Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción.</p> <p data-bbox="707 506 1182 539">Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241</p> <p data-bbox="707 595 1145 629">E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec</p> <p data-bbox="707 685 1302 719">Directora de la Carrera de Ingeniería Civil</p> <p data-bbox="707 786 1241 819">Mgtr. Eliana Noemí Contreras Jordán</p> <p data-bbox="707 887 1193 920">Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 242</p> <p data-bbox="707 976 1174 1010">E-mail: econtrerasj@ulvr.edu.ec</p>

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante modelación hidráulica e hidrológica en el Río Yaguachi.

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	3%	0%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	app.sni.gob.ec Fuente de Internet	1%
3	www.elmisionero.com.ec Fuente de Internet	1%
4	www.geoportaligm.gob.ec Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 1%

Excluir bibliografía

Activo



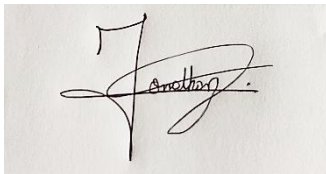
Verificado digitalmente por
SERVICIO NACIONAL DE REGISTRO
CALERO AMORES

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado **Jonathan Stalin Nina Criollo**, declara bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante modelación hidráulica e hidrológica en el río Yaguachi, corresponde totalmente a el suscrito 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 los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink. The signature is stylized and appears to read 'Jonathan Stalin Nina Criollo'.

Firma:

Jonathan Stalin Nina Criollo

C.I. 0951704188

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante modelación hidráulica e hidrológica en el río Yaguachi**, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: **Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante modelación hidráulica e hidrológica en el río Yaguachi**, presentado por el estudiante **Jonathan Stalin Nina Criollo** como requisito previo, para optar al Título de **Ingeniero Civil** encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**MARCIAL SEBASTIAN
CALERO AMORES**

PhD. Marcial Sebastián Calero Amores

C.C. 0905197869

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por su incondicional amor sobre mí; ya que, sin la ayuda de él no podría llegar a un meta más de mi vida; luego, a mi hermana por su apoyo incondicional; así mismo, a mis familias por su apoyo y motivación se seguir luchando por mis metas; por otra parte, a mi querida universidad y docentes, es un orgullo poder expresar mis agradecimientos a esta institución que ha sido de gran ayuda en mi formación académica, a través de varios años.

También, quiero agradecer a las personas que contribuyeron y fueron parte de este proyecto de investigación; luego, a mi tutor por su guía, comprensión y por su con sus conocimientos que fue de gran aporte para el desarrollo del trabajo. Sin embargo, estoy orgulloso de haber formado parte de esta noble universidad que me ha enseñado valores que me sirve para mi diario vivir como persona y como profesional.

DEDICATORIA

Este trabajo de proyectó más que un logro académico, representa mi constancia, esfuerzo y dedicación en este alucinante viaje universitario. Po otro lado, esta dedicación va con todo el corazón a mi padre **Segundo Nina Lemache** y a mi madre **Laura Hortencia Criollo Criollo**, por ser los pilares fundamentales en mis estudios por guiarme y estar conmigo en todo este proceso de la universidad brindándome su apoyo y ese aliento de seguir luchando por mis metas, dándome sus consejos sabios que han sido de gran aporte en mi vida

Sin embargo, sin el esfuerzo de ellos no lo hubiese logrado y estoy eternamente agradecidos con ellos que me inculcaron buenos valores, aprendizajes y de no rendirme ante cualquier obstáculo que se me presenten en la vida sino de ser perseverante, constante y seguir logrando metas que faltan por hacer; en fin, estoy muy alegre y tengo el orgullo y la dicha de decir que soy uno más egresado de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

RESUMEN

El estudio se centró en la determinación de zonas de riesgo por inundación en la cuenca del río Yaguachi, ubicado al suroeste de Guayaquil, considerando su topografía variada y sus 88 microcuencas, junto con el uso agrícola y la contaminación del agua. Se estableció como objetivo general esta determinación, empleando un enfoque cuantitativo que implicó la recolección y análisis riguroso de datos hidrológicos y climáticos. La metodología incluyó la construcción de modelos hidráulicos e hidrológicos, así como la cuantificación de caudales de retorno para diferentes periodos. Los resultados, obtenidos mediante esta investigación, revelaron patrones significativos, como altos niveles de precipitación durante la temporada de lluvias y áreas críticas de alta densidad poblacional en zonas de riesgo, identificadas visualmente mediante ARCGIS. Asimismo, este modelo reveló caudales máximos de hasta 346,070 m³/s para un periodo de retorno de 15 años, 394,403 m³/s para 25 años, y 453,494 m³/s para 50 años, proporcionando información esencial para el diseño de infraestructuras resilientes. El análisis resaltó la urgencia de intervenciones específicas para la gestión del riesgo, recomendando actualizar y mejorar continuamente los modelos hidrológicos y utilizar los resultados como base para formular políticas y estrategias de gestión del riesgo. Se instó a promover la colaboración interdisciplinaria para implementar medidas integrales que fortalezcan la resiliencia de las comunidades locales ante eventos hidrológicos extremos.

Palabras Clave: Inundación, Riesgos naturales, Hidrología, Clima, precipitación.

ABSTRACT

The study focused on determining flood risk areas in the Yaguachi River basin, located southwest of Guayaquil, considering its varied topography and its 88 micro-basins, along with agricultural use and water pollution. This determination was established as a general objective, using a quantitative approach that involved the collection and rigorous analysis of hydrological and climatic data. The methodology included the construction of hydraulic and hydrological models, as well as the quantification of return flows for different periods. The results, obtained through this research, revealed significant patterns, such as high levels of precipitation during the rainy season and critical areas of high population density in risk zones, identified visually using ARCGIS. Likewise, this model revealed maximum flows of up to 346,070 m³/s for a return period of 15 years, 394,403 m³/s for 25 years, and 453,494 m³/s for 50 years, providing essential information for the design of resilient infrastructures. The analysis highlighted the urgency of specific risk management interventions, recommending continually updating and improving hydrological models and using the results as a basis for formulating risk management policies and strategies. It was urged to promote interdisciplinary collaboration to implement comprehensive measures that strengthen the resilience of local communities in the face of extreme hydrological events.

KEYWORDS: Flood, Natural hazards, Hydrology, Climate, precipitation.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1.1. Tema.....	2
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Formulación del Problema	3
1.4. Objetivo General	3
1.5. Objetivos Específicos	3
1.6. Hipótesis	4
1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2.1. Marco Teórico	5
2.2. Bases Teóricas	6
2.3. Hidrología.....	6
2.3.1. Definición	6
2.3.2. Sistema o Ciclo Hidrológico	7
2.3.3. Componentes Principales del ciclo Hidrológico	8
2.3.4. Probabilidad y Estadística en hidrología	11
2.3.5. Aplicación de la ingeniería en el campo de la Hidrología.....	11
2.3.6. Modelo Hidrológico	13
2.3.7. Hidrología.....	14
2.4. Hidráulica	15
2.4.1. Modelo Hidráulico	15
2.4.2. Modelación Hidráulica en ArcGis.....	16
2.4.3. Ley de Gumbel.....	18
2.4.4. Río Yaguachi	18
2.4.5. Hidráulica de canales abiertos	27

2.4.6.	Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.....	29
2.4.7.	Morfología Fluvial.....	30
2.5.	Riesgos por inundación.....	31
2.5.1.	Riesgos.....	31
2.5.2.	Niveles de Riesgo.....	32
2.5.3.	Evaluación del riesgo.....	32
2.5.4.	Inundaciones.....	36
2.5.5.	Zonas inundables - llanuras de inundación.....	38
2.5.6.	Superficie de Inundación.....	39
2.5.7.	Amenazas.....	40
2.5.8.	Desastres.....	41
2.6.	Clasificación de corrientes.....	41
2.6.1.	Curvas de nivel.....	43
2.6.2.	Hidrogramas.....	43
2.7.	Marco Legal.....	45
2.7.1.	Disposiciones Preliminares de los Principios del Agua.....	45
CAPÍTULO III.....		47
3.1.	Enfoque de la investigación.....	47
3.1.1.	Fundamentación del Enfoque Seleccionado.....	47
3.2.	Alcance de la investigación.....	48
3.2.1.	Fundamentación del Alcance Seleccionado.....	48
3.3.	Técnica e instrumentos para obtener los datos.....	49
3.3.1.	Instrumentos.....	49
3.3.2.	Software SIG (Sistemas de Información Geográfica).....	50
3.4.	Población y muestra.....	51
3.4.1.	Estrategias de Muestreo.....	52
3.4.2.	Selección De Estaciones Hidrometeorológicas.....	52

3.4.3.	Consulta de Archivos en Línea	53
3.4.4.	Tipos de Muestra en investigación cualitativa	54
3.5.	Procesos Metodológico	55
3.5.1.	Selecciones estadísticos	55
3.5.2.	Validación de influencias.....	55
3.5.3.	Modelo hidrológico	55
3.5.4.	Modelo hidráulico	56
3.5.5.	Análisis de las zonas potenciales de inundación	56
CAPÍTULO IV	.....	57
4.1.	Presentación y análisis de resultados	57
4.2.	Condiciones Hidrológicas en la Cuenca del Río Yaguachi.....	58
4.3.	Validación de Modelos Hidrológicos e Hidráulicos	59
4.4.	Identificación de Zonas de Riesgo por Inundación.....	61
4.5.	Propuesta de Solución	64
4.6.	Resultados de la Investigación.....	66
4.7.	Análisis de los Resultados	67
4.7.1.	Problema Identificado	68
CONCLUSIONES	.....	71
RECOMENDACIONES	.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	75
ANEXOS	.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Líneas de Investigación	4
Tabla 2 Hidrología Aplicada en Obras	12
Tabla 3 Precipitación captada por la estación M037 (Milagro)	23
Tabla 4 Caudales Máximos Anuales H340	25
Tabla 5 Cálculos de Media y Desviación Estandar	27
Tabla 6 Tiempo de Retorno	27
Tabla 7 Técnicas e instrumentos	50
Tabla 8 Alcance de la investigación.....	51
Tabla 9 Datos de precipitación media.....	60
Tabla 10 Objetivos y Resultados de la Investigación.....	67
Tabla 11 Cumplimiento en el desarrollo de los objetivos	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo Hidrológico	7
Figura 2 Modelo Hidrológico de una Cuenca	14
Figura 3 Ríos de la Provincia del Guayas.....	15
Figura 4 Modelos Hidráulicos	16
Figura 5 Modelación Hidráulica del Río Yaguachi	17
Figura 6 Precipitación en la zona durante el año (captadas por la estación meteorológica M037 en Milagro)	20
Figura 7 Mapa del Río Yaguachi	21
Figura 8 Estación meteorológica de Milagro.....	23
Figura 9 Estación Hidrológica Operativa H340 (Chimbo en Bucay)	24
Figura 10 Aplicación de la ley de Gumbel.....	26
Figura 11 Tipos de Canales.....	29
Figura 12 Curvas IDF.....	30
Figura 13 Niveles de Riesgo.....	32
Figura 14 Curva de daños en función del calado y esquema de cálculo del riesgo.....	35
Figura 15 Causas, Efecto e Impacto de Inundaciones.....	38
Figura 16 Tipos de Inundaciones.....	39
Figura 17 Clasificación de corrientes	43

Figura 18 Elementos del Hidrógrama	44
Figura 19 Subcuencas del Rio Guayas.....	52
Figura 20 Estación Meteorológica de Milagro	53
Figura 21 Sub Cuenca Yaguachi	57
Figura 22 Modelación Hidráulica del Río Yaguachi	59
Figura 23 Modelación Hidráulica en ArcGIS, zonas en riesgo de inundación.	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Pasos Para la Modelación Hidráulica	79
Anexo 2. Mapa de Inundaciones del Río Yaguachi	83
Anexo 3. Mapa Hidrológico Delimitado del Río Yaguachi	84

INTRODUCCIÓN

El Trabajo de Titulación aborda un problema de relevancia crítica asociado a las condiciones hidrológicas adversas en la cuenca del río Yaguachi. Esta investigación se ha llevado a cabo en una región geográfica específica, donde se identificaron patrones significativos en la magnitud de los caudales presentados por el río, la distribución de precipitaciones y los niveles de inundación. La problemática central radica en el alto riesgo de inundación que estas condiciones presentan, generando amenazas sustanciales para las comunidades locales, la infraestructura y el medio ambiente circundante.

La investigación se justifica por la falta de una gestión adecuada del riesgo y estrategias de mitigación específicas en la cuenca del río Yaguachi. La ausencia de medidas efectivas agrava la vulnerabilidad de la región ante eventos hidrológicos extremos, aumentando la exposición de la población local a riesgos significativos y afectando la seguridad, el bienestar y el desarrollo sostenible.

El contenido de cada capítulo aborda aspectos cruciales de la investigación. En el primer capítulo se introduce la problemática, se destaca su relevancia y se proporciona una visión general del contexto geográfico. El segundo capítulo se centra en la metodología utilizada, haciendo énfasis en el análisis de precipitaciones respaldado por Modelos Digitales de Elevación y herramientas SIG como ARCGIS.

El tercer capítulo se enfoca en la validación de modelos hidrológicos y su contribución a las proyecciones futuras. El cuarto capítulo identifica zonas de riesgo, priorizando áreas para intervenciones y medidas de gestión del riesgo. El quinto capítulo cuantifica y presenta las conclusiones y recomendaciones derivadas de la actividad realizada en el desarrollo de la investigación, cerrando de esta manera con la posible solución a la problemática existente.

CAPÍTULO I

Enfoque de la Propuesta

1.1. Tema

“Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante modelación hidráulica e hidrológica en el Río Yaguachi”

1.2. Planteamiento del Problema

El territorio nacional se divide en 79 cuencas que conforman 31 sistemas hidrográficos. Estos sistemas corresponden a las dos fuentes de agua que se originan en los Andes y desembocan en el Océano Pacífico en un total de 24 cuencas, cubriendo un área de 123.243 km², o el 48,7 por ciento del territorio nacional, y en un total de 7 cuencas, cubriendo un área de 131.802 km², o el 51,41 por ciento de la tierra del país. Un total de 1.325 km² de la superficie de la isla, o 0 coma 52 por ciento del territorio nacional, es adyacente al continente (Sánchez, 2019).

El río Yaguachi, que se encuentra a 29 kilómetros de Guayaquil en el suroeste del país, tiene 88 microcuencas (Rivadeneira, 2019), cada una de las cuales tiene características hidrometeorológicas distintivas y diferentes. El clima de la región varía debido a su variada topografía y altitud. Las limitaciones incluyen el Golfo de Guayaquil al sur, la cordillera de los Andes al este, la cordillera de la costa al oeste y un brazo de la cordillera que divide la cuenca del Guayas de la cuenca de Esmeraldas al norte (Ecuador, 2020).

Antes de que los ríos Babahoyo y Daule confluyan para formar el río Guayas, en los últimos afluentes del río Babahoyo, nace del encuentro de los ríos Chanchán y Chimbo que se unen de Marcelino Maridueña. El río Chimbo se origina en la vertiente occidental del Chimborazo (6.310 m de altitud) y fluye de norte a sur hasta encontrarse con el río Yaguachi cerca del pueblo de Bucay. Este río tiene una cuenca aportante de 2.216 km², un caudal medio de 39,4 m³ y un escurrimiento de 1.224 m³/s. (Avilés, 2019)

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2023), Yaguachi cuenta con una población aproximada de 48.000 habitantes, representando el 1.4% de toda la población existente en la Provincia de Guayas.

Según los autores Ortiz y Researchgate (2012) que, aunque el río Yaguachi, que se creó a partir de la confluencia de los ríos Chimbo y Chanchán, ha tenido problemas de contaminación durante varios años, los agricultores que viven en las orillas del río aún usan el agua para cultivos como arroz, maíz y otros cultivos. Los campesinos y pobladores del cantón incluso usaban este río como fuente de alimento, y como resultado, había muchas especies diferentes de peces y aves, creando un paisaje deslumbrante.

Por lo que se requiere la determinación de las zonas de riesgo por inundación en la zona, mediante el uso de la modelación hidráulica e hidrológica, para que de esta manera se puedan prevenir posibles alteraciones en el cauce del río, derivando en accidentes naturales que puedan

1.3. Formulación del Problema

¿De qué manera contribuye el modelo hidráulico e hidrológico para identificar las zonas por inundación en el río Yaguachi?

1.4. Objetivo General

Determinar zonas de riesgo por inundación mediante modelación hidráulica e hidrológica en el río Yaguachi.

1.5. Objetivos Específicos

- Evaluar los datos hidrológicos y climáticos del río Yaguachi para construir un modelo hidrológico que permita estimar los caudales de agua.
- Desarrollar un modelo hidrológico e hidráulico que simule la propagación del agua en el río Yaguachi, considerando la geometría del cauce y las condiciones de inundación.
- Identificar las potenciales inundaciones de riesgo en el río Yaguachi.

1.6. Hipótesis

La aplicación de modelos hidráulicos e hidrológicos en el río Yaguachi permitirá identificar las zonas de riesgo por inundación. Se espera que la integración de datos hidrológicos y climáticos en un modelo robusto facilite la predicción y evaluación de caudales de agua, así como la simulación efectiva de la propagación del agua en diferentes condiciones, contribuyendo así a una mejor comprensión y gestión de los riesgos de inundación en la región.

1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Tabla 1

Líneas de Investigación

Dominio	Línea institucional	Línea de la Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Territorio

Fuente: ULVR, (2023)

La relevancia de esta línea de investigación se sustenta en su abordaje de cuestiones contemporáneas y apremiantes, su dedicación a la sostenibilidad y al medio ambiente, su capacidad para mejorar la calidad de vida y su aptitud para enfrentar desafíos a escala global. Se anticipa que los resultados de esta investigación generarán impactos positivos tanto en el ámbito académico como en la sociedad en su totalidad.

CAPÍTULO II

Marco Referencial

2.1. Marco Teórico

Como parte de los procesos de ingeniería utilizados en la construcción de estructuras de edificación, previo a los cálculos, es necesario realizar varios estudios que permitirán conocer información relevante sobre las áreas de interés; Sin embargo, el estudio realizado pretende analizar el comportamiento de la cuenca del río Machangara con la ayuda de un modelo hidrológico e hidrodinámico para obtener hidrogramas de crecidas y crear mapas de crecidas y zonas de riesgo, teniendo en cuenta la probabilidad de crecidas. (Méndez & Vásquez, 2021)

Los autores Gallardo y Figueroa (2019) afirma que, las inundaciones son eventos que ocurren debido al desbordamiento de los ríos, ocasionando pérdidas materiales y humanas, considerado uno de los fenómenos naturales más destructivos a lo largo de la historia, el presente trabajo presenta una metodología para el análisis hidrológico a través de la modelación hidráulica. en el casco urbano de la ciudad de Jipijapa, esta metodología se basa en estadísticas, características y uso del suelo para determinar la precipitación máxima.

Como señala Guanocunga (2019) que, en el presente estudio técnico se propone una metodología que permite realizar análisis hidrológicos e hidráulicos para determinar el cambio de uso de suelo ocasionado por la erosión y socavación de ríos, especialmente en zonas con importantes estructuras urbanas. Para estimar el caudal general del río se realizó el análisis mediante el modelo hidrodinámico del programa ARCGis, que calcula la variación de la sección en el cauce de los ríos que forman la confluencia. Desde un punto de vista técnico, la información obtenida ayudará a mostrar la importancia de ahorrar el recurso hídrico y recomendar soluciones a estas eventualidades.

Teniendo en cuenta a los autores Florez y Linares (2023), nos indica que el objetivo principal de este levantamiento es la cuenca baja del río Capillamayo mediante el análisis hidráulico e hidrológico capaz de obtener una serie de resultados durante este proceso, incluido un mapa de inundaciones y caudales máximos con

diferentes períodos de retorno. Es decir que el análisis hidráulico e hidrológico ha ayudado significativamente en la identificación de zonas de riesgo en diferentes escalas.

Según los autores Montalvo y Jácome (2022), las inundaciones son cada vez más comunes en todo el mundo debido a la falta de planificación y desarrollo productivo cerca de los cauces de los ríos. Los estudios hidrológicos son esenciales para lograr descargas máximas de inundación mediante la aplicación de principios de escorrentía de aguas pluviales, mientras que la implementación de un modelo hidráulico ayuda a obtener superficies de inundación que reflejen profundidades y velocidades para identificar áreas en riesgo. Este estudio se centró en la identificación de áreas urbanas propensas a inundaciones en la ciudad de Riobamba.

2.2. Bases Teóricas

2.3. Hidrología

2.3.1. Definición

La hidrología se define como la ciencia geográfica encargada de estudiar la distribución espacio-temporal, tanto por encima como por debajo de la superficie terrestre, de los eventos que generan los recursos hídricos. Además, la hidrología aborda la circulación del agua, cuantifica estos eventos, analiza la forma en que se utilizan los recursos hídricos y estudia las propiedades asociadas a ellos. Esta disciplina también se ocupa de una variedad de fenómenos, como eventos de precipitación, la escorrentía superficial y sub superficial, las propiedades de humedad del suelo, los efectos de evapotranspiración y los valores de equilibrio en los glaciares existentes.

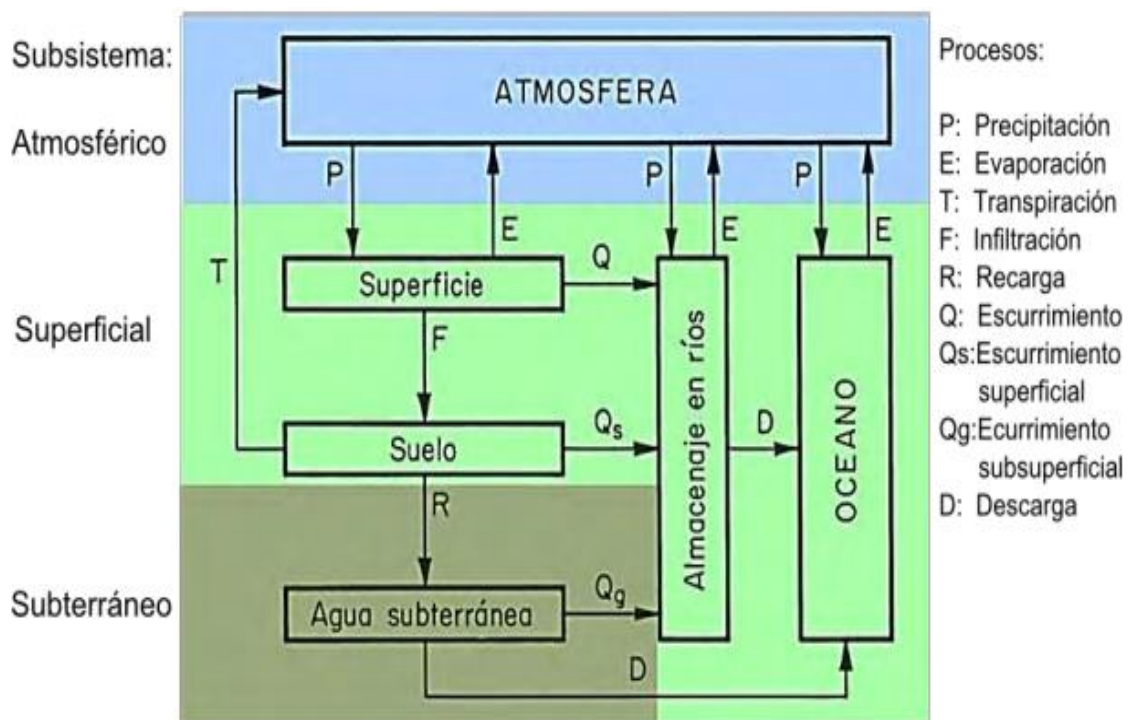
En esencia, la hidrología es una ciencia interdisciplinaria que abarca diversos aspectos del ciclo hidrológico, desde la formación y distribución de los recursos hídricos hasta su uso y comportamiento en la superficie terrestre. El estudio detallado de la hidrología es esencial para comprender y gestionar eficazmente los recursos hídricos, así como para abordar cuestiones relacionadas con la calidad del agua, la disponibilidad de recursos y la planificación sostenible del uso del agua en diferentes regiones geográficas (Yabar, 2022, p. 28).

