



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Modelación hidrológica del río Chaguana para la generación de mapas de inundación en la parroquia Tendales provincia de El Oro**

**HENRIQUEZ ORTEGA ALEX BISMARCK  
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Modelación hidrológica del río Chaguana para la generación de  
mapas de inundación en la parroquia Tendales provincia de El Oro**

**HENRIQUEZ ORTEGA ALEX BISMARCK  
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTOS TÉCNICOS**

**Modelación hidrológica del río Chaguana para la generación de  
mapas de inundación en la parroquia Tendales provincia de El  
Oro**

**HENRIQUEZ ORTEGA ALEX BISMARCK  
INGENIERO CIVIL**

**ESPINOZA CORREA JESUS ENRIQUE**

**MACHALA  
2023**

# TITULACION\_HENRIQUEZ

## INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://www.revistas.ucr.ac.cr">www.revistas.ucr.ac.cr</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://agua.org.mx">agua.org.mx</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://www.tendales.gob.ec">www.tendales.gob.ec</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repository.unipiloto.edu.co">repository.unipiloto.edu.co</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	1%
6	Erik Zimmermann, Laura Bracalenti, Adolfo Onocko. "Infraestructura verde como alternativa sustentable para reducir el riesgo hídrico en aéreas urbanizadas", Cuadernos del CURIHAM, 2019 Publicación	1%
7	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	1%



## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

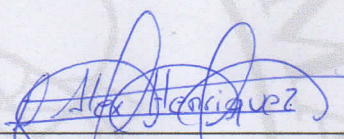
El que suscribe, HENRIQUEZ ORTEGA ALEX BISMARCK, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Modelación hidrológica del río Chaguana para la generación de mapas de inundación en la parroquia Tendales provincia de El Oro, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



HENRIQUEZ ORTEGA ALEX BISMARCK

0705494524

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de investigación es dedicado principalmente a mis padres, Alex y Magaly, como un sincero reconocimiento a su incansable esfuerzo y apoyo inquebrantable que me han brindado en la búsqueda de mis metas. También quiero expresar mi gratitud hacia mis hermanas Melanie y Mabby, así como a mis familiares, compañeros y amigos más cercano, quienes siempre han estado a mi lado, ofreciéndome su apoyo constante y valioso en los momentos más desafiantes.

Por último, se lo dedico a todas las personas que, de diversas maneras, han extendido su apoyo hacía mí, compartiendo sus valiosas experiencias y conocimientos.

***Alex Bismark Henriquez Ortega***

## **Agradecimiento**

Comienzo expresando mi gratitud a Dios, quien ha sido mi guía constante y compañero a lo largo de mi vida. También quiero agradecer a mis padres por su amor y comprensión inquebrantables, así como a los educadores que han compartido sus conocimientos y han contribuido significativamente a mi formación.

No puedo dejar de mencionar a mi tutor, el ingeniero Jesús Enrique Espinoza Correa, Quien me brindo su valiosa ayuda y orientación para llevar a cabo este trabajo de investigación, permitiéndome alcanzar esta etapa tan anhelada. Asimismo, extendo mis más sinceros agradecimientos a mis compañeros y colegas: Josué Tenesaca, Álvaro Dávila, Josué Cun, Manuel Luna, Mayte Saraguro, Luiggi Miranda y José Grijalva, así como a todos aquellos que me ofrecieron su amistad y apoyo durante esta etapa crucial de mi vida, su compañía y respaldo fueron fundamentales para mí.

***Alex Bismark Henriquez Ortega***

## **Resumen**

El propósito principal de este trabajo de investigación es desarrollar mapas de inundaciones y evaluar los factores de riesgo asociados a inundaciones en la parroquia Tendales, que forma parte del Cantón El Guabo en la provincia de El Oro. Se calcularon los caudales máximos para diferentes períodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) utilizando el método racional. Además, se caracterizó la cuenca utilizando el software ArcGIS para obtener el coeficiente ponderado de escorrentía y las intensidades de precipitación a través de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Los resultados revelaron caudales de 134.38, 175.05, 212.38, 278.70, 342.87 y 424.94 m<sup>3</sup>/s según los diferentes períodos de retorno. Para modelar la geometría de la cuenca del río Chaguana, se empleó el software HEC-GeoRAS, una extensión del programa ArcGIS. Posteriormente, se llevó a cabo la simulación de inundaciones utilizando el software HEC-RAS, lo que permitió obtener los niveles de inundación correspondientes a los períodos de retorno mencionados: 2.03, 2.17, 2.26, 2.42, 2.55 y 2.70 metros.

**Palabras clave:** Mapas de inundaciones, Cuenca río Chaguana, peligro, riesgo.

## **Abstract**

The main purpose of this research project is to develop flood maps and assess the flood risk factors associated with the Tendales parish, which is part of the El Guabo Canton in the province of El Oro. To achieve this, maximum flow rates were calculated for different return periods (2, 5, 10, 25, 50, and 100 years) using the rational method. Additionally, the watershed was characterized using ArcGIS software to obtain the weighted runoff coefficient and precipitation intensities through Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves. The results revealed flow rates of 134.38, 175.05, 212.38, 278.70, 342.87, and 424.94 m<sup>3</sup>/s for the different return periods. To model the geometry of the Chaguana river basin, HEC-GeoRAS software, an extension of the ArcGIS program, was employed. Subsequently, flood simulations were conducted using HEC-RAS software, which allowed for the determination of flood levels corresponding to the mentioned return periods: 2.03, 2.17, 2.26, 2.42, 2.55, and 2.70 meters.

**Keywords:** Flood Maps, Chaguana River Basin, danger, Risk.



## Tabla de contenido

Dedicatoria .....	I
Agradecimiento .....	II
Resumen.....	III
Abstract.....	III
Introducción.....	8
Importancia del tema.....	8
Actualidad de la problemática.....	8
Estructura del trabajo .....	10
1    Capítulo I. Planteamiento del problema.....	11
1.1    Línea base del proyecto.....	11
1.1.1    Uso de Agua .....	11
1.1.2    Clima .....	12
1.1.3    Residuos sólidos (Saneamiento).....	13
1.1.4    Cobertura Natural y vegetal.....	14
1.1.5    Amenazas, Riesgos Naturales y Antrópicos.....	15
1.1.6    Asentamientos Humanos.....	16
1.2    Descripción de la Situación problémica.....	17
1.3    Formulación del problema: preguntas científicas.....	18
1.4    Delimitación del objeto de estudio .....	18
1.5    Justificación.....	19
1.6    Objetivos: general y específicos .....	20
1.6.1    Objetivo General: .....	20
1.6.2    Objetivos específicos:.....	20
2    Capítulo II. Marco Teórico .....	20
2.1    Antecedentes Contextuales.....	20
2.2    Antecedentes Conceptuales .....	22
2.2.1    Cuenca Hidrográfica .....	22
2.2.2    Caudal.....	22

2.2.3	Flujo.....	23
2.2.4	Uso y ocupación del suelo.....	23
2.2.5	Dinámica Fluviales.....	23
2.2.6	Inundaciones Pluviales .....	23
2.2.7	Precipitación.....	24
2.2.8	Periodo de retorno .....	24
2.2.9	Análisis Espacial .....	24
2.2.10	Modelos hidrológicos e hidráulicos .....	24
2.2.11	Método del Bloque alterno.....	24
2.2.12	Tiempo de concentración .....	25
2.2.13	Coeficiente de escorrentía.....	25
2.2.14	Método Racional.....	25
2.2.15	Coeficiente de rugosidad de Manning.....	25
2.2.16	HEC-GeoRAS .....	26
2.2.17	HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center y River Analysis System) .	26
2.2.18	HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center y Hydrologic Modeling System)	26
2.2.19	SCS Hidrograma Unitario (SCS UH).....	26
2.2.20	Software en código abierto Soil and Water Assessment Tool (SWAT)	27
2.3	Antecedentes Referenciales .....	27
3	Capítulo III. Metodología .....	29
3.1	Tipo de investigación .....	29
3.2	Objetivo de estudio .....	29
3.3	Métodos con los materiales utilizados .....	29
3.3.1	Recopilación de información .....	29
3.3.2	Procesamiento de la información .....	30
4	Capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados .....	36
4.1	Entorno Hidrológico.....	36
4.1.1	Análisis de precipitaciones en la cuenca del río Chaguana .....	36

4.1.2	Área de estudio de la cuenca del río Chaguana.....	38
4.1.3	Coeficiente de escorrentía y tiempo de concentración.....	39
4.1.4	Obtención de los caudales de diseño .....	39
4.2	Entorno Hidráulico.....	40
4.2.1	Coeficiente de Rugosidad.....	40
4.2.2	Simulación de inundaciones .....	40
5	Conclusiones .....	42
6	Recomendaciones.....	43
7	Referencias.....	44
8	Anexos .....	47
8.1	Anexo. Coeficiente de escorrentía.....	47
8.2	Anexo. Coeficiente de rugosidad mediante formula.....	48
8.3	Anexo. Coeficiente de rugosidad .....	49
8.4	Delimitación de la cuenca .....	52
8.5	Mapas de Inundación.....	56
8.6	Mapas de Márgenes de Inundación .....	63
8.7	Mapas de Riesgo a Inundaciones .....	70

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Tipos de servicios higiénico o escusado en la parroquia Tendales.....	14
<b>Tabla 2.</b> Tipos de cobertura .....	14
<b>Tabla 3.</b> Riesgo que existen en la Parroquia Tendales.....	17
<b>Tabla 4.</b> Nivel de peligro a inundaciones .....	34
<b>Tabla 5.</b> Cantidades máximas de lluvia en la estación del área de estudio .....	36
<b>Tabla 6.</b> Cociente de lluvia de duración 24 horas .....	37
<b>Tabla 7.</b> Valores de curvas IDF para diferentes periodos de retorno a la estación de estudio.....	37
<b>Tabla 8.</b> Parámetros físicos de la Cuenca del río Chaguana.....	38
<b>Tabla 9.</b> Coeficiente de escorrentía de la zona de estudio .....	39
<b>Tabla 10.</b> Caudales de diseño con diferentes periodos de retorno.....	39
<b>Tabla 11.</b> Valor del coeficiente de rugosidad.....	40
<b>Tabla 12.</b> Coeficiente de escorrentía para ser usado en el método racional .....	47
<b>Tabla 13.</b> Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad mediante ecuación .	48
<b>Tabla 14.</b> Valores del coeficiente de rugosidad n.....	49

## Índice de Ilustraciones

<b>Ilustración 1.</b> Servicios básicos de agua en la parroquia Tendales.....	11
<b>Ilustración 2.</b> Pozos de agua subterránea.....	12
<b>Ilustración 3.</b> Tipos de climas en Tendales .....	13
<b>Ilustración 4.</b> Cobertura vegetal existente en la parroquia Tendales .....	15
<b>Ilustración 5.</b> Zona de riesgo a las inundaciones .....	16
<b>Ilustración 6.</b> Árbol de problemas .....	18
<b>Ilustración 7.</b> Zona de estudio.....	19
<b>Ilustración 8.</b> Etapas de la investigación .....	29
<b>Ilustración 9.</b> Caracterización Hidrológica de la Cuenca .....	31
<b>Ilustración 10</b> Geometría de la cuenca del río Chaguana.....	34
<b>Ilustración 11.</b> Modelado del cauce y simulación de inundaciones (HEC-GeoRAS y HEC-RAS).....	35
<b>Ilustración 12.</b> Curvas IDF para la estación de estudio .....	37
<b>Ilustración 13.</b> Cuenca de la zona del estudio.....	38
<b>Ilustración 14.</b> Simulación de inundación para un periodo de retorno de 25 años ..	41
<b>Ilustración 15.</b> Sección transversal del río Chaguana.....	41

## **Introducción**

### **Importancia del tema**

La modelación hidrológica e hidráulica, nos permite evaluar la disponibilidad y el uso de los recursos hídricos, lo que es esencial para el planeamiento y la gestión efectiva de los mismos, también es posible realizar valoraciones sobre el comportamiento de una cuenca en situaciones extremas, lo que nos permite la predicción de eventos hidrológicos como inundaciones, sequías y olas de crecida, y de esta manera estar preparados ante situaciones de emergencia, previniendo pérdidas materiales, económicas y sobre todo humanas. De esta manera, los estudios realizados brindarán soluciones óptimas, evitando el uso de medidas de mitigación efectiva solamente, sino también, comprender las causas de este comportamiento y así dar soluciones a estos acontecimientos causados por la naturaleza.

### **Actualidad de la problemática**

Entre los peligros causados por el cambio climático, las inundaciones ocurren con mayor frecuencia en el mundo provocando pérdidas económicas y humanas. La Organización Meteorológica Mundial presentó un informe, el cual ostenta un análisis a nivel mundial y regional sobre los fenómenos y desastres asociados al agua, este tipo de desastres han aumentado considerablemente en los últimos 20 años. A nivel mundial, las inundaciones constituyeron el 44% de las causas de desastres entre 2000 y 2019, lo que afectó a 1.600 millones de personas, este tipo de desastres ha incrementado en un 134% en comparación con las dos décadas anteriores (WMO & Taalas, 2021). En 2020 hubo un incremento del 23% en inundaciones y un 18% más en muertes por este fenómeno. Las inundaciones son el tipo de situaciones de desastres más común, con un promedio de 163 al año (Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED) & Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), 2021).

La mayoría de las muertes y pérdidas económicas relacionadas con las inundaciones ocurrieron en Asia recibiendo el 41%, afectando a 1500 millones de personas, siendo China el primer país, con un promedio de 20 inundaciones por año afectando a un total de 900 millones de personas, lo que representa aproximadamente el 55 % de la población mundial y la India siendo el segundo país, experimentando 17 inundaciones al año, que afectan a un total de 345 millones de personas. El continente africano percibió un total de 763 inundaciones y el continente americano 680 inundaciones (Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED) & Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), 2021).

En Europa, España es el país más vulnerable al cambio climático, siendo las inundaciones el segundo desastre natural más letal en los últimos años (Amérigo et al., 2019).

El crecimiento urbano en América Latina y el Caribe ha tenido importantes consecuencias socioeconómicas, demográficas y ambientales. La dinámica de las sociedades urbanas, combinadas con los efectos del cambio climático, hace que las ciudades sean más vulnerables a eventos hidrometeorológicos extremos. Las inundaciones son el desastre más común en esta región. Desde 2000 hasta 2019 ha habido 548 inundaciones, aunque la cantidad de muertes directamente relacionadas con las inundaciones fue relativamente pequeña, afectaron a casi 41 millones de personas y causaron daños totales por casi 26 mil millones de dólares, siendo Colombia, Brasil, Perú, México y República Dominicana los países más afectados por este fenómeno natural (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), 2020)

Ecuador muestra ser un país vulnerable ante los impactos negativos del cambio climático, donde se observan los efectos que evidencian la percepción biofísica del territorio, asimismo la incidencia de los fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, donde las consecuencias observadas se reflejan en el aumento de temperatura máximas y mínimas y las precipitaciones (Vega et al., 2020). La parroquia de Santa Ana de Vuelta Larga en la provincia de Manabí es vulnerable a inundaciones representando el 54% a causa de su ubicación geográfica, a los asentamientos en zonas de baja pendiente, la incorrecta disposición final de residuos sólidos en sectores que puede obstruir el alcantarillado pluvial y/o el caudal de los ríos y la falta de preparación en gestión de riesgos en la población (Burgos et al., 2019).

Los habitantes de la parroquia Tendales perteneciente a la provincia de El Oro son afectados por las intensas precipitaciones que se dan en la temporada de invierno provocando excedentes hídricos en el Río Chaguana, donde su relieve puede no llegar a evacuar grandes volúmenes de agua, así mismo, el actuar del hombre que radica en los ríos ocasionan los estancamientos y por ende las crecidas, es posible apreciar como los niveles del río que van ascendiendo lentamente hasta alcanzar la altura máxima del desbordamiento y la rapidez en el inicio y desarrollo del fenómeno son constantes teniendo como consecuencia las inundaciones, daños de cultivos, daños materiales, entre otros.



## **Estructura del trabajo**

En el primer capítulo, nos sumergimos en la base fundamental del proyecto. Esta fase abarca una comprensión completa de la ubicación donde se llevará a cabo nuestra investigación. Detallamos la situación problemática con un enfoque especial en el árbol de problemas, que identifica las causas y efectos en el lugar de estudio. Además, formulamos preguntas científicas que nos servirán como brújula para alcanzar nuestros objetivos, tanto los generales como los específicos. Por último, definimos claramente el área de estudio y propiciamos una justificación sólida para nuestro trabajo

En el segundo capítulo, llevamos a cabo una investigación en profundidad para comprender mejor el contexto en el que se desarrolla nuestro proyecto. Aquí se presenta un análisis completo de investigaciones previas a nivel global, continental y regional, lo que nos proporciona una visión general del trabajo que se ha realizado en este campo. Además, exploramos los antecedentes conceptuales y referenciales, ofreciendo una visión más detallada de las iniciativas existentes y la metodología que aplicaremos en nuestro trabajo.

El tercer capítulo desempeña un papel fundamental al explicar la metodología que guiará nuestra investigación. Aquí detallamos minuciosamente el enfoque que adoptaremos para abordar nuestras preguntas de investigación y alcanzar los objetivos propuestos. Este capítulo resulta esencial para que los lectores puedan apreciar la solidez y la coherencia de nuestra estrategia de investigación, lo que les permitirá evaluar la calidad de los resultados que obtendremos

El último capítulo, enfocado en el análisis e interpretación de los resultados, representa el punto culminante de todo el proceso de investigación. Aquí, se realiza una minuciosa presentación y análisis de los datos recolectados durante el estudio. Se emplean recursos visuales como gráficos y tablas para facilitar la comprensión de los datos de manera efectiva. Además, se profundiza en las implicaciones prácticas de los resultados y cómo estos contribuyen al conocimiento existente. Finalmente se ofrece una respuesta a las preguntas de investigación y se destaca la relevancia de la investigación en el contexto más amplio del campo de estudio, ayudando a los lectores a comprender su importancia y contribución a la comprensión general del tema.

## 1 Capítulo I. Planteamiento del problema

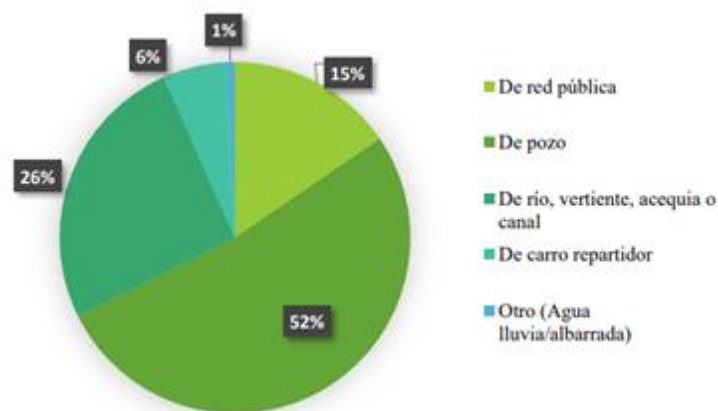
### 1.1 Línea base del proyecto

Para el análisis de los antecedentes que corresponde a línea base del proyecto, nos basamos en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Tendales, donde se describen algunas características (Chalan, s/f).

#### 1.1.1 Uso de Agua

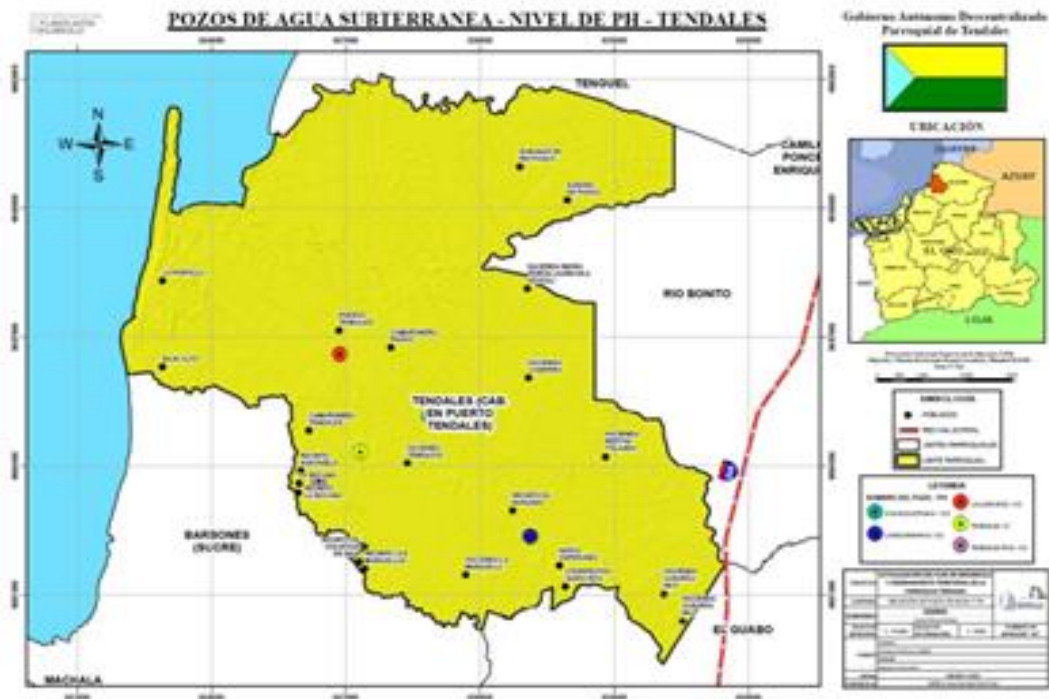
En la mayoría de las zonas de la parroquia Tendales, el agua es para uso doméstico y se abastecen de pozos, cisternas, agua de lluvia o arroyos, solo la cabecera parroquial con sus respectivos barrios cuenta con agua que viene desde la tubería principal del cantón El Guabo, los cuales se abastece las 24 horas del día, En las zonas como Voluntad de Dios y Bajo Alto es deficiente, no abastece a todas las casas. Según el censo del INEC 2010, la parroquia Tendales contaba con 1339 viviendas de las cuales 699 viviendas se abastecen por agua de pozo, de ahí 344 viviendas son de río, vertiente, acequia o cana, unas 207 viviendas son por red pública que está conectada a la red principal de El Guabo, unas 77 viviendas son abastecidas de carro repartidor de agua o tanqueros y solo 12 viviendas usan aguas lluvias. Entonces podemos determinar que solo el 15.46% de la población cuenta con la distribución de red pública y el 52% se abastece de pozos que en la actualidad son 5 aproximadamente, Se procede a detallar la distribución en las viviendas y pozos existentes.

**Ilustración 1.** Servicios básicos de agua en la parroquia Tendales



**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Tendales

## Ilustración 2. Pozos de agua subterránea

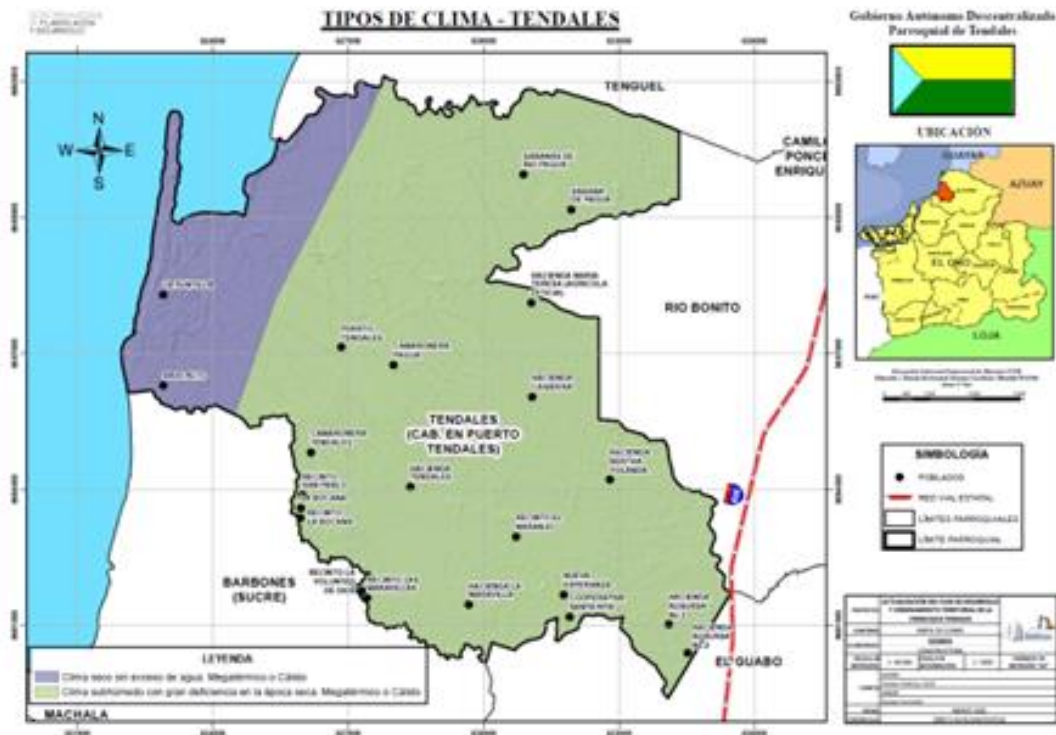


**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Tendales

### 1.1.2 Clima

La parroquia Tendales cuenta con dos períodos, uno lluvioso y otro seco como se puede observar en la imagen en la ilustración 3, lo que permite el uso de varios métodos agrícolas y acuícolas que se han desarrollado en la zona. La estación lluviosa es de principios de enero hasta finales de abril. El clima que predomina en la parroquia es la Tropical Mega térmico subhúmedo que representa el 72.65% del área total, seguido del clima la Tropical Mega térmico semihúmedo que representa el 17.99% del área total. Se localiza en los 0 m.s.n.m. hasta los 20 m.s.n.m. manteniendo la salida al mar; tiene una temperatura de 24 °C a 26 °C, y una precipitación que va de 750 a 1000 mm. En algunos sectores y barrios de la parroquia se ve muy afectada en temporada invernal donde las fuertes precipitaciones hacen que se tengan problemas de inundación.

### Ilustración 3. Tipos de climas en Tendales



**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Tendales.

#### 1.1.3 Residuos sólidos (Saneamiento)

Actualmente en la Parroquia Tendales hay estudios deficientes del sistema de alcantarillado y al no haber una planta de tratamiento para los residuos sólidos, especialmente en las zonas como: Voluntad de Dios, La Maravilla, El Naranja y San Pablo, los habitantes se ven en la obligación de quemar la basura, enterrarla o arrojarla al río, acequia o canal. Según el censo del INEC de 2010, los residentes de la parroquia en su mayoría, las viviendas están conectadas a fosas sépticas, ya que no existe una red pública de alcantarillado que llegue a todos los sitios, a continuación, se detalla una tabla descriptiva de los tipos de servicios higiénicos o escusado en la zona.

**Tabla 1.** Tipos de servicios higiénico o escusado en la parroquia Tendales

Tipo de Alcantarillado	No. De Viviendas
Conectado a red pública de alcantarillado	83
Conectado a pozo séptico	694
Conectado a pozo ciego	232
Con descarga directa al mar, río, lago o quebrada	60
Letrina	47
No tiene	223
<b>Total</b>	<b>1,339</b>

**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Tendales.

#### 1.1.4 Cobertura Natural y vegetal

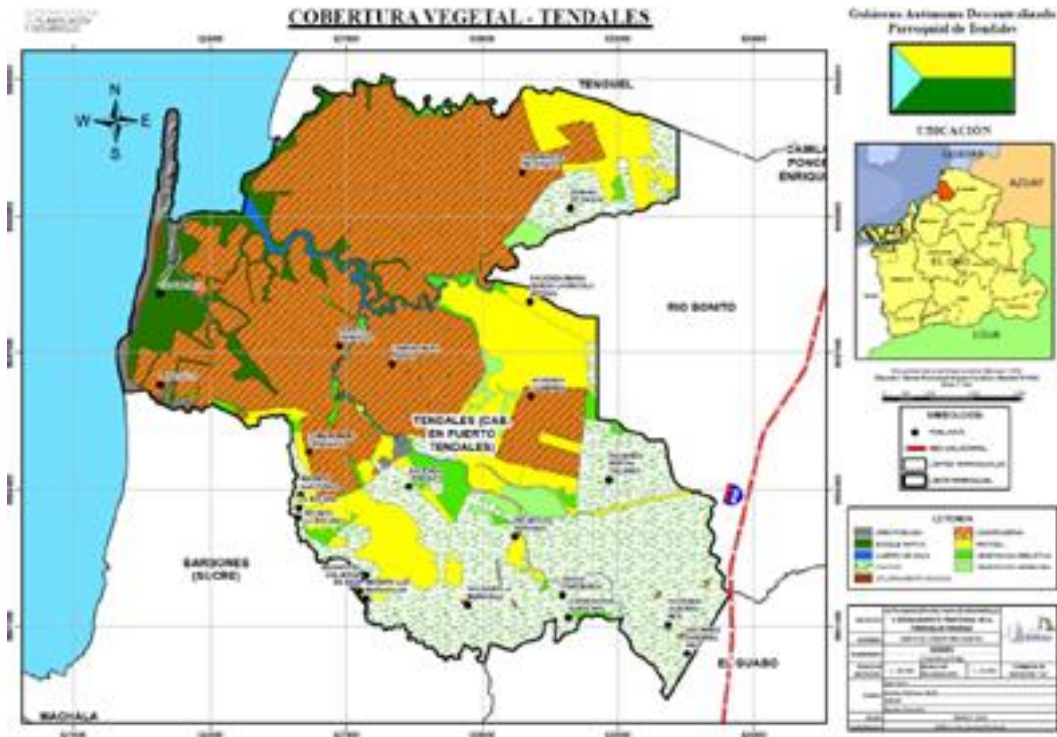
Gran parte de los ecosistemas de la parroquia han cambiado en los últimos años bajo la influencia de diversas actividades humanas. Los principales campos de actividad son la agricultura y la acuicultura, esta última es una de las más importantes debido a la explotación camaronera, sin embargo, la fertilidad del suelo es alta, por lo que a continuación se detalla las diversas coberturas disponibles:

**Tabla 2.** Tipos de cobertura

Tipos	Área (Ha)
1 Area poblada	52.66
2 Bosque nativo	607.00
3 Cuerpo agua	134.46
4 Cultivo	2864.45
5 Erial	21.97
6 Infraestructura antrópica	4548.87
7 Pastizal	1725.49
8 Vegetación arbustiva	314.45
9 Vegetación herbácea	192.57

**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Tendales.

**Ilustración 4.** Cobertura vegetal existente en la parroquia Tendales



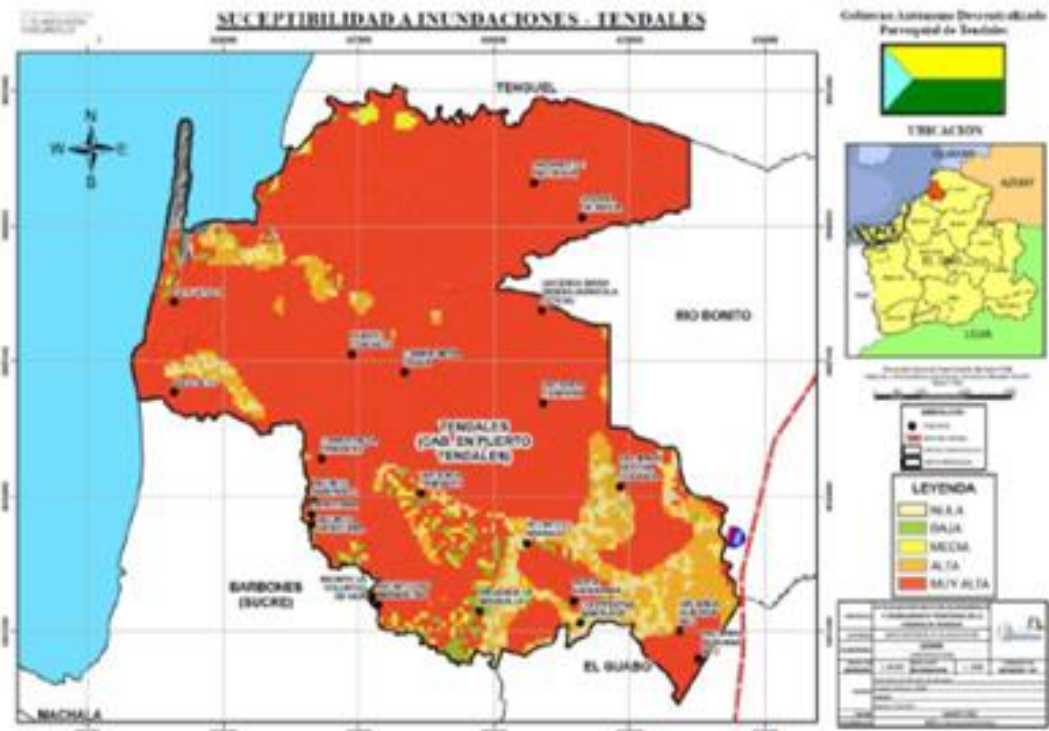
**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Tendales

### 1.1.5 Amenazas, Riesgos Naturales y Antrópicos

En la parroquia existen dos comunas la primera es la Comuna Ancestral de Bajo Alto y la segunda la Comuna La Puntilla, éstas cuentan con una biodiversidad que es muy atractivo para el turismo, pero en la actualidad se ven afectadas por la contaminación que genera el ser humano. También se presentan amenazas y riesgos como las inundaciones, los movimientos en masa, relacionados a la susceptibilidad de erosión, en donde la pendiente que mantiene la parroquia no es tan pronunciada, y existen áreas topográficas que podrían ocasionar derrumbes o deslaves. Los habitantes de la zona desconocen las medidas de contingencia en casos de riesgo.



**Ilustración 5.** Zona de riesgo a las inundaciones



**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Tendales.

### 1.1.6 Asentamientos Humanos

El centro parroquial de Tendales tiene un trazado ya definido donde se pueden identificar los asentamientos de la cabecera parroquial. El tipo de trazado que tienen las manzanas del centro de la parroquia se puede definir por su forma de trazado irregular. Los asentamientos urbanos dispersos que se han identificado dentro de la parroquia son los sitios: La Maravilla, La Bocana, Voluntad de Dios, Cooperativa Unión Lucha y Trabajo, El naranjo, Sabana de Pagua y los barrios: 15 de Abril, 24 de Mayo, 10 de Agosto, 10 de Octubre. A medida que su crecimiento se desarrolla orgánicamente alrededor de las carreteras, la configuración del camino está determinada por la topografía, la producción del suelo y la actividad económica. Finalmente se han identificado los asentamientos humanos irregulares que se encuentran en zona de riesgo.

**Tabla 3.** Riesgo que existen en la Parroquia Tendales

PARROQUIA TENDALES		Tipos de Riesgos	Causa
sitios com	La Maravilla	Inundaciones	Mareas Altas y desbordamiento del Rio Jubones
	La Bocana	Inundaciones	Desbordamiento del Rio
	Voluntad de Dios	Inundaciones	Desbordamiento del Rio
	El Naranja	Inundaciones	Desbordamiento del Rio Chaguana
Barrios	Comuna Bajo Alto	Inundaciones	Oleajes fuertes
	15 de Abril	Inundaciones	Mareas Altas
	24 de Mayo	Inundaciones	Mareas Altas
	10 de Agosto	Inundaciones	Mareas Altas
	10 de Octubre	Inundaciones	Mareas Altas

**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Tendales

## 1.2 Descripción de la Situación problemática

Las formas de ocupación territorial presente en la parroquia Tendales son de manera dispersa y centros poblados, donde se debe establecer con mayor detalle la calidad de vida y la forma de ocupación del territorio, teniendo identificados los asentamientos irregulares en zonas de alto riesgo que pueden ser ocasionados por a naturaleza. Los residuos sólidos se han convertido en un problema mundial debido a la gran cantidad que genera la población, además de que no se manejan adecuadamente, pueden afectar la salud de la población y el medio ambiente. La Contaminación por desechos sólidos en la parroquia de Tendales, especialmente por plástico, latas, papel, tapas, etc. En las calles, aceras y cunetas, el entorno circundante ha creado problemas de contaminación visual y ambiental, causando molestias a los residentes y turistas.

Los hogares de la zona tienen un nivel muy bajo de abastecimiento de agua debido a que el río está contaminado por descargas de desechos líquidos y plásticos, lo que afecta el consumo y la vida acuática. El mal manejo de la contaminación que es causada por la acumulación de basura y desechos que provienen de las granjas camaroneras e incluso bananeras, afectan al recurso hídrico, además de no tener un sistema apto para aguas servidas, muchos optan por descarga al cuerpo de agua sin tratamiento, dando como resultado la detección de bacterias coliformes fecales, causando daños e incluso la muerte a quienes llegan a consumirla.

Actualmente la parroquia Tendales, en ciertos sectores y barrios, presenta un deficiente estudio del sistema de drenaje y la ausencia de instalaciones de tratamiento de residuos sólidos, además de no contar con el servicio de sistema de alcantarillado,

en el tiempo de invierno, debido a las fuertes precipitaciones, enfrentan problemas de inundaciones ocasionadas por el desbordamiento del río Chaguana y crecientes que provienen del mar.

**Ilustración 6. Árbol de problemas**



**Fuente:** Elaboración Propia

### 1.3 Formulación del problema: preguntas científicas.

¿Cuál es la vulnerabilidad por riesgo hidrológico que tienen los habitantes de la zona urbana de la parroquia Tendales por la influencia del río Chaguana?

¿Cuáles son las teorías que analizan la vulnerabilidad por riesgo hidrológico en las zonas urbanas de la parroquia Tendales?

¿Cuáles son las características de las inundaciones de la zona de estudio?

¿Existen mapas de inundaciones en la parroquia Tendales?

### 1.4 Delimitación del objeto de estudio

La parroquia Tendales se encuentra ubicada al norte del Cantón El Guabo, cerca de la parroquia Barbones que está a 15 minutos por el acceso vial que conduce la vía Bajo alto-Tendales.

Limita al Norte con el río siete; al Sur con el Triunfo o Naranjo al sitio la Bocana en línea recta hasta el caserío de bajo alto; al Oriente lindera con la hacienda María Teresa, la hacienda San Antonio de pagua Filadelfia siguiendo aguas abajo por el Chaguana hasta el sitio El Triunfo o Naranjo y al Occidente con la costa sobre el Océano Pacífico desde el Río siete, límite con la Provincia del Guayas hasta Bajo Alto.

La población total es de 9177 habitantes, cuenta con 5 barrios los cuales son, Cooperativa 24 de Mayo y 10 de Agosto, Barrio 10 de Octubre, 24 de Diciembre y el Barrio Central 15 de Abril y se divide en 7 sectores como es Bajo alto, La puntilla, Cooperativa Unión Luca y Trabajo, La Maravilla y Voluntad de Dios.

### **Ilustración 7. Zona de estudio**



**Fuente:** Google Earth

### **1.5 Justificación**

En los últimos años, se han realizado estudios para identificar y aportar soluciones a problemas complejos asociados a las inundaciones. En preparación para este estudio, se ha revisado una gran cantidad de artículos publicados y materiales relacionados para elaborar el estudio y así sirva como guía para futuras investigaciones centradas a este tema.

En la parroquia Tendales muchos de los moradores aún viven en ranchos y otros en viviendas tipo media agua que fueron construidas por parte del gobierno, en donde la

mayoría se encuentran ubicadas a orillas de Río Chaguana siendo este un problema constante por el desbordamiento del cuerpo de agua que se presentan cada año.

Ante esta problemática e incertidumbre de conocer las áreas de incidencias de inundaciones, es preciso realizar un análisis hidrológico e hidráulico, para generar mapas de inundaciones de la cuenca del río Chaguana para diferentes escenarios tomando en consideración el uso de suelo e intensidad de lluvias, siendo esta una alternativa para plasmar las zonas afectadas ante un evento extraordinario y mantener los parámetros de prevención, que eviten las emergencia durante las futuras crecidas anormales, asimismo las personas que habitan en el lugar realicen los trabajos de adecuación necesarios a sus propiedades y de esta manera evitar que las inundaciones les generen daños irreparables.

## **1.6 Objetivos: general y específicos**

### **1.6.1 Objetivo General:**

Analizar el Río Chaguana a través de modelación hidrológica e hidráulica para la generación de mapas de inundación en la zona de estudio.