2.3.2. Sistema o Ciclo Hidrológico

Un Sistema o Ciclo Hidrológico se denomina sistema porque el flujo constante de agua de estado líquido o sólido a gaseoso o al revés produce una serie de entradas y salidas. Describe el movimiento continuo del agua en el planeta Tierra, es un sistema regido por el principio de conservación de la masa; donde está la entrada, en este caso lluvia; junto con las características del sistema, lo que la hidrología define como Cuenca Hidrográfica; determinar la cantidad de agua que sale, que representa el flujo de la cuenca (Mirian & Israel, 2022, p. 20) .

El ciclo hidrológico describe el movimiento general del agua desde el océano hacia la atmósfera, de regreso al suelo y al subsuelo, y finalmente de regreso al océano. La figura 1 ilustra el ciclo hidrológico como un sistema donde cada flecha representa un proceso, cada cuadrado representa una variable y cada bloque de color diferente representa un subsistema (Candia, 2015) .

Figura 1
Ciclo Hidrológico



Fuente: (Candia, 2015 , p. 21)

2.3.3. Componentes Principales del ciclo Hidrológico

Hay diversos componentes y las cuales son primordiales las cuales son:

2.3.3.1 Precipitación (P)

La precipitación refiere a la cantidad de agua que cambia de estado gaseoso en una nube al estado líquido o sólido y cae al suelo en forma de lluvia, nieve o granizo. Este proceso es una parte esencial del ciclo hidrológico y contribuye significativamente al suministro de agua en la superficie terrestre.

Cuando el vapor de agua en la atmósfera se enfría y se condensa en pequeñas gotas de agua o cristales de hielo en una nube, se forma la precipitación. La caída de estas gotas o cristales hacia la superficie terrestre es lo que conocemos como lluvia, nieve o granizo, dependiendo de las condiciones climáticas y de la altitud.

La precipitación es un componente vital para mantener el equilibrio en los ecosistemas y asegurar el suministro de agua dulce. La cantidad y tipo de precipitación pueden variar según la ubicación geográfica, la temporada y otros factores climáticos. La medición y el monitoreo de la precipitación son aspectos fundamentales para comprender los patrones climáticos, gestionar recursos hídricos y prevenir eventos extremos como inundaciones o sequías (De La Rosa & Diaz, 2022, p. 7).

2.3.3.2 Evapotranspiración (ET)

La evapotranspiración es un proceso hidrológico que combina tanto la evaporación como la transpiración. La evaporación representa la cantidad de agua que pasa de la fase líquida a la fase gaseosa y se introduce en la atmósfera en forma de vapor de agua. Este proceso puede ocurrir directamente desde la superficie de la Tierra, así como desde cuerpos de agua como lagos y embalses.

Simultáneamente, la transpiración es la fracción volumétrica de agua que se convierte en vapor de agua y se transporta a la atmósfera a través de las hojas de las plantas. Las plantas absorben agua líquida del suelo a través de sus raíces y luego liberan parte de esa agua en forma de vapor a través de pequeñas aberturas en las hojas, conocidas como estomas.

En conjunto, la evaporación y la transpiración contribuyen a la evapotranspiración total, que representa la pérdida de agua desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. Este proceso es esencial en el ciclo hidrológico, ya que afecta el balance de agua en la atmósfera y en la superficie terrestre, influyendo en fenómenos como la formación de nubes, la precipitación y la disponibilidad de agua en suelos y cuerpos de agua. (De La Rosa & Diaz, 2022, p. 7)

2.3.3.3 Escorrentía Superficial

La cantidad de agua que fluye sobre la superficie terrestre, formando ríos que a su vez se acumulan en embalses, se conoce como escorrentía superficial. Este componente del ciclo hidrológico es fundamental para entender cómo el agua se desplaza y se distribuye en la superficie de la Tierra.

La escorrentía superficial ocurre cuando la precipitación, ya sea en forma de lluvia, nieve o cualquier otra forma de precipitación, excede la capacidad de absorción del suelo y fluye sobre la superficie en lugar de infiltrarse en el suelo. El agua de escorrentía se acumula en pequeños arroyos que, con el tiempo y la convergencia de flujos, forman ríos más grandes.

Estos ríos pueden ser gestionados mediante embalses, que son estructuras construidas para almacenar grandes cantidades de agua. Los embalses sirven para diversos propósitos, como la regulación del flujo de agua, la generación de energía hidroeléctrica, el suministro de agua para usos domésticos, agrícolas e industriales, así como la prevención de inundaciones al retener y liberar gradualmente el agua (De La Rosa & Diaz, 2022, p. 8).

2.3.3.4 Infiltración

La cantidad de agua que ingresa al suelo, conocida como infiltración, juega un papel crucial en el ciclo hidrológico. Parte de este volumen de agua fluye horizontalmente, percolación es un flujo medio a través de la zona no saturada, por encima del nivel freático, y eventualmente se convierte en un flujo superficial, contribuyendo a la formación de arroyos y ríos. Sin embargo, otra porción de esta

agua continúa descendiendo verticalmente a través del suelo hasta alcanzar el acuífero mediante un proceso de infiltración profunda.

El agua que se infiltra en el suelo puede seguir distintos caminos, dependiendo de la textura del suelo, su porosidad y otros factores. La porción que fluye horizontalmente a través de la zona no saturada puede ser afectada por procesos como la evaporación, la transpiración de las plantas y la retención temporal en la zona no saturada antes de convertirse en flujo superficial.

Por otro lado, la parte que continúa descendiendo verticalmente hacia el acuífero representa un aporte significativo al almacenamiento de agua subterránea. Los acuíferos, que son capas geológicas permeables capaces de almacenar y transmitir agua subterránea, actúan como reservorios fundamentales en el subsuelo. Este proceso de infiltración profunda contribuye a la recarga de los acuíferos, siendo esencial para mantener el equilibrio en los recursos hídricos subterráneos (De La Rosa & Diaz, 2022, p. 8).

2.3.3.5 Flujo subterráneo

El agua subterránea, es decir, la cantidad de agua que circula bajo tierra, desempeña un papel crucial en el ciclo hidrológico. Este recurso hídrico puede manifestarse como agua superficial mediante la emergencia de manantiales o filtraciones directas hacia cuerpos de agua como el mar. La conexión entre el agua subterránea y el agua superficial es un aspecto fundamental en la comprensión de la hidrología y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

El agua subterránea se acumula en el subsuelo en formaciones geológicas conocidas como acuíferos. Estos acuíferos actúan como reservorios naturales que almacenan y transportan agua. Cuando la presión subterránea es suficiente o cuando se encuentra una salida, el agua subterránea puede fluir hacia la superficie a través de manantiales. Estos manantiales son puntos de emergencia donde el agua subterránea se encuentra con la superficie terrestre, contribuyendo al flujo de agua en arroyos, ríos y otros cuerpos de agua superficiales.

Además, la filtración directa hacia el mar es otro mecanismo mediante el cual el agua subterránea puede convertirse en agua superficial. Esta filtración ocurre cuando el agua subterránea fluye hacia zonas costeras y se mezcla con el agua del mar. Esta interacción entre el agua subterránea y el agua superficial es esencial para la salud de los ecosistemas costeros y contribuye a la salinidad del agua en estas áreas (De La Rosa & Diaz, 2022, p. 8).

2.3.4. Probabilidad y Estadística en hidrología

En general, el hidrólogo dispondrá de un registro de información hidrometeorológica (precipitaciones, caudales de evapotranspiración, temperaturas, etc.). Seleccionará un modelo probabilístico para usar que capture adecuadamente el comportamiento de la variable en función de su comprensión del problema físico. Por otro lado, las pruebas y evaluación de conformidad y estimación de los parámetros son necesarias antes de aplicar estos modelos probabilísticos. Una vez que se ha descubierto la ley de distribución que rige las variables aleatorias, se puede utilizar la distribución elegida y, si el ajuste es exitoso, también es posible predecir con cierto grado de certeza la probabilidad de que un fenómeno hidrometeorológico de determinada magnitud que ocurra. Además, para un período de retorno específico, será posible estimar el tamaño de un fenómeno (Mori & Flores, 2020, p. 11).

2.3.5. Aplicación de la ingeniería en el campo de la Hidrología

Sentar las bases de la hidrología es fundamental en el contexto de proyectos civiles, ya que influye directamente en el funcionamiento y utilidad de diversas infraestructuras, tanto estructurales como no estructurales. En la actualidad, las costas peruanas enfrentan los impactos del fenómeno "El Niño", subrayando la importancia de estrategias de obras de protección, las cuales están intrínsecamente ligadas a los principios de la hidrología.

En este escenario, es crucial llevar a cabo cálculos provenientes del caudal estudiado para dimensionar y diseñar estructuras hidráulicas que mitiguen los efectos de eventos hidrológicos extremos. Entre los aspectos a considerar, se destaca el cálculo del caudal máximo posible a través de un río, un elemento esencial para determinar la capacidad de carga de estructuras como puentes o diques. Asimismo,

el cálculo del volumen de agua que se pretende embalsar resulta crucial para el diseño y la gestión de represas y estructuras de retención.

Adicionalmente, calcular los periodos de retorno adecuados para las estructuras hidráulicas es esencial. Este análisis permite evaluar la probabilidad estadística de ocurrencia de eventos hidrológicos extremos, como inundaciones, y determinar la frecuencia con la que se espera que estos eventos se repitan. Estos periodos de retorno son fundamentales para establecer criterios de diseño que garanticen la resiliencia y seguridad de las estructuras frente a condiciones hidrológicas adversas (Yabar, 2022, p. 39).

A continuación, se presenta en la tabla 1 algunas condiciones específicas de la siguiente manera: Hidrología aplicada en Obras

Tabla 2
Hidrología Aplicada en Obras

Estudio	1	2	3	4	5
Propósito	Precipitación	Evaporación	Infiltración	Caudales, niveles	Condiciones de aguas subterráneas
Erosión del suelo	Intensidad y duración	Humedad del suelo	Capacidad de infiltración	-	-
Control de crecientes	Altura de precipitación de la tormenta	-	Tasa de infiltración actual	Frecuencia de caudales máximos	Infiltración entrante
Navegación	-	-	-	Hidrogramas de niveles. Curvas de duración de niveles. Niveles mínimos	Infiltración de agua a través de canales
Hidroelectricidad	Precipitación	Evaporación sobre el área de drenaje y el embalse	-	Máximos y Promedios. Hidrogramas de crecida.	Infiltración a través de presas
Drenaje	Frecuencia de tormenta, intensidad y duración	Altura de drenaje anual	Tasa de infiltración actual	-	Niveles freáticos
Irrigación	Variación mensual y anual de la precipitación	Máxima evaporación, transpiración	Pérdidas por infiltración	Años húmedos y secos, niveles en bocatoma	Pérdidas por percolación, nivel de tabla de agua
Abastecimiento de aguas	Precipitación	Evaporación sobre el área de drenaje y embalse	-	Años húmedos y secos	Rendimiento seguro
Embalse de agua subterránea	Precipitación anual sobre el área de abastecimiento	Evaporación anual del área de abastecimiento	Infiltración anual, recarga	Infiltración entrante y saliente	Almacenamiento

Fuente: (Yabar, 2022, p. 40)

2.3.6. Modelo Hidrológico

Un modelo hidrológico se puede entender como una simplificación de un sistema natural que busca representar los procesos hidrológicos relevantes en una cuenca hidrográfica. Estos modelos se dividen tradicionalmente en dos categorías principales: modelos basados en procesos físicos y modelos conceptuales. Los modelos conceptuales expresan el entendimiento de los procesos hidrológicos y pueden ser representados mediante modelos matemáticos o físicos. Por otro lado, los modelos físicos describen el sistema natural a través de la elaboración de un prototipo, que puede ser representado matemáticamente utilizando las leyes de conservación de masa, momento y energía (Mendoza et al. 2002).

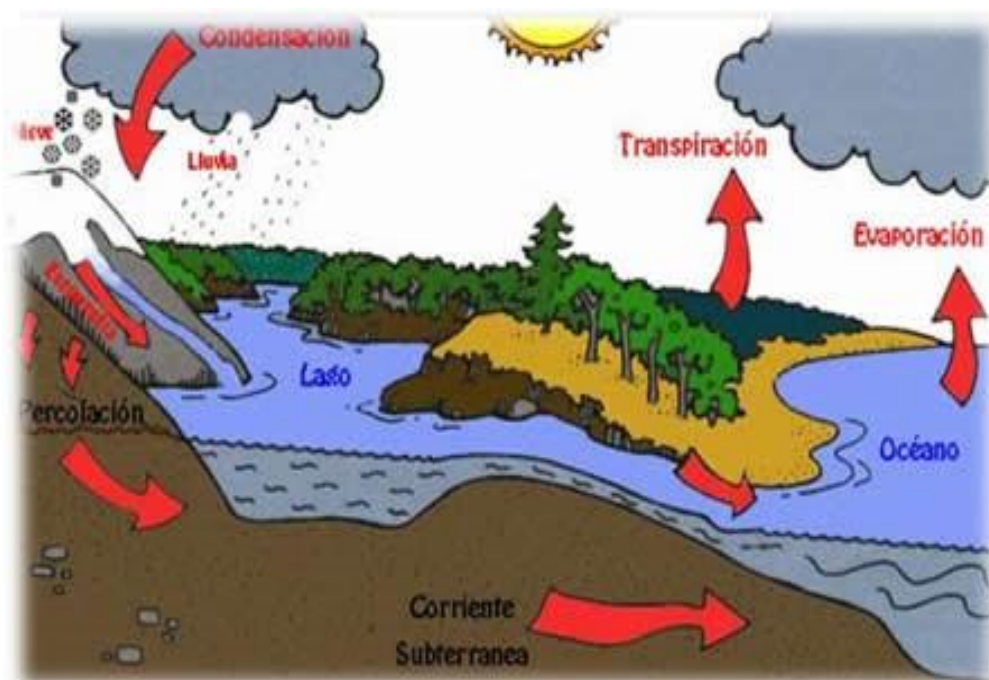
Desde el punto de vista matemático, los modelos hidrológicos pueden ser clasificados como empíricos o teóricos, y su solución puede ser analógica o numérica. Además, según el comportamiento de las variables, pueden ser estocásticos o determinísticos. Para que un modelo hidrológico sea efectivo, debe cumplir con dos condiciones principales: los datos necesarios para la calibración deben ser accesibles y la calibración del modelo debe ser sencilla. Esto es especialmente importante cuando los datos son limitados, ya que se requiere seleccionar un número reducido de parámetros para su utilización.

Cuando las relaciones entre las características físicas de la cuenca y la respuesta hidrológica están bien establecidas, es posible predecir el comportamiento hidrológico de la cuenca sin la necesidad de medir directamente todos los procesos. El desarrollo de modelos predictivos relacionados con los parámetros de la cuenca se apoya en el uso de técnicas como el análisis de regresión, la sensibilidad al período de calibración y la evaluación de la extrapolación. En particular, se utilizan técnicas de calibración automática para reducir la subjetividad en el proceso de ajuste del modelo.

Los parámetros morfométricos que se tomaron de las áreas de estudio junto con los datos climatológicos registrados por las estaciones meteorológicas se utilizaron para crear el modelo hidrológico, que representa el ciclo del agua en una cuenca hidrográfica. Utilizando datos de las estaciones pluviográficas y pluviométricas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que nos brindan registros diarios de caudales y niveles de agua, podemos modelar el

comportamiento de las lluvias con información clara y precisa. Estas entradas permiten el análisis de los flujos y el almacenamiento de agua a nivel superficial. La intensidad de la lluvia que se debe modelar, que dependerá de período de retorno, la duración de la temporada de lluvias o el período de concentración para el área de perforación, se debe examinar para calcular las cantidades de caudal. (Alexander, 2020, p. 20)

Figura 2
Modelo Hidrológico de una Cuenca



Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

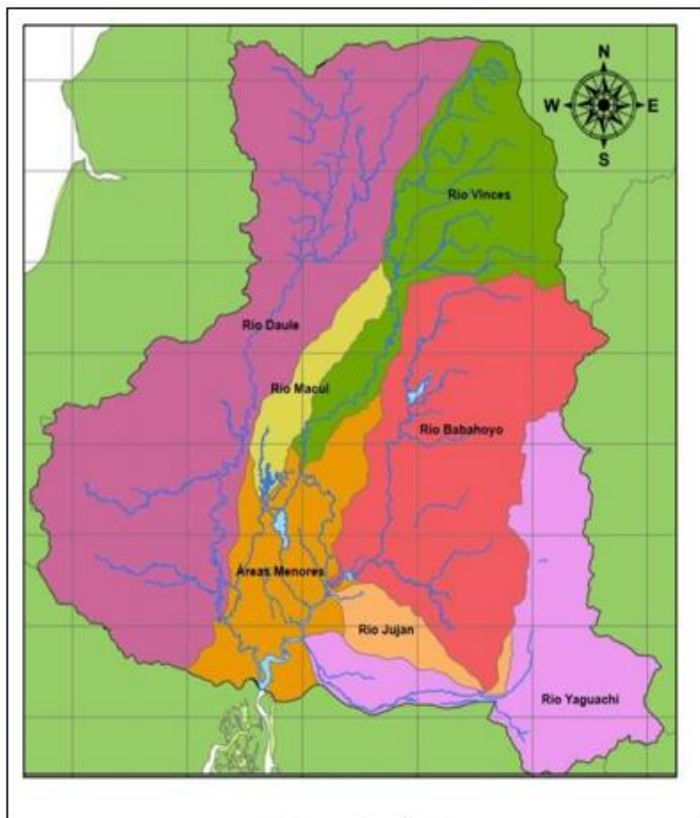
Para el análisis espacial de los flujos causados por la precipitación en un modelo digital de elevación (DEM), herramientas como los (SIG) o como ARCGIS que permiten las interacciones de información necesaria para llevar a cabo una buena modelación (Alexander, 2020, p. 20).

2.3.7. Hidrología

San Jacinto de Yaguachi se encuentra geográficamente ubicado en la Cuenca baja del Guayas, que pertenece a la vertiente Occidental. Esta cuenca está compuesta por siete subcuencas, cuyos afluentes se originan en las estribaciones de la parte occidental de la Cordillera de los Andes y en la vertiente oriental de la Cordillera Chongón-Colonche.

La cuenca del río Yaguachi, en la que se encuentra San Jacinto, contribuye con aproximadamente el 14% del total de la cuenca del río Guayas. Esta región es parte integral de la red hidrográfica que se extiende desde las montañas de los Andes hasta la desembocadura en el océano, desempeñando un papel crucial en el sistema hídrico de la zona.

Figura 3
Ríos de la Provincia del Guayas



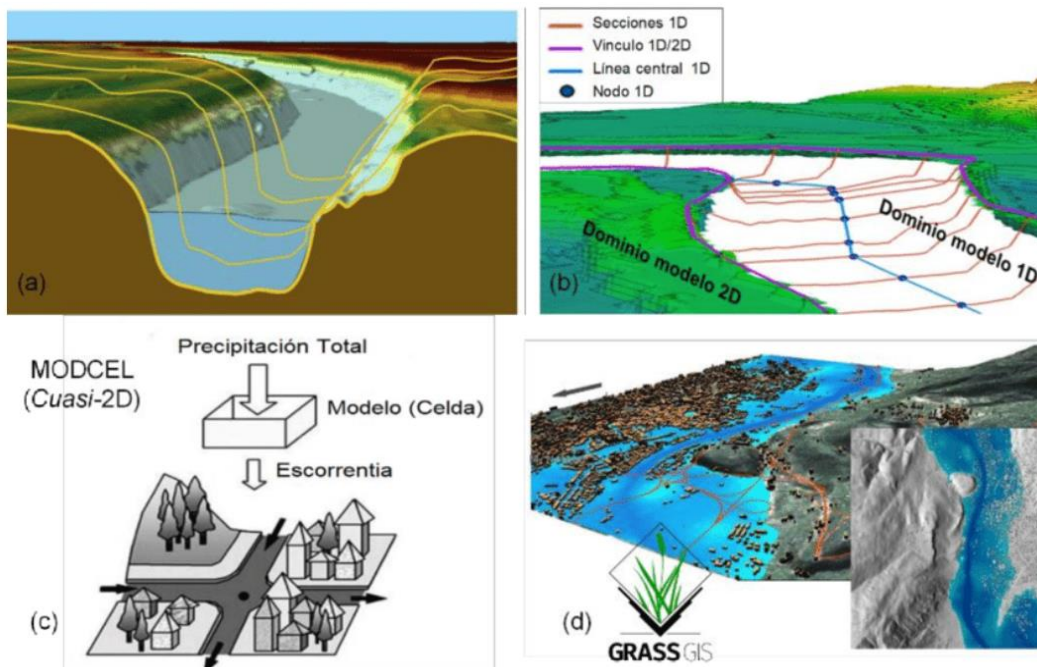
Fuente: MAGAP, 2019
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

2.4. Hidráulica

2.4.1. Modelo Hidráulico

En el modelo hidráulico empleado para representar el flujo de agua en un canal abierto, se aplican ecuaciones hidráulicas fundamentales, destacando la ley de Gumbel. Estas ecuaciones son esenciales para comprender y predecir el comportamiento del flujo, especialmente en situaciones críticas como eventos extremos. Aquí se amplía sobre la aplicación de estas leyes y la importancia de datos detallados para la calibración y validación del modelo.

Figura 4
Modelos Hidráulicos



Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

2.4.2. Modelación Hidráulica en ArcGis

Según Chayña (2022), Un modelo hidráulico en el contexto de ArcGIS se refiere a una representación digital y matemática de los procesos hidráulicos que ocurren en una determinada área, generalmente asociada con cuerpos de agua como ríos o arroyos. Este modelo utiliza datos geospaciales y parámetros hidráulicos para simular el comportamiento del agua en respuesta a diversas condiciones, como lluvias intensas o cambios en el flujo de los ríos. ArcGIS, una plataforma de información geográfica, proporciona herramientas especializadas para desarrollar y analizar estos modelos, permitiendo a los investigadores y planificadores simular escenarios hidráulicos complejos y evaluar los posibles impactos en el entorno.

La creación de un modelo hidráulico en ArcGIS implica la recopilación de datos topográficos, información sobre la red de drenaje y otros datos relevantes que influyen en el flujo del agua. Estos datos se integran en un entorno de sistema de información geográfica (SIG) para crear una representación espacialmente precisa de la cuenca hidrográfica en cuestión. A través de la aplicación de algoritmos y ecuaciones hidráulicas, el modelo simula cómo se comportará el agua en diferentes condiciones

climáticas y geográficas, permitiendo la identificación de áreas propensas a inundaciones y la evaluación de medidas de mitigación.

ArcGIS ofrece capacidades para visualizar los resultados de estos modelos de manera gráfica, facilitando la interpretación de la información y la toma de decisiones informadas. Este enfoque integral permite a los profesionales en hidrología, planificación del uso del suelo y gestión del agua realizar análisis detallados para comprender y abordar los riesgos asociados con eventos hidráulicos, contribuyendo así a una planificación más efectiva y sostenible del entorno.

Figura 5
Modelación Hidráulica del Río Yaguachi



Fuente: Google earth
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

2.4.3. Ley de Gumbel

Enfocada en eventos extremos, como caudales máximos, la ley de Gumbel permite analizar y prever situaciones excepcionales. Para aplicar esta ley de manera precisa, es crucial contar con datos detallados sobre la topografía del terreno y las características del canal. La medición precisa de las alturas de las estacas en el tramo de estudio proporciona información valiosa para entender la variabilidad del terreno y evaluar cómo los eventos extremos pueden afectar el flujo de agua en el canal.

La calibración y validación del modelo hidráulico son etapas críticas en el proceso de representar de manera precisa el flujo de agua en un canal abierto. Los datos detallados sobre la topografía y las características del canal permiten ajustar los parámetros del modelo, como la rugosidad, y verificar su precisión mediante la comparación con mediciones reales. Esta validación es esencial para garantizar la fiabilidad del modelo en la predicción del comportamiento hidráulico, incluyendo las pérdidas de energía por fricción y la respuesta a eventos extremos, contribuyendo así a una gestión eficiente y segura de los recursos hídricos (Alexander, 2020, p. 25).