### **1.6.2 Objetivos específicos:**

- Identificar las teorías que analizan la vulnerabilidad por riesgo hidrológico en las zonas urbanas de la parroquia Tendales.
- Determinar las características de las inundaciones de la zona de estudio.
- Elaborar los mapas de inundación en la zona de estudio.

## **2 Capítulo II. Marco Teórico**

### **2.1 Antecedentes Contextuales.**

En México, en la ciudad de Morelia llevaron acabo la estimación de áreas vulnerables a inundaciones en la zonas urbanas causadas por el río Grande a través de la modelación Hidrológica e Hidráulica, donde se consideraron periodos de retorno de 100 y 500 años, obteniendo como resultados que los principales problemas derivados por el estancamiento del agua son la obstrucción por basura y desechos (Neva et al., 2020).

En Costa Rica, en la ciudad de San José realizaron un estudio de los valles de los ríos de Moravia para identificar y mapear los asentamientos irregulares, así como las zonas inundables. Esto se debe a que algunas reservas fluviales, tanto en zonas rurales como urbanas, son invadidas por el ser humano y la mayoría de las veces, los asentamientos resultantes se convierten en áreas de alto riesgo para la vida humana.

Al identificar estos lugares, se pretende crear bases para iniciar la gestión de riesgos en lugares donde los residentes están expuestos al peligro. El estudio requirió investigación bibliográfica, trabajo de campo y análisis fotográfico. Como resultado tenemos que hay 9 casos identificados de invasión de valles y arroyos en el estado, la mayoría a lo largo del río Ipis, además el hombre tiene a crear riesgos que no quiere al no aplicar las normas existentes para prevenir desastres y por último, contrariamente a los modelos conocidos, la clase media vive en zonas de alto riesgo (Fernández et al., 2018).

En Colombia, en la ciudad de Santiago de Cali efectuaron la identificación de zonas de inundación mediante imágenes de RADAR (SAR) e información histórica. En este sentido, se utilizaron imágenes y reportes de fenómenos hidrometeorológicos (1986-2018) antes y después del evento Sentinel 1. Los métodos utilizados requieren abordaje desde diferentes perspectivas, lo que se denomina complementariedad metodológica. Esto incluye la revisión de documentos, reconocimiento de campo y el procesamiento digital de datos de vigilancia clasificados. Los resultados de la revisión de documento y el trabajo de campo mostraron que hubo 766 eventos relacionados con inundaciones que afectaron a 186 manzanas de la ciudad durante un período de 32 años. El procesamiento digital de imágenes identificó, entre otras cosas, 2.082,25 hectáreas inundables con una confiabilidad global del 89% y un índice Kappa de 0,76%. La mayor parte de las áreas inundadas se ubican en las zonas a lo largo de los ríos Cauca y Cali y los canales Interceptor Sur y Oriental (Sevillano et al., 2020).

En Bolivia, en la ciudad de Trija realizaron el análisis hidrológico e hidráulico del potencial de inundación con la ayuda de estudios descriptivos de corte transversal y un enfoque cuantitativo para posteriormente efectuar la evaluación a través de los programas HEC-HMS Y HEC-RAS, donde llevaron a cabo la modelación de las subcuencas de la quebrada la Monte, dando como resultados la determinación de zonas vulnerables a inundaciones con un periodo de retorno de 10, 25 y 50 años, para así poder prevenir daños significativos en la población (Andrés et al., 2020).

En Ecuador, en la ciudad de Riobamba efectuaron la determinación de las zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada Cunduana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulicos, donde especifico algunos lugares que son susceptibles a inundaciones, además, efectuó la recopilación de información fisiográficas, geomorfológicas y del sistema de drenaje de la cuenca, para después procesarlas empleando modelos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales,



dando como resultado la obtención de mapas de inundaciones y estableciendo las zonas afectadas con un periodo de retorno de 50 años, las cuales presentan un incremento y altas velocidades en el flujo del agua en el área urbana, donde se podrían generar erosión de las superficies, arrastre de sedimentos, entre otros (Montalvo & Jácome, 2022).

En la provincia de Manabi desde un punto de vista metodológico descriptivo, explorativo y un enfoque cualitativo y cuantitativo, el objetivo de su estudio es abordar la capacidad social de vulnerabilidad física de los hogares del área urbana del cantón Chone frente a la amenaza de inundaciones. Su punto de partida es que esta capacidad es el desarrollo de políticas públicas y su contribución a la reducción de la vulnerabilidad de los sistemas sociales y económicos y al aumento de la resiliencia de los ecosistemas y el capital natural. Los resultados de este trabajo sugieren que la integración de las competencias sociales en la planificación municipal puede promover nuevas formas de participación que involucren a la comunidad a lo largo del desarrollo, implementación y evaluación de las políticas públicas de las políticas públicas de adaptación y cambio climático (Zambrano & Macías, 2021).

## **2.2 Antecedentes Conceptuales**

### **2.2.1 Cuenca Hidrográfica**

Para entender la cuenca hidrográfica como un sistema, no es posible estudiar sus componentes por separado, porque su compacidad proviene de comprender las interrelaciones de sus elementos constituyentes, que conducen a estructuras, funciones y diferentes organizaciones complejas para cada cuenca, no sólo siendo el resultado de la suma de estos elementos. Por lo tanto, no se deben analizar elementos individuales, ya que esto no entendería la cuenca como un sistema complejo y unificado (D'arc et al., 2018).

### **2.2.2 Caudal**

El caudal de un río puede proporcionar información sobre el comportamiento hidrológico de una cuenca, Sin embargo, en muchas regiones tropicales en desarrollo como Ecuador, solo está disponible el flujo de los ríos principales. Además, solo se publican resúmenes básicos de datos de caudales incluidos, caudal medio diario (QDprom), caudal medio (Q50), medio mensual (Qmes) y su máximo (Qmax), medio y mínimo (Qmin). No se dispone públicamente de información más detallada sobre las características del flujo, lo que limita la capacidad de comprender las variaciones interanuales en la disponibilidad de agua y el comportamiento de la cuenca.

Adicionalmente, estos temas afectan la gestión informada de los cauces y cuencas hidrográficas (Giler et al., 2019).

### **2.2.3 Flujo**

Es un fenómeno de transporte de sedimentos que consiste en una mezcla de material de grano fino, de grano grueso y cantidades variables de agua, donde las fuerzas sólidas y fluidos juegan un papel importante. Según el tipo de proceso dominante y las proporciones y sedimento a agua, se cree que esta mezcla varía desde procesos de gravedad de tipo de flujo hasta procesos hidrológicos de tipo inundaciones repentinas y, en muchos casos, el término flujo supercoplado se usa para escribir la relación entre los dos (Aristizábal et al., 2020).

### **2.2.4 Uso y ocupación del suelo**

Esto es de suma importancia para la gestión de cuencas, ya que los impactos ambientales afectan a todo el sistema, afectando directa e indirectamente los recursos hídricos. El análisis de ocupación del suelo es importante para determinar cómo se ocupa el espacio y desarrollar estrategias para mejorar el uso del espacio con base en esta información, además de ayudar a comprender la organización del espacio que lo subsidia para mantenerlo en equilibrio durante las etapas de degradación (Alves & Pires, 2018).

### **2.2.5 Dinámica Fluviales**

La dinámica fluvial, entendida como cambios espaciales en el tiempo en un cauce activo, resulta de cambios continuos en el cauce, que a su vez se reflejan en cambios en la erosión de cauce. Las condiciones dependen, entre otras cosas, de la pendiente del terreno, la forma predominante, la cantidad de lluvia y la capacidad de transporte de sedimentos de los arroyos. Este conjunto define un sistema fluvial como múltiples cauces interconectados, de baja sinuosidad y escasa afectación de sedimentos de acumulación lateral. Las acumulaciones fluviales son comunes en áreas de bajo gradiente (Varón & Vargas, 2019).

### **2.2.6 Inundaciones Pluviales**

El crecimiento urbano reduce la infiltración, el flujo base y el tiempo de retraso mientras aumenta significativamente el flujo de aguas pluviales, el flujo máximo y la escorrentía superficial, además del incremento en áreas pavimentadas resulta en un excedente de aguas pluviales que abruman el sistema de aguas lluvias (Trejos & Achurra, 2021).

### **2.2.7 Precipitación**

Es la fase del ciclo hidrológico que implica el descenso de agua desde la atmósfera a la superficie terrestres, el estudio de la precipitación ayuda a determinar qué factores contribuyen más a la vulnerabilidad, tales como: crecimiento uniforme de la población, asentamiento irregular, falta de drenaje, entre otras (Herrera et al., 2018).

### **2.2.8 Periodo de retorno**

El periodo de retorno o intervalo de recurrencia se define como el promedio de años que transcurren hasta que ocurre un evento de determinada intensidad, obteniendo como la inversa de la probabilidad de ocurrencia. Considerando que el cálculo de la curva lluvia – duración – período de retorno (P-d-Tr) se basa en el procesamiento de estadístico de la precipitación máxima diaria disponible para obtener el valor posible de lluvia de las 24 horas del período de retorno seleccionado para la construcción de las curvas P-d-Tr (Ojeda et al., 2020).

### **2.2.9 Análisis Espacial**

El análisis espacial de las variables hidrológicas es, sin duda, un gran desafío en la hidrología moderna. No solo es análisis, sino también la representación espacial de las variables climáticas es una actividad desafiante y altamente precisa. De acuerdo con la densidad espacial de los puntos de medición, se determina la estructura espacial y los patrones de comportamiento en el espacio geográfico (Gutiérrez et al., 2019).

### **2.2.10 Modelos hidrológicos e hidráulicos**

Tanto los modelos de simulación hidrológica como hidráulica de aguas pluviales son formas generalizadas de sistemas reales. Su objetivo es estudiar las actividades relacionadas con las redes pluviales, de escorrentía superficial y de capacitación de agua de lluvia para predecir los niveles de agua en canales y colectores (Guanipa et al., 2020).

### **2.2.11 Método del Bloque alterno**

Es una manera fácil de desarrollar hietogramas de diseño utilizando curvas de intensidad-duración-frecuencia. El hietograma de diseño proyectada generado por este método indica la profundidad de la precipitación que ocurre en “n” intervalos de tiempo consecutivos de duración  $\Delta T$  para una duración total donde mostramos su ecuación (Cubides & Santos, 2018).

$$Td = n * \Delta T \quad (1)$$

### **2.2.12 Tiempo de concentración**

Este parámetro es importante en la aplicación de los modelos de lluvia-escorrentía, los cuales calculan el flujo máximo en un punto específico de una cuenca. A nivel global, existen varias fórmulas empíricas para prever este parámetro, pero no hay una pauta definitiva para seleccionar la más apropiada en todos los casos (Castillo et al., 2021).

### **2.2.13 Coeficiente de escorrentía**

Es la variable con mayor incertidumbre en su determinación, representando la relación adimensional entre la lámina de escorrentía superficial y la lámina de precipitación producida por la cuenca, esta varía según la pendiente, el estado de la superficie y la cubierta vegetal, así como el tipo hidrológico del suelo. Para superficies relativamente impermeables como calles y estacionamientos, el factor de escorrentía es cercano a 1. Las superficies con vegetación que interceptan la escorrentía superficial y permiten que fluya la precipitación, tienen coeficientes de escorrentía más bajos, cercanos a 0. Las áreas con pendientes más pronunciadas tendrán una mayor escorrentía de agua pluviales y así un coeficiente de escorrentía más alto que una zona con una pendiente inferior (Chiarito et al., 2018).

### **2.2.14 Método Racional**

Para el cálculo del caudal máximo se utilizó el método racional, donde primero se realizó el cálculo de la intensidad que depende la longitud y la pendiente del río, con los cuales se determinan los tiempos de concentración y con estos la intensidad de cada tiempo de retorno, involucrando su coeficiente de escorrentía (C) según la cobertura vegetal de la zona, y área de la cuenca siendo su ecuación (Salamanca Urrego et al., 2018).

$$(Q = 0.278 * C * I * A) \quad (2)$$

### **2.2.15 Coeficiente de rugosidad de Manning**

El coeficiente de rugosidad “n” es un parámetro que determina qué tan resistentes deben ser las paredes y el fondo del perfil. Cuanto más ásperas sean las paredes y el fondo, más difícil será para el agua moverse. Este parámetro ha sido cuidadosamente estudiado por muchos investigadores en el laboratorio, por lo que existen diferentes fórmulas. El valor de “n” varía mucho según una serie de factores que deben elegirse en función de las condiciones de diseño. Los factores que determinan el coeficiente de rugosidad de Manning incluyen la rugosidad de las superficies, la vegetación, la alineación del canal, la sedimentación y la erosión, las obstrucciones, el tamaño y la

forma del canal, el nivel y el flujo del agua, la variación estacional, los sólidos en suspensión y la carga del lecho (Caro et al., 2019).

#### **2.2.16 HEC-GeoRAS**

HEC-GeoRAS constituye un conjunto de herramientas ArcGIS diseñadas específicamente para gestionar información geoespacial en conjunto con el software de análisis de ríos conocido como HEC-RAS, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica.

Los elementos requeridos para trabajar con HEC-GeoRAS son los datos topográficos, en forma de un modelo de Elevación Digital (DEM), y detalles relativos al uso del suelo. El archivo de geometría destinado a HEC-RAS almacena información fundamental relacionada con secciones transversales, infraestructuras hidráulicas, márgenes de ríos y otros atributos físicos vinculados a los cursos del agua. El proceso de preprocesamiento utilizando HEC-GeoRAS implica la generación de estos atributos en un sistema de Información Geográfica (SIG) y, posteriormente, la exportación de los mismos al archivo de geometría a HEC-RAS (Leoul & Kassahun, 2019).

#### **2.2.17 HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center y River Analysis System)**

Es uno de los programas de modelado de inundaciones más utilizados para simulaciones hidrodinámicas. El modelo está diseñado para realizar simulaciones 1D de flujo estacionario y flujo inestable, 2D para el análisis de flujo, así como el transporte de sedimentos y el modelado de temperatura/calidad del agua. El modelo utiliza representaciones de datos geométricos y rutinas de cálculo geométrico e hidráulico para redes de canales naturales y artificiales (Lea et al., 2019).

#### **2.2.18 HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center y Hydrologic Modeling System)**

Es un modelo semidistribuido de lluvia-escorrentía basado en la física que conceptualiza una cuenca hidrográfica en términos de unidades hidrológicas y representa los procesos de interceptación, almacenamiento infiltración, escorrentía, flujo base y tránsito de hidrograma (Rey & Zambrano, 2018).

#### **2.2.19 SCS Hidrograma Unitario (SCS UH)**

Este modelo se basó en un hidrograma adimensional que relaciona las proporciones de tiempo con las proporciones de caudal. El tiempo de ascenso ( $t_a$ ) del hidrograma SCS UH se encuentra sumando la mitad del tiempo de duración (D) de la precipitación

efectiva unitaria ( $P_u$ ) al tiempo de retardo de la cuenca ( $t_{lag}$ ). Se afirmó la existencia de diferentes conceptos para la determinación de  $t_{lag}$ , se consideró que  $t_{lag}$  era el tiempo entre el centroide del hidrograma de precipitación efectiva y el pico del caudal en el hidrograma. Por lo tanto, se tuvo en cuenta una  $P_u$  de 1 mm, distribuida uniformemente en el intervalo de tiempo ( $D$ ) - 30 minutos. Los  $t_{lag}$  estimados se determinaron aplicando la siguiente ecuación empírica (Steinmetz et al., 2019).

$$(t_{lag} = 2.6 * L^{0.8} * (S/25.4 + 1)^{0.70} / 1900 * X^{0.5}) \quad (3)$$

### **2.2.20 Software en código abierto Soil and Water Assessment Tool (SWAT)**

Es un modelo Lluvia-escorrentía con parámetros semidistribuidos capaz de simular un gran número de procesos físicos en escalas de tiempo continuos (años, meses, días). Su objetivo principal es predecir la cantidad de agua y la producción de sedimentos en las cuencas de los ríos, así como el impacto de las prácticas de manejo agrícola en la calidad del agua (nutrientes y pesticidas). Tiene precisión suficiente en grandes cuencas con diferentes terrenos, tipos y usos de suelos. Su alta resolución espacial permite su implementación en cuencas continentales e hidrológicas (Jodar-Abellan et al., 2018).

El HEC-HMS y HEC-RAS (modelo de escorrentía de aguas pluviales) se recomiendan más para la protección contra inundaciones y la alerta temprana al simular el crecimiento de eventos a lo largo del tiempo. Por el contrario, SWAT es más recomendable para simular la gestión de cuencas hidrográficas a largo plazo (meses, años, etc.) en intervalos de un día (Vargas et al., 2018).

### **2.3 Antecedentes Referenciales**

Según Criado, Martínez y Santos en su trabajo realizaron la determinación del riesgo de inundación en la ciudad de Salamanca (España) mediante análisis de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, en donde simularon los riesgos de inundación para así desarrollar acciones preventivas de planificación y ordenación de recursos. Utilizando HEC-RAS, HEC-GeoRAS y ArcGis, se estableció un proceso para evaluar la amenaza, exposición, vulnerabilidad de la población y sus bienes ante las inundaciones del río Tormes en Salamanca. Se estudiaron cuatro escenarios con diferentes probabilidades de ocurrencia e intensidades con periodos de retorno de 5, 50, 100 y 500 años. Las corrientes se calcularon para cada período, indicando la expansión del agua, la velocidad y la profundidad en cada evento, por lo que el peligro se derivó de la profundidad y velocidad (Criado et al., 2019).



En el trabajo realizado por Álvarez, Yustres e Ivanova el cual consiste en la estimación del cambio de la capacidad de regulación hídrica como respuesta a los cambios de coberturas de la tierra en la cuenca alta del río Chichiná. Es una cuenca cuya cobertura vegetal ha cambiado y estos cambios han afectado el sistema de regulación del agua. Esta conclusión se obtuvo a partir de un análisis multitemporal de cobertura y un análisis hidrológico utilizando información geoespacial para crear curvas de duración de flujo de varios años. Los resultados encontraron que la cuenca alta del río Chichiná, debido a sus características iniciales de suelo y cobertura vegetal, no está bien equipada para regular la esorrentía superficial (Álvarez et al., 2020).

Rodríguez y Alarcón mediante un estudio hidromorfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas, simularon el comportamiento hidrológico de una cuenca hidrográfica en áreas donde tales estudios están ausentes. Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) se utilizan para crear mapas de precipitación. Con esta información, el sistema de modelado hidrológico utilizó la herramienta HEC-HMS (versión 4.6.1) y el programa QGIS 3.4 Madeira para determinar las características morfológicas de la cuenca. Los caudales máximos se obtuvieron para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años (Rodríguez & Alarcón, 2021).

El estudio realizado por Vangelis, Zotou, Kourtis, Bellos y Tsihrintzis buscaba entender la relación entre lluvias intensas e inundaciones, comparando tres enfoques: diseño de tormentas, simulación continua de lluvia y análisis de frecuencia de inundaciones, donde se utilizaron programas como HEC-HAMS para las simulaciones. Para el análisis de la frecuencia de lluvias se empleó una distribución llamada Valor de Extremo Generalizado (GEV), y para las inundaciones, se usaron distribuciones como Valor Extremo Tipo I (Gumbel) y GEV. Se estimaron riesgos de inundación, incluyendo profundidad, velocidad y alcance, mediante simulaciones con HEC-RAS. El estudio se centró en la cuenca del río Pineios, en Grecia. Los resultados mostraron que la suposición de que los intervalos de tiempo entre lluvias intensas e inundaciones son iguales no es válida en esta área. Por ejemplo, una inundación de 50 años corresponde a una lluvia de 110 años. Esto sugiere que, incluso sin mediciones de flujo, las simulaciones continuas y el análisis de frecuencia de inundaciones son opciones útiles (Vangelis et al., 2022).

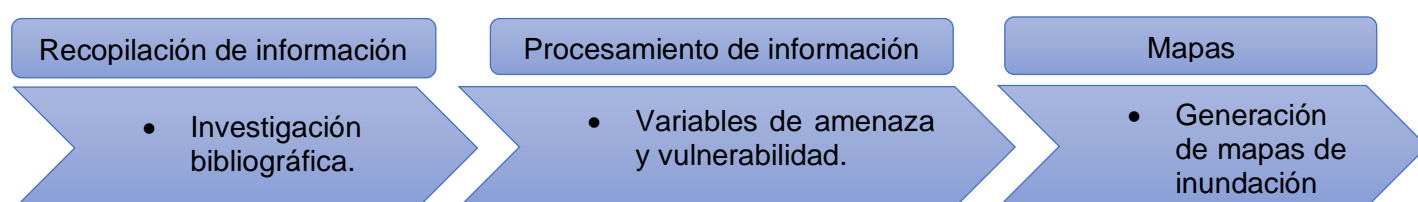
### 3 Capítulo III. Metodología

En este capítulo, se proporciona una descripción detallada de los valores y enfoques aplicados en la investigación, con el propósito de alcanzar los objetivos establecidos en este trabajo experimental. Además, se incluye los recursos y materiales utilizados.

#### 3.1 Tipo de investigación

La investigación que se va a llevar a cabo se sitúa en el contexto bibliográfico, en el cual se realizará una recopilación de información y el experimental, en donde se ejecutará el procesamiento de la información adquirida, analizando las variables en el ámbito de amenaza y vulnerabilidad, generando los mapas de riesgo de inundación.

**Ilustración 8.** Etapas de la investigación



**Fuente:** Elaboración Propia

#### 3.2 Objetivo de estudio

Nuestro objeto de estudio será la zona de influencia que tiene el Río Chaguana en la Parroquia de Tendales, así como se puede observar en la ilustración 7, donde se muestra la zona urbana y las diversas viviendas que se encuentran a la orilla del río, siendo las más afectadas por los riesgos naturales.

#### 3.3 Métodos con los materiales utilizados

La metodología que se utilizara en este trabajo de investigación se la describe en la ilustración 8, la cual consta de tres fases que son: Recopilación de información, procesamiento de información y mapas de riesgo de inundación.

##### 3.3.1 Recopilación de información

Esta recopilación se realizará mediante una búsqueda exhaustiva bibliográfica y la obtención de información de diversos artículos científicos y trabajos de investigación que estén relacionados con el tema en discusión. Esto se efectuará utilizando bases de datos confiables. Además de la información de referencia, también será necesario recopilar datos específicos para llevar a cabo análisis relacionado con el flujo del agua y su comportamiento, tanto en términos hidrológicos como hidráulicos.

Dado que en este trabajo no se realizó un levantamiento de información en campo, el modelo digital de elevaciones (DEM) se lo obtuvo mediante el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el cual realiza levantamientos con dron en todo el sector ecuatoriano con una resolución de celda de 4.4 m.

### **3.3.2 Procesamiento de la información**

Una vez obtenido la recopilación de la información, se realiza el procesamiento de la información por medio de los datos recopilados, donde se empezará con las características de la cuenca hasta terminar con los mapas de inundación.

#### ***Característica Hidrológica de la cuenca***

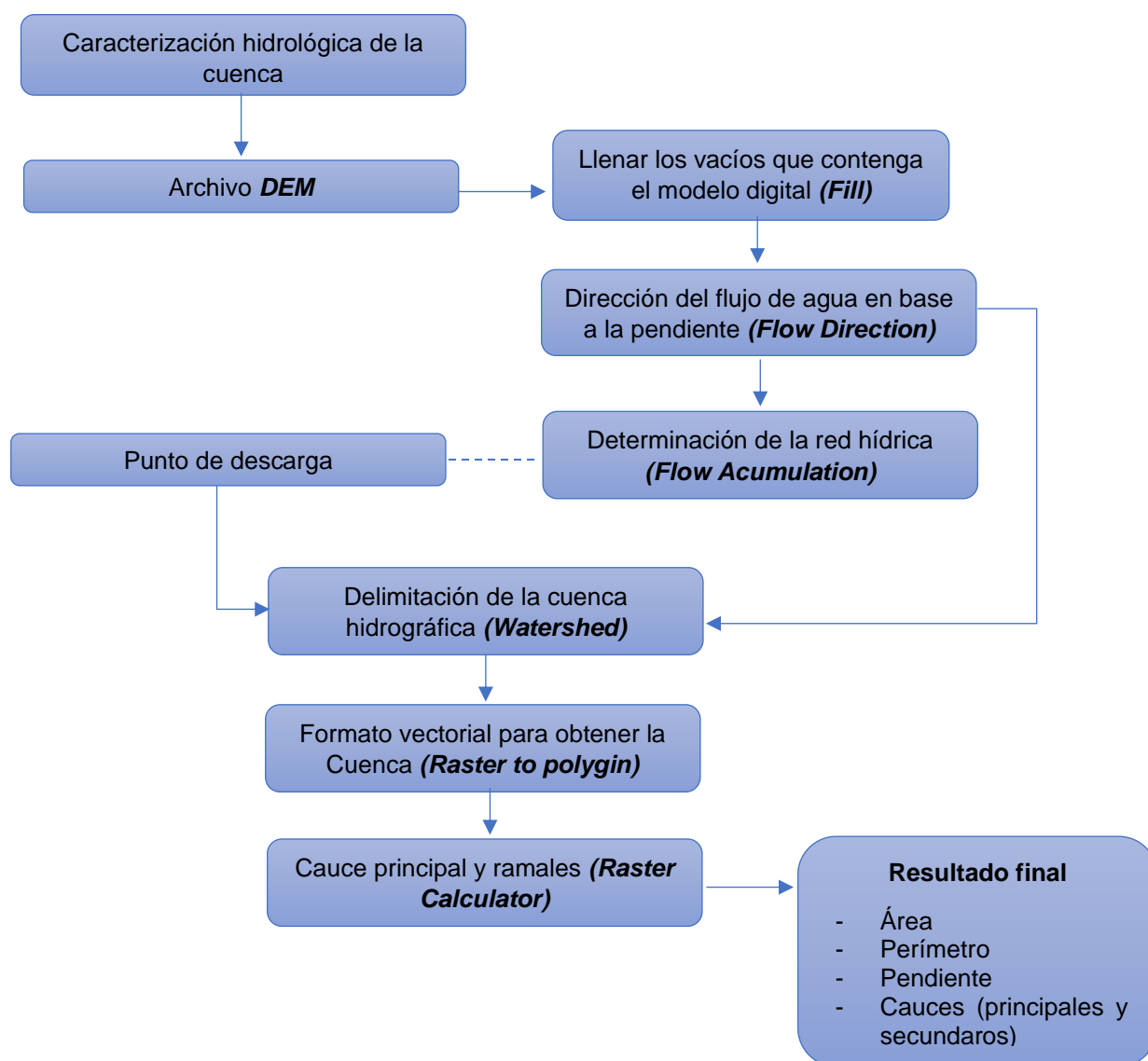
Para llevar a cabo este procedimiento, se vuelve imprescindible emplear tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales desempeñan un papel fundamental en el manejo y análisis de la información adquirida. Un ejemplo de esta tecnología es el Modelo Digital de Elevaciones conocido como "DEM" por sus siglas en inglés. Mediante la utilización de este DEM, es factible aplicar una serie de procedimientos que permiten obtener parámetros de gran relevancia para la caracterización de la cuenca hidrográfica, tales como:

- El Área del río que interviene en la zona de estudio
- El Perímetro
- La Pendiente
- Los Cauces

Se utilizará el programa informático ArcGIS 10.5 para llevar a cabo la descripción detallada de la cuenca hidrográfica. Este Software desempeñará un papel fundamental en la identificación y análisis de las propiedades previamente mencionadas.

A continuación, se describe el método que se seguirá para llevar a cabo la caracterización de la cuenca, detallando las herramientas que se emplearán en el software como se puede observar en la ilustración 9. El proceso comienza una vez que se dispone de un modelo digital de elevaciones y el primer paso consiste en cargar dicho DEM en el programa.

**Ilustración 9.** Caracterización Hidrológica de la Cuenca



**Fuente:** Elaboración Propia

### ***Estimación de caudales de diseño***

El análisis de precipitación es esencial para anticipar y gestionar eficazmente el riesgo de inundaciones. Proporciona los datos más sólidos y relevantes para hacer predicciones preciosas sobre cuándo y cómo podrían ocurrir inundaciones en una cuenca, lo que a su vez ayuda a tomar medidas preventivas y de respuestas adecuadas (AL-Hussein et al., 2022).

Dado que no se contaba con suficiente información en la zona de interés, los valores de precipitación necesarios fueron adquiridos a través del satélite “Giovanni” de la NASA, una herramienta que proporciona datos relevantes para diversos análisis, el cual nos suministra periodos de lecturas diarias, mensuales y anuales de lluvias y

temperatura, donde se tomó en consideración registros pluviométricos de 21 años, abarcando períodos de entre 1998 y 2019.

El estudio de las curvas IDF desempeñan un papel esencial en las fases iniciales de proyectos que requieran la planificación hidrológica e hidráulica (Corapi & Nuñez, 2022). Utilizando los valores obtenidos, se generarán las gráficas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), con intervalos de tiempo de 5 min por 1h las cuales nos brindarán la capacidad de estimar los caudales de diseño según el tiempo de concentración.

### ***Tiempo de concentración***

Para la estimación del caudal de diseño mediante el tiempo de concentración se consideró el método de Kirpich, donde “Tc” es el tiempo de concentración en horas, “L” es la Longitud del cauce principal en metros y “S” representa la pendiente media del cauce principal, siendo su fórmula:

$$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} \times S^{-0.385} \quad (4)$$

### ***Coefficiente de escorrentía***

Este parámetro se lo determina de manera ponderada, por lo que es de suma importancia conocer el uso del suelo, la pendiente del suelo y la cobertura vegetal en la zona urbana, para así emplear los valores del coeficiente de escorrentía que nos brinda la Tabla 11 del Libro de Chow David (Ver anexo 8.1).

### ***Análisis Hidráulico***

Para crear representaciones que simulen cómo fluye el agua en la cuenca del río Chaguana mediante el uso del modelo HEC-RAS, se requiere de un proceso de tres etapas:

Se utiliza el software ArcGIS en conjunto con la extensión HEC-GeoRAS. Estas herramientas se combinan con datos como un modelo digital que muestra las altitudes en la zona y una imagen satelital recién capturada del área de estudio. A partir de esta información, se generan la geometría de la cuenca tal como se muestra en la ilustración 10:

- Canal Principal
- Orilla Izquierda y Derecha
- Flujo Izquierdo y Derecho
- Secciones Transversales

En esta etapa se incluye el proceso de trabajo como se muestra en la ilustración 11, Dentro del entorno del software HEC-RAS, se definen las extensiones de la zona que podrían inundarse y a simular cómo el agua fluye en el cauce del río después de haber transferido los datos previamente obtenidos del software ArcGIS. Para lograr esto, se introducen datos geométricos que abarcan desde las formas de las secciones transversales hasta los valores de flujo constante y las circunstancias ambientales, estas se incorporan mediante un dómelo unidimensional que se centra en el flujo continuo del agua. Esto permite predecir cómo la superficie del agua y su velocidad variarán a lo largo del recorrido del río. Antes de llevar a cabo esta simulación, es crucial ingresar el coeficiente de rugosidad. Este se lo calculará usando el método de Cowan, donde el valor “n” se los deducirá mediante la ecuación:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5 \quad (5)$$

donde los valores necesarios para este cálculo se extraen de la Tabla 12 del Libro de Chow David (Ver anexo 8.2) los cuales dependen de diferentes factores tales como el perímetro del río, las irregularidades en la forma de la sección transversal, las obstrucciones presentes, la vegetación, los meandros del río, así como la profundidad del agua en las secciones transversales y el volumen de agua drenada (Díaz-Salas et al., 2020).

### ***Criterios para la generación de mapas de peligro por inundaciones***

En este proceso abarcamos la fase de posprocesamiento, que involucra transferir los datos y los resultados obtenidos del software HEC-RAS al programa ArcGIS, los cuales se presentan como un polígono que conecta los extremos de las secciones transversales del río. También se identificarán todas las divisiones establecidas por HEC-RAS, y la zona de inundaciones rodeará ambas orillas del río. El usuario tiene la capacidad de confeccionar un mapa de inundaciones y determinar la profundidad del agua, el área que cubre en la superficie y el volumen que ocupa en el lecho del río.

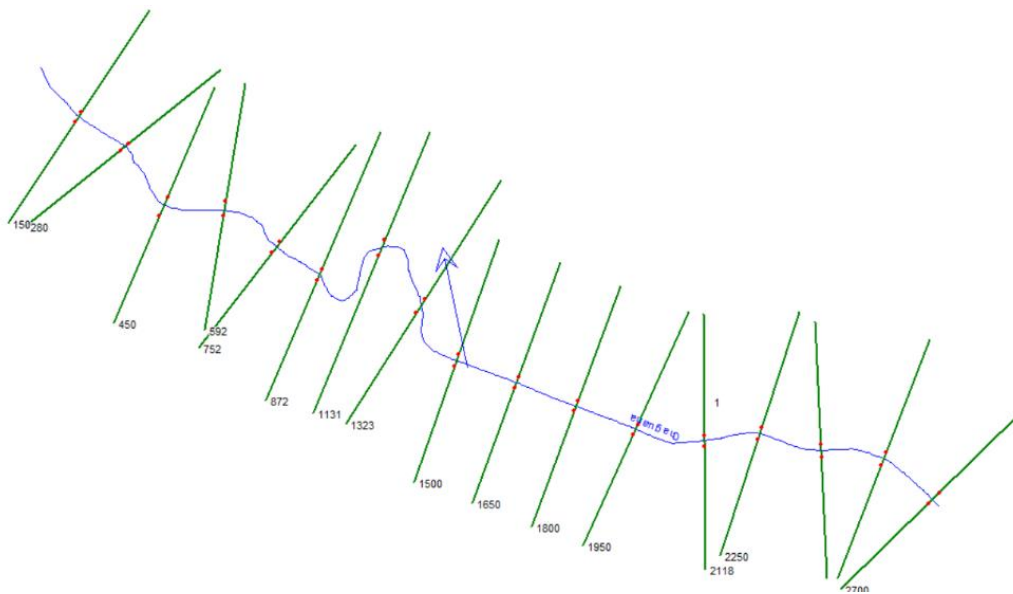
El mapa de riesgo se crea específicamente para cada intervalo de tiempo en el que se espera que ocurran eventos peligrosos. Para la elaboración de los mismos, se considera las variables de nivel y la velocidad del agua, se detallan en la tabla 14 (Alcocer-Yamanaka et al., 2016).

**Tabla 4.** Nivel de peligro a inundaciones

Nivel de peligro	Atura (m)
Nulo	$h < 0.3$
Bajo	$0.3 \geq h \leq 0.5$
Medio	$0.5 \geq h \leq 1.5$
Alto	$h \geq 1.5$

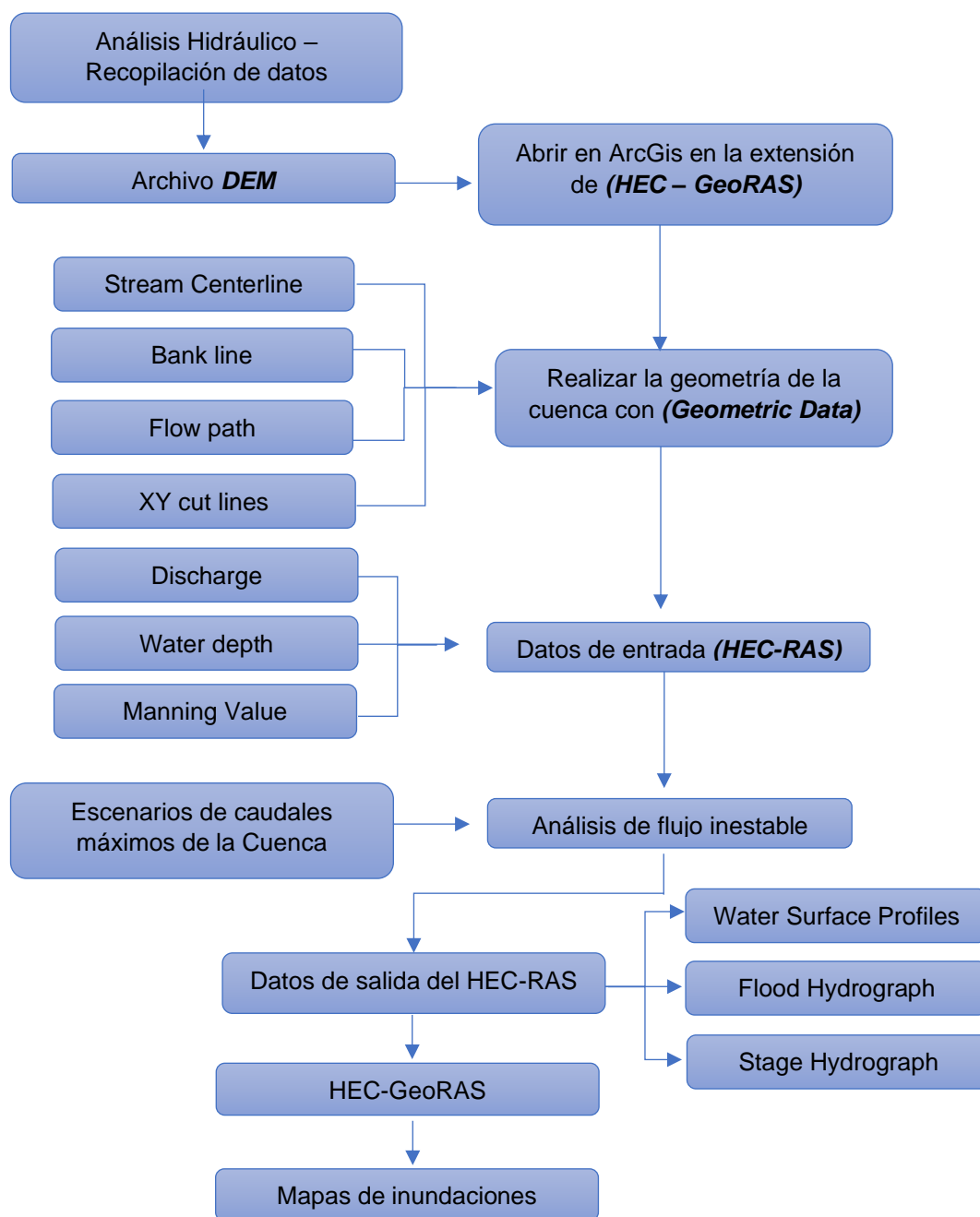
Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 10** Geometría de la cuenca del río Chaguana



Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 11.** Modelado del cauce y simulación de inundaciones (HEC-GeoRAS y HEC-RAS)



**Fuente:** Elaboración Propia



## 4 Capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados

### 4.1 Entorno Hidrológico

#### 4.1.1 Análisis de precipitaciones en la cuenca del río Chaguana

Es esencial llevar a cabo un exhaustivo estudio de las precipitaciones, pues esto nos permite calcular de manera precisa el peligro de inundaciones y anticipar la probabilidad de que ocurran en el futuro. Al examinar detenidamente los datos pluviométricos, obtenemos información de alta confiabilidad sobre la cual podemos sustentar nuestras predicciones de inundaciones con mayor seguridad.