Fórmula:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Dónde:

X= Variable aleatoria (precipitación)

α y β = Parámetros de distribución

2.4.4. Río Yaguachi

El río Yaguachi se erige como una arteria hidrológica esencial en la región, situándose a una elevación de 10 metros sobre el nivel del mar y extendiéndose a lo largo de unos 70 kilómetros. Con una profundidad máxima que alcanza los 7 metros en ciertos tramos, este río desciende desde las alturas occidentales de la Cordillera de los Andes hacia las llanuras costeras. Su curso de agua no solo refleja una topografía variada, sino que también constituye un componente vital en la red

hidrográfica de la cuenca baja del Guayas, contribuyendo significativamente al flujo de agua que desemboca en el río Guayas.

La hidrología del río Yaguachi revela una dinámica compleja, con la presencia de afluentes como el río Chimbo, Chanchán, y otros, que enriquecen su caudal. Esta complejidad hidrológica, combinada con la elevación moderada y la longitud considerable, da forma al papel crítico del río en la gestión del agua local. En épocas de lluvias intensas, su capacidad para alcanzar profundidades notables puede llevar a desbordamientos, impactando áreas circundantes y destacando la importancia de comprender y gestionar adecuadamente este recurso vital.

El río Yaguachi es un curso de agua que desempeña un papel crucial en el sistema hidrográfico de la región. Surge como resultado de la confluencia de dos ríos principales, el Chanchán y el Chimbo, cerca de Marcelino Maridueña. El río Chimbo se origina en la vertiente occidental del Chimborazo y fluye de norte a sur, atravesando una cuenca de aproximadamente 2.216 km², con un caudal medio de 39,4 m³/s y una escorrentía de 1.224 m³/s.

En su recorrido, el río Yaguachi continúa hacia el oeste desde Bucay, descendiendo hacia la llanura, donde se une con el río Milagro (combinación del Chanchán y el Anapoyo), ampliando así su caudal y su área de influencia. Hasta este punto de unión, el río ha acumulado las aguas de una cuenca que abarca aproximadamente 4.722,8 km².

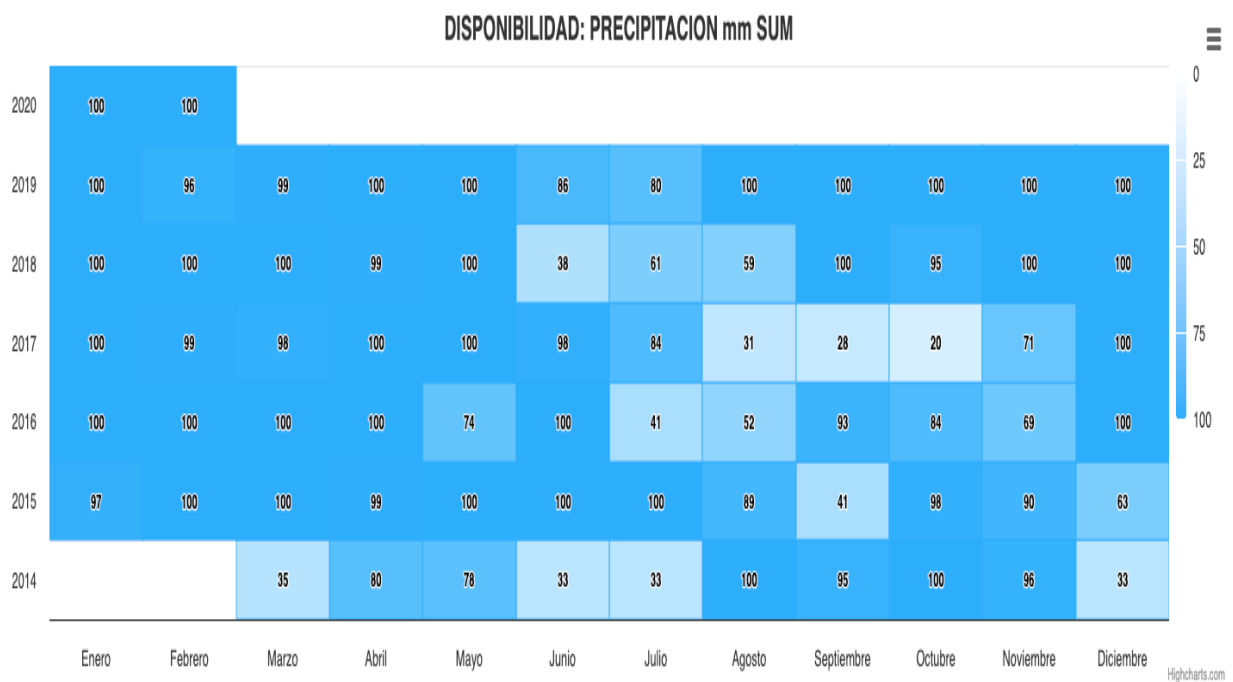
Las características del río Yaguachi son determinadas por su entorno geográfico y climático. Se encuentra en una topografía mayormente plana y ligeramente ondulada, situada dentro de una llanura aluvial reciente, con altitudes que varían entre menos de 5 m.s.n.m hasta aproximadamente 20 m.s.n.m. Los suelos en la zona son mayormente arcillosos, arcillo-limosos o limo-arenosos, resultado de la degradación de los relieves aluviales.

Las pendientes del terreno oscilan entre el 2% y el 40%, y están asociadas principalmente con valles indiferenciados y superficies pertenecientes a la llanura aluvial antigua. El clima en la región es tropical y semi-húmedo, con variaciones

estacionales marcadas. Los meses de diciembre a mayo son considerados fríos y lluviosos (invierno), mientras que de junio a noviembre son cálidos (verano), con índices de humedad y evaporación elevados.

Las temperaturas promedio anuales oscilan entre 24,5 y 26°C, alcanzando máximas de hasta 36°C en verano y mínimas de 20°C durante el invierno. La precipitación media anual varía entre 750 mm y 1342 mm. El viento predominante en la zona sopla en dirección sur, con velocidades que pueden oscilar entre 0,8 m/s y 4,7 m/s, siendo abril el mes con intensidades más bajas.

Figura 6
Precipitación en la zona durante el año (captadas por la estación meteorológica M037 en Milagro)



Fuente: Inhami (2023)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

Figura 7
Mapa del Río Yaguachi



Fuente: Google Earth (2023)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

2.4.4.1. Cauces Naturales y Precipitaciones en San Jacinto de Yaguachi

En el territorio de San Jacinto de Yaguachi, se encuentran diversos cauces naturales significativas, incluyendo los ríos Chimbo, Chanchán, Bulu Bulu, Milagro, Yaguachi, Barranco Alto, y varios esteros como el Mojahuevo y los Culebras.

El río Chimbo, originario de la región interandina, desciende abruptamente hacia los valles de las planicies costeras, donde recibe afluentes importantes como los ríos Milagro y Chanchan. A medida que se acerca a la cabecera del cantón, el

Chimbo adopta el nombre de Yaguachi y finalmente desemboca en el río Babahoyo (Condoy A, 2018).

Durante periodos lluviosos intensos, estos cauces experimentan desbordamientos que resultan en inundaciones en áreas agrícolas y centros poblados. Estos eventos afectan la salud de los residentes, obstaculizan el desarrollo de actividades diarias y generan considerables pérdidas económicas.

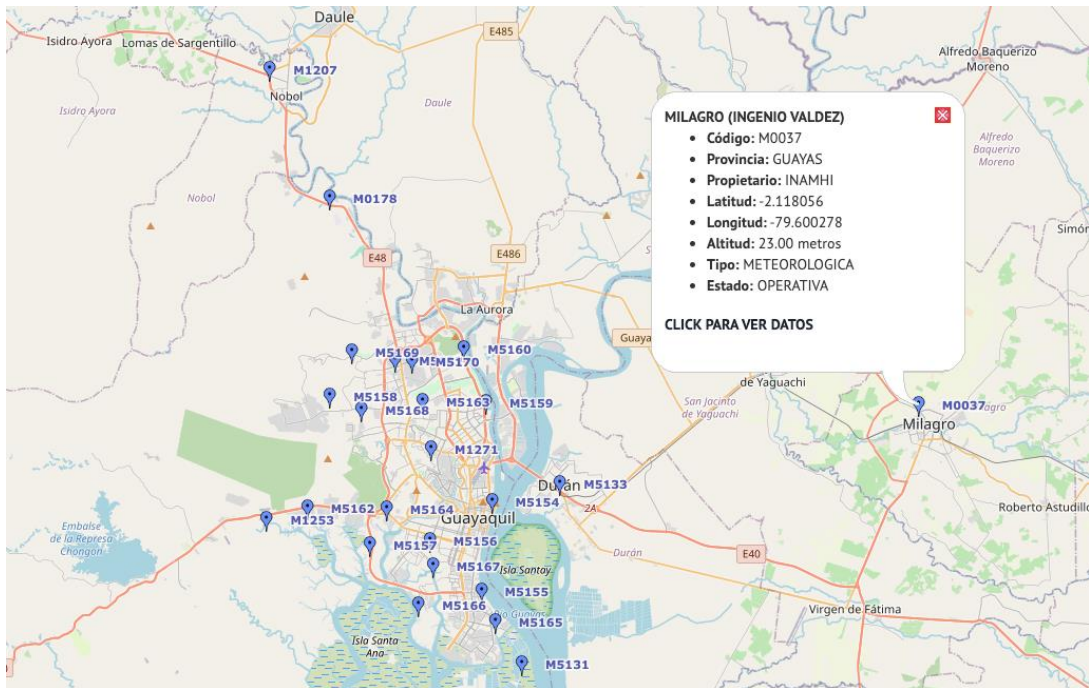
El río Yaguachi y su entorno están influenciados por el clima tropical megatérmico húmedo presente en el cantón. Las temperaturas medias diarias oscilan entre 26 y 27°C, mientras que las precipitaciones anuales promedio varían entre 1000 y 1600 mm. Esta variabilidad en las precipitaciones afecta la disponibilidad de agua para las actividades agrícolas, con zonas que experimentan déficit hídrico de 500 a 600 mm y una evapotranspiración potencial que oscila entre 1400 y 1600 mm, variando de este a oeste dentro del territorio.

El número de días secos medios anuales varía entre 170 al norte y 190 al sur, con un intervalo medio anual que abarca de junio a diciembre. Por otro lado, el número de días favorables para el período vegetativo, crucial para la agricultura, va desde 120 al sur hasta 140 al norte, concentrándose entre enero y mayo.

En términos de la división hidrográfica de la cuenca, este cantón representa el 3,57% de la subcuenca del río Yaguachi, el 0,04% de la subcuenca del río Jujan y el 5,19% de los drenajes menores. Estos datos proporcionan una comprensión más completa de la importancia del río Yaguachi y su entorno en el contexto de la región.

La medición de las precipitaciones en el cantón presenta desafíos, ya que el pluviómetro local fue retirado por el Inamhi en 1960. Hasta hace cinco años, la estación climatológica de Milagro (M037) servía como la fuente más cercana de datos. Por lo tanto, para calcular los promedios de precipitaciones, se realiza una evaluación de valores con la estación más cercana al cantón.

Figura 8
Estación meteorológica de Milagro



Fuente: Inhami (2023)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

Un ejemplo de esta evaluación se evidencia en los datos de precipitaciones del año 2010 en el cantón Yaguachi, obtenidos mediante la evaluación con la estación de Milagro. Este enfoque permite comprender las condiciones climáticas locales y su impacto en el entorno, aunque plantea desafíos logísticos para la obtención de datos precisos.

Tabla 3
Precipitación captada por la estación M037 (Milagro)

UNIDAD (MM)	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Mínimo	0	44	60	50	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo	701	795	830	1124	621	629	292	18	58	89	520	772
Medio	225	292	290	198	60	22	6.2	0.7	1.7	3.6	18.5	429

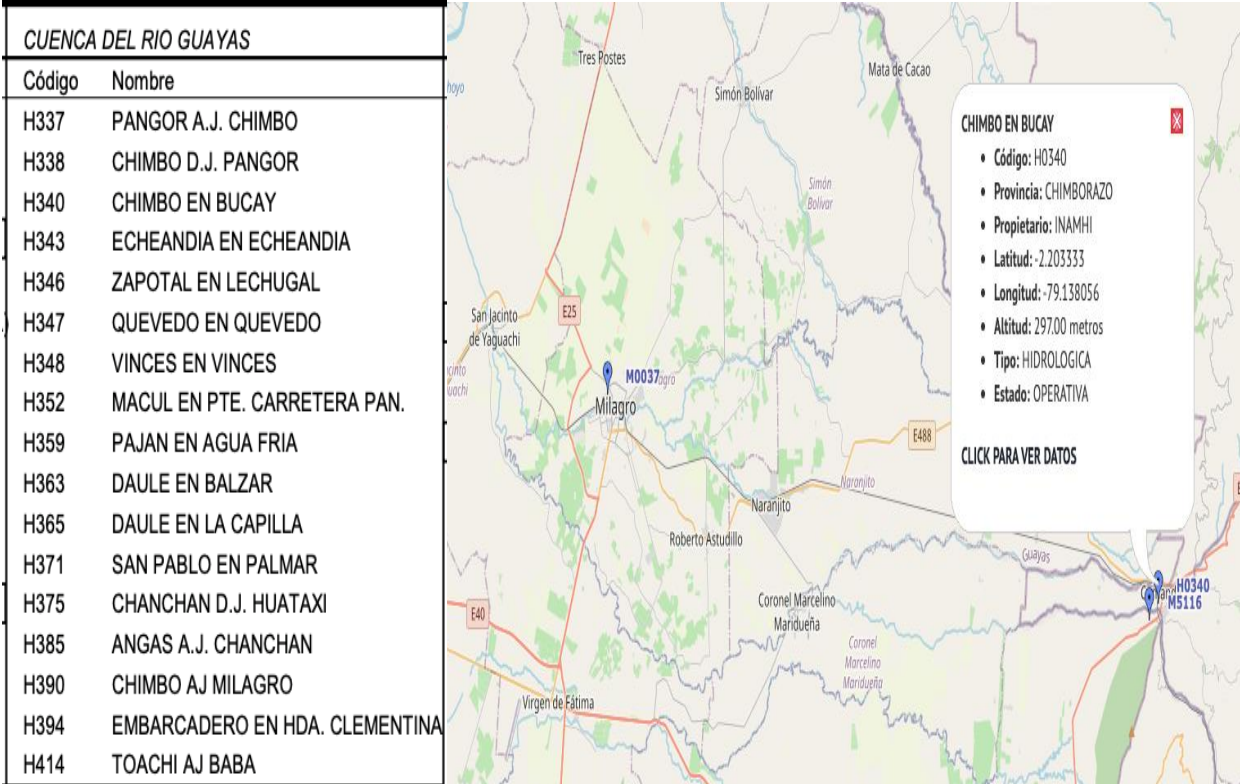
Fuente: Inhami, (2010)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

Al examinar la tabla, se observa claramente que los meses con una mayor frecuencia de precipitaciones en el cantón son enero, febrero y marzo. En abril, estas precipitaciones experimentan un notable aumento antes de comenzar a disminuir gradualmente en mayo, junio y julio. La tendencia a la baja continúa hasta agosto, que marca el inicio de la temporada de verano.

2.4.4.2. Análisis de Caudales Máximos en la Subcuenca Yaguachi (1993-2016)

Este estudio examina los caudales máximos anuales en la estación H340 de la subcuenca Yaguachi durante el periodo de 1993 a 2016, expresando dichos caudales en metros cúbicos por segundo (m³/s). Se destaca la variabilidad observada a lo largo de los periodos, con picos notables en 1998 y 2008, alcanzando 240,62 m³/s y 613,5 m³/s respectivamente, indicativos posiblemente de eventos hidrológicos excepcionales, como lluvias intensas o fenómenos climáticos extremos.

Figura 9
Estación Hidrológica Operativa H340 (Chimbo en Bucay)



Fuente: Inhami (2023)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

Este enfoque resalta la importancia de analizar de factores climáticos y eventos específicos que puedan haber influido en los caudales máximos a lo largo de los periodos, ofreciendo perspectivas valiosas para la gestión del agua y la planificación hidrológica en la subcuenca Yaguachi. Es crucial destacar que, para la modelación de estos datos, se utilizaron los registros del INAMHI. Este enfoque resalta la importancia de analizar de factores climáticos y eventos específicos que puedan haber influido en los caudales máximos, ofreciendo perspectivas valiosas para la gestión del agua y la planificación hidrológica en la subcuenca Yaguachi.

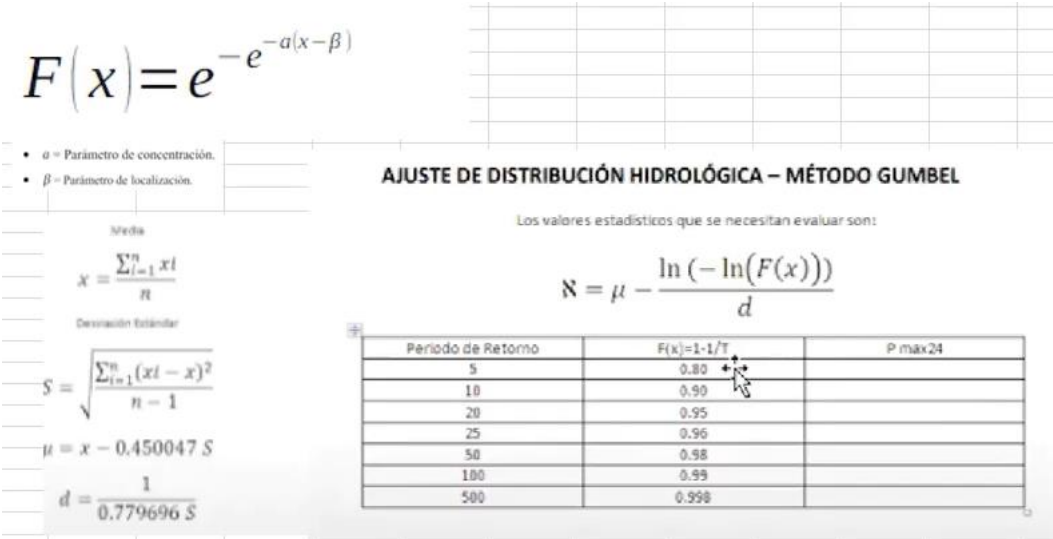
Tabla 4
Caudales Máximos Anuales H340

Año	Caudales máx. Estación h340	Cuadales (m3/s)
1993	195,03	487,575
1994	184,72	461,800
1995	133,88	334,700
1996	155,18	387,950
1997	155,18	387,950
1998	240,62	601,550
1999	151,49	378,725
2000	105,46	263,650
2001	141,69	354,225
2002	118,64	296,600
2003	184,72	461,800
2004	78,97	197,425
2005	57,88	144,700
2006	77,88	194,700
2007	101,5	253,750
2008	613,5	1533,750
2009	250,03	625,075
2010	227,92	569,800
2011	249,01	622,525
2012	170,42	426,050
2013	169	422,500
2014	105	262,500
2015	169,88	424,700
2016	143	357,500

Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

Para hallar los caudales máximos en el tiempo de retorno estimado de 15, 25 y 50 años, se realizó un Excel para la ordenanza de los valores anuales de los caudales registrados por la estación meteorológica H340, y su procesamiento según la Ley de Gumbel. Para esto, primero se tomaron todos los valores de los caudales anuales obtenidos desde 1993 hasta el 2016, con los cuales se obtuvieron los valores de la media de 174.192, y la desviación estándar de 107.744. Una vez obtenidos estos, se procedió a hallar los valores de “u” y “d”, los cuales, según la Ley de Gumbel, serán necesarios para hallar el caudal de retorno a 15, 25 y 50 años con la formula indicada:

Figura 10
Aplicación de la ley de Gumbel



Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

En la tabla del método Gumbel se hallan los valores de f(x) para cada periodo de retorno, en el caso de los 25 años se interpoló para dar con el valor de 0.98. Una vez obtenidos todos los f(x), se ingresa en la distribución de Gumbel para extremos máximos y se obtienen los caudales máximos anuales posibles para los periodos de retorno indicados.

Tabla 5*Cálculos de Media y Desviación Estandar*

Media X	174,192
Desviación estándar S	107,744
M	125,702
D	0,012

Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

En el contexto de valores hidráulicos de la cuenca del río Yaguachi, los datos proporcionados representan medidas estadísticas clave. La media (M) de 125,702 sugiere un valor central alrededor del cual se agrupan los datos hidráulicos en la cuenca. La desviación estándar (D) de 0,012, siendo muy baja, indica una consistencia notable en estos valores, sugiriendo que la variabilidad hidráulica en la cuenca es mínima y que los datos tienden a estar muy cercanos al valor medio.

Tabla 6*Tiempo de Retorno*

Tiempo de Retorno	
15 años	346,070
25 años	394,403
50 años	453,494

Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

El tiempo de retorno estimados para la cuenca del río Yaguachi revelan información valiosa sobre la frecuencia y magnitud de eventos hidrológicos extremos. Con un caudal de retorno de 346,070 para un periodo de 15 años, 394,403 para 25 años y 453,494 para 50 años, se observa un aumento progresivo conforme se extiende el periodo de recurrencia. Este patrón refleja la naturaleza menos frecuente pero más intensa de eventos hidráulicos extremos a lo largo del tiempo.

2.4.5. Hidráulica de canales abiertos

El flujo en un canal abierto se caracteriza por tener una superficie libre, es decir, no está confinado por paredes o techos. Este tipo de flujo se observa comúnmente en ríos, lagos y otros cuerpos de agua naturales, siendo el resultado de la acción de la gravedad que permite que el agua se desplace de manera libre y constante. Sin

embargo, la intervención humana ha llevado a la construcción de zanjas y canales de drenaje artificial para diversos propósitos, así como la implementación de canaletas sobre el terreno y en entornos marinos, fabricadas con materiales adaptados a las necesidades específicas.

La construcción de zanjas y canales de drenaje artificial se realiza con el objetivo de gestionar eficientemente el flujo de agua en áreas urbanas, agrícolas o industriales. Estas estructuras permiten dirigir y controlar el movimiento del agua, evitando inundaciones y contribuyendo a la gestión sostenible de los recursos hídricos. Además, la implementación de canaletas fabricadas con materiales como hormigón, plástico o metal se adapta a las condiciones específicas del entorno y a los requisitos de resistencia y durabilidad. Estas canaletas se utilizan para canalizar el agua de lluvia, el drenaje pluvial o incluso para controlar el flujo en áreas costeras.

En entornos marinos, las canaletas se utilizan para diversos propósitos, como la conducción de agua de lluvia o la gestión de desagües en muelles y plataformas. Estas estructuras, diseñadas para resistir la corrosión y las condiciones ambientales adversas, desempeñan un papel crucial en la ingeniería costera y portuaria. (Rafael & Monserrath, 2020, p. 22)

La interacción de la superficie libre, la profundidad y la pendiente del flujo juega un papel esencial en el análisis de canales abiertos, y a lo largo del tiempo, estos factores pueden influir en la variabilidad y la forma del canal de diversas maneras. Los canales abiertos, al adaptarse a las condiciones cambiantes, pueden exhibir una diversidad de formas que reflejan la dinámica específica de la corriente que atraviesa. Aquí, se exploran las implicaciones de estos factores en la morfología de los canales:

Superficie libre: La variación en la superficie libre, o nivel del agua en el canal, puede resultar de la entrada de agua, cambios en la pendiente o ajustes en la velocidad del flujo. Esta variabilidad puede afectar la geometría del canal y, a lo largo del tiempo, contribuir a cambios en su forma.