Para llevar a cabo este análisis, evaluamos la magnitud de las precipitaciones para distintos intervalos de recurrencia, que abarcan periodos de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, además de analizar el período comprendido entre 1998 y 2019, donde se utilizó los registros de las cantidades máximas anuales de lluvia de cada año, los cuales se detallan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Cantidades máximas de lluvia en la estación del área de estudio

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1998	389.22	424.10	388.89	362.26	204.44	79.09	33.40	13.40	12.92	29.54	14.82	11.71	424.10
1999	66.54	216.38	206.29	98.52	64.70	19.99	11.07	11.54	31.90	11.71	17.52	91.53	216.38
2000	70.52	186.08	176.99	129.67	84.20	23.71	5.29	7.88	25.97	3.47	4.81	24.11	186.08
2001	145.19	170.08	294.44	89.56	33.20	13.30	5.23	7.05	10.84	8.26	31.51	24.61	294.44
2002	37.31	215.89	364.32	172.35	30.05	12.21	6.60	4.27	4.39	22.14	29.52	49.62	364.32
2003	59.82	111.22	97.46	83.73	22.44	11.58	7.29	5.18	17.02	14.79	35.04	45.59	111.22
2004	58.32	111.70	104.76	109.42	30.21	12.02	6.25	4.83	23.09	19.53	28.05	25.53	111.70
2005	49.80	87.97	177.61	96.17	20.98	12.74	1.54	3.13	9.13	21.79	7.75	60.82	177.61
2006	104.99	226.82	185.40	49.71	10.27	17.74	5.80	6.46	6.18	11.50	34.33	30.77	226.82
2007	90.23	42.27	142.75	80.93	32.58	21.70	2.27	29.43	10.16	15.40	29.12	20.38	142.75
2008	117.90	314.99	212.09	94.28	33.80	23.58	8.24	13.16	11.39	27.17	22.54	23.50	314.99
2009	131.86	173.14	105.57	43.21	24.40	11.21	6.51	8.36	8.51	10.06	8.92	38.37	173.14
2010	56.00	214.53	128.13	90.35	35.96	30.86	18.94	6.22	13.24	6.98	22.39	36.32	214.53
2011	67.21	157.90	70.54	149.73	18.07	13.75	19.40	8.16	15.78	17.81	27.02	44.33	157.90
2012	207.50	252.24	196.47	150.03	48.41	16.76	5.18	7.64	8.68	23.48	27.92	25.99	252.24
2013	103.99	116.26	142.13	46.98	41.48	19.88	19.31	12.78	6.05	33.47	7.08	17.70	142.13
2014	106.55	90.04	84.11	77.76	79.42	22.27	6.84	8.14	9.14	29.82	21.02	22.77	106.55
2015	70.60	76.88	193.74	113.94	110.28	28.17	13.81	5.87	5.03	16.85	19.21	13.66	193.74
2016	122.73	156.95	166.12	104.57	19.02	23.99	8.30	4.51	18.05	10.46	17.90	39.18	166.12
2017	178.03	174.87	331.93	197.22	99.51	24.21	11.46	11.19	4.85	6.38	9.44	46.43	331.93
2018	65.89	166.69	87.29	55.33	60.82	8.98	5.74	8.84	9.12	10.51	49.87	30.43	166.69
2019	115.62	137.25	120.51	87.49	35.05	14.86	8.50	11.55	6.16	19.72	28.65	40.01	137.25
<b>MAX</b>	<b>389.22</b>	<b>424.10</b>	<b>388.89</b>	<b>362.26</b>	<b>204.44</b>	<b>79.09</b>	<b>33.40</b>	<b>29.43</b>	<b>31.90</b>	<b>33.47</b>	<b>49.87</b>	<b>91.53</b>	<b>424.10</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

Las curvas IDF fueron elaboradas utilizando los datos diarios de precipitación recopilados. Para establecer relaciones o cocientes de lluvia de 24 horas, que son aplicables a diferentes duraciones de lluvia, nos basamos en la propuesta realizada por D. F. Campos en 1998, el cual propone los siguientes cocientes que se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Cociente de lluvia de duración 24 horas

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

**Fuente:** Datos tomados de (Campos Aranda D.F., 1998)

La Tabla 7 exhibe los valores de la intensidad de la lluvia (I) que está en mm/min para diversos intervalos de tiempo (t) en minutos, vinculados a períodos de retorno (T) en años. Por otra parte, en la ilustración 12, se representan las curvas IDF generadas mediante este modelo, y se observan que estas curvas muestran una disminución de la intensidad a medida que se incrementa la duración del evento de lluvia.

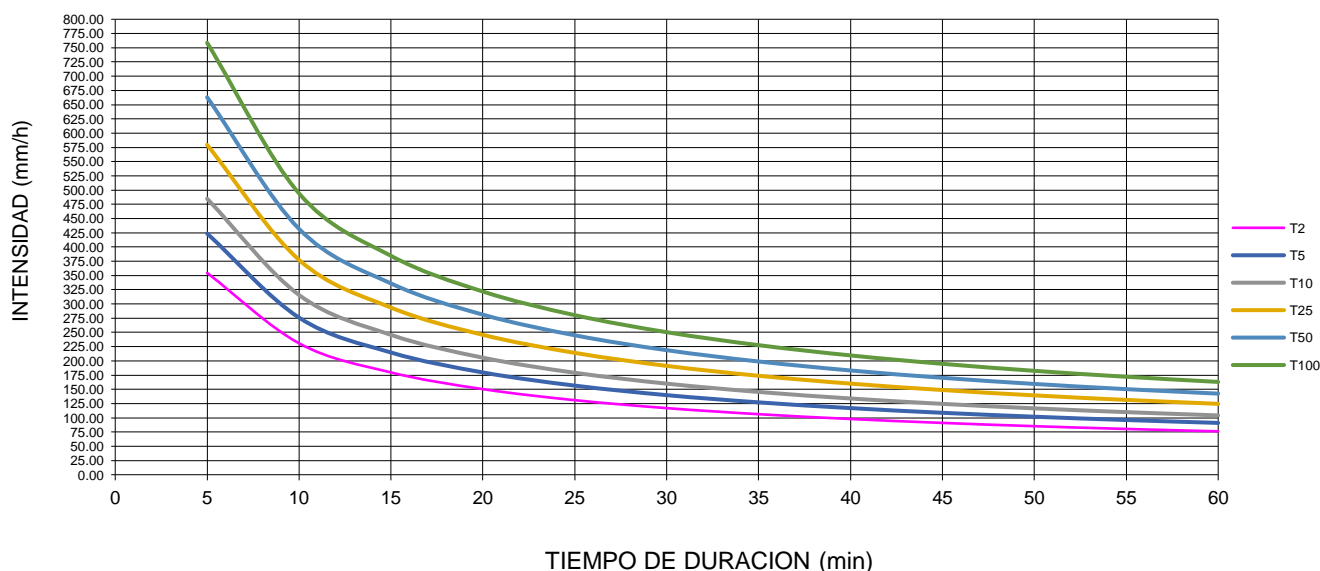
**Tabla 7.** Valores de curvas IDF para diferentes periodos de retorno a la estación de estudio.

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	354.54	230.87	179.64	150.34	130.95	116.98	106.33	97.90	91.02	85.27	80.39	76.17
5	423.70	275.91	214.68	179.67	156.50	139.80	127.08	117.00	108.77	101.91	96.07	91.04
10	484.86	315.73	245.67	205.60	179.08	159.98	145.42	133.89	124.47	116.62	109.94	104.17
25	579.45	377.33	293.59	245.71	214.02	191.19	173.79	160.01	148.76	139.37	131.39	124.50
50	663.08	431.79	335.97	281.18	244.91	218.78	198.87	183.10	170.23	159.48	150.35	142.47
100	758.78	494.11	384.46	321.76	280.26	250.36	227.58	209.53	194.80	182.50	172.05	163.03

**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 12.** Curvas IDF para la estación de estudio

**Curvas IDF de la cuenca**



**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.1.2 Área de estudio de la cuenca del río Chaguana

La cuenca ha sido detalladamente caracterizada utilizando el Modelo Digital de elevación (DEM). Además, se ha aplicado con precisión una serie de procesos en ArcGIS, tal como se muestran en la ilustración 13. Estos procedimientos permiten obtener los parámetros físicos que son esenciales para calcular los caudales.

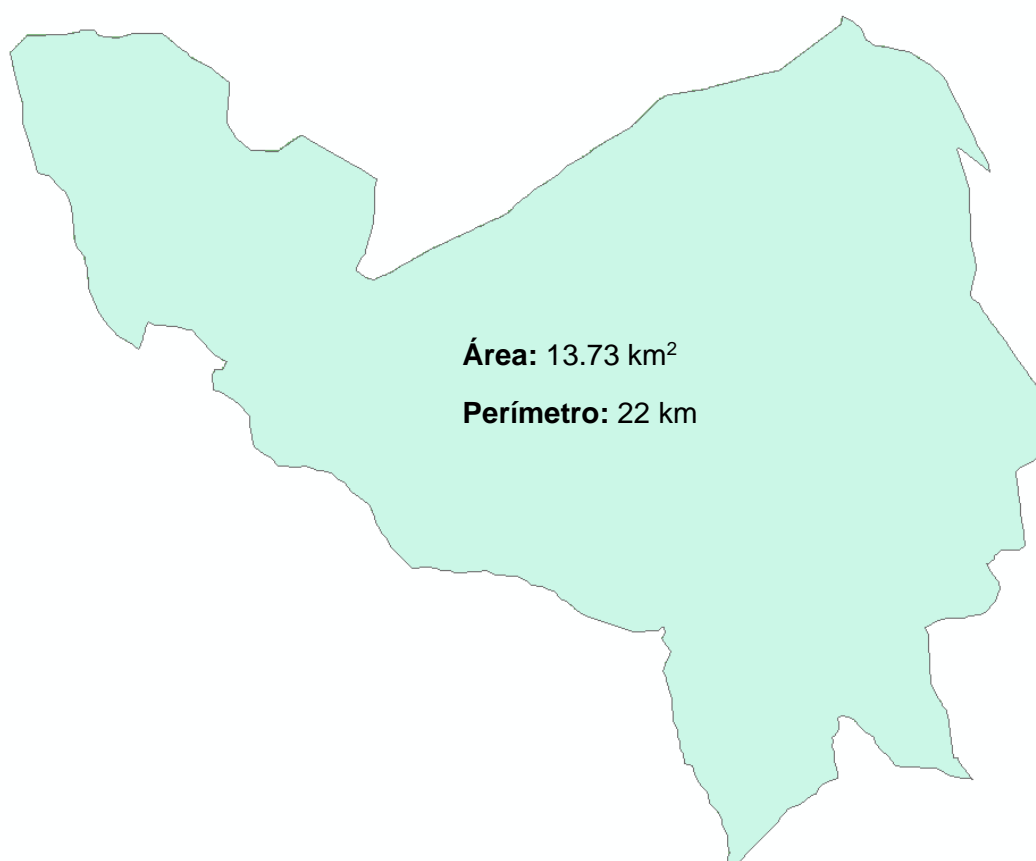
En la Tabla 8 se resumen estos parámetros físicos de manera concisa, mientras que para un análisis más detallado se proporcionan en el (ver anexo 8.4)

**Tabla 8.** Parámetros físicos de la Cuenca del río Chaguana

<b>Parámetros físicos</b>	
<b>Área (A)</b>	13.73 km <sup>2</sup>
<b>Perímetro (P)</b>	22 km
<b>Longitud de cauce principal (L)</b>	2.72 km
<b>Pendiente (S)</b>	0.03 m/m

**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 13.** Cuenca de la zona del estudio



**Fuente:** Elaboración Propia

### 4.1.3 Coeficiente de escorrentía y tiempo de concentración

El coeficiente de escorrentía representa uno de los elementos esenciales en el campo de la Hidrología, ya que nos brinda una estimación de la cantidad de agua que fluye a través de una cuenca determinada. El método utilizado consiste en la multiplicación del área de cada zona de estudio por un factor que varía según las particularidades del suelo, la vegetación, la pendiente y la precipitación. Luego de llevar a cabo este procedimiento, se obtienen valores que se encuentran detallados en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Coeficiente de escorrentía de la zona de estudio

Uso	Área km <sup>2</sup>	Fracción de Área	Coeficiente de escorrentía					
			2	5	10	25	50	100
AGRICOLA	2.59	0.19	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10
AGROPECUARIO MIXTO	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PECUARIO	3.69	0.27	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13
CONSERVACION Y PROTECCION	2.65	0.19	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09
ANTROPICO	0.23	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
ACUICOLA	4.26	0.31	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
AGUA	0.26	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Área Total</b>	<b>13.73</b>	<b>1.00</b>	<b>0.33</b>	<b>0.36</b>	<b>0.38</b>	<b>0.42</b>	<b>0.45</b>	<b>0.49</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

Haciendo uso de la ecuación (4), hemos calculado el tiempo de concentración de la cuenca, el cual resulta de un valor de  $t_c = 0.55$  horas, es decir, equivalente a 33 minutos. Sin embargo, con el propósito de mejorar la comprensión en términos prácticos, hemos decidido utilizar un tiempo de concentración de 35 minutos.

### 4.1.4 Obtención de los caudales de diseño

Después de calcular el coeficiente de escorrentía como las intensidades de lluvia, hemos empleado el método racional para determinar los caudales de diseño correspondientes a diferentes periodos de retorno. Cabe destacar que los caudales a considerarse serán los correspondientes al tiempo de concentración que se obtuvo como se puede observar en la tabla 10.

**Tabla 10.** Caudales de diseño con diferentes periodos de retorno

Frecuencia	Caudales máximos $m^3/s$											
	Duración en minutos											
	años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
<b>2</b>	448.06	291.77	227.02	190.00	165.49	147.84	134.38	123.73	115.03	107.77	101.60	96.27
<b>5</b>	583.65	380.07	295.73	247.50	215.58	192.57	175.05	161.17	149.84	140.38	132.34	125.40
<b>10</b>	708.12	461.12	358.79	300.28	261.55	233.64	212.38	195.54	181.79	170.32	160.56	152.15
<b>25</b>	929.22	605.10	470.82	394.04	343.21	306.59	278.70	256.59	238.55	223.50	210.70	199.65
<b>50</b>	1143.20	744.44	579.24	484.77	422.25	377.19	342.87	315.68	293.49	274.96	259.21	245.63
<b>100</b>	1416.83	922.62	717.88	600.80	523.31	467.48	424.94	391.24	363.73	340.78	321.26	304.42

**Fuente:** Elaboración Propia

## 4.2 Entorno Hidráulico

### 4.2.1 Coeficiente de Rugosidad

Para determinar el valor de "n", se llevó a cabo un estudio de la cuenca del río Chaguana, teniendo en consideración los diferentes factores que influyen en el coeficiente de rugosidad. Al realizar la evaluación de las condiciones especificadas en la zona de estudio y utilizando la ecuación (5), se obtuvo un valor que se detalla en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Valor del coeficiente de rugosidad

Coeficiente de rugosidad		Detalles
n0	0.02	Tierra
n1	0.005	Menor
n2	0.005	Ocasionalmente alternante
n3	0.03	Apreciable
n4	0.05	Alta
m5	1.5	Apreciable
<b>C. rugosidad "n"</b>		<b>0.17</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

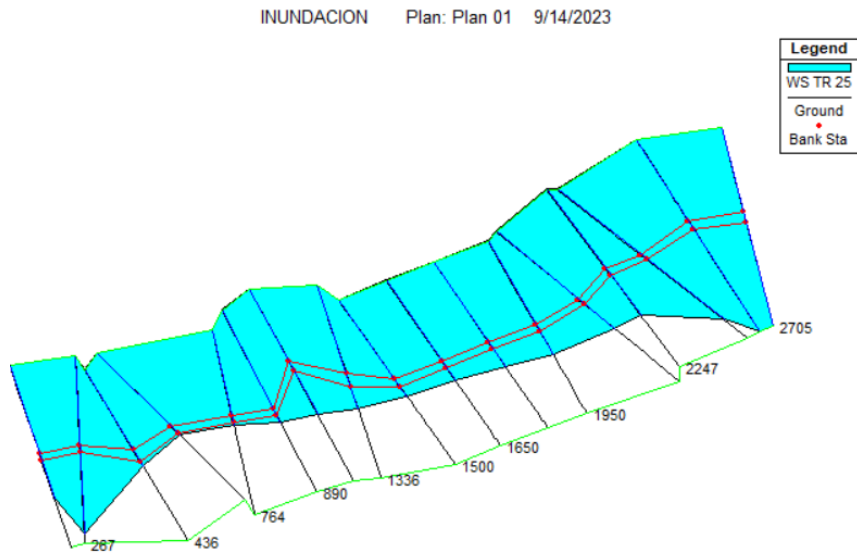
Además, se determinó el valor para los márgenes de la cuenca, que presentan características de material tipo lastre de relleno, con un coeficiente de rugosidad de 0.025.

### 4.2.2 Simulación de inundaciones

La delimitación del área de inundación en la zona de estudio se basó en las características naturales de la cuenca hidrográfica, un factor de gran relevancia en este contexto. El análisis del mapa de uso de la tierra como se puede observar en el anexo 8.4, permitió identificar el impacto de las inundaciones en las zonas agrícolas en contraste con las áreas residenciales.

El proceso de modelación en HEC-RAS se apoya en tres elementos esenciales: el Modelo Digital de Elevaciones (DEM), el cual proporciona información detallada para realizar la geometría de la zona de interés, como se representó en la ilustración 10, los caudales de diseño correspondientes a diversos periodos de retorno, detallados en la Tabla 9 y los coeficientes de rugosidad. Estos datos son cruciales para entender el comportamiento de la cuenca y nos permite obtener una vista longitudinal de la situación, tal como se muestra en la ilustración 14.

### Ilustración 14. Simulación de inundación para un periodo de retorno de 25 años

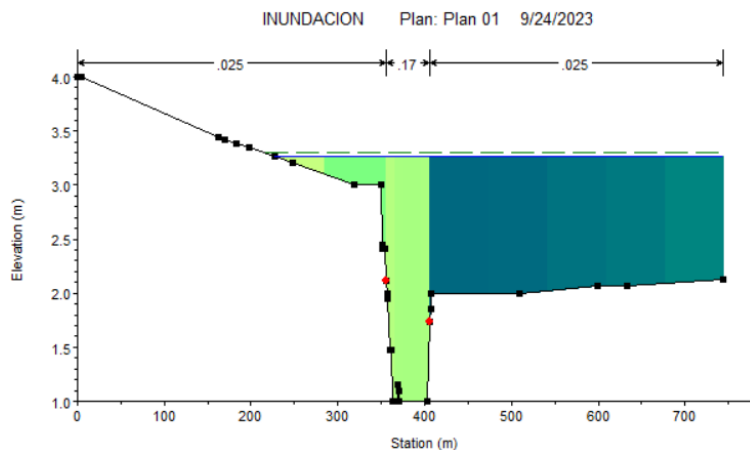


**Fuente:** Elaboración Propia

La escasa elevación se debe a la topografía de la zona, que es mayormente plana y con pendientes mínimas. Esta acumulación de agua tiene a concentrarse en secciones transversales que se asemejan a la forma “U” como se puede observar en la ilustración 15.

Se puede observar un incremento en el nivel del agua dentro del cauce del río, lo que resulta en un aumento en la cantidad de agua que fluye a través del mismo, teniendo como referencia el parque de la parroquia que está a una altura de 6.40 m.s.m, el estudio realizado nos dio alturas máximas de 2.03 m para un periodo de retorno de 2 años y de 2.70 m para un periodo de retorno de 100 años, en el anexo 8.5 se detalla los diferentes escenarios utilizados para este estudio.

### Ilustración 15. Sección transversal del río Chaguana



**Fuente:** Elaboración Propia

## 5 Conclusiones

- Se llevo a cabo una investigación minuciosa con el objetivo de recopilar una amplia gama de datos que incluye documentos científicos y proyectos de investigación relacionados con el tema de nuestro estudio. Esta recopilación nos permitió identificar la metodología más apropiada para abordar los problemas que enfrenta la parroquia Tendales, ubicada en la Provincia de El Oro. Para obtener un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) con una resolución de celda de 4.4 metros, recurrimos al Ministerio de Agricultura y Ganadería. Luego, utilizando el software ArcGIS, procedemos a realizar una detalla caracterización de la cuenca. Como resultado de este proceso, obtuvimos datos importantes, como el área de drenaje de 13.73 km<sup>2</sup> y un perímetro de 22 km.
- Para evaluar el riesgo de inundaciones nos basamos en lo que se conoce como el enfoque de tormenta de diseño. Este enfoque implica la creación de curvas de intensidad-duración-frecuencia, que se elaboran a partir de datos de lluvia observados. Estas curvas se utilizan como información de entrada para el modelo Hidrológico y poder calcular las descargas máximas que se pueden esperar.
- Se ha observado que la cantidad de lluvia que cae en la cuenca hidrográfica, considerando diferentes períodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, tiene un impacto significativo en el sistema hidrológico. Este impacto se ve influenciado por el uso del suelo en la zona, y se ha notado que el valor hidrológico efectivo aumenta cuando hay más áreas impermeables en la cuenca. Esto, a su vez, aumenta el riesgo de inundaciones, ya que la mayoría de precipitaciones se convierte en escorrentía superficial, lo que provoca una respuesta de flujo más intensa. Durante los distintos periodos de retorno, se han registrado caudales máximos de 134.38, 175.05, 212.38, 278.70, 342.87 y 424.94 m<sup>3</sup>/s, los cuales serán empelados como datos de entrada en el modelo hidráulico.
- Utilizamos el software HEC-RAS y HEC-GeoRAS integrado en ArcGIS, para simular las inundaciones y modelar la geometría de la cuenca en nuestra área de estudio. Este proceso nos brindó información valiosa sobre la probabilidad de inundaciones en la zona investigada. Los resultados revelaron una discrepancia importante, en todos los casos, el método de tormenta de diseño subestimó significativamente tanto los picos de inundaciones como las

profundidades de agua, teniendo valores de 2.03, 2.17, 2.26, 2.42, 2.55 y 2.70 m respectivamente.