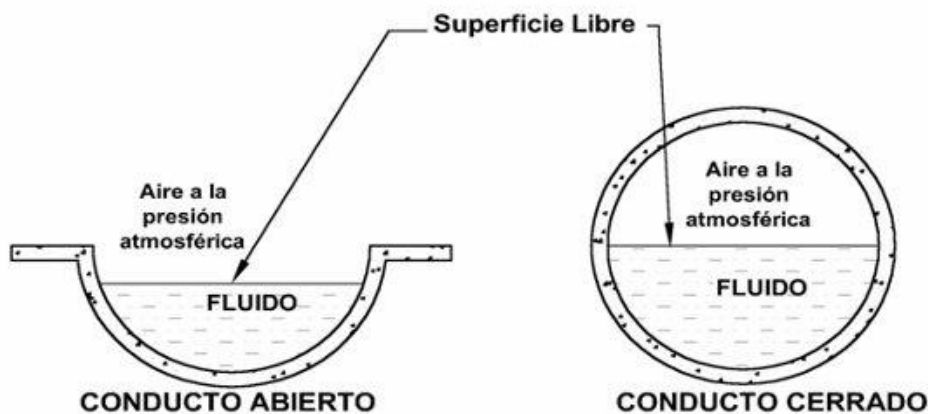
Profundidad del flujo: Cambios en la profundidad del flujo, ya sea debido a procesos naturales como la sedimentación y la erosión, o a intervenciones humanas,

pueden influir en la capacidad del canal para transportar agua de manera eficiente. La profundidad afecta la velocidad del flujo y, por ende, la forma general del canal.

Pendiente del flujo: La pendiente del terreno es un factor determinante en la velocidad y la dirección del flujo. Cambios en la pendiente pueden dar lugar a la formación de meandros, la erosión de las orillas o la deposición de sedimentos, contribuyendo a la variabilidad en la forma del canal.

La combinación única de estos factores puede conducir a la aparición de canales abiertos con formas diversas, como trapezoidales, rectangulares, redondas, cuadradas o irregulares. Las formas específicas que adquiere un canal dependen de la compleja interacción de la superficie libre, la profundidad y la pendiente del flujo en el contexto de las condiciones geográficas y climáticas particulares. (Rafael & Monserrath, 2020, p. 23)

Figura 11
Tipos de Canales



Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

2.4.6. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

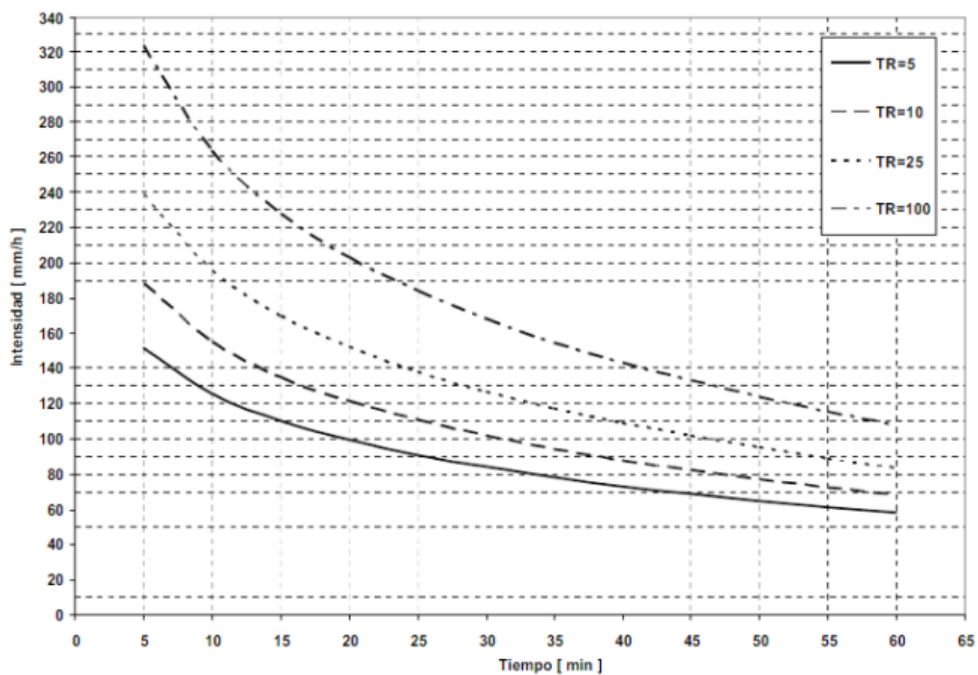
Los modelos de lluvia-escorrentía requieren conocimiento de la distribución de: intensidad, duración y frecuencia (Ibarra, 2022).

La curva IDF expresa eventos de lluvias intensas para calcular el caudal máximo requerido para el diseño de estructuras hidráulicas y factores de diseño para el análisis de riesgo de inundaciones ya sea a gran escala o pequeños (Ibarra, 2022).

También, se generan a partir de información de precipitaciones necesario utilizar metodologías que correlacionen los valores de precipitación diaria en períodos cortos o largos en el área de estudio (Ibarra Díaz, 2022).

Este tipo de curva se genera a partir de una serie de series correspondientes a diferentes períodos a través de diferentes iteraciones. El eje horizontal representa el período y el eje vertical la intensidad medida. (Rodriguez, 2023, p. 49)

Figura 12
Curvas IDF



Fuente: (Rodriguez Japa, 2023, p. 50)

Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

2.4.7. Morfología Fluvial

La disciplina encargada de estudiar las diversas formas y características de los ríos se conoce como morfología fluvial. Este campo se dedica a analizar la evolución y configuración de los cauces fluviales, así como los procesos geomorfológicos que influyen en su desarrollo. Con frecuencia, los cambios en la morfología fluvial no solo se originan en un lugar específico, sino que se propagan tanto aguas arriba como

aguas abajo desde ese punto central. Esta dinámica ascendente y descendente de cambios en la morfología fluvial refleja la complejidad y la interconexión de los factores que influyen en la configuración de los ríos a lo largo del tiempo. (Díaz, 2019, p. 22)

La evolución de las formas de los ríos abarca una amplia gama de escalas temporales y procesos. Algunos cambios, como la erosión inducida por estructuras de vertederos, pueden ocurrir de manera rápida y tener impactos inmediatos en el entorno fluvial. Estos eventos, relacionados con la intervención humana, pueden generar transformaciones significativas en el paisaje fluvial en plazos relativamente cortos.

Por otro lado, los cambios a largo plazo, como el desarrollo de meandros a lo largo de miles de años, representan procesos más graduales y naturales en la morfología fluvial. Estos patrones serpenteantes se originan por la interacción compleja entre el agua y el lecho del río, y su formación es el resultado de múltiples factores geológicos y climáticos a lo largo del tiempo.

El caso intermedio, como los sedimentos acumulados aguas arriba de grandes represas, destaca la importancia de considerar las intervenciones humanas en la gestión fluvial. Las represas pueden tener impactos a largo plazo en la sedimentación, afectando tanto a la zona inmediata como a áreas aguas abajo. La acumulación de sedimentos es un fenómeno que se desarrolla durante décadas y puede influir en la hidrología fluvial y la calidad del agua (Díaz, 2019, p. 22).

2.5. Riesgos por inundación

2.5.1. Riesgos

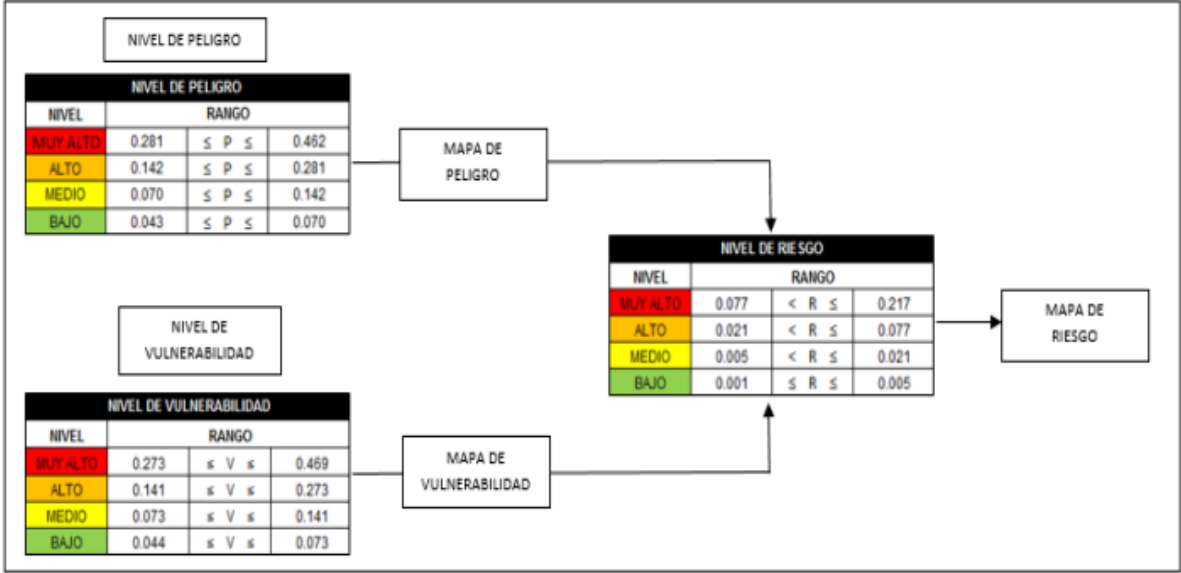
Reconociendo la variedad de valores, existe la posibilidad de que surjan consecuencias cuando algo de valor está en peligro y el resultado es incierto. El riesgo se expresa frecuentemente como la probabilidad de que ocurran eventos o tendencias peligrosas, multiplicada por las consecuencias si tales eventos o tendencias ocurren. La interacción de vulnerabilidad, exposición y peligro conduce a riesgos, los riesgos de los efectos del cambio climático son los principales contextos en los que se utiliza la palabra riesgo. Los peligros relacionados con el clima, como sucesos y tendencias peligrosas, interactúan con la susceptibilidad y exposición de los sistemas naturales y

humanos para producir el riesgo de impactos relacionados con el clima. Las amenazas, la exposición y la vulnerabilidad están influenciadas por los cambios en el sistema climático (a la izquierda), así como los procesos socioeconómicos (a la derecha), como la adaptación y la mitigación (Mori & Flores, 2020).

2.5.2. Niveles de Riesgo

A continuación, se presenta algunos tipos de niveles de riesgo en donde podemos definir el rango de cada tipo:

Figura 13
Niveles de Riesgo



Fuentes: (Mori & Flores, 2020)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

2.5.3. Evaluación del riesgo

La vulnerabilidad se define como el daño que puede ocurrir en un determinado punto de un área y en un momento determinado, los daños por inundaciones se pueden dividir en las siguientes categorías: (Ortiz sf)

2.5.3.1 Daños Tangibles

Los daños económicamente medibles se dividen en daños directos (daños físicos a la propiedad, costos de primeros auxilios, costos de limpieza viaria, costos de limpieza de la casa, etc.) y daños indirectos, que son difíciles de determinar debido

a su alta volatilidad. Costos por construcción de carreteras, paralización de centros de producción y servicios, pérdida de empleos, costos financieros adicionales y devaluación de tierras inundadas. (Ortiz sf).

2.5.3.2. Daños Directos:

- **Daños físicos a la propiedad:** Incluyen la destrucción o daño directo a edificaciones, infraestructuras y bienes materiales.
- **Costos de primeros auxilios:** Gastos inmediatos para proporcionar ayuda médica o asistencia a las personas afectadas por el evento.
- **Costos de limpieza viaria:** Gastos asociados con la eliminación de escombros, restos y residuos de las áreas afectadas.
- **Costos de limpieza de la casa:** Incluyen los gastos necesarios para restaurar la habitabilidad de las viviendas dañadas.

2.5.3.3. Daños Indirectos:

- **Costos por construcción de carreteras:** La reconstrucción de infraestructuras dañadas, como carreteras, puede tener costos significativos.
- **Paralización de centros de producción y servicios:** La interrupción de actividades comerciales y de servicios puede resultar en pérdidas económicas a largo plazo.
- **Pérdida de empleos:** El cese de operaciones empresariales o la reducción de la producción pueden llevar a la pérdida de empleos.
- **Costos financieros adicionales:** Incluyen intereses o cargos adicionales asociados con la financiación necesaria para la recuperación.
- **Devaluación de tierras inundadas:** Las áreas afectadas pueden experimentar una disminución en el valor de las propiedades debido a los daños sufridos.

Es importante destacar que los daños indirectos suelen ser más difíciles de cuantificar debido a su naturaleza compleja y a menudo requieren análisis económicos detallados. Además, la volatilidad de estos costos indirectos puede deberse a factores como la duración del evento, la capacidad de recuperación de la comunidad y las medidas de mitigación implementadas.

2.5.3.4. Daños Intangibles

En este trabajo sólo se consideran los daños directos, la vulnerabilidad depende del uso de la tierra (actual o planificado) y del alcance de las inundaciones. La variable más importante medida para determinar la vulnerabilidad a las inundaciones es el nivel (o profundidad) máximo del agua alcanzado, por lo que para cada uso del suelo se puede determinar una curva de tasa de daño basada en el valor global asociado a esta profundidad. (Ortiz sf)

2.5.3.5. Daños Psicológicos

- **Pérdida de Vidas Humanas:** La pérdida de vidas humanas no solo tiene un impacto directo en las familias y comunidades afectadas, sino que también puede causar traumas psicológicos a nivel societal. La pérdida repentina de seres queridos puede generar estrés, duelo y ansiedad en la población.
- **Destrucción de Monumentos y Restos Arqueológicos:** La destrucción de elementos culturales y patrimoniales puede tener efectos psicológicos significativos. La conexión emocional de la población con su historia y patrimonio puede resultar en tristeza, pérdida de identidad y un sentido de desesperanza.

2.5.3.6. Vulnerabilidad y Factores de Riesgo

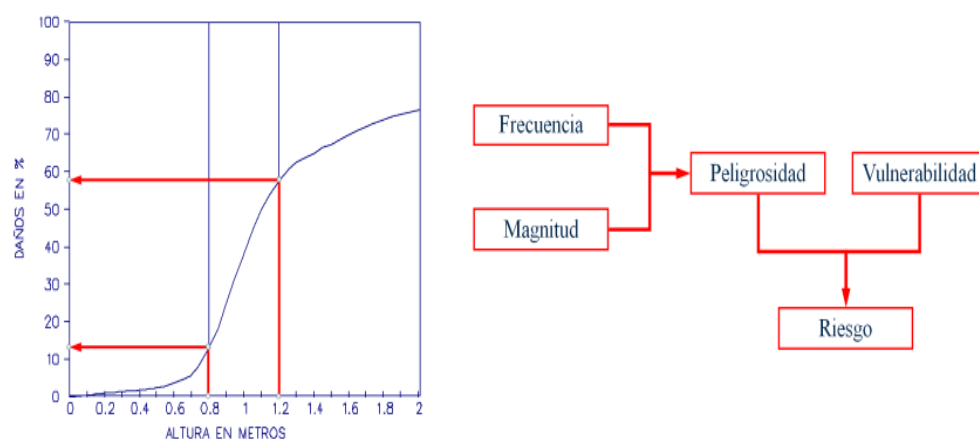
- **Uso de la Tierra:** El tipo de uso de la tierra (residencial, comercial, industrial, agrícola, etc.) afecta la vulnerabilidad de una comunidad ante inundaciones. Por ejemplo, las áreas residenciales pueden ser más vulnerables debido a la alta concentración de población.

- **Alcance de las Inundaciones:** La extensión geográfica y la magnitud de las inundaciones son factores clave para evaluar la vulnerabilidad. Cuanto mayor sea el alcance de las inundaciones, mayor será el riesgo de daños directos a la propiedad y, potencialmente, a la vida humana.
- **Nivel Máximo del Agua:** La profundidad del agua alcanzada es un indicador crítico de la vulnerabilidad. La relación entre el nivel del agua y la tasa de daño puede ayudar a establecer medidas preventivas y de mitigación.
- **Curva de Tasa de Daño:** La creación de curvas específicas para cada tipo de uso de la tierra, basadas en la profundidad del agua, permite una evaluación más precisa de la vulnerabilidad. Esto puede guiar en la planificación del uso del suelo y en la implementación de medidas de construcción resilientes.

Al considerar estos factores, se puede desarrollar una comprensión integral de los riesgos asociados con inundaciones, permitiendo la implementación de estrategias de gestión de desastres más efectivas y la reducción de la vulnerabilidad de la población y los recursos culturales.

Figura 14

Curva de daños en función del calado y esquema de cálculo del riesgo



Fuente: (Ortiz, sf)

Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

2.5.4. Inundaciones

Las inundaciones ocurren cuando las lluvias intensas o persistentes exceden la capacidad del suelo para retener agua y permitir que se infiltre, o cuando un río o arroyo ya no puede llevar su carga completa, lo que hace que el cauce principal se desborde e inunde la tierra junto a los cursos de agua. (Pablo & Geraldine, 2021)

Tanto las inundaciones lentas, que ocurren en las áreas planas del río, como los extensos valles aluviales se clasifican en esta categoría, el otro tipo de inundación es la llamada "inundación repentina", que responde rápidamente a la ocurrencia de fuertes lluvias en las partes altas de las cuencas. Aunque las áreas afectadas son más pequeñas, el poder destructivo es potencialmente mayor y cobra la mayor cantidad de vidas cuando ocurren.

Los aumentos de nivel son del orden de metros en unas pocas horas, y la duración de estas inundaciones en las zonas afectadas también es de horas o de algunos días. Las inundaciones ocurren cuando lluvias fuertes o continuas exceden la capacidad del suelo para retener agua y permitir su infiltración, o cuando un río o arroyo alcanza su máxima capacidad de transporte, desbordando su cauce principal e inundando los terrenos aledaños a los cursos de agua. (Pablo & Geraldine, 2021)

Este es un fenómeno natural que ocurre cuando una zona se ve afectada por una acumulación excesiva de agua. Pueden ser causados por una variedad de factores, incluyendo lluvias intensas, hielo marino, marejadas ciclónicas, inundaciones de ríos y desbordamientos de presas o ríos.

Sin embargo, las inundaciones de cada año resultan en desastres más severos como resultado de la continua degradación de las cuencas de los ríos y cauces de los ríos por parte del hombre, la colocación de basura en ellos, la obstrucción de los sistemas de drenaje natural que limitan los pantanos, el aumento de la erosión debido a la tala y quema de árboles, y habitabilidad de áreas propensas a inundaciones. La Figura 3 ilustra, causas, consecuencias y efectos de las inundaciones. Se describen las causas, efectos e impactos típicos de las inundaciones. (Pablo & Geraldine, 2021)

2.5.4.1. Inundaciones Lentas

- **Causas:** Resultan de lluvias intensas o persistentes que exceden la capacidad del suelo para retener agua y permitir la infiltración. También pueden ocurrir cuando un río o arroyo no puede llevar su carga completa.
- **Ubicación:** Suelen afectar áreas planas del río y extensos valles aluviales.
- **Características:** Aunque el aumento del nivel del agua es gradual, la extensión del área afectada puede ser considerable. La duración de estas inundaciones puede ser de días o incluso semanas.

2.5.4.2. Inundaciones Repentinas

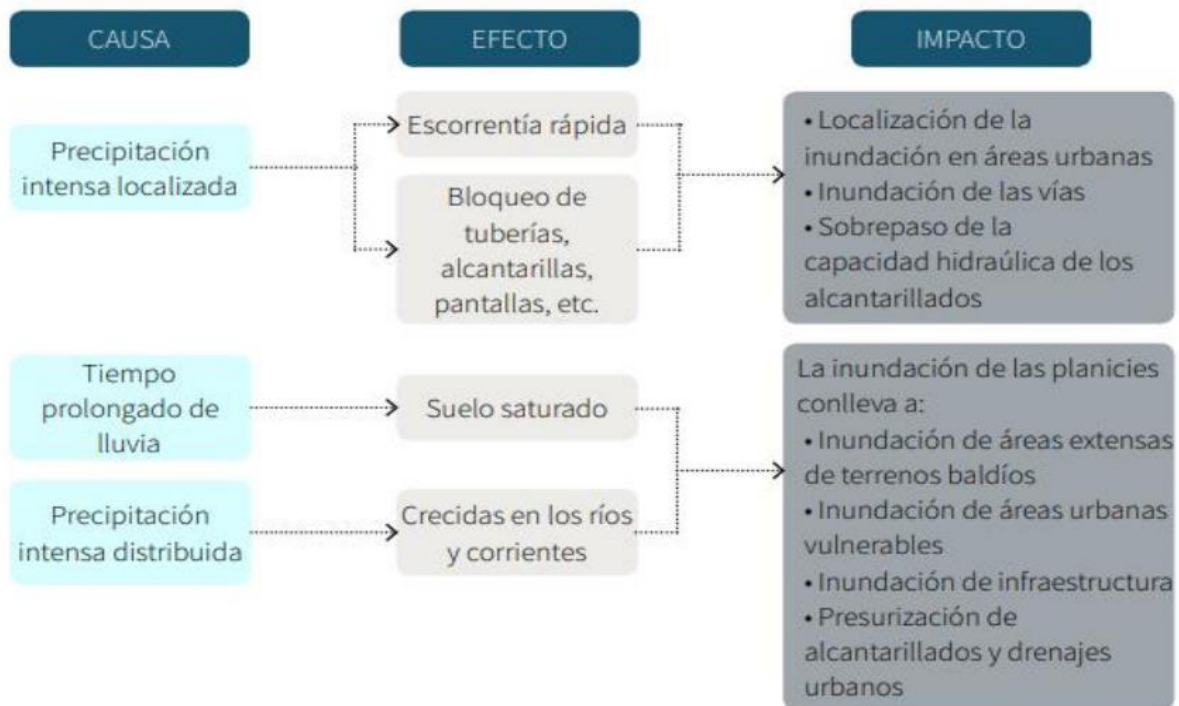
- **Causas:** Ocurren rápidamente en respuesta a fuertes lluvias en las partes altas de las cuencas. Este tipo de inundaciones puede ser especialmente peligroso debido a su rapidez.
- **Ubicación:** Aunque las áreas afectadas son más pequeñas en comparación con las inundaciones lentas, el poder destructivo es potencialmente mayor.
- **Características:** Los aumentos de nivel pueden ser del orden de metros en pocas horas. La duración de estas inundaciones en las zonas afectadas es breve, generalmente de horas o algunos días.

2.5.4.3. Impactos Potenciales

- **Daño a Propiedades:** Ambos tipos de inundaciones pueden causar daños significativos a estructuras, viviendas y bienes materiales en las áreas afectadas.
- **Peligro para Vidas Humanas:** Las inundaciones repentinas, en particular, representan un mayor riesgo para la vida humana debido a su rapidez y potencia destructiva.

- **Alteración del Entorno Natural:** Las inundaciones pueden tener impactos ambientales significativos, incluida la erosión del suelo, la pérdida de hábitats acuáticos y la afectación de la calidad del agua.

Figura 15
Causas, Efecto e Impacto de Inundaciones



Fuente: (Pablo & Geraldine, 2021)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

2.5.5. Zonas inundables - llanuras de inundación

Este patrón de inundaciones cada 2,33 años, según las estadísticas, refleja la compleja interacción entre los factores climáticos y la actividad humana. Las precipitaciones intensas o prolongadas, que desencadenan estos eventos, representan un desafío considerable, especialmente cuando superan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los cuerpos de agua. Además, la expansión de las áreas urbanas en ubicaciones inapropiadas agrega una capa adicional de vulnerabilidad a estas situaciones.

El crecimiento no planificado de las ciudades en áreas propensas a inundaciones intensifica el riesgo y la magnitud de los impactos. La

impermeabilización del suelo debido a la urbanización limita la capacidad natural del terreno para absorber el exceso de agua, aumentando la escorrentía y, por ende, el riesgo de inundaciones. La ampliación de las planicies de inundación se convierte así en una manifestación directa de las decisiones urbanísticas, a menudo impulsadas por la demanda de desarrollo y la presión demográfica.