- El Mal ordenamiento territorial y las altas precipitaciones que afectan a la parroquia Tendales son los factores claves que aumentan el riesgo de inundaciones en esta área. Estos dos elementos se combinan para crear los problemas más destacados que enfrenta la parroquia cuando se presentan lluvias intensas.

## **6 Recomendaciones**

- Llevar a cabo una exhaustiva investigación bibliográfica es esencial para obtener una comprensión más completa del problema y del tema que se va a abordar. Esto, a su vez, brinda la capacidad necesaria para elegir la metodología más apropiada al llevar a cabo el estudio.
- Para calcular los caudales de manera precisa, se aconseja contar con un extenso conjunto de datos que registre las precipitaciones durante al menos 15 años. Es fundamental que estos datos abarquen los períodos de mayor lluvia, ya que esto garantizará que el análisis sea más fiel a las condiciones reales.
- En proyectos de este tipo, contar con un modelo digital de elevaciones (DEM) de alta calidad y resolución es absolutamente necesario. La resolución del DEM no debe superar los 15 m por celda, ya que todo el proceso en los softwares depende de esta información fundamental.
- Cuando se lleva a cabo el trazado geométrico de la cuenca utilizando HEC-GeoRAS, es esencial realizar este proceso de manera minuciosa, prestando atención a proporcionar el máximo detalle posible a los diversos elementos que conforman la geometría de la cuenca.
- Al momento de usar el software HEC-RAS, el huso horario debe de estar en Estados Unidos, es importante tener los datos de entrada organizados y etiquetados correctamente para facilitar el uso del programa, además verificar la configuración de las unidades y los parámetros de modelo sean apropiados para el estudio.



## 7 Referencias

- Alcocer-Yamanaka, V. H., Rodríguez-Varela, J. M., Bourguett-Ortiz, V. J., Llaguno-Guilberto, O. J., & Albornoz-Góngora, P. M. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5).  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000500033](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500033)
- AL-Hussein, A. A. M., Khan, S., Ncibi, K., Hamdi, N., & Hamed, Y. (2022). Flood Analysis Using HEC-RAS and HEC-HMS: A Case Study of Khazir River (Middle East—Northern Iraq). *Water (Switzerland)*, 14(22), 3779.  
<https://doi.org/10.3390/W14223779/S1>
- Álvarez, A. J., Yustres, L. F., & Ivanova, Y. (2020). Estimación del cambio de la capacidad de regulación hídrica como respuesta a los cambios de coberturas de la tierra. *Revista EIA*, 18(35), 1–12. <https://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1465>
- Alves, T., & Pires, A. (2018). ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MICROBACIA DO RIO SÃO JOSÉ, POÇÕES – BAHIA, BRASIL, COM USO DE SENSORIAMENTO REMOTO E SIG. *Geopauta*, 2(3), 45–66.  
<https://doi.org/10.22481/rg.v2i3.4395>
- Amérigo, M., García, J. A., Pérez, R., & Talayero, F. (2019). Challenges to deal with climate change: Analysis of flash flood risk perception. *Papeles del Psicólogo*, 40(3), 197–204. <https://doi.org/10.23923/PAP.PSICOL2019.2903>
- Andrés, M., Benítez, B., Católica, U., San, B., Bolivia, P., Gabriel, J., & Soto, L. (2020). Análisis hidrológico e hidráulico del potencial de inundación. *Revista Ingeniería*, 4(10), 178–191. <https://doi.org/10.33996/REVISTAINGENIERIA.V4I10.65>
- Aristizábal, E., Arango, M. I., & García, I. K. (2020). Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 242–258.  
<https://doi.org/10.15446/RCDG.V29N1.72612>
- Burgos, B. D., Cartaya, S. J., Mero, D. J., Burgos, B. D., Cartaya, S. J., & Mero, D. J. (2019). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. *Investigaciones geográficas*, 98.  
<https://doi.org/10.14350/RIG.59767>
- Campos Aranda D.F. (1998). Valores concluidos para la relaciones a la lluvia de curación 24 horas. En *Procesos del Ciclo Hodrológico* (3a ed., Vol. 1, p. 59). Universidad Autónoma de San Luis Potosí .
- Caro, C. A., Pacheco, O. F., & Sánchez, H. P. (2019). Calibration of Manning's roughness in non-instrumented rural basins using a distributed hydrological model. *DYNA*, 86(210), 164–173. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.72506>
- Castillo, C., Abreu, D., & Alvarez, M. (2021). Evaluation of different empirical formulas for calculating the concentration time in the urban basin of the Belico and Cubanicay rivers, city of Santa Clara. *Enfoque UTE*, 12(3), 51–64.  
<https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.729>
- Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED), & Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). (2021). *El costo humano de los desastres Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres CRED*. <https://agua.org.mx/biblioteca/el-costo-humano-de-los-desastres-una-mirada-a-los-ultimos-20-anos-undrr/>
- Chalan, M. (s/f). *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Tendales PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE TENDALES*. Recuperado el 2 de marzo de 2023, de <http://www.tendales.gob.ec/index.php/2-uncategorised>
- Chiarito, E., Zimmermann, E., & Méndez, S. (2018). Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección.

- Corapi, P., & Nuñez, N. (2022). Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(4), 44–68. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.974>
- Criado, M., Martínez, A., & Santos, F. (2019). Determinación del riesgo de inundación en la ciudad de Salamanca (España) mediante análisis de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. *Cuaternario y Geomorfología*, 87–102. <https://doi.org/10.17735/cyg.v33i1-2.70148>
- D'arc, J., De Almeida, M., Da Paz Rocha, A., & Girão Da Silva, O. (2018). Riscos geomorfológicos e sensibilidade da paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Paratibe (BHRP) – Região Metropolitana do Recife. *Revista Cerrados*, 16(01), 103–129. <https://doi.org/10.22238/RC2448269220181601103129>
- Díaz-Salas, A., Guevara-Pérez, E., & Rosales-Cueva, J. (2020). Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la granulometría en el río Santa, sector Recuay – Carhuaz, Áncash, Perú. *Revista Ingeniería UC*, 27(3), 328–342. <https://doi.org/10.54139/REVIINGUC.V27I3.292>
- Fernández, M., Méndez, I., & Muñoz, R. (2018). Exposición a inundaciones en Moravia, San José, Costa Rica. *Revista Reflexiones*, 98(1), 7–21. <https://doi.org/10.15517/RR.V98I1.32492>
- Giler, A., Zambrano, A., Chila, L., Arcentales, A., Guadamud, P., Félix, E., Caicedo, D., & Alarcón, R. (2019). *Análisis del comportamiento hidrológico de cuencas hidrográficas tropicales utilizando índices: estudio de caso en la región costa del Ecuador*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72164777003>
- Guanipa, K., Lugo, A., & Rincón, J. (2020). Análisis de sensibilidad de parámetros hidrológicos e hidráulicos del modelo SWMM y su aplicación en sistemas de drenaje urbano. *Revista Gaceta Técnica*, 21(1), 44–63. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26994.66248>
- Gutiérrez, A., Fortanell, M., Albuquerque, N., & Bravo, F. (2019). Temporal and spatial variability analysis of daily precipitation in the metropolitan area of Queretaro, using an anisotropy scheme. *Investigaciones Geográficas*, 99. <https://doi.org/10.14350/RIG.59757>
- Herrera, E., Magaña, V., & Morett, S. (2018). Relación entre eventos extremos de precipitación con inundaciones. Estudio de caso: Tulancingo, Hidalgo. *Nova Scientia*, 10(21), 191–206. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1527>
- Jodar-Abellan, A., Ruiz, M., & Melgarejo, J. (2018). Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 35(3), 240–253. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2018.3.564>
- Lea, D., Yeonsu, K., & Hyunuk, A. (2019). Case Study of HEC-RAS 1D–2D Coupling Simulation: 2002 Baeksan Flood Event in Korea. *Water* 2019, Vol. 11, Page 2048, 11(10), 2048. <https://doi.org/10.3390/W11102048>
- Leoul, A., & Kassahun, N. (2019). Dam Breach Analysis Using HEC-RAS and HEC-GeoRAS: The Case of Kesem Kebena Dam. *Open Journal of Modern Hydrology*, 09(04), 113–142. <https://doi.org/10.4236/ojmh.2019.94007>
- Montalvo, C., & Jácome, V. (2022). Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada de Cunduana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulicos. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9069>
- Neva, A. A., Morales, J. C., Vélez, Ó. L. P., & Castillo, L. A. I. (2020). Estimación de áreas vulnerables a inundaciones en zonas urbanas: Morelia, Michoacán, México / Estimating areas vulnerable to flooding in urban zones: Morelia, Michoacán, Mexico. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(3), 01–26. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2020-03-01>

- Ojeda, A., Álvarez, C., & Orona, D. (2020). DRENAJE PLUVIAL SOSTENIBLE. UNA ALTERNATIVA DE GESTIÓN DEL AGUA DE LLUVIA EN LA UNIVERSIDAD DE SONORA. *Contexto*, 14(20). <https://doi.org/10.29105/contexto14.20-4>
- Rey, D., & Zambrano, J. (2018). Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palagrande. *Revista UIS Ingenierías*, 17(1), 115–126. <https://doi.org/10.18273/REVUIN.V17N1-2018011>
- Rodríguez, C., & Alarcón, J. R. (2021). Estudio hidromorfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas. *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2598>
- Salamanca, P. A., Ruge, M. A., & Torres, J. E. (2021). Estimación de la amenaza de inundación a partir de la comparación de caudales máximos en la parte alta del Río Frío en el Municipio de Zipaquirá, Cundinamarca. *BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS*, 15(2), 48–53. <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2017.2884>
- Sevillano, M. E., Bravo, L. C., Alatorre, L. C., & Salcedo, E. de J. (2020). Identificación de zonas de inundación a partir de imágenes (SAR) y de eventos históricos de inundación: caso de estudio Santiago de Cali, Colombia. *Cuadernos Geográficos*, 59(2), 308–329. <https://doi.org/10.30827/CUADGEO.V59I2.9641>
- Steinmetz, A. A., Beskow, S., Terra, F. da S., Moitinho, M. C., Vargas, M. M., & Carlexo, J. F. (2019). Spatial discretization influence on flood modeling using unit hydrograph theory. *RBRH*, 24, 1–12. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180143>
- Trejos, E., & Achurra, G. (2021). Factors that increase the incidence of flooding due to rainfall in urban areas of the Capital City, Panama. Case study in Ave. Domingo Diaz Ave. *Investigación y Pensamiento Crítico*, 9(3), 05–22. <https://doi.org/10.37387/IPC.V9I3.261>
- United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA). (2020). *Desastres Naturales en América Latina y el Caribe, 2000 - 2019*. <https://reliefweb.int/report/world/desastres-naturales-en-am-rica-latina-y-el-caribe-2000-2019>
- Vangelis, H., Zotou, I., Kourtis, I. M., Bellos, V., & Tsihrintzis, V. A. (2022). Relationship of Rainfall and Flood Return Periods through Hydrologic and Hydraulic Modeling. *Water* 2022, Vol. 14, Page 3618, 14(22), 3618. <https://doi.org/10.3390/W14223618>
- Vargas, G., Ibáñez, L. A., Arteaga, R., & Arévalo, G. (2018). Kinematic wave hydrologic model of the Turbio River basin, Guanajuato, Mexico. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 10(1), 33–47. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.07.012>
- Varón, S., & Vargas, G. (2019). Analysis of susceptibility to flooding associated with the dynamics of the guatiquia river in Villavicencio, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 152–174. <https://doi.org/10.15446/RCDG.V28N1.70856>
- Vega, S. A., Malla, C. C., & Bejarano, H. F. (2020). Evidencias del cambio climático en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 72–76. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/388>
- WMO, & Taalas, P. (2021). *2021 State of climate services water* (WNO-No.1278). [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=21963#.Y-wBicdBxPb](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21963#.Y-wBicdBxPb)
- Zambrano, J., & Macías, L. (2021). Las capacidades sociales en las familias de la zona urbana del cantón Chone frente a la vulnerabilidad física ante la amenaza de inundaciones. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 6(3), 85–96. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5512975>

## 8 Anexos

### 8.1 Anexo. Coeficiente de escorrentía

**Tabla 12.** Coeficiente de escorrentía para ser usado en el método racional

Tipos de superficie	Periodos de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Zonas urbanas</b>							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1
Cemento, tejados	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
<b>Zonas verdes (césped, parques, etc.)</b>							
<i>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.4	0.6
Pendiente media (2 - 7%)	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.6
<i>Condición media (cobertura vegetal al 50% y al 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.5
Pendiente media (2 - 7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
<i>Condición alta (cobertura vegetal superior al 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.5
Pendiente media (2 - 7%)	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.6
<b>Zonas rurales</b>							
<i>Campos de cultivo</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.6
Pendiente media (2 - 7%)	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.6
<i>Pastizales</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.5
Pendiente media (2 - 7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
<i>Bosques</i>							
Pendiente baja (0 - 2%)	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.5
Pendiente media (2 - 7%)	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.6
Pendiente alta (> 7%)	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.6

**Fuente:** Tomado del libro de Hidrología Aplicado - Chow David

## 8.2 Anexo. Coeficiente de rugosidad mediante formula

**Tabla 13.** Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad mediante ecuación

Condiciones del canal		Valores	
<b>Material involucrado</b>	Tierra	n0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
<b>Grado de irregularidad</b>	Suave	n1	0.000
	Menos		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
<b>Variaciones de la sección transversal</b>	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
<b>Efecto relativo de las obstrucciones</b>	Insignificante	n3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
<b>Vegetación</b>	Baja	n4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
<b>Grado de los efectos por meandros</b>	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

**Fuente:** Tomado del libro de Hidráulica de Canales Abiertos - Chow David.



### 8.3 Anexo. Coeficiente de rugosidad

**Tabla 14.** Valores del coeficiente de rugosidad  $n$

<b>Tipo de canal y descripción</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Normal</b>	<b>Máximo</b>
<b>A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos</b>			
<b>A-1. Metal</b>			
a. Latón, liso	0.009	0.01	0.013
b. Acero			
1. Estriado y soldado	0.01	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c. Hierro fundido			
1. Recubierto	0.01	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
d. Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e. Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	0.024	0.03
<b>A-2. No metal</b>			
a. Lucita	0.008	0.009	0.01
b. Vidrio	0.009	0.01	0.013
c. Cemento			
1. Superficie pulida	0.01	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
d. Concreto			
1. Alcantarilla recta y libre de basuras	0.1	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	0.013	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	0.014	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.02
e. Madera			
1. Machiembrada	0.01	0.012	0.014
2. Lámina tratada	0.015	0.017	0.02

**Fuente:** Tomado del libro de Hidráulica de Canales Abiertos - Chow David.

**Tabla 14.** Valores del coeficiente de rugosidad  $n$

<b>Tipo de canal y descripción</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Normal</b>	<b>Máximo</b>
f. Arcilla			
1. Canaleta común de baldosas	0.011	0.013	0.017
2. Alcantarilla vitrificada	0.011	0.014	0.017
3. Alcantarilla vitrificada con pozo de inspección, entradas, etc	0.013	0.015	0.017
4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas	0.014	0.016	0.018
g. Mampostería en ladrillo			
1. Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
2. Revestida con mortero de cemento	0.012	0.013	0.016
h. Alcantarillados sanitarios			
1. Recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones	0.012	0.013	0.16
i. Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso	0.016	0.019	0.02
j. Mampostería de piedra cementada	0.018	0.025	0.03
<b>B. Canales revestidos o desarmables</b>			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado			
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.01	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.01	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.01	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.02
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.02
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.02	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	

**Fuente:** Tomado del libro de Hidráulica de Canales Abiertos - Chow David.

**Tabla 14.** Valores del coeficiente de rugosidad  $n$

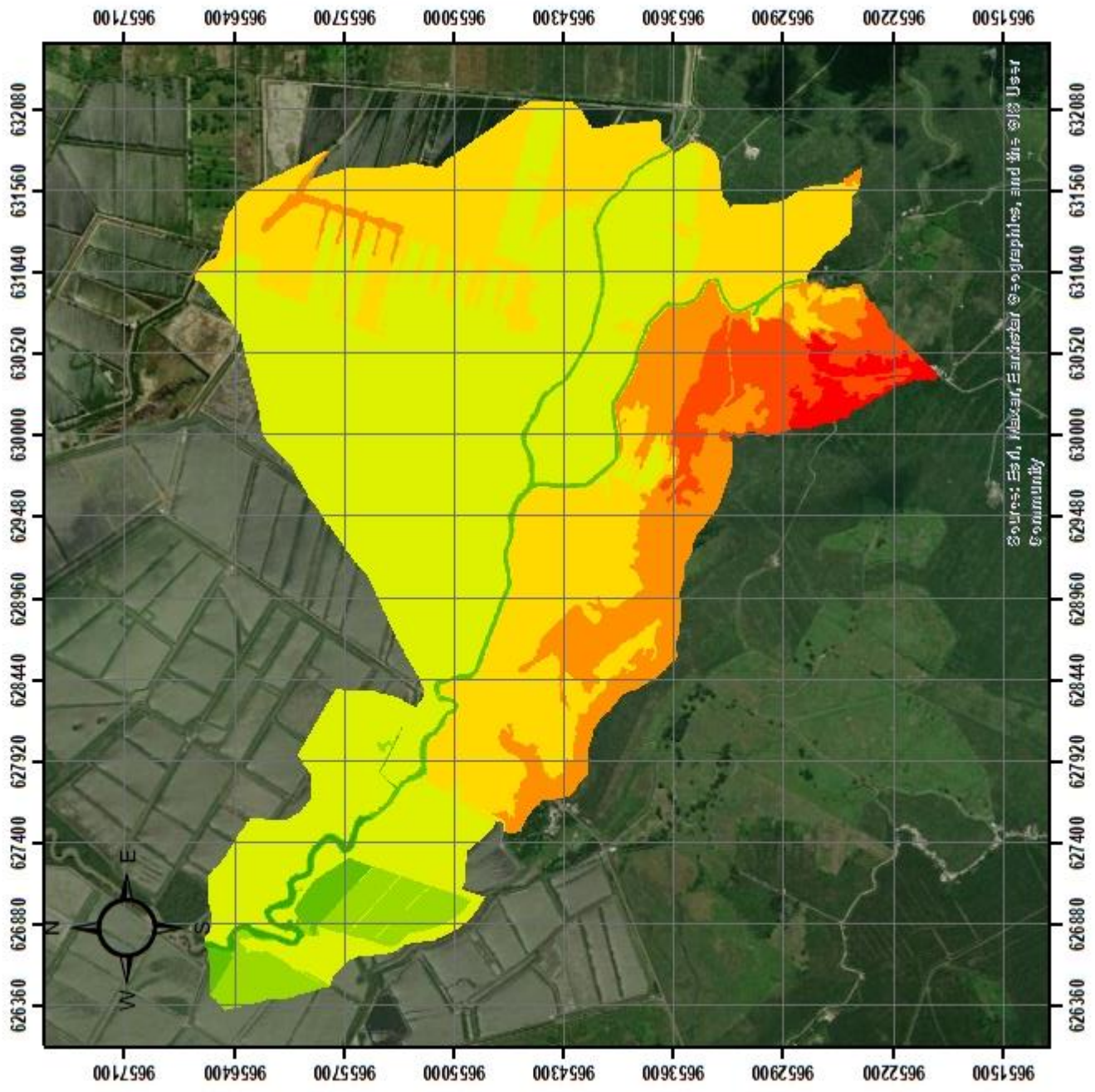
<b>Tipo de canal y descripción</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Normal</b>	<b>Máximo</b>
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de:			
1. Piedra labrada en mortero	0.015	0.017	0.02
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.02	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.02	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.02	0.025	0.03
5. Piedra suelta o rip rap	0.02	0.03	0.036
e. Fondo de gravas con lados de:			
1. Concreto encofrado	0.017	0.02	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.02	0.023	0.026
3. Piedra suelta o rip rap	0.023	0.033	0.036
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.03
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.017
h. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
j. Revestimiento vegetal	0.03		0.05
<b>C. Excavado o dragado</b>			
a. En tierra, recta y uniforme			
1. Limpio, recipiente terminado	0.016	0.018	0.02
2. Limpio, después de exposición a la interperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.03
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.03
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.03	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.03	0.035	0.04
4. Fondo de tierra con lados en piedra	0.028	0.03	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.04
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.03	0.04	0.05
c. Excavaciones con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.05	0.06
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.04
2. Afilados e irregulares	0.035	0.04	0.05