En este contexto, es fundamental incorporar enfoques de planificación del uso del suelo que consideren cuidadosamente la topografía, la hidrología y los patrones climáticos locales. La adopción de prácticas de desarrollo sostenible, junto con estrategias de gestión del riesgo de inundaciones, se vuelve esencial para minimizar los efectos adversos de estos eventos en las comunidades afectadas. De esta manera, se busca no solo mitigar los impactos actuales, sino también preparar de manera proactiva a las zonas urbanas para enfrentar futuros desafíos climáticos. (Mori & Flores, 2020, p. 23)

2.5.6. Superficie de Inundación

Las inundaciones, fenómeno provocado por la abundancia de agua, son uno de los más graves y frecuentes a nivel mundial, ya que cubren más de un tercio de la superficie del planeta y afectan a cerca del 82 por ciento de la población mundial. Como se observa en la Figura 4, este fenómeno regula los sistemas hídricos y, cuando se altera, produce efectos como inundaciones provocadas por un drenaje excesivo o inadecuado o desbordamientos de ríos y arroyos. (Alexander, 2020, p. 17)

Figura 16
Tipos de Inundaciones



Fuente: (Alexander, 2020, p.17)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

Las inundaciones son provocadas principalmente por fuertes lluvias, desechos sólidos, tuberías rotas, desbordamiento de aguas residuales y tuberías obstruidas. Estos factores pueden tener efectos duraderos en el medio ambiente, causando humedad en el suelo, áreas inundadas y daños a la vegetación, entre otras cosas. (Alexander, 2020, p. 17)

Las inundaciones han causado numerosos desastres, pérdidas y daños a lo largo de la historia de América del Sur. Como resultado, la preocupación por las inundaciones ha crecido significativamente en los últimos años, lo que ha llevado a que se haga mucho trabajo para producir nueva información, se necesita una investigación más exhaustiva para disminuir los efectos de este fenómeno (Alexander, 2020, p. 18).

2.5.7. Amenazas

Los riesgos ambientales representan fenómenos o procesos que tienen el potencial de generar consecuencias negativas significativas para los ecosistemas y la sociedad en su conjunto. Estos riesgos pueden manifestarse de diversas maneras, amenazando tanto a nivel local como nacional. La variedad de consecuencias asociadas a los riesgos ambientales abarca desde impactos directos en la salud de los ecosistemas hasta amenazas a la seguridad y bienestar de las personas.

Estos riesgos pueden incluir eventos como desastres naturales, cambios climáticos extremos, contaminación del aire y del agua, pérdida de biodiversidad, entre otros. Los impactos ambientales negativos pueden tener un efecto cascada, afectando la disponibilidad de recursos naturales, la calidad de vida de las comunidades locales y la estabilidad económica de las regiones afectadas.

La gestión adecuada de los riesgos ambientales implica la implementación de medidas preventivas, la planificación del uso sostenible de los recursos naturales y la adopción de estrategias de mitigación. Además, la concientización y la educación son fundamentales para fomentar la resiliencia de las comunidades ante posibles amenazas ambientales y para promover prácticas más sostenibles a nivel individual y colectivo (Venegas, 2022, p. 24).

2.5.8. Desastres

Estos eventos incluyen terremotos, erupciones volcánicas, movimientos de masas, olas, inundaciones y huracanes. Los fenómenos naturales, ya sean de origen geológico, hidrológico o atmosférico, así como eventos catastróficos que pueden ser desencadenados por tecnologías peligrosas, como accidentes inducidos por el ser humano o fallas tecnológicas, representan amenazas ocultas que ponen en peligro el desarrollo socioeconómico de una región o país.

La complejidad de estos riesgos radica en su capacidad para impactar de manera significativa tanto en la seguridad de las personas como en la infraestructura y los recursos naturales. Los desastres naturales, como terremotos e inundaciones, pueden tener consecuencias devastadoras, afectando a comunidades enteras y desencadenando crisis humanitarias. Del mismo modo, los eventos provocados por el ser humano, ya sea por accidentes tecnológicos o malas prácticas, pueden tener repercusiones igualmente graves.

La gestión eficaz de estos riesgos implica una combinación de preparación, prevención y respuesta rápida. La adopción de medidas de planificación del uso del suelo, sistemas de alerta temprana, infraestructuras resistentes y protocolos de respuesta adecuados son esenciales para minimizar los impactos negativos y proteger la seguridad y el bienestar de la población afectada. Además, la conciencia pública y la participación comunitaria desempeñan un papel crucial en la construcción de resiliencia frente a estas amenazas ocultas (Venegas Vargas , 2022, p. 24).

2.6. Clasificación de corrientes

Los ríos auxiliares, también conocidos como afluentes o tributarios, desempeñan un papel crucial en los sistemas hidrológicos al formar parte de una red que eventualmente desemboca en el curso de agua principal. Sin embargo, uno de los problemas más frecuentes que enfrentan estos afluentes es la contaminación del agua, siendo la agricultura y la ganadería las principales fuentes de este desafío ambiental.

La contaminación hídrica derivada de actividades agrícolas se debe, en gran medida, al uso de fertilizantes y pesticidas que, al ser arrastrados por las lluvias o el

riego, pueden infiltrarse en los ríos auxiliares. Asimismo, la escorrentía de suelos cultivados puede transportar sedimentos y nutrientes hacia estos afluentes, afectando negativamente la calidad del agua.

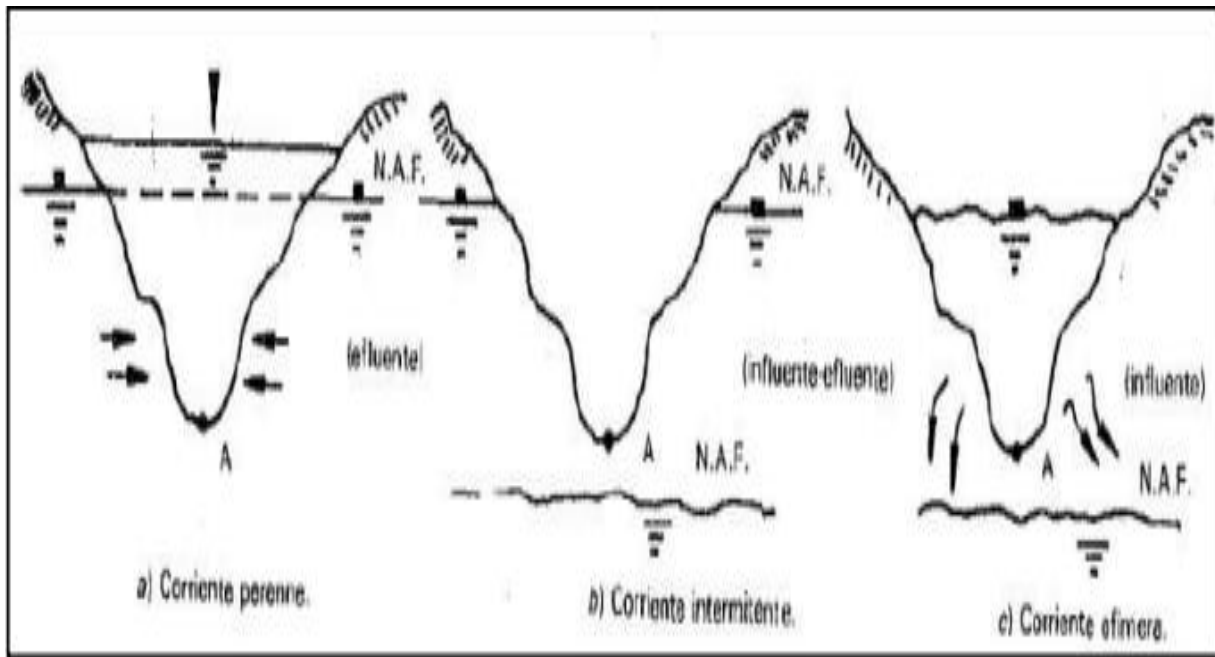
En el caso de la ganadería, los desechos animales y la escorrentía de terrenos utilizados para pastoreo pueden introducir bacterias, nutrientes y compuestos orgánicos al agua de los ríos auxiliares, generando riesgos para la salud del ecosistema acuático y de las comunidades que dependen de estas fuentes hídricas.

La gestión sostenible de estos afluentes implica la implementación de prácticas agrícolas y ganaderas más responsables, así como la adopción de medidas de conservación del suelo y control de la escorrentía. La conciencia ambiental y la regulación adecuada son esenciales para abordar la contaminación del agua en los ríos auxiliares, preservando así la integridad de estos sistemas acuáticos y su importancia en el equilibrio ecológico (Basurto & Toalombo, 2023).

Hay tres tipos de corrientes más comunes:

- **Corriente Permanente:** Estos arroyos transportan agua durante todo el año y siempre se alimentan parcial o totalmente de aguas subterráneas, es decir fugas de aguas residuales (Basurto & Toalombo, 2023).
- **Corriente Intermittente:** Se suelen utilizar para transportar agua, especialmente durante la temporada de lluvias; incluso, el aporte se detiene cuando el nivel del agua desciende por debajo del fondo del canal (Basurto & Toalombo, 2023).
- **Corriente Efímera:** Sólo llevan agua cuando llueve, es decir, sólo recogen aguas residuales, el nivel freático siempre está por debajo del lecho del canal (Basurto & Toalombo, 2023).

Figura 17
Clasificación de corrientes



Fuentes: (Basurto & Toalombo, 2023)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

2.6.1. Curvas de nivel

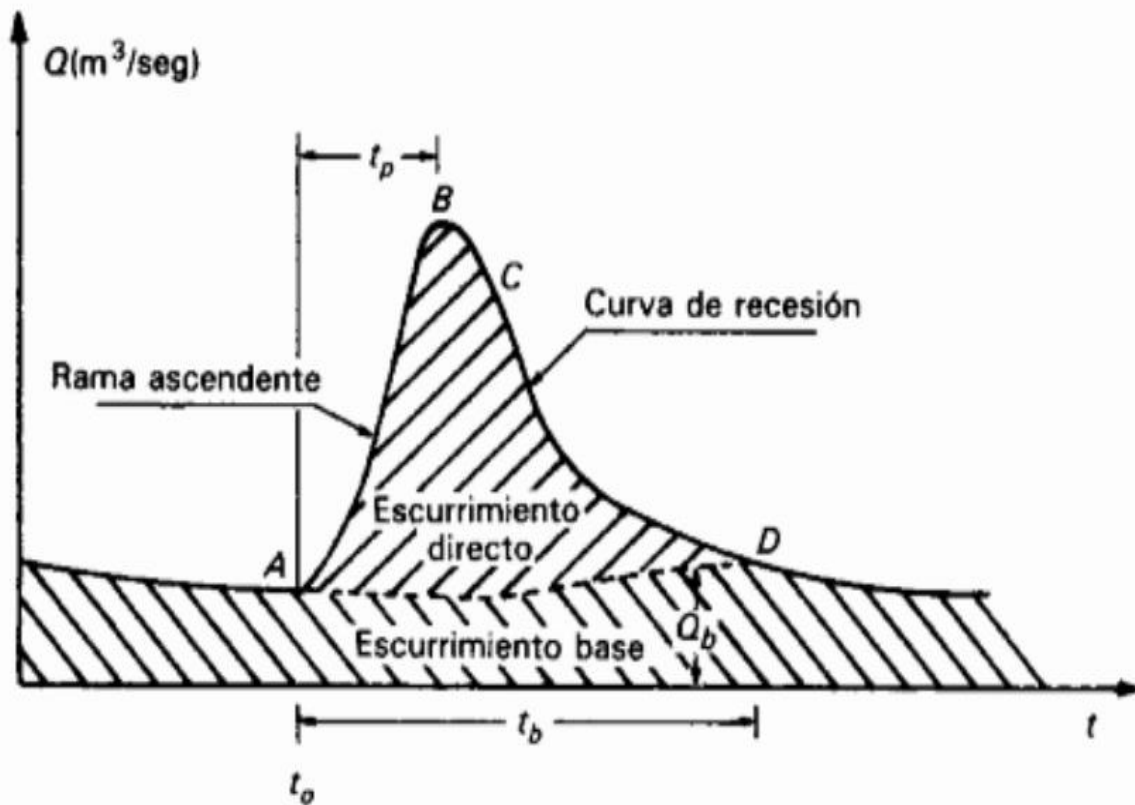
Según Márquez (2023), manifiesta que las líneas de contorno se refieren a líneas que conectan puntos en accidentes geográficos que están a la misma elevación, es decir, líneas utilizadas para definir la superficie de un área utilizado en mapas topográficos. Cada curva representa la elevación y te da una idea de la topografía, forma y pendiente del terreno; incluso, las curvas de nivel son importantes al estudiar cuencas fluviales porque proporcionan información topográfica sobre la topografía y el área de captación.

2.6.2. Hidrogramas

Un hidrograma es una representación gráfica o tabular de los cambios en el flujo a través de una vía fluvial a lo largo del tiempo. El caudal (Q) se define como el volumen de descarga por unidad de tiempo (m^3/s) que fluye a través del canal (Miranda, 2017, p. 20).

Se lo determina en función de la sección transversal del río y traza los valores obtenidos a lo largo del tiempo, puede obtener una imagen gráfica como se muestra en el siguiente ejemplo (Miranda, 2017, p. 20)

Figura 18
Elementos del Hidrógrama



Fuente: (Miranda Sanchez, 2017, p. 21)

Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

Los principales elementos de un hidrograma son: flujo frontal; Ramas ascendentes; cresta o pico; Descendiente; curva de recesión; y la base. La forma está muy influenciada por las características fisiológicas de la cuenca y las condiciones especiales de la vía fluvial (cambios en el área de la sección transversal, condiciones costeras, etc.) (Miranda, 2017, p. 21).

2.7. Marco Legal

El gobierno ecuatoriano propone normas y requisitos de desarrollo. Utilización sustentable de los recursos hídricos basados en el marco legal (Ecuador, 2008).

Art. 411 “dispone que el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico y que regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, especialmente en las fuentes y zonas de recarga”.

Art. 318 señala que es vital el agua en la “Constitución prohíbe toda forma de privatización del agua y determina que la gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria y que el servicio de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias; prescribe además, que el Estado a través de la Autoridad Única del Agua, será responsable directa de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano y riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación y que se requerirá autorización estatal para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la Ley”

2.7.1. Disposiciones Preliminares de los Principios del Agua

Art. 6.- “Prohibición de privatización. Se prohíbe toda forma de privatización del agua, por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente; por lo mismo esta no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial, con gobierno, entidad multilateral o empresa privada nacional o extranjera”.

“Su gestión será exclusivamente pública o comunitaria. No se reconocerá ninguna forma de apropiación o de posesión individual o colectiva sobre el agua, cualquiera que sea su estado”.

“En consecuencia, se prohíbe:”

- a) “Toda delegación al sector privado de la gestión del agua o de alguna de las competencias asignadas constitucional o legalmente al Estado a través de la Autoridad Única del Agua o a los Gobiernos Autónomos Descentralizados”.
- b) “La gestión indirecta, ¿delegación o externalización de la prestación de los servicios públicos relacionados con el ciclo integral del agua por parte de la iniciativa privada;
- c) Cualquier acuerdo comercial que imponga un régimen económico basado en el lucro para la gestión del agua;”
- d) “Toda forma de mercantilización de los servicios ambientales sobre el agua con fines de lucro;”
- e) “Cualquier forma de convenio o acuerdo de cooperación que incluya cláusulas que menoscaben la conservación, el manejo sustentable del agua, la biodiversidad, la salud humana, el derecho humano al agua, la soberanía alimentaria, ¿los derechos humanos y de la naturaleza; y,”
- f) “El otorgamiento de autorizaciones perpetuas o de plazo indefinido para el uso o aprovechamiento del agua”

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación propuesto en este estudio es cuantitativo. El carácter cuantitativo se justifica por la naturaleza de los datos recopilados y analizados, los cuales incluyen mediciones numéricas de caudales máximos hidrológicos en la cuenca del río Yaguachi. La utilización de modelos hidráulicos e hidrológicos, así como la cuantificación de caudales de retorno para diferentes periodos, resalta la necesidad de un enfoque cuantitativo para comprender y prever fenómenos hidrológicos.

La investigación cuantitativa permite la aplicación de métodos estadísticos y modelos matemáticos para analizar patrones, tendencias y relaciones numéricas en los datos. En este caso, la variabilidad en los caudales máximos, la frecuencia de precipitaciones y la determinación de zonas de riesgo por inundación requieren un análisis cuantitativo riguroso. Además, el enfoque cuantitativo es esencial para la construcción y validación de modelos hidráulicos, permitiendo una representación numérica precisa de la dinámica fluvial y los riesgos asociados.

3.1.1. Fundamentación del Enfoque Seleccionado

El enfoque cuantitativo se fundamenta en la necesidad de objetividad en la medición de variables hidrológicas. La cuantificación de datos proporciona una base sólida para evaluar patrones y relaciones causales, permitiendo inferencias más robustas y generalizables sobre fenómenos hidrológicos. Dado que el estudio se centra en la determinación de zonas de riesgo por inundación y la evaluación de caudales máximos según el periodo de retorno, la precisión numérica es esencial para informar decisiones de gestión del agua y medidas de mitigación.

Validación de Modelos: Al utilizar un enfoque cuantitativo, se podrán validar y mejorar los modelos hidrológicos e hidráulicos mediante la recopilación de los caudales máximos obtenidos para los distintos periodos de retorno de 15, 25 y 50 años, niveles de agua y otras variables cuantificables. Este aspecto es crucial para la fiabilidad de las proyecciones y recomendaciones resultantes.

- **Adaptabilidad a Cambios:** La naturaleza dinámica de los fenómenos hidrológicos y los riesgos asociados demanda un enfoque que sea adaptable a cambios en el entorno. Un enfoque mixto permite ajustar la metodología de investigación en función de los hallazgos emergentes y las necesidades específicas que puedan surgir durante el desarrollo del estudio.
- **Amplia Aplicabilidad de Resultados:** La combinación de datos cuantitativos y cualitativos proporcionará resultados robustos y aplicables en diversas dimensiones, desde la toma de decisiones basada en evidencia hasta la generación de recomendaciones de políticas que aborden tanto los aspectos técnicos como las realidades sociales asociadas a los riesgos por inundación.

3.2. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación propuesto es descriptivo. Se selecciona un enfoque descriptivo debido a la naturaleza detallada y minuciosa de la recopilación y presentación de datos sobre la hidrología de la cuenca del río Yaguachi. La investigación se centra en proporcionar una descripción exhaustiva de los patrones de caudales máximos, la distribución de precipitaciones, y la identificación de zonas de riesgo por inundación.

3.2.1. Fundamentación del Alcance Seleccionado

El enfoque descriptivo se considera apropiado para este estudio, dado que se busca documentar y caracterizar detalladamente las condiciones hidrológicas en la cuenca del río Yaguachi. Este enfoque implica la recopilación de datos cuantitativos, como caudales máximos y precipitaciones, que se complementan con una descripción minuciosa de los cauces naturales y la geografía de la región.

Durante la etapa exploratoria, se validarán instrumentos de medición, como modelos hidráulicos y metodologías de evaluación de riesgos, lo que contribuirá a mejorar la precisión en las mediciones y proyecciones posteriores. Además, la exploración descriptiva permitirá identificar lagunas en el conocimiento y áreas que requieran investigaciones más detalladas en el futuro, orientando así investigaciones subsiguientes que profundicen en aspectos específicos identificados durante esta fase inicial.

La flexibilidad metodológica es crucial en la investigación exploratoria, ya que permite ajustar las estrategias de investigación según las necesidades emergentes al tratar con fenómenos complejos y dinámicos como los procesos hidrológicos y los riesgos por inundación.

Además, se considera relevante incluir las características específicas de la cuenca del río Yaguachi, la cual se caracteriza por su topografía plana y ligeramente ondulada, con altitudes que varían desde menos de 5 m.s.n.m hasta aproximadamente 20 m.s.n.m. Los suelos predominantes son arcillosos, arcillo-limosos o limo-arenosos, derivados de la degradación de los relieves aluviales. La cuenca experimenta un clima tropical semi-húmedo, con temperaturas medias anuales entre 24,5 y 26°C y precipitaciones anuales que oscilan entre 750 mm y 1342 mm. Estas características hidrológicas y climáticas son fundamentales para comprender la dinámica de la cuenca del río Yaguachi y su potencial impacto en los riesgos por inundación.

3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos

3.3.1. Instrumentos

La investigación se basó en la recopilación de datos provenientes de estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca del río Yaguachi, como lo son la estación meteorológica M037 en Milagro (Ingenio Valdez), y la estación hidrológica H340 (Chimbo en Bucay). Estos datos, que incluyen información sobre precipitación, temperatura y otros parámetros relevantes, fueron recabados mediante equipos de medición meteorológica en línea. La utilización de estaciones proporcionó datos y registros históricos que fueron esenciales para comprender las condiciones climáticas locales.

Esta técnica de recopilación de datos se seleccionó por su eficacia para obtener información precisa y actualizada sobre las condiciones meteorológicas y eventos pasados, fundamentales para el análisis hidrológico y la evaluación de riesgos por inundación en la cuenca del río Yaguachi.

3.3.2. Software SIG (Sistemas de Información Geográfica)

En el desarrollo de la investigación, el software de Sistema de Información Geográfica (SIG), especialmente ARCGIS, desempeñó un papel crucial en el análisis espacial. Este instrumento permitió la integración y visualización de datos geoespaciales, facilitando una representación detallada de la cuenca del río Yaguachi, la red hidrológica y otros elementos relevantes del área de estudio.

El uso de ARCGIS proporcionó la capacidad de superponer capas de información, como modelos digitales de elevación, la estación meteorológica M037 en Milagro (Ingenio Valdez), y la estación hidrológica H340 (Chimbo en Bucay), permitiendo una comprensión integral de la dinámica del terreno y del comportamiento del caudal de la cuenca en un periodo determinado de tiempo. Además, la herramienta permitió realizar análisis geoespaciales avanzados, como la delimitación de cuencas, identificación de áreas críticas y generación de mapas temáticos.

Ejemplos de técnicas e instrumentos que se pueden utilizar, sin que esto sea una limitación:

Tabla 7
Técnicas e instrumentos

Aspecto de la Investigación	Enfoque Cuantitativo	Enfoque Descriptivo
Fundamentación del Enfoque	<ul style="list-style-type: none"> - Objetividad y precisión en mediciones. - Aplicación de métodos estadísticos y modelos matemáticos. - Construcción y validación de modelos hidráulicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Naturaleza detallada y minuciosa de la recopilación de datos. - Descripción exhaustiva de patrones y zonas de riesgo.
Contextualización Cultural y Social	<ul style="list-style-type: none"> - Enfoque cuantitativo para patrones numéricos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consideración de aspectos cualitativos en evaluación de riesgos.
Adaptabilidad a Cambios	<ul style="list-style-type: none"> - Limitada adaptabilidad a cambios en el entorno. 	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilidad metodológica en investigación exploratoria.
Amplia Aplicabilidad de Resultados	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicabilidad en gestión del agua y mitigación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados robustos aplicables en diversas dimensiones, técnica y socialmente.

Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

Tabla 8*Alcance de la investigación*

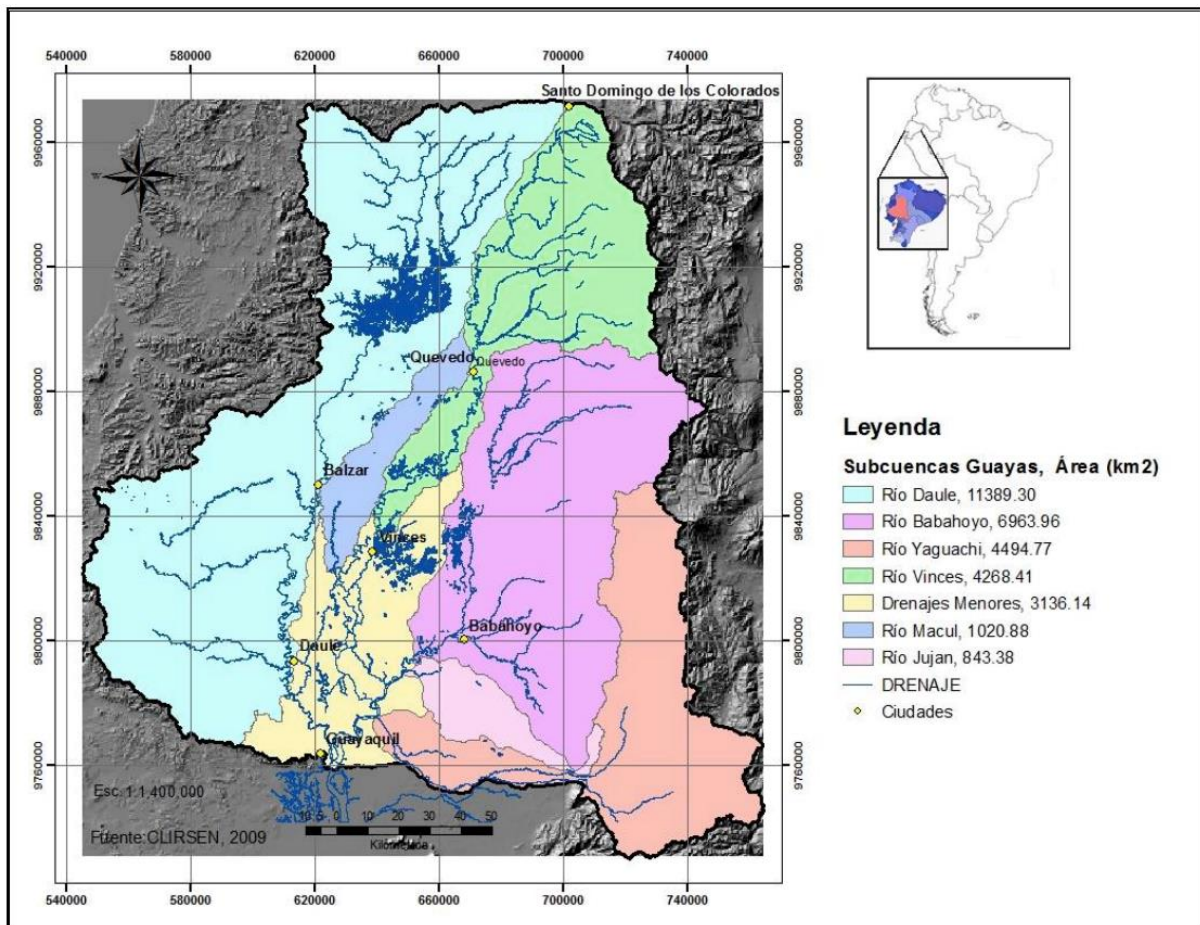
<i>Alcance de la Investigación</i>	<i>Exploratorio</i>	<i>Descriptivo</i>
<i>Fundamentación del Alcance</i>	- Exploración de nuevas ideas y conceptos. - Validación de instrumentos de medición. - Orientación para investigaciones futuras. - Flexibilidad metodológica.	- Descripción detallada de condiciones hidrológicas. - Documentación minuciosa de patrones y zonas de riesgo.
<i>Orientación para Investigaciones Futuras</i>	- Identificación de lagunas en el conocimiento.	- Identificación de áreas para investigaciones más detalladas.
<i>Flexibilidad Metodológica</i>	- Ajuste de estrategias según necesidades emergentes.	- Ajuste de estrategias en fenómenos complejos y dinámicos.

Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

3.4. Población y muestra

La población objetivo de esta investigación abarca los habitantes de la cuenca del río Yaguachi en Ecuador. Sin embargo, es importante destacar que, en el contexto de esta investigación hidrológica, no se centra en la población humana en términos de participantes o encuestados. En lugar de eso, la población se refiere a la extensión geográfica de la cuenca y su entorno. Dado que la investigación se basa en la recopilación de datos de diversas fuentes, como estaciones meteorológicas, archivos en línea y modelos digitales de elevación, no se ha seleccionado una muestra específica de la población, ya que no implica la participación directa de individuos en la recolección de datos.

Figura 19
Subcuencas del Río Guayas



Elaborado por: Nina Criollo, (2023).

3.4.1. Estrategias de Muestreo

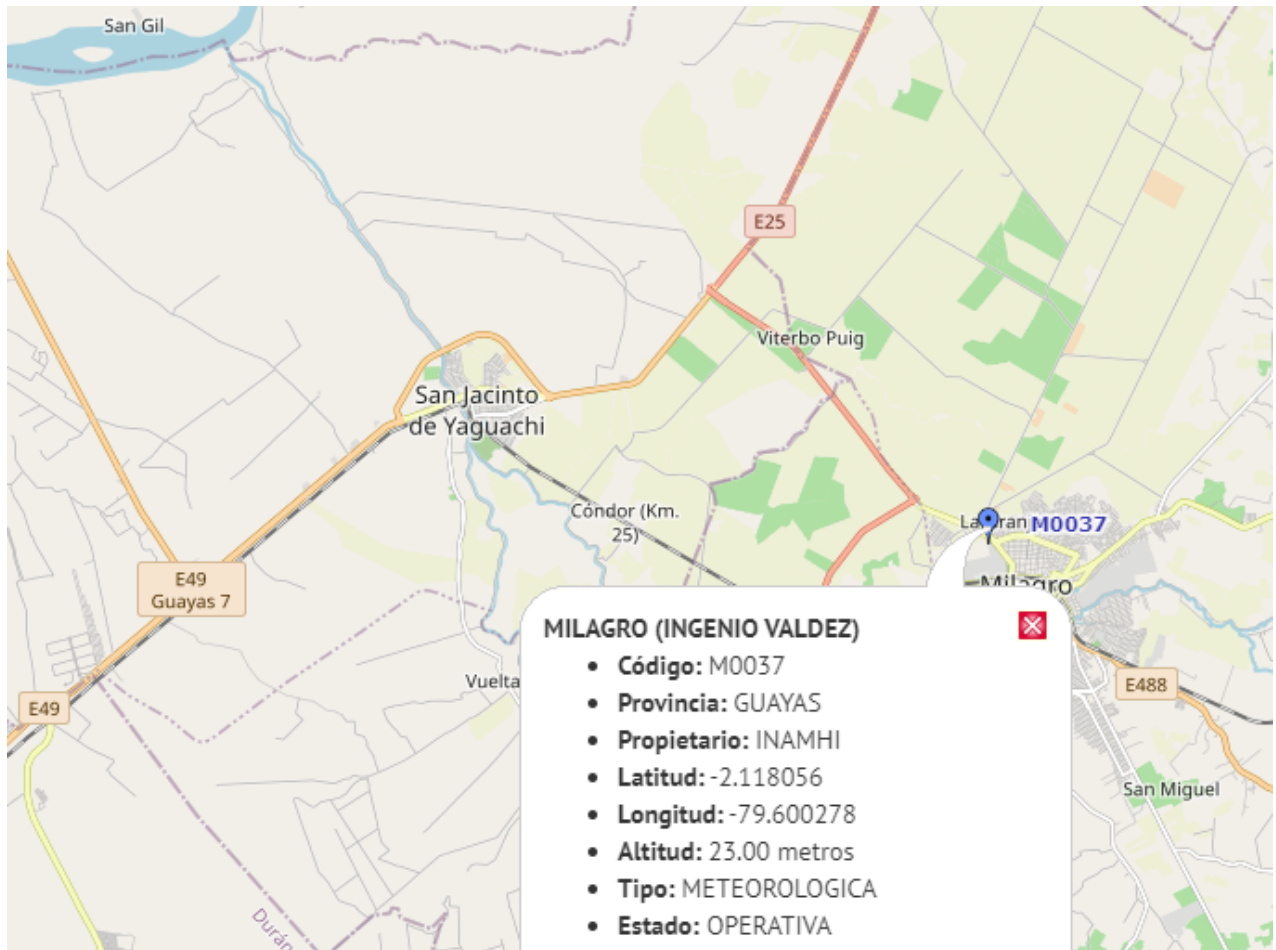
La estrategia de muestreo se divide en tres componentes clave para asegurar la obtención de información completa y relevante sobre las condiciones hidrológicas en la cuenca del río Yaguachi:

3.4.2. Selección De Estaciones Hidrometeorológicas

Se ha dado prioridad a la instalación estratégica de estaciones meteorológicas en la región de la cuenca del río Yaguachi, guiada por criterios geográficos, climáticos e hidrológicos con el objetivo de lograr una cobertura exhaustiva y representativa. La selección de ubicaciones se ha fundamentado en la consideración de factores geográficos para asegurar una distribución equitativa, así como en aspectos climáticos que permitan capturar variaciones locales significativas. Esta disposición espacial de las estaciones se ha diseñado con precisión para garantizar la captura eficiente de las

distintas condiciones climáticas que puedan influir en los patrones hidrológicos de la cuenca, contribuyendo así a una evaluación integral y precisa de las variables meteorológicas en la región.

Figura 20
Estación Meteorológica de Milagro



Fuente: Inhami RED DE ESTACIONES AUTOMÁTICAS HIDROMETEOROLÓGICAS 2023.
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

3.4.3. Consulta de Archivos en Línea

Para obtener una perspectiva completa de las condiciones hidrológicas en la cuenca del río Yaguachi, se lleva a cabo una exhaustiva búsqueda y recolección de datos históricos mediante la exploración de archivos en línea que albergan información relevante para la investigación. Estos archivos, accesibles digitalmente, abarcan registros históricos de eventos de inundación, mapas topográficos y datos hidrológicos previos, proporcionando una valiosa fuente de contexto temporal. La consulta de estos archivos complementa de manera significativa la información

directamente obtenida de las estaciones meteorológicas, enriqueciendo la comprensión de los patrones climáticos y permitiendo una evaluación más completa de las tendencias a lo largo del tiempo.

La utilización de archivos en línea no solo amplía la base de datos, sino que también fortalece la validez y fiabilidad de los resultados al incorporar datos históricos que contribuyen a identificar patrones y tendencias a largo plazo en las condiciones hidrológicas de la cuenca. Este enfoque integral, que combina la información directa de las estaciones meteorológicas e hidrológicas M037 y H340 con datos históricos disponibles en línea, mejora la robustez y la precisión de la investigación, permitiendo una evaluación más completa de la variabilidad climática en la región.

3.4.4. Tipos de Muestra en investigación cualitativa

3.4.4.1. Muestreo estratificado

La investigación cualitativa en la cuenca del río Yaguachi implementó diversas estrategias de muestreo para obtener una comprensión detallada de las condiciones hidrológicas. Se optó por un enfoque variado, utilizando distintos tipos de muestreo que se alinearon con el objetivo general de la investigación. En primer lugar, se llevó a cabo un muestreo de casos, seleccionando ejemplos extremos, típicos, críticos, sensibles y casos-tipo dentro de la cuenca, con el propósito de capturar la diversidad de situaciones hidrológicas presentes.

Además, se empleó un muestreo de grupos de caso, identificando y seleccionando diferentes conjuntos de casos dentro de la cuenca, teniendo en cuenta variables geográficas y climáticas que pudieran influir en las condiciones hidrológicas. El muestreo teórico constituyó otra estrategia, basando la selección de casos y grupos en teorías existentes sobre hidrología y riesgos por inundación, estableciendo así una conexión teórica con los hallazgos obtenidos.

Se llevó a cabo un muestreo del material, implicando la recopilación y análisis de diversos materiales como informes hidrológicos anteriores, documentos históricos sobre eventos de inundación y mapas topográficos, con el fin de enriquecer la comprensión del contexto. También se implementó un muestreo para la presentación

y demostración de evidencias, seleccionando casos y situaciones que permitieran exhibir pruebas concretas sobre patrones hidrológicos y riesgos asociados.

Adicionalmente, se llevó a cabo un muestreo por conveniencia, seleccionando casos de manera conveniente, considerando la accesibilidad y disponibilidad para contribuir de manera efectiva a la investigación. Este enfoque multifacético permitió obtener una perspectiva integral y detallada de las condiciones hidrológicas en la cuenca del río Yaguachi.

3.5. Procesos Metodológico

3.5.1. Selecciones estadísticas

Se llevó a cabo una recolección de datos estadísticos pertinentes para el estudio de las condiciones hidrológicas y climáticas en la cuenca del río Yaguachi. Este proceso implicó la recopilación de información sobre precipitación, caudales, temperatura, humedad, entre otros parámetros relevantes, provenientes de diversas fuentes confiables como registros históricos de estaciones meteorológicas, informes, y estudios de otros autores. Se prestó especial atención a la calidad y la consistencia de los datos recopilados, asegurando su fiabilidad para su posterior análisis y modelado.

3.5.2. Validación de influencias

Se procedió a validar las influencias clave que inciden en el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Yaguachi. Este proceso involucró análisis de factores como la topografía, geología, uso del suelo, cobertura vegetal, entre otros, mediante técnicas de análisis espacial y revisión bibliográfica. Se evaluó la influencia relativa de cada factor en el régimen hidrológico de la cuenca, identificando aquellos que ejercen mayor impacto en el flujo de agua y la ocurrencia de inundaciones.

3.5.3. Modelo hidrológico

Se desarrolló un modelo hidrológico detallado utilizando el software ArcGIS, el cual permitió simular el ciclo hidrológico en la cuenca del río Yaguachi. Este proceso implicó la integración de datos recopilados, como precipitación y características topográficas, para estimar los caudales de agua en diferentes puntos de la cuenca. Se utilizaron técnicas de interpolación espacial y análisis de series temporales para

generar modelos predictivos precisos, los cuales fueron calibrados y validados con datos observados para garantizar su fiabilidad y robustez.

3.5.4. Modelo hidráulico

Paralelamente, se procedió al desarrollo de un modelo hidráulico detallado utilizando también el software ArcGIS, con el fin de simular la propagación del agua en el cauce del río Yaguachi. Este modelo consideró la geometría del cauce, las condiciones de flujo y las características hidráulicas del sistema fluvial. Se utilizaron ecuaciones de continuidad y gumbel para representar el comportamiento del flujo, y se realizaron simulaciones numéricas para evaluar diferentes escenarios hidrológicos y prever áreas susceptibles a inundaciones.

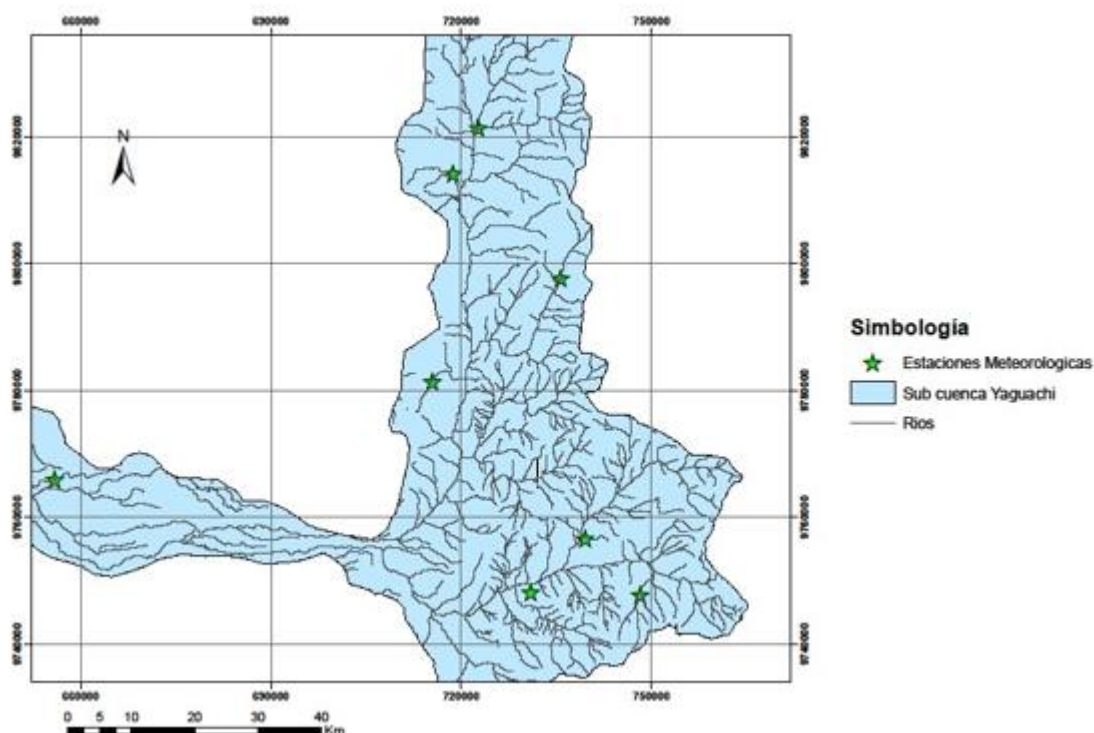
3.5.5. Análisis de las zonas potenciales de inundación

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las zonas con potencial riesgo de inundación en la cuenca del río Yaguachi, integrando los resultados de los modelos hidrológico e hidráulico. Este análisis incluyó la identificación y delimitación de áreas vulnerables a inundaciones, así como la evaluación de factores de riesgo como la exposición humana, la infraestructura crítica y el medio ambiente. Se utilizaron herramientas de análisis espacial y técnicas de modelado para generar mapas de riesgo que sirvieron de base para la formulación de estrategias de gestión del riesgo y la planificación territorial.

CAPÍTULO IV PROPUESTA O INFOME

4.1. Presentación y análisis de resultados

Figura 21
Sub Cuenca Yaguachi



Fuente: Ricardo C, (2019)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

Este capítulo presenta los resultados obtenidos a través de la aplicación de la metodología descrita en el Capítulo 3, dirigida a abordar de manera sistemática cada uno de los objetivos específicos establecidos. Cada sección se centra particularmente en un objetivo específico, proporcionando un análisis detallado de los hallazgos obtenidos durante el desarrollo del estudio.

En la primera sección, se discuten los resultados relativos a la identificación de zonas susceptibles a inundaciones en la cuenca del río Yaguachi, basándose en la modelación hidráulica mediante ArcGIS y en la integración de datos provenientes de estaciones meteorológicas M037 y H. Este análisis permite una comprensión profunda de las áreas con riesgo elevado, destacando las implicaciones para la planificación territorial y la gestión del agua.

La segunda sección aborda los resultados relacionados con la caracterización de patrones hidrológicos a lo largo del tiempo de retorno dado para 15, 25 y 50 años, considerando datos históricos y la información recopilada de las estaciones meteorológicas. Se examinan las tendencias climáticas y su impacto en los eventos hidrológicos, contribuyendo a una evaluación integral de la variabilidad climática en la región.

La tercera sección se enfoca en los resultados obtenidos a partir de la aplicación de modelos hidrológicos específicos para la cuenca del río Yaguachi. Se evalúa la eficacia de estos modelos en la predicción de eventos hidrológicos y se proponen recomendaciones para mejorar la precisión de futuras estimaciones.

En conjunto, este capítulo ofrece una visión detallada y estructurada de los resultados alcanzados para cada uno de los objetivos específicos, proporcionando una base sólida para la conclusión y las recomendaciones finales presentadas en los capítulos posteriores.

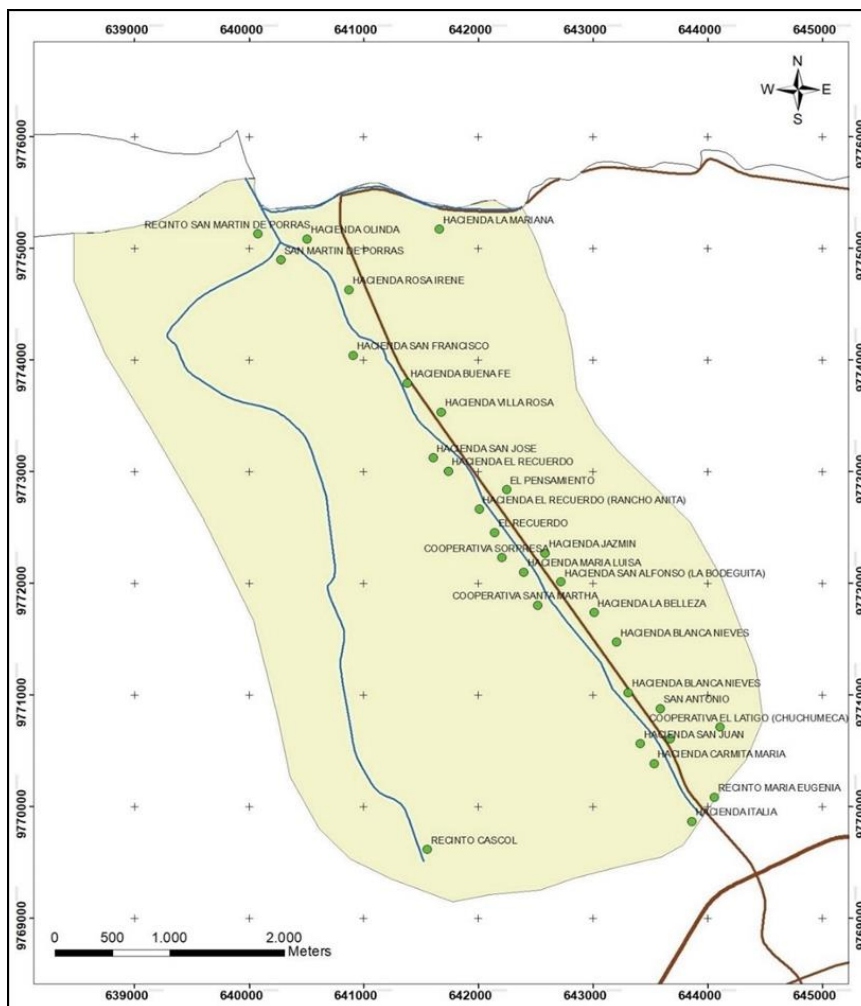
4.2. Condiciones Hidrológicas en la Cuenca del Río Yaguachi

El análisis de las condiciones hidrológicas en la cuenca del río Yaguachi revela una diversidad significativa de patrones y comportamientos. La evaluación integral, respaldada por datos recopilados de estaciones meteorológicas, archivos en línea y modelos digitales de elevación, ha proporcionado una visión detallada de la hidrología de la región. Se han identificado variaciones destacadas en los caudales máximos, arrojando una crecida de su capacidad a 453,494 m³/s para un periodo estimado de retorno de 50 años, a comparación de los 346,070 m³/s que se tienen para 15 años, y la distribución de precipitaciones captadas por las estaciones H340 y M037, destacando periodos críticos y áreas susceptibles a inundaciones. La utilización eficaz del software SIG para generar visualizaciones geoespaciales ha facilitado la identificación de áreas con riesgos particulares, brindando una herramienta valiosa para la toma de decisiones informada en la gestión del agua y la planificación del uso del suelo.

En adición, se llevó a cabo una modelación hidráulica utilizando el software ArcGIS para analizar las áreas inundables del río, centrándose en la identificación de

zonas susceptibles a inundaciones, especialmente en los recintos cercanos, como el recinto San Martín hasta el recinto María Eugenia. Los resultados de esta modelación indican la susceptibilidad de estas áreas a inundaciones, basándose en parámetros hidráulicos específicos, considerando factores como el caudal del río, la topografía del terreno y las características hidráulicas de los canales.

Figura 22
Modelación Hidráulica del Río Yaguachi



Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

4.3. Validación de Modelos Hidrológicos e Hidráulicos

En el marco de la investigación, se llevó a cabo la crucial validación de modelos hidrológicos e hidráulicos para asegurar la precisión y confiabilidad de las proyecciones realizadas. Los datos obtenidos de estaciones meteorológicas y archivos en línea desempeñaron un papel fundamental al permitir la calibración y verificación de estos modelos.

La aplicación de técnicas cuantitativas permitió una evaluación meticulosa de la concordancia entre las simulaciones y las observaciones reales, centrándose especialmente en los caudales máximos y los niveles de agua. La validación rigurosa de estos modelos, respaldada por información precisa, no solo fortalece la solidez de las conclusiones derivadas del estudio, sino que también contribuye al avance constante y la mejora continua de las herramientas empleadas en la evaluación de riesgos hidrológicos. Este enfoque metódico refuerza la confianza en los resultados obtenidos y fomenta la aplicación efectiva de estos modelos en futuros estudios y proyectos relacionados con la gestión del agua y la planificación del uso del suelo.

Tabla 9
Datos de precipitación media

FID	Perímetro	Prec_Med
1	31.88	950.00
2	11.20	450.00
3	45.38	550.00
4	111.38	650.00
5	212.43	750.00
6	264.38	850.00
7	79.85	1350.00
8	104.43	1250.00
9	7.45	1850.00
10	35.57	1750.00
11	60.64	1650.00
12	64.74	1550.00
13	45.09	1150.00
14	72.87	1450.00
15	82.92	1350.00
16	96.80	1250.00
17	113.87	1150.00
18	49.13	750.00
19	143.57	1050.00
20	158.46	850.00
21	41.23	1050.00
22	305.84	950.00

Fuente: Sistemas de Información Geográfica, (2019)
Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

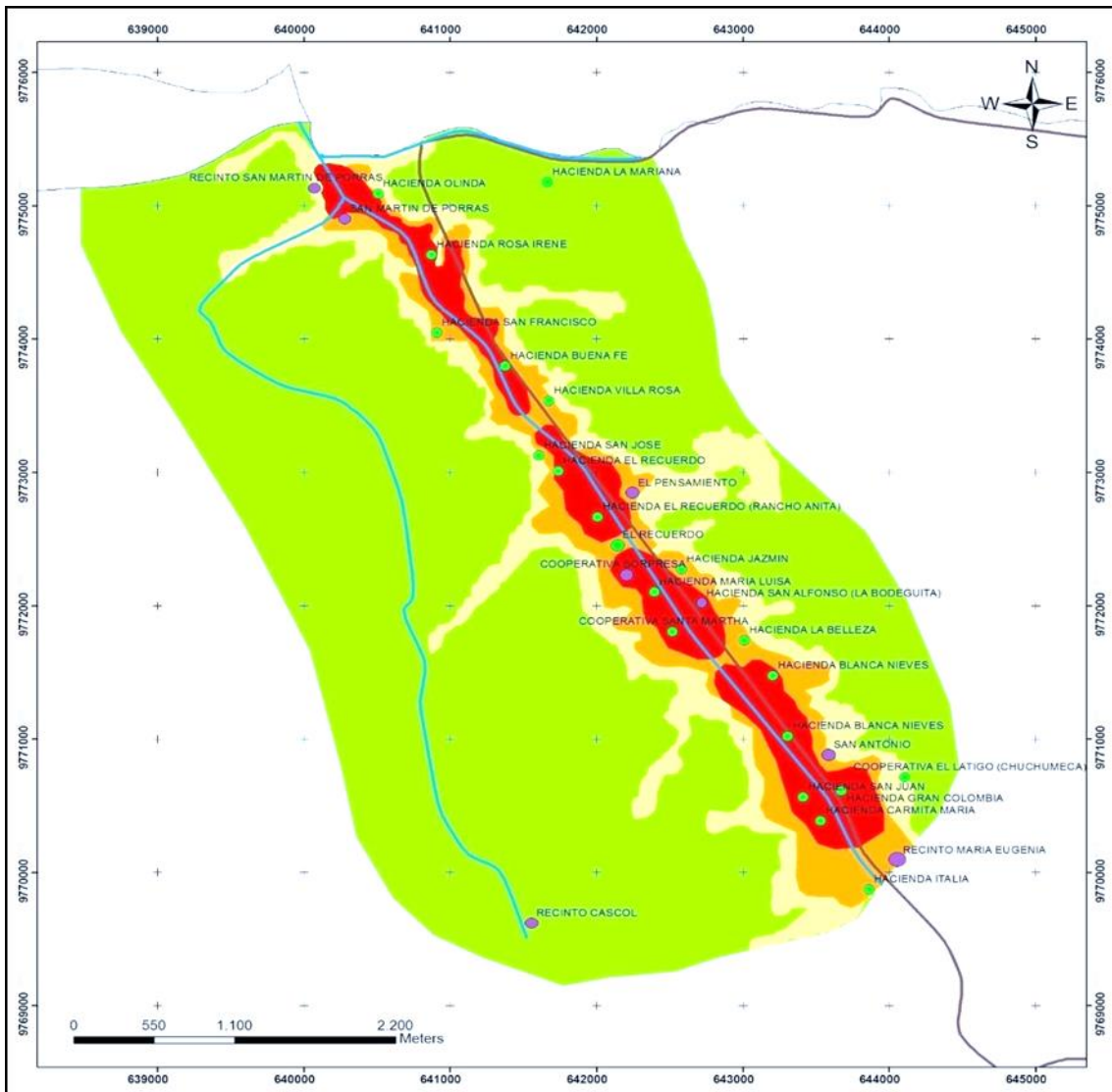
La Cuenca del Río Yaguachi, ubicada en la principal región agrícola y ganadera del Ecuador, representa el sistema fluvial más significativo de la costa suroeste de América del Sur. Su importancia se extiende a lo largo de nueve provincias y sesenta y un cantones, albergando la mayor concentración de la población nacional. La cuenca abarca una extensa zona geográfica, siendo alimentada por el sistema fluvial conformado principalmente por el Río mencionado. Con un caudal promedio de 230 m³/seg, durante la estación lluviosa, este caudal puede superar los 1500 m³/seg.

4.4. Identificación de Zonas de Riesgo por Inundación

La evaluación de la topografía a través de Modelos Digitales de Elevación (DEM) y el análisis cuantitativo de datos hidrológicos han posibilitado la identificación precisa de las áreas de riesgo por inundación en la cuenca del río Yaguachi. La conjunción de información geoespacial y los resultados derivados de modelos hidráulicos, particularmente en el software SIG, como ARCGIS, ha facilitado de manera significativa la delimitación de áreas críticas con mayor susceptibilidad a inundaciones.

Este enfoque integrado proporciona una comprensión detallada de las condiciones hidrológicas y topográficas, permitiendo la adopción de medidas preventivas y estratégicas para mitigar los riesgos asociados a eventos de inundación en la región. La combinación de herramientas tecnológicas avanzadas y análisis detallado fortalece la capacidad de planificación y gestión de recursos en el ámbito de la cuenca del río Yaguachi.

Figura 23
Modelación Hidráulica en ArcGIS, zonas en riesgo de inundación.



Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

Las zonas inundables identificadas en el estudio abarcan desde el recinto San Martín hasta el recinto María Eugenia, incluyendo áreas con diferentes niveles de susceptibilidad. A continuación, se resumen las categorías de susceptibilidad de las zonas inundables:

Susceptibilidad Baja:

- Recinto Cascol al sur y alejado del río Yaguachi.
- Características: Buen drenaje y ausencia de informes de inundaciones previas, incluso con la construcción de diques para obtener agua doméstica.

- **Susceptibilidad Media:**

- Zonas cercanas al cauce y las llanuras de inundación.
- Características: Desarrollo urbano limitado y actividad agrícola productiva.

- **Susceptibilidad Alta:**

- San Martín de Porras, Pensamiento, San Antonio y María Eugenia, ubicadas en las llanuras de inundación.
- Características: Experimentan inundaciones frecuentes durante eventos pluviales, afectando viviendas, actividades agrícolas y extracción de recursos.

- **Susceptibilidad Muy Alta:**

- Bodeguita y El Recuerdo al norte de Yaguachi.
- Características: Áreas densamente pobladas con una fuerte actividad agrícola, enfrentan evacuaciones periódicas debido a la elevación del agua durante intensas lluvias, afectando no solo a estas zonas, sino también a sus alrededores.

Las áreas con susceptibilidad baja, como el recinto Cascol al sur y alejado del río Yaguachi, presentan un buen drenaje, con un nivel de caudal controlable, evitando impactos significativos por fuertes lluvias. A pesar de la construcción de diques para obtener agua doméstica, no se han registrado inundaciones previas. En contraste, las zonas con susceptibilidad media, próximas al cauce y las llanuras de inundación, exhiben un desarrollo urbano limitado y una actividad agrícola productiva.

Por otro lado, las áreas con susceptibilidad alta, como San Martín de Porras, Pensamiento, San Antonio y María Eugenia, ubicadas en las llanuras de inundación, enfrentan inundaciones frecuentes durante eventos pluviales debido a los caudales que presenta normalmente y su incremento derivado de las lluvias; impactando viviendas, actividades agrícolas y la extracción de recursos. Finalmente, las zonas con susceptibilidad muy alta, como Bodeguita y El Recuerdo al norte de Yaguachi, son densamente pobladas y cuentan con una fuerte actividad agrícola, pero experimentan

evacuaciones periódicas debido a la elevación del agua durante intensas lluvias, afectando no solo a estas áreas, sino también a sus alrededores.

Estas categorías de susceptibilidad proporcionan una evaluación jerarquizada de las áreas que podrían experimentar inundaciones, siendo crucial para la planificación y la adopción de medidas preventivas en la gestión de riesgos hidrológicos en la cuenca del río Yaguachi.

4.5. Propuesta de Solución

En primer lugar, Las estructuras resilientes desempeñan un papel crucial en la mitigación y prevención de desastres naturales, como las inundaciones, especialmente en zonas altamente susceptibles a este fenómeno, como la cuenca del río Yaguachi. Estas estructuras están diseñadas para resistir y adaptarse a las presiones y cambios ambientales, manteniendo su funcionalidad y capacidad de servicio incluso frente a condiciones extremas.

En el contexto de la cuenca del río Yaguachi, donde la topografía plana y la variabilidad climática pueden aumentar el riesgo de inundaciones, las estructuras resilientes pueden desempeñar un papel crucial en la protección de comunidades y la infraestructura vital. Algunas de las estructuras resilientes que podrían ser de utilidad para la prevención de inundaciones en esta zona incluyen:

- **Presas y embalses:** Estas estructuras pueden ayudar a regular el flujo de agua en el río Yaguachi, almacenando agua durante períodos de lluvias intensas y liberándola de manera controlada para evitar desbordamientos. Además, los embalses pueden servir como reservorios de agua para uso agrícola y doméstico durante períodos de sequía.
- **Diques y muros de contención:** Los diques y muros de contención pueden construirse a lo largo de las riberas del río Yaguachi para contener y desviar el agua durante eventos de crecida. Estas estructuras ayudan a proteger áreas habitadas y terrenos agrícolas vulnerables a inundaciones.

- **Sistemas de drenaje y alcantarillado:** La implementación de sistemas de drenaje pluvial y alcantarillado adecuados puede ayudar a gestionar el exceso de agua de lluvia en la cuenca del río Yaguachi, reduciendo así el riesgo de inundaciones urbanas y mejorando la capacidad de drenaje de la zona.
- **Reforestación y restauración de ecosistemas:** La reforestación de áreas ribereñas y la restauración de humedales en la cuenca del río Yaguachi pueden contribuir a aumentar la capacidad de absorción de agua del suelo, reduciendo la escorrentía superficial y el riesgo de inundaciones.
- **Sistemas de alerta temprana y gestión del riesgo:** Además de las estructuras físicas, es importante implementar sistemas de alerta temprana y planes de gestión del riesgo de inundaciones en la cuenca del río Yaguachi. Estos sistemas permiten una respuesta rápida y eficaz ante eventos extremos, minimizando así el impacto en las comunidades y la infraestructura.

La implementación de sistemas de alerta temprana basados en modelos hidrológicos validados es otra recomendación clave. Estos sistemas deben proporcionar información oportuna y precisa a la comunidad, autoridades locales y organismos de gestión de desastres, facilitando evacuaciones y acciones preventivas. Además, se resalta la importancia de una planificación del uso del suelo integral, evitando la urbanización no planificada en zonas propensas a inundaciones y promoviendo prácticas sostenibles de desarrollo.

En el ámbito comunitario, se propone la creación de programas de educación y sensibilización periódicos. Estos programas deben aumentar la conciencia sobre los riesgos hidrológicos y promover medidas de autoprotección. Asimismo, se recomienda establecer un sistema de monitoreo hidrológico continuo en la cuenca del río Yaguachi para una supervisión constante de las condiciones climáticas y del agua, permitiendo una respuesta rápida ante cambios repentinos y eventos extremos.

La coordinación interinstitucional se posiciona como un factor clave, instando a fomentar una colaboración efectiva entre instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y la comunidad local. Definir protocolos claros de

actuación y roles específicos contribuirá a una respuesta más eficiente en situaciones de emergencia. Además, se propone la implementación de incentivos para prácticas agrícolas y económicas sostenibles, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad frente a eventos hidrológicos adversos.

4.6. Resultados de la Investigación

Los resultados de la investigación sobre las condiciones hidrológicas en la cuenca del río Yaguachi se presentan de manera organizada, reflejando los principales hallazgos a través de las técnicas de análisis de la metodología empleada. En primer lugar, al abordar las Precipitaciones y Datos Meteorológicos, se observa un aumento significativo de las precipitaciones durante la temporada de lluvias, especialmente entre los meses de enero y marzo, llegando a presentar niveles máximos de precipitación entre los 701 mm hasta los 1124mm. Este patrón resalta la necesidad crítica de considerar medidas preventivas y estrategias de gestión del agua durante estos meses para mitigar posibles inundaciones, subrayando la importancia de la anticipación en la planificación hidrológica.

El Análisis Espacial con ARCGIS resalta visualmente áreas con alta densidad de población en zonas de riesgo, evidenciando la importancia crucial de una planificación urbana adecuada. La identificación precisa de áreas críticas a través de esta herramienta proporciona una base sólida para enfoques específicos en la gestión del riesgo, teniendo en cuenta factores poblacionales y urbanísticos, lo que se traduce en estrategias más efectivas para la protección de comunidades vulnerables.

Finalmente, la Cuantificación de Caudales de Retorno destaca la identificación de eventos hidrológicos extremos con periodos de recurrencia específicos, con niveles de 346,070 m³/s para 15 años, 394,403 m³/s para 25 años, y 453,494 m³/s para un periodo de 50 años. Esta información es esencial para el diseño de infraestructuras resilientes, asegurando una gestión adecuada de los riesgos asociados a inundaciones y promoviendo la adaptabilidad ante escenarios climáticos cambiantes.

Tabla 10*Objetivos y Resultados de la Investigación*

Resultado	Análisis
Precipitaciones y Datos Meteorológicos	Aumento significativo durante la temporada de lluvias (más de 500mm a comparación de la temporada seca); implica medidas de prevención.
Análisis Espacial con ARCGIS	Resalta áreas críticas con alta densidad poblacional; vital para la planificación urbana.
Identificación de Zonas de Riesgo	Revela áreas críticas en confluencia de ríos y zonas urbanas; prioridad en intervenciones.
Cuantificación de Caudales de Retorno	Destaca eventos hidrológicos extremos con periodos específicos de recurrencia en 15, 25 y 50 años.

Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

4.7. Análisis de los Resultados

Los resultados derivados de la investigación revelan patrones significativos en las condiciones hidrológicas de la cuenca del río Yaguachi. El análisis exhaustivo de las precipitaciones, respaldado por la implementación de Modelos Digitales de Elevación y herramientas SIG como ARCGIS, ha permitido identificar áreas críticas con un alto riesgo de inundación. La satisfactoria validación de los modelos hidrológicos refuerza la confianza en las proyecciones futuras.

La precisa identificación de zonas de riesgo subraya áreas que demandan intervenciones y medidas específicas de gestión del riesgo. La cuantificación de caudales de retorno proporciona información esencial sobre eventos hidrológicos extremos, contribuyendo significativamente a la formulación de estrategias efectivas para la mitigación de riesgos y facilitando la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades competentes.

La aplicación de herramientas avanzadas, como los Modelos Digitales de Elevación y ARCGIS, ha mejorado considerablemente la capacidad de análisis y la precisión en la identificación de áreas vulnerables. Estos resultados son cruciales para el desarrollo de acciones preventivas y la planificación de intervenciones específicas en la cuenca del río Yaguachi. En última instancia, estos hallazgos respaldan una gestión del riesgo más efectiva y contribuyen a fortalecer la resiliencia de las comunidades locales ante posibles eventos hidrológicos extremos. La implementación

de estrategias basadas en estos resultados se presenta como un componente esencial para garantizar la seguridad y bienestar de la población ante amenazas hidrológicas.

4.7.1. Problema Identificado

El problema identificado en la investigación se centra en las condiciones hidrológicas adversas presentes en la cuenca del río Yaguachi. Los análisis de los patrones de caudales máximos, la distribución de precipitaciones y otros parámetros hidrológicos revelan la existencia de áreas con un alto riesgo de inundación. Esta situación plantea amenazas significativas para las comunidades locales, la infraestructura y el medio ambiente circundante.

La falta de una gestión adecuada del riesgo y estrategias de mitigación específicas agrava la vulnerabilidad de la región ante eventos hidrológicos extremos. La ausencia de medidas efectivas para hacer frente a estas condiciones adversas aumenta la exposición de la población local a riesgos significativos, afectando la seguridad, el bienestar y el desarrollo sostenible de la región. Específicamente, se identifican áreas inundables en la cuenca del río Yaguachi, las cuales representan puntos críticos que requieren atención inmediata para reducir los impactos negativos en la población y el entorno.

Tabla 11

Cumplimiento en el desarrollo de los objetivos

Objetivo Específico	Estrategia de Muestreo	Descripción	Cumplimiento del Objetivo
Recolectar datos hidrológicos y climáticos del río Yaguachi para construir un modelo hidrológico que permita estimar los caudales de agua.	Selección de Estaciones Hidrometeorológicas	Recolección de datos de manera estratégica de estaciones meteorológicas en la cuenca del río Yaguachi, guiada por criterios geográficos y climáticos para una cobertura representativa.	Sí

Desarrollar un modelo hidrológico e hidráulico que simule la propagación del agua en el río Yaguachi, considerando la geometría del cauce y las condiciones de inundación.	Muestreo con mediante la recolección de datos meteorológicos	Utilización de mapas proporcionados por el Inhami para la recolección de datos meteorológicos e hidrológicos provenientes de estaciones adyacentes a la cuenca, contribuyendo a la generación de modelos hidrológicos precisos.	Sí
Identificar las potenciales de riesgo por inundación en el río Yaguachi.	Consulta de Archivos en Línea	Búsqueda y recolección exhaustiva de datos históricos a través de archivos en línea, que incluyen registros de eventos de inundación, mapas topográficos y datos hidrológicos previos, para contextualizar temporalmente la investigación.	Sí

Elaborado por: Nina Criollo, (2023)

- **Amenazas:**
- **Eventos Climáticos Extremos:** La instalación de estaciones meteorológicas puede enfrentar desafíos logísticos y técnicos durante eventos climáticos extremos, afectando la recolección de datos.
- **Acceso a Información Histórica:** La disponibilidad y accesibilidad de archivos en línea pueden ser limitadas, dificultando la obtención de datos históricos cruciales para contextualizar la investigación.

- **Variabilidad Climática:** Cambios inesperados en las condiciones climáticas pueden influir en la representatividad de los datos recopilados, afectando la calidad del análisis hidrológico.

- **Vulnerabilidades:**

- **Interferencia Antropogénica:** Actividades humanas en áreas de instalación de estaciones pueden introducir interferencias, comprometiendo la precisión de las mediciones hidrometeorológicas.

- **Fiabilidad de Modelos Digitales de Elevación:** La precisión de los resultados del muestreo con DEM depende de la fiabilidad de los modelos digitales de elevación utilizados, siendo una vulnerabilidad potencial.

- **Desafíos en la Consulta de Archivos en Línea:** Limitaciones técnicas o de conectividad pueden generar obstáculos en la consulta efectiva de archivos en línea, afectando la obtención de información histórica.

CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados obtenidos de la investigación, se determinaron las zonas de riesgo por inundación mediante modelación hidráulica e hidrológica en el río Yaguachi. La combinación de la recolección de datos hidrológicos y climáticos, el desarrollo de modelos hidrológicos e hidráulicos, y el análisis detallado de los resultados ha permitido identificar áreas críticas con diferentes niveles de susceptibilidad a inundaciones en la cuenca del río; a través, de la validación de influencias y la aplicación de herramientas como ArcGIS, se pudo representar de manera precisa la propagación del agua y la distribución espacial de estas zonas en riesgo. Este enfoque integral ha proporcionado una comprensión detallada de las condiciones hidrológicas y ha permitido tomar medidas preventivas y estratégicas para la gestión del riesgo de inundación en la región del río Yaguachi.

En primer lugar, se recolectaron datos hidrológicos y climáticos del río Yaguachi, permitiendo la construcción de un modelo hidrológico que estimó los caudales de agua con precisión. Este modelo reveló caudales máximos de hasta 346,070 m³/s para un periodo de retorno de 15 años, 394,403 m³/s para 25 años, y 453,494 m³/s para 50 años, proporcionando información crucial para la planificación y gestión del riesgo en la cuenca.

Además, se desarrolló un modelo hidrológico e hidráulico que simuló eficazmente la propagación del agua en el río Yaguachi, teniendo en cuenta la geometría del cauce y las condiciones de inundación. Este modelo arrojó resultados que destacaron la importancia crítica de considerar medidas preventivas y estrategias de gestión del agua, especialmente durante los meses de enero a marzo, cuando se registraron niveles máximos de precipitación entre los 701 mm y los 1124 mm.

La identificación de las potenciales zonas de riesgo por inundación en el río Yaguachi, mediante técnicas de análisis espacial y modelos digitales de elevación, ofreció una visión clara de las áreas críticas que requieren atención prioritaria. Estos resultados, respaldados por la identificación precisa de áreas con alta densidad de población en zonas de riesgo, enfatizan la necesidad urgente de una planificación urbana adecuada y la implementación de medidas específicas de gestión del riesgo.

En cuanto a la relevancia de la propuesta planteada y su carácter innovador, esta investigación destaca por su enfoque integral y basado en evidencia para abordar los desafíos relacionados con las inundaciones en la cuenca del río Yaguachi. El uso de herramientas avanzadas, como modelos hidrológicos e hidráulicos, junto con técnicas de análisis espacial, demuestra un enfoque innovador y adaptativo que contribuye significativamente a fortalecer la resiliencia de las comunidades locales ante posibles eventos hidrológicos extremos.

La gestión del riesgo, centradas en medidas específicas para áreas vulnerables, demuestran la aplicación práctica de los resultados. En última instancia, la investigación logró de manera exitosa sus objetivos propuestos, proporcionando una comprensión detallada, validando modelos y ofreciendo recomendaciones específicas para la gestión del riesgo en la cuenca del río Yaguachi. Estos hallazgos no solo contribuyen al conocimiento científico, sino que también proporcionan una base sólida para la toma de decisiones informadas y acciones preventivas en la región.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere implementar medidas específicas de gestión del riesgo en las zonas identificadas como críticas para inundaciones en la cuenca del río Yaguachi. Es crucial desarrollar e implementar planes de acción que aborden las necesidades particulares de estas áreas, priorizando la protección de la vida humana, la infraestructura y los recursos naturales. Se recomienda la realización de estudios de ingeniería detallados para diseñar e implementar estructuras de protección contra inundaciones, como diques, presas o sistemas de drenaje, con el fin de mitigar los riesgos y reducir la vulnerabilidad de las comunidades expuestas. Además, se insta a las autoridades locales y regionales a trabajar en colaboración con las comunidades afectadas para desarrollar e implementar planes de evacuación y alerta temprana, así como programas de sensibilización y educación pública sobre la gestión del riesgo de inundaciones.
2. Establecer estaciones de monitoreo en la cuenca para recopilar datos sobre niveles de agua, precipitaciones y caudales, permitirá una respuesta más rápida y eficaz ante eventos extremos.
3. Revisar y actualizar regularmente los planes de contingencia existentes, incorporando los hallazgos más recientes de la investigación, para garantizar una respuesta coordinada y eficiente de las autoridades y la comunidad ante posibles inundaciones.
4. Dado el éxito en la recolección de datos hidrológicos y climáticos del río Yaguachi y la construcción de un modelo hidrológico preciso, se recomienda continuar actualizando y mejorando este modelo con datos actualizados y técnicas avanzadas de modelado, manteniendo así su relevancia y utilidad en la planificación hidrológica y la gestión del riesgo.

5. Considerando el impacto significativo de los resultados en la comprensión de las condiciones hidrológicas y en la identificación de riesgos de inundación, se recomienda utilizar estos resultados como base para la formulación de políticas y estrategias de gestión del riesgo a nivel local y regional, priorizando acciones preventivas y medidas de adaptación.

6. Dada la relevancia y el carácter innovador de la propuesta planteada, se recomienda promover la colaboración interdisciplinaria entre instituciones académicas, gubernamentales y de la sociedad civil, con el fin de implementar medidas integrales de gestión del riesgo que aborden eficazmente los desafíos relacionados con las inundaciones en la cuenca del río Yaguachi. Esto podría incluir la creación de comités de gestión del riesgo, la capacitación de personal técnico y la sensibilización de la población sobre la importancia de la preparación ante eventos hidrológicos extremos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, R. M. (19 de 09 de 2020). *DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE DE INUNDACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR DE LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA-SEDE CAMPUS CAJICÁ*. Obtenido de Univeridad Militar Nueva Granada: <http://hdl.handle.net/10654/36807>
- Basurto Párraga, D., & Toalombo Carrera, A. (Marzo de 2023). *Estudio hidrológico e hidráulico del puente sobre el Río Verde, ubicado en la Vía Marcelino Maridueña – La Resistencia, Provincia del Guayas*. Obtenido de Repositorio Intsitucional Universidad de Guayaquil : <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/68036>
- Candia Monsiváis, M. (2015). *Análisis de riesgo por inundación en la zona metropolitana de San Luis Potosí*. Obtenido de Repsoitorio IPICYT: <http://hdl.handle.net/11627/2845>
- Chayña E, L. (2022). *Modelacion hidrológica con precipitaciones obtenidas por satélite en la cuenca del río ramis Perú*. *Revista de Investigaciones*, 11(4), 214-226.
- Condoy A, A. S. (2018). *Diseño Del Nuevo Relleno Sanitario, . En Zona Inundable; Del Cantón San Jacinto De Yaguachi* (Bachelor's thesis).
- De La Rosa Ladines, P., & Diaz Prieto, D. (octubre de 2022). *Análisis hidrológico e hidráulico en la parroquia Tenguel para control de Inundaciones*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil : <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/64738>
- Díaz Briones, O. (2019). *DETERMINACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN MEDIANTE MODELACION HIDRAULICO DEL RIO CHONTA EN EL CASERIO TARTAR CHICO, DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3450/TESIS%20FINAL%20-%20OSCAR%20D%C3%8DAZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ecuador, C. d. (20 de Octubre de 2008). *CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR*. Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Florez Calachua , A., & Linares Checca , A. (16 de Enero de 2023). *Análisis hidráulico e hidrológico para identificar zonas de riesgo de la subcuenca del Río Capillamayo del Distrito de Coporaque, Provincia de Caylloma, Región Arequipa*. Obtenido de Repositorio Institucional Constitucional: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12339>

Gallardo Armijos, P., & Figueroa Montoya , J. (21 de Noviembre de 2019). *Aplicación del Hec-RAS para la modelación hidráulica y determinación de zonas de inundación en las riberas del río Jipijapa (UNESUM-BYPASS)*. Obtenido de Universidad Estatal del Sur de Manabí: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2016>

Guanocunga Choca, R. (2019). *Investigación hidrológica - hidráulica de socavación y protecciones de estructuras, tramo del río Capelo y río San Pedro, sector Armenia 1, cantón Quito*. Obtenido de Universidad Central Del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17557>

Ibarra Díaz, A. (Agosto de 2022). *Propuestas de diseño de infraestructura Hidráulica y Sistemas de alerta temprana para reducir los riesgos por inundaciones en la zona el Saltadero, provincia de los Ríos*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad de Guayaquil : <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/62974>

Márquez Mera, P. (2023). *Evaluación del riesgo de inundación utilizando análisis hidrográfico en San Juan de Las Cucarachas, Manabí*. Obtenido de Repositorio digital de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil : <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/6651>

Méndez Palacios, C., & Vásquez Coronel, G. (2021). *Modelación hidrológica e hidráulica de la cuenca del río Machángara para evaluar zonas de inundación*.

Obtenido de Univerisdad Católica de Cuenca:
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11559>

Mendoza, M. M. (2019). *Modelación de inundaciones y análisis espacial en los alrededores del Eje ambiental con HEC-RAS y ArcGis, para plantear alternativas de solución ante el problema de inundaciones en el caso de estudio*. Obtenido de Universidad de los Andes Colombia: <http://hdl.handle.net/1992/45763>

Miranda Sanchez, L. (11 de Noviembre de 2017). *DETERMINACIÓN DE ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN PARA DISTINTOS ESCENARIOS DE URBANIZACIÓN*. Obtenido de Universidad Autónoma de Querétaro: <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1379>

Mirian, V. J., & Israel, M. M. (16 de Mayo de 2022). *Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9069>

Montalvo Montenegro , C., & Jácome Pérez, M. (16 de Mayo de 2022). *Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada de Cunduana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulicos*. Obtenido de UNACH Universidad de Chimborazo: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9069>

Mori Julca, T., & Flores Mino, B. (octubre de 2020). *MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO "OLMOS" CON EL PROGRAMA IBER PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE RIESGO DEL TRAMO MIRAFLORES KM 68 HASTA BOCATOMA LA JULIANA KM 78, DISTRITO DE OLMOS, 2019*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad de Lambayeque: <https://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/355>

Ortiz, E. (s.f.). *Modelación hidráulica y análisis del riesgo de inundación segun las lineas guia de la directiva marco del agua. El caso de la Marina alta y la Marina baja. Alicante*. Obtenido de Universitat Politècnica de València:

http://luvia.dihma.upv.es/es/publi/congres/050_JIA2011_PRESENTACION_GB_articulo.pdf

Pablo, N. S., & Geraldine, D. V. (2021). *Evaluación del riesgo por inundación a partir de la modelación hidrológica e hidráulica del Rio Suarez en el casco Urbano del Municipio de Monquirá Boyacá*. Obtenido de Universidad de La Salle: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Rafael, M. N., & Monserrath, R. L. (2020). *Modelación hidráulica para la determinación de la eficiencia de los sumideros tipo T45 modificado con barrotes longitudinales de aguas lluvias*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30643>

Rodriguez Japa, L. (2023). *Análisis hidrometeorológico para la identificación y mitigación de áreas de inundación y nivel de riesgo en la quebrada Atahuayón, Huácar, Huanuco-2022*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE HUANUCO: <http://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/4345>

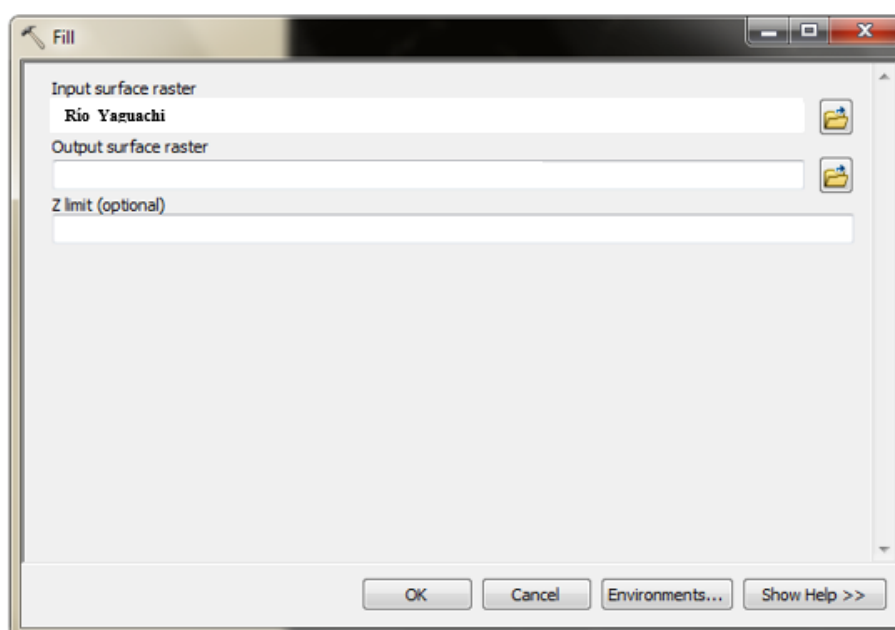
Venegas Vargas , M. (Agosto de 2022). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA DE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE MILAGRO, ECUADOR*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL: <https://core.ac.uk/download/541758324.pdf>

Yabar Ruiz , L. (8 de Marzo de 2022). *Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante la modelación hidráulica e hidrológica planteada en el río Huallaga para el tramo del centro poblado de Huaracalla-Huánuco-2022*. Obtenido de Universidad de Huánuco: <http://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/3963>

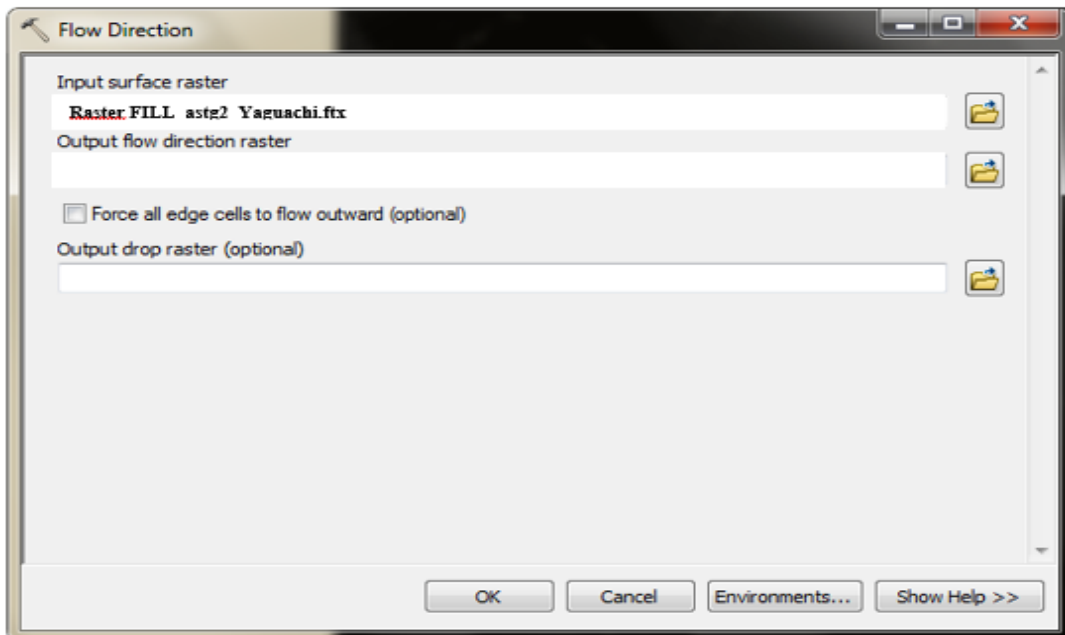
ANEXOS

Anexo 1. Pasos Para la Modelación Hidráulica

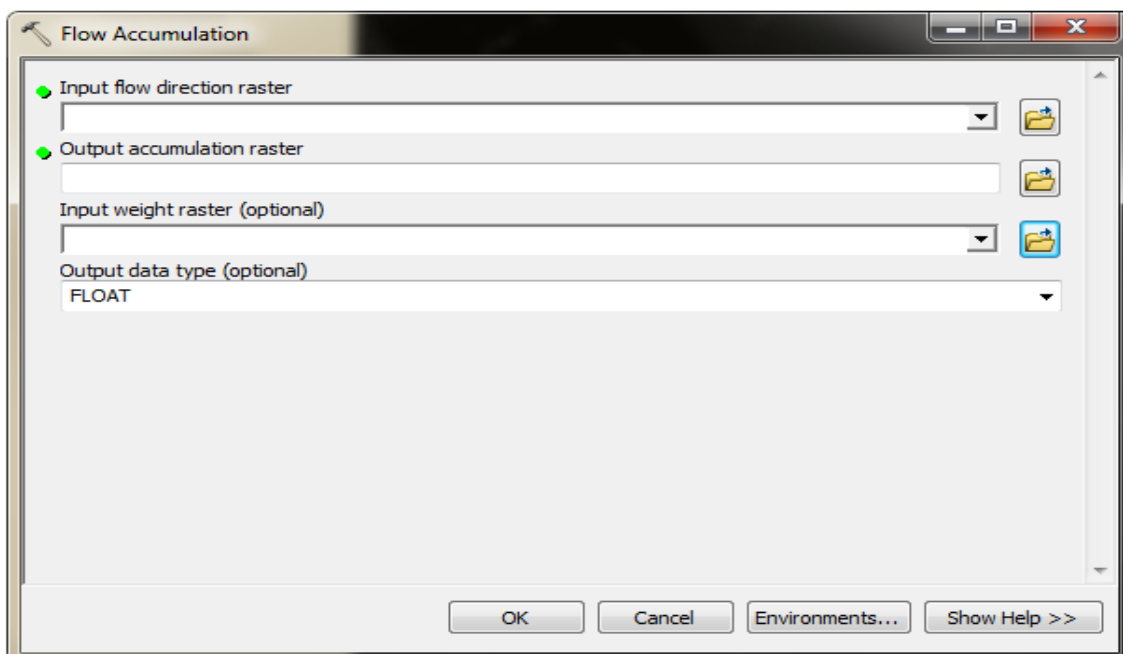
Para delimitar automáticamente una cuenca hidrográfica en ArcGIS, es esencial seguir un procedimiento sistemático. En primer lugar, se debe obtener un Modelo de Elevación Digital (DEM), ya sea a partir de un TIN generado mediante curvas de nivel o descargando directamente desde ASTER GDEM. A continuación, es crucial definir la proyección del DEM utilizando la caja de herramientas ArcToolbox. Esto se logra mediante la herramienta "Project Raster" en "Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster". Asimismo, se recomienda eliminar imperfecciones en el DEM utilizando la herramienta "Fill" para rellenar vacíos y corregir posibles imperfecciones en la información.



A través del uso de la herramienta Flow Direction en ArcGIS, se genera un ráster que especifica la dirección de flujo de cada celda hacia su vecina cuesta abajo. Este proceso implica la creación de un nuevo ráster utilizando la información previamente corregida con la herramienta Fill. La ubicación específica de esta herramienta dentro de ArcGIS es "ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction".



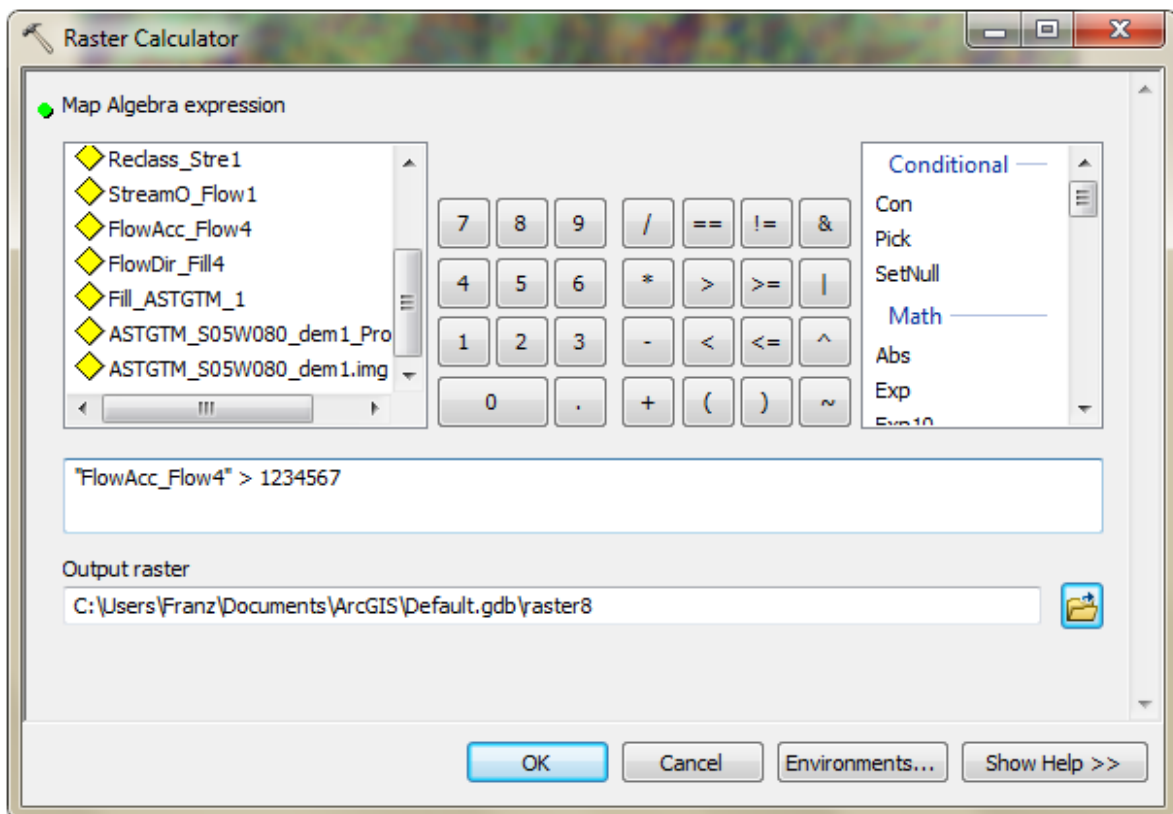
Utilizando la herramienta Flow Accumulation en ArcGIS, se genera un ráster que representa la acumulación de flujo para cada celda en la red hídrica. Esta herramienta, ubicada en "ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow



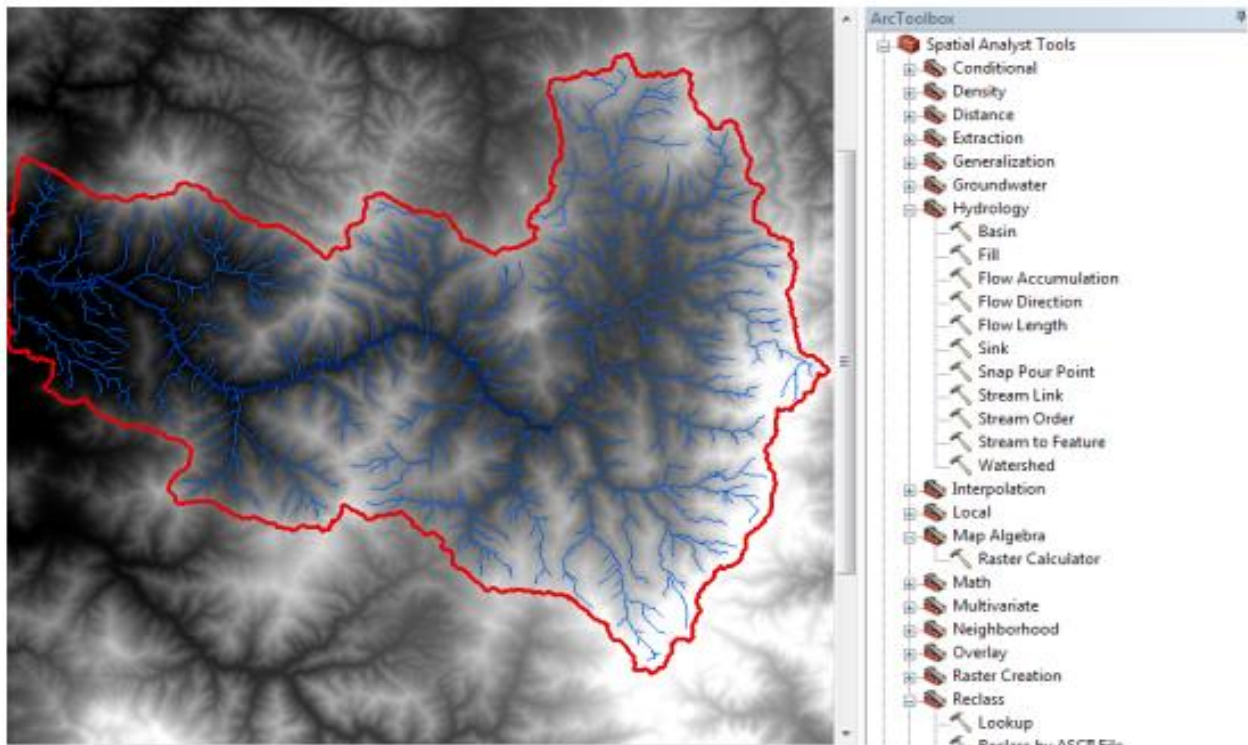
Accumulation", toma como entrada el archivo ráster generado previamente con la herramienta Flow Direction. En este proceso, es posible aplicar un factor de peso adicional según sea necesario. El resultado final proporciona información sobre la

cantidad acumulada de flujo, contribuyendo así a la comprensión del comportamiento global de la red hídrica en la cuenca del río Yaguachi.

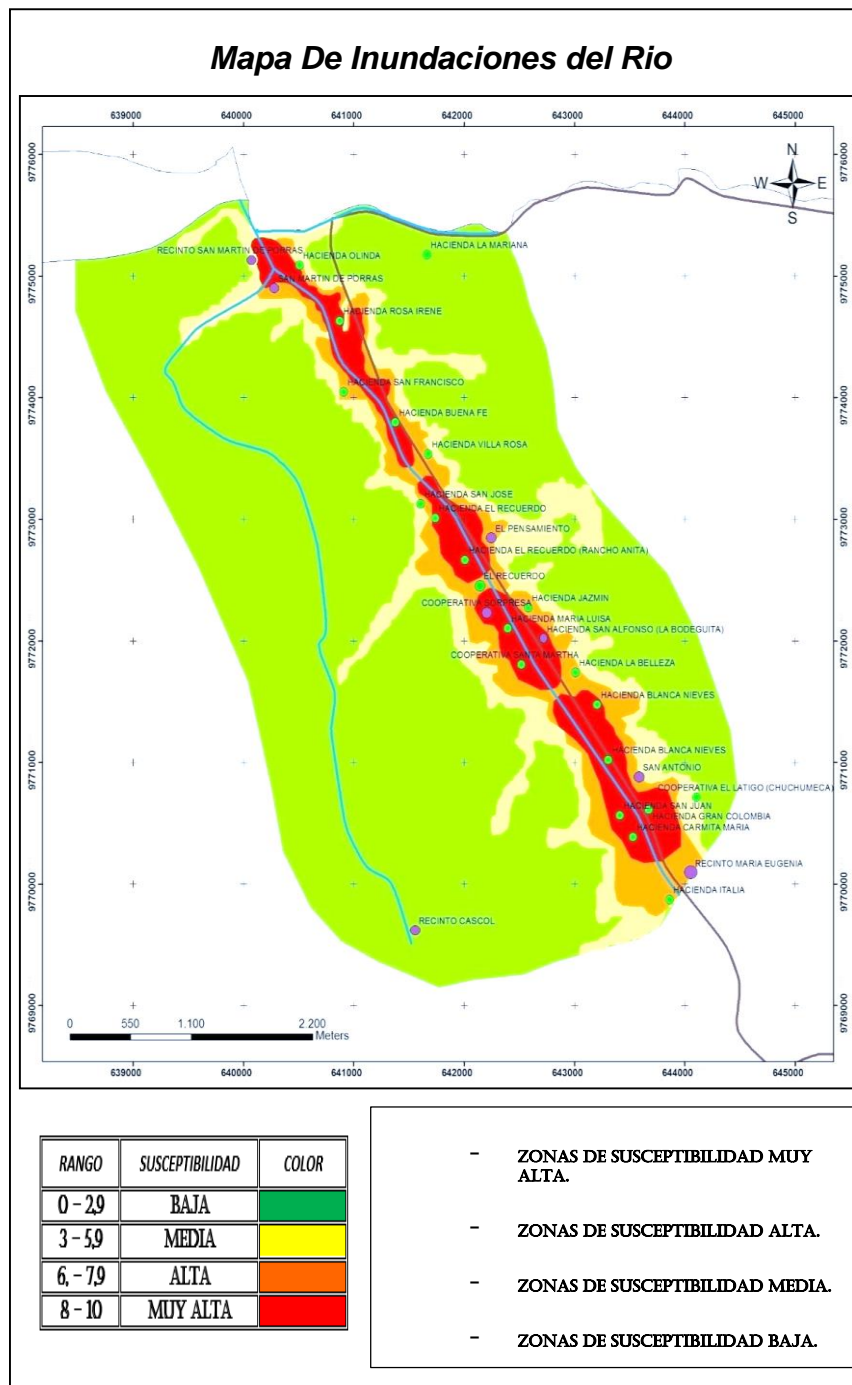
La configuración para la red primaria se expresa como: "Flow_accumulation > 1234567", mientras que para la red secundaria sería: "Flow_accumulation > 1234". Estas expresiones lógicas se implementan mediante la herramienta Raster Calculator ubicada en "ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator". Este enfoque permite la construcción automatizada de las redes hídricas primaria y secundaria, facilitando la identificación de las áreas de mayor acumulación de flujo en la cuenca del río Yaguachi.



Para completar el proceso, se realiza el recorte de los shapefiles de la red hídrica, construida previamente, utilizando la herramienta Clip en ArcGIS. En este paso, la entrada de la herramienta Clip consiste en la red de polilíneas generada anteriormente, y se utiliza para cortar el perímetro previamente determinado de la cuenca del río Yaguachi



Anexo 2. Mapa de Inundaciones del Río Yaguachi



Anexo 3. Mapa Hidrológico Delimitado del Río Yaguachi