**Fuente:** Tomado del libro de Hidráulica de Canales Abiertos - Chow David.

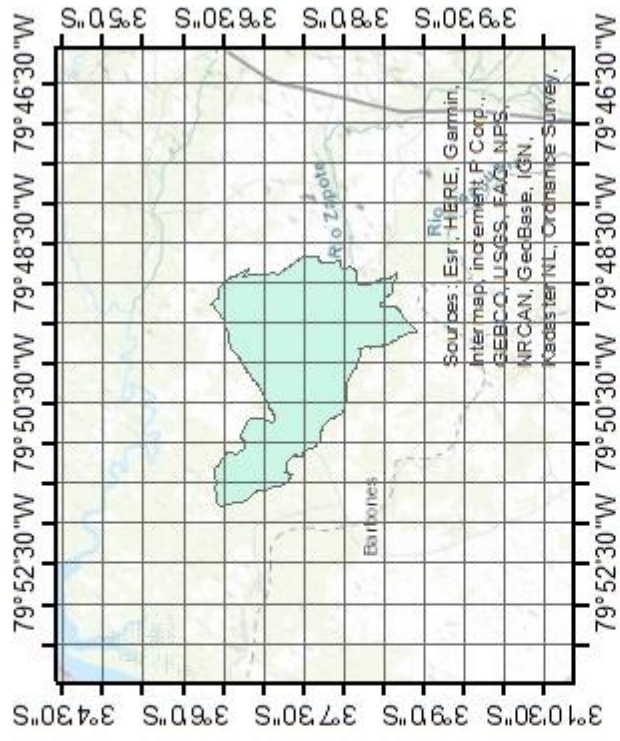


## **8.4 Delimitación de la cuenca**

# MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES DE LA MICROCUENCA DE LA PARROQUIA TENDALES



## UBICACIÓN



Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:175,000

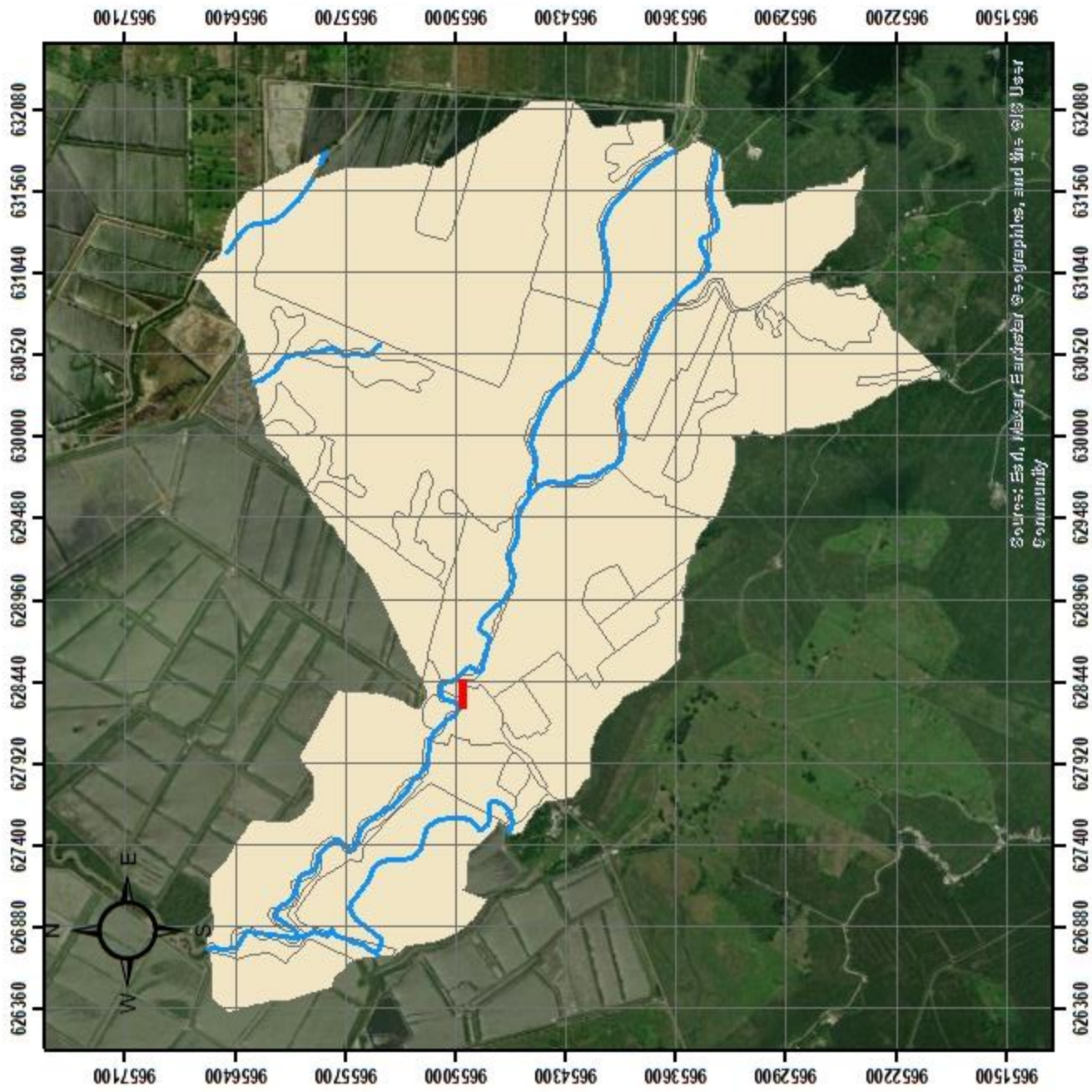


Elaborado por:  
Alex Bismark Henríquez Ortega  
Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona  
Escala:  
1:40,000  
Escala gráfica:  
0 382.5 725 1.450 2.175 2.900  
Metros

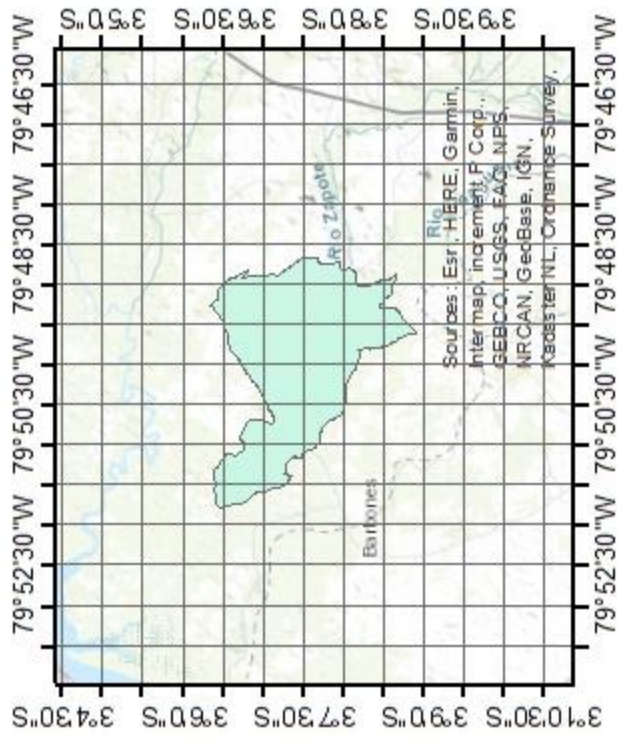




# USO DEL SUELO DENTRO DE LA MICROCUENCA DE LA PARROQUIA TENDALES



## UBICACIÓN



Tendales, El Oro, Ecuador

Escala: 1:175,000

### Contenido

- Cuenca
- Zona Urbana
- Cobertura vegetal
- Río Chaguana



### Elaborado por:

Alex Bismark Henriquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proj. Cart. UTM Zona

### Escala:

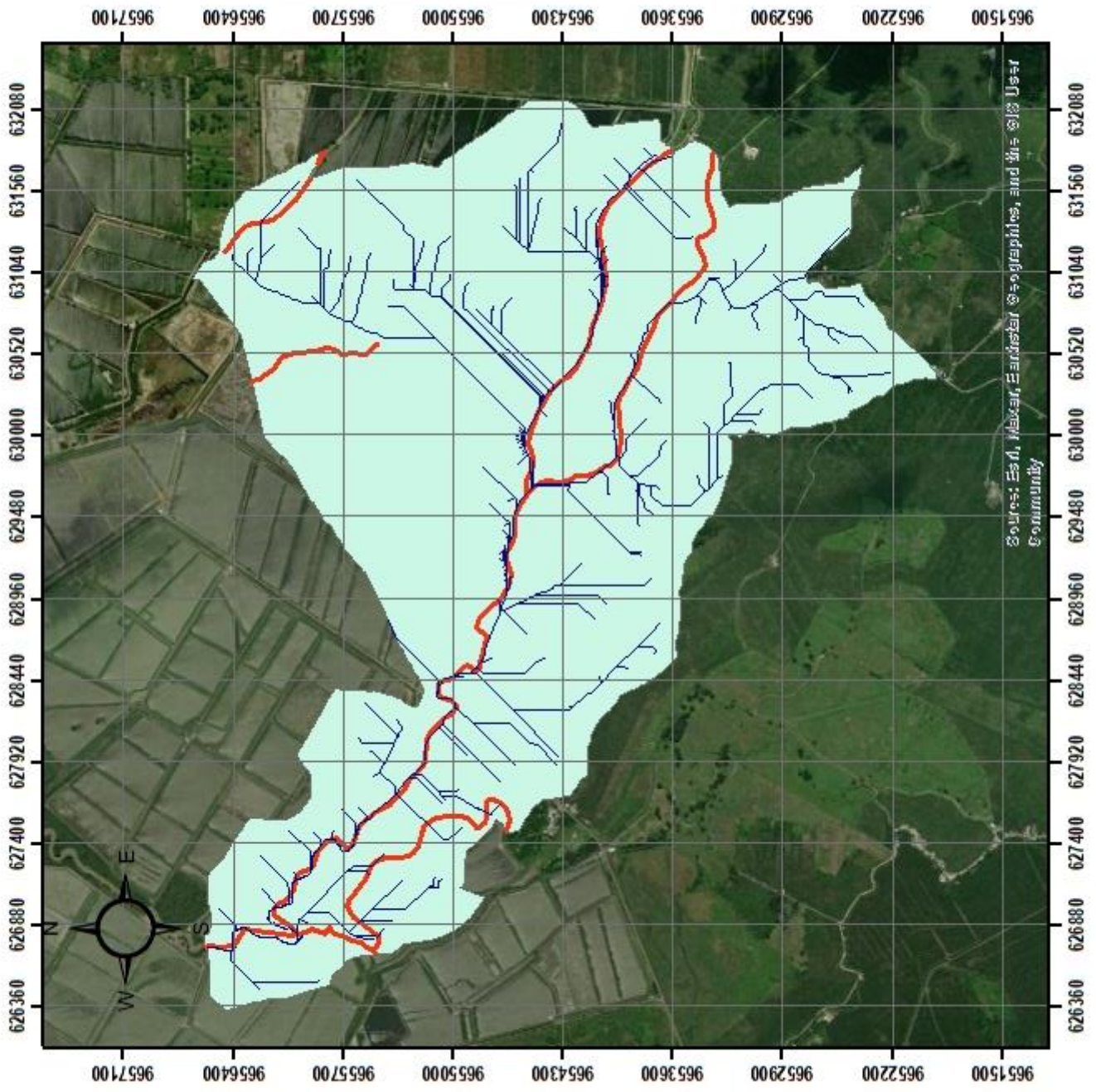
1:40,000

### Escala gráfica:

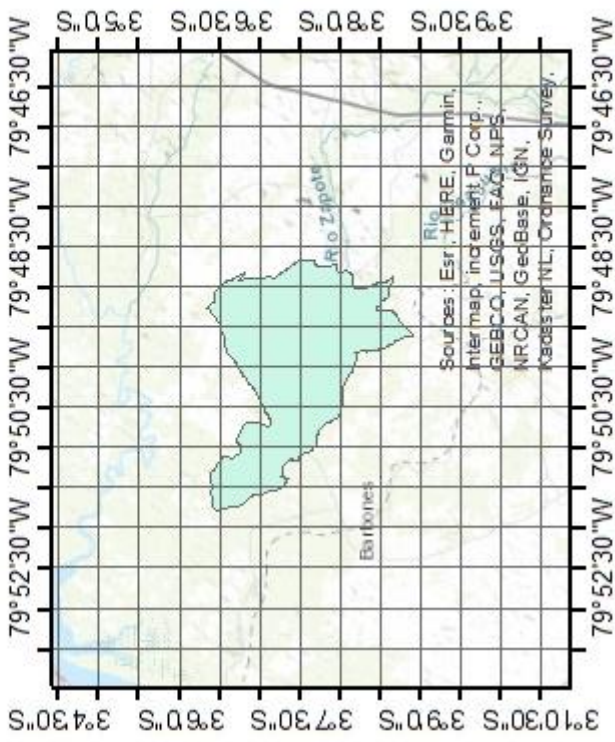




# SUPERFICIE DE LA MICROCUENCA DE LA PARROQUIA TENDALES



## UBICACIÓN



Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:175,000



### Contenido

- Cuenca
- Red principal
- Ramales

Elaborado por:

Alex Bismark Henrriquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona

Escala:

1:40,000

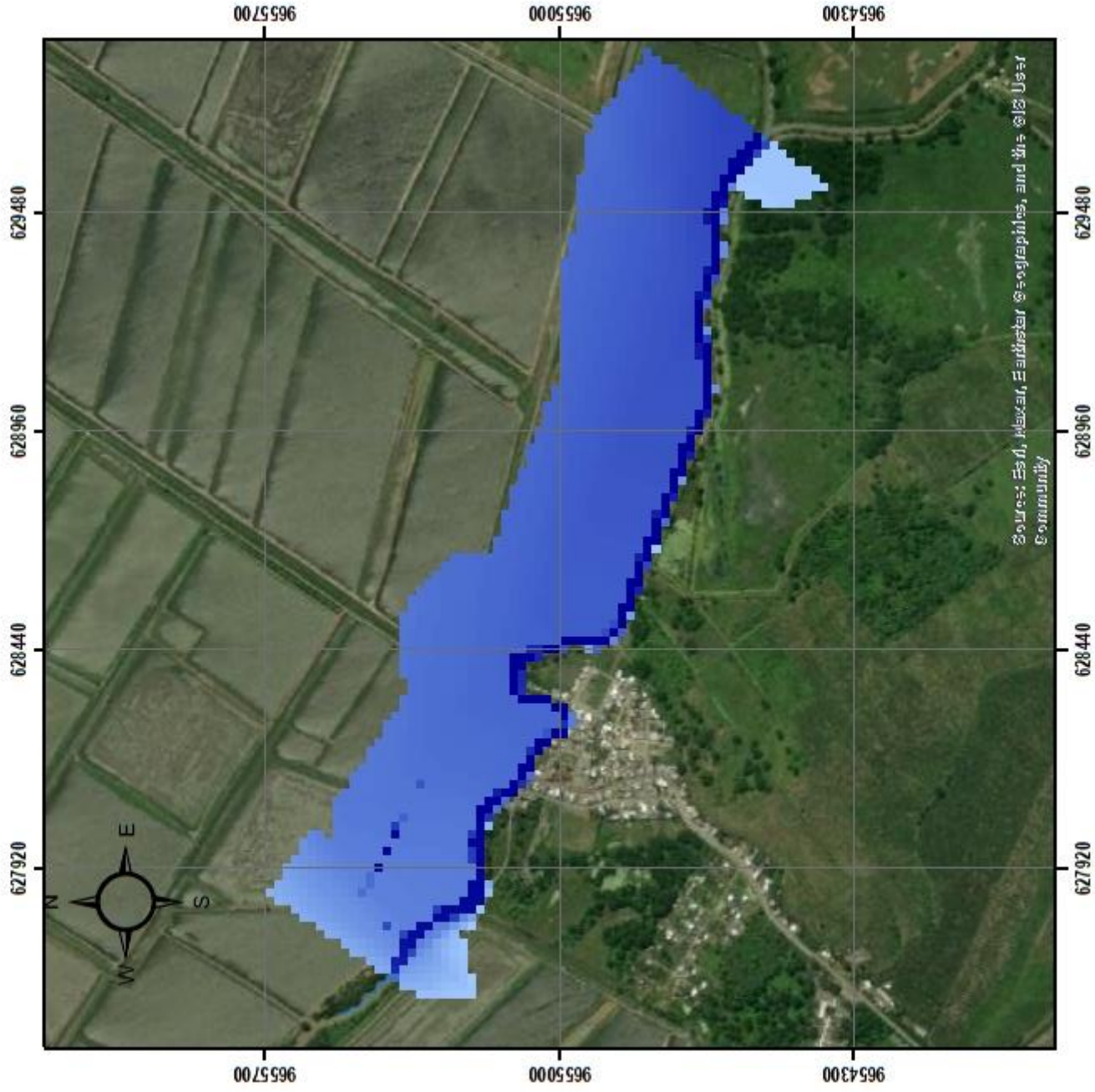
Escala gráfica:



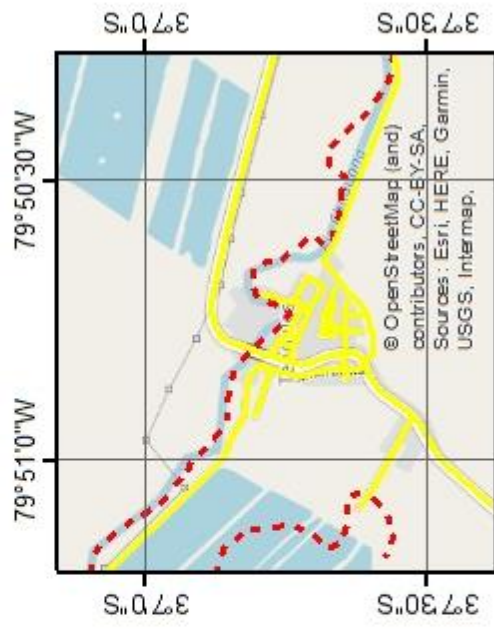
## **8.5 Mapas de Inundación**



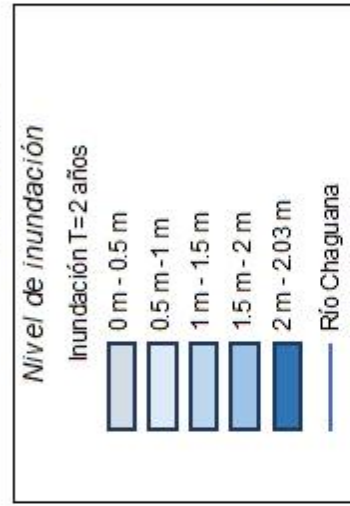
# MAPA DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS



## UBICACIÓN



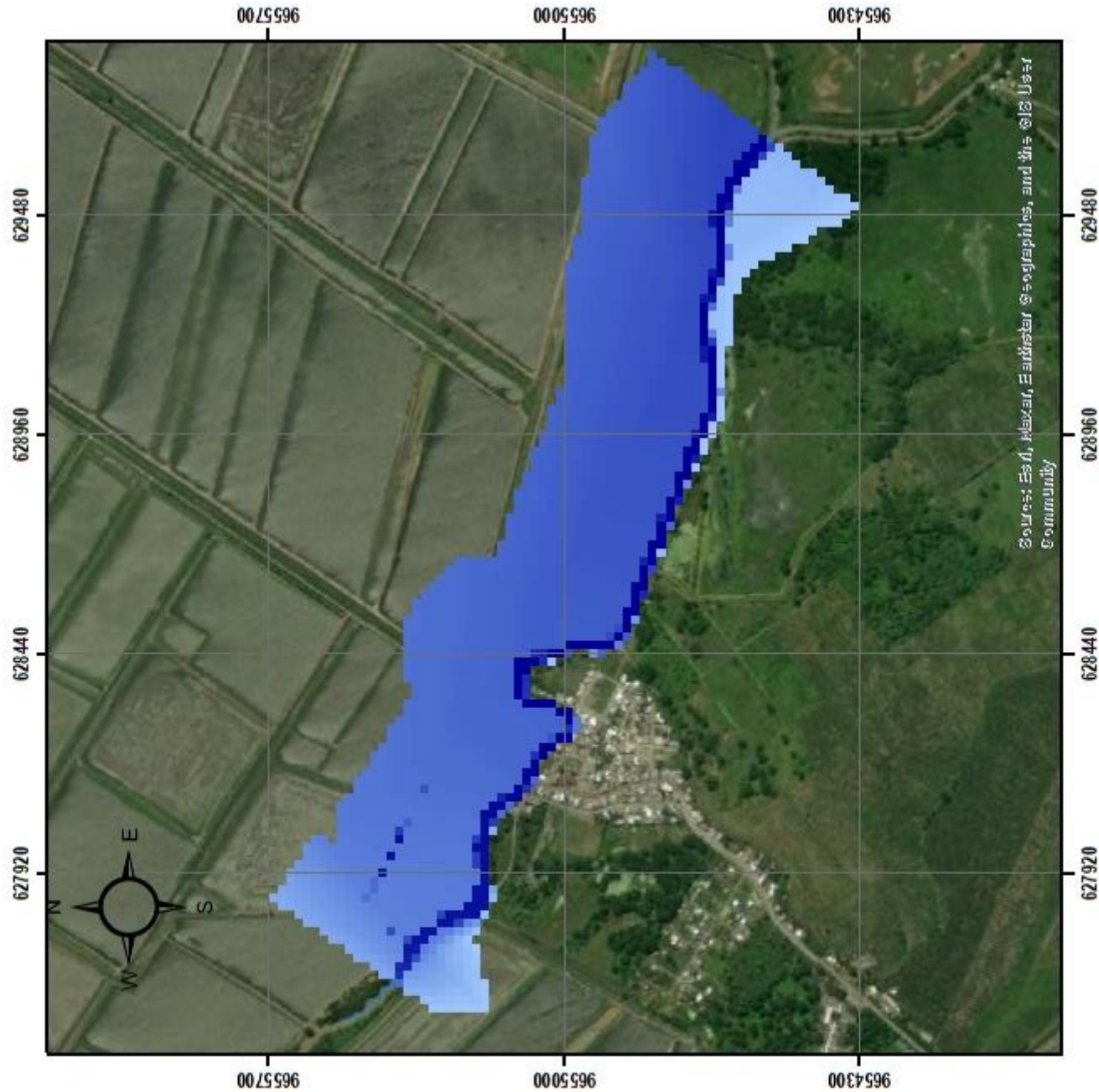
Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:25,000



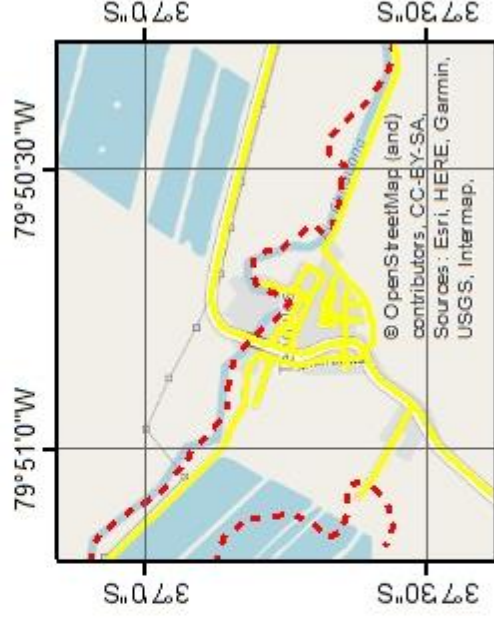
<b>Elaborado por:</b>	Alex Bismark Henriquez Ortega
<b>Levantamiento realizado con sistema de coordenadas</b>	WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona
<b>Escala:</b>	1:15,000
<b>Escala gráfica:</b>	0 135 270 540 810 1,080 Metros



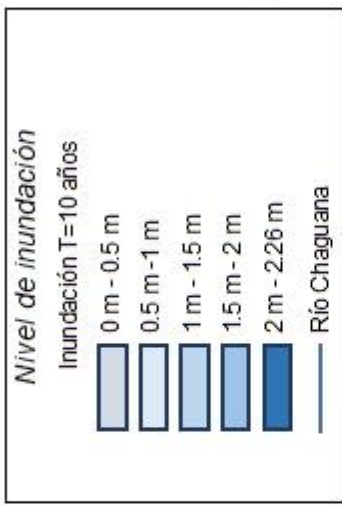
# MAPA DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS



## UBICACIÓN



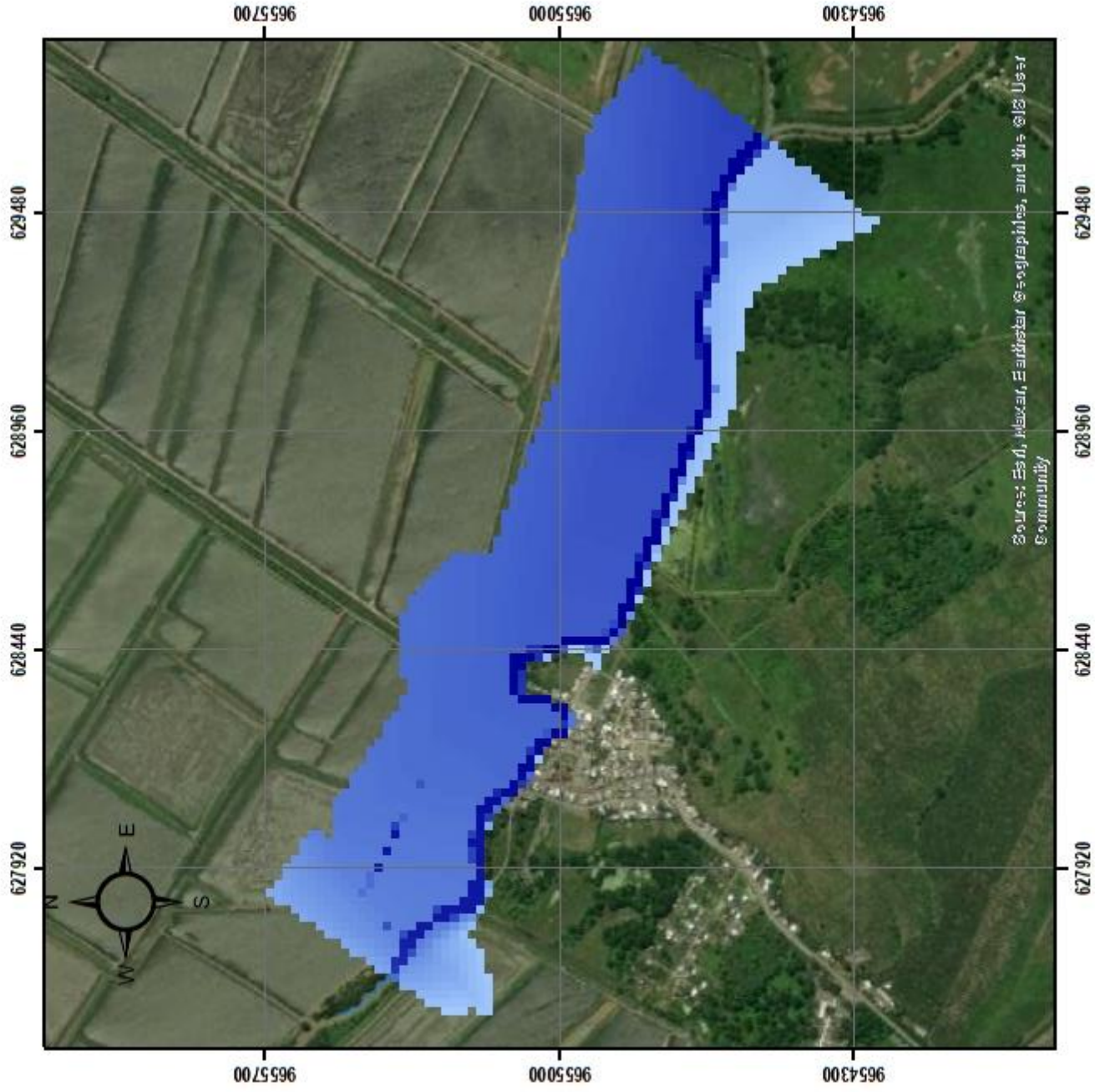
Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:25,000



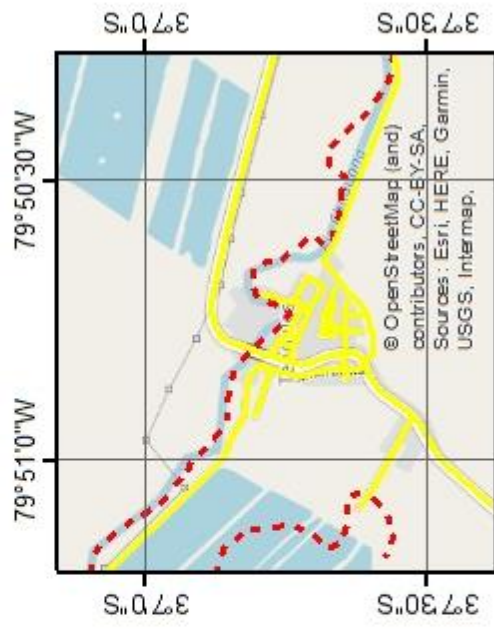
<b>Elaborado por:</b> Alex Bismark Henríquez Ortega
Levantamiento realizado con sistema de coordenadas WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona
<b>Escala:</b> 1:15,000
<b>Escala gráfica:</b> 0 135 270 540 810 1,080 Metros



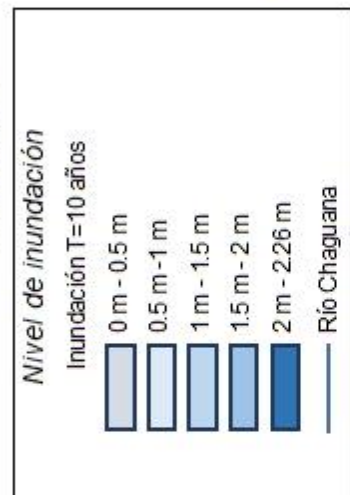
# MAPA DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS



## UBICACIÓN



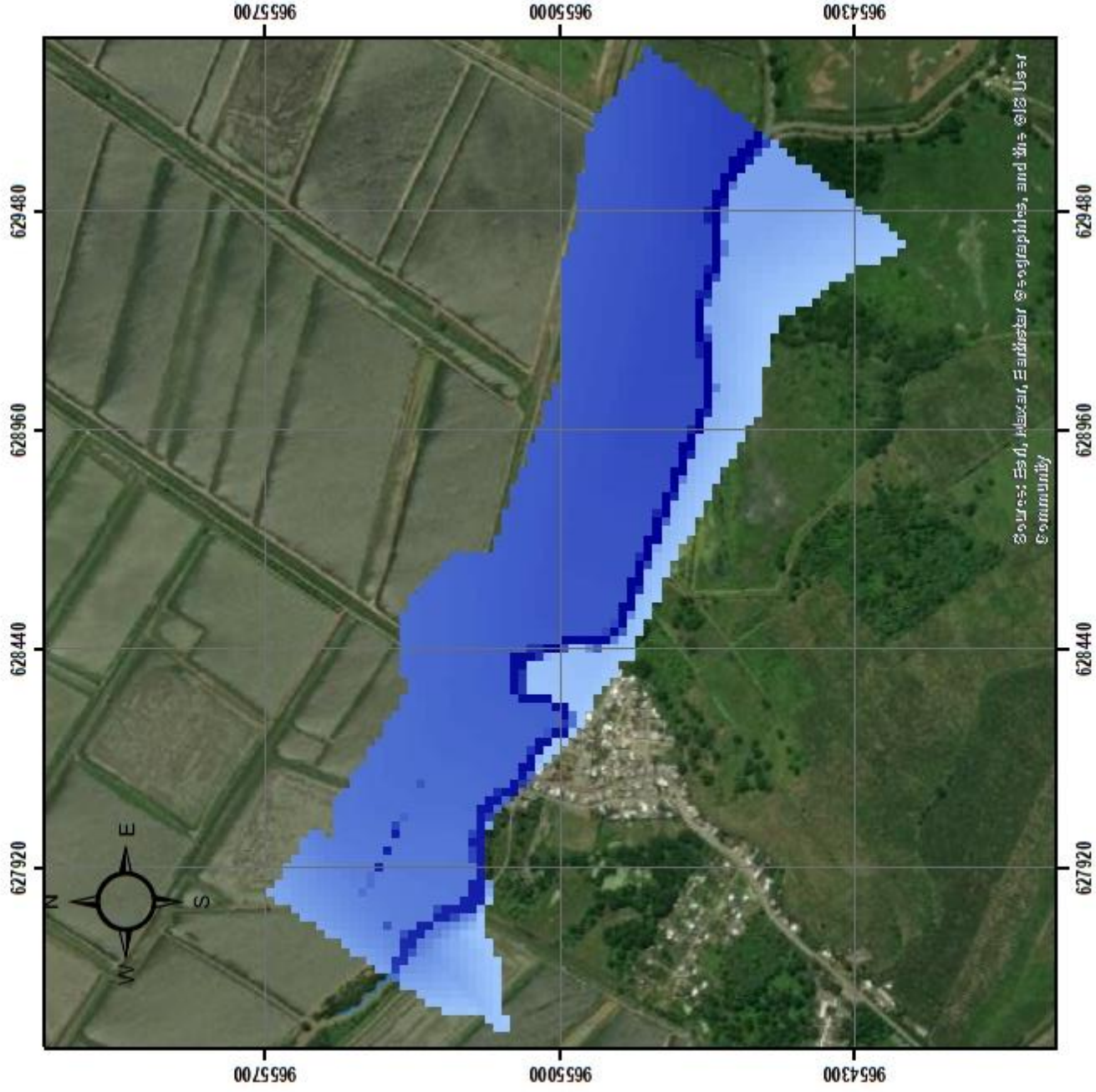
Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:25,000



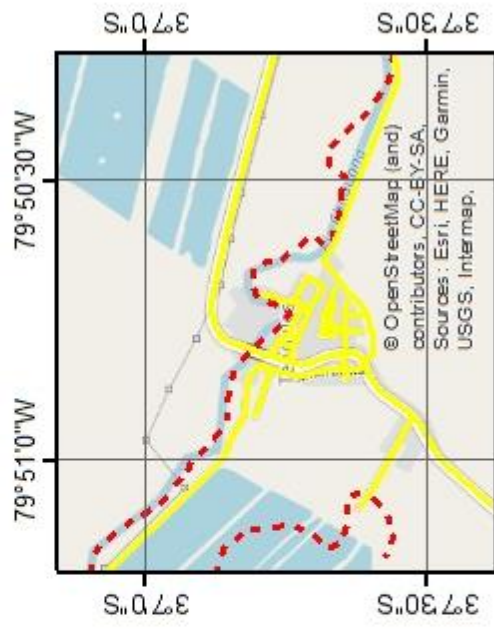
<b>Elaborado por:</b>	Alex Bismark Henriquez Ortega
<b>Levantamiento realizado con sistema de coordenadas</b>	WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona
<b>Escala:</b>	1:15,000
<b>Escala gráfica:</b>	



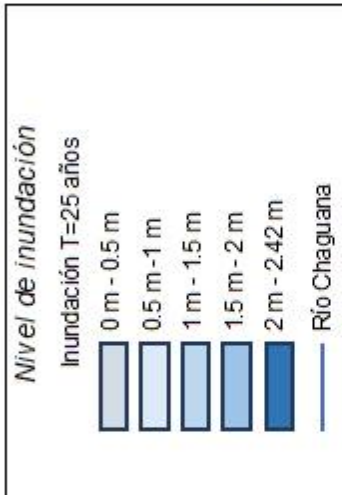
# MAPA DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS



## UBICACIÓN



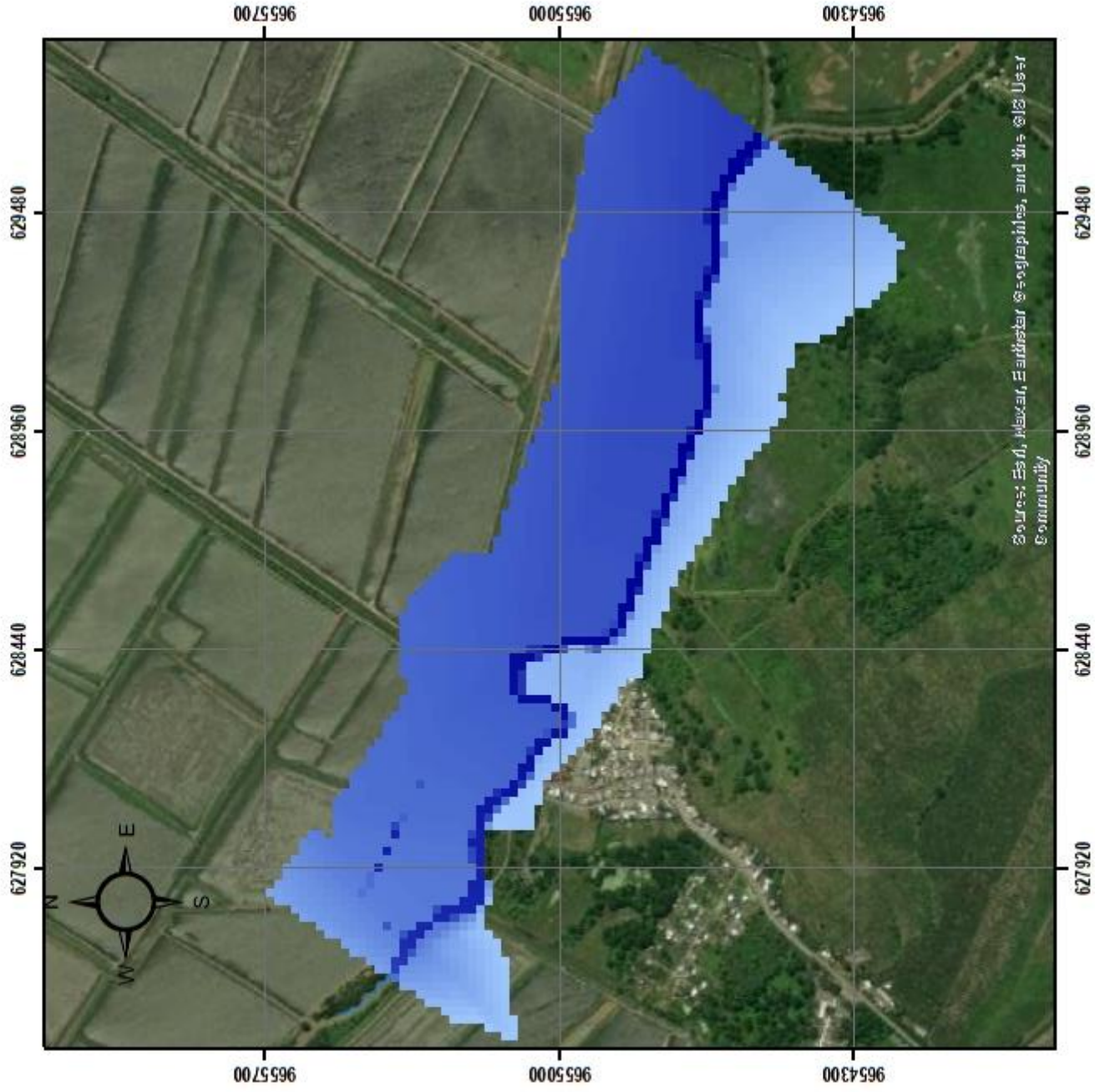
Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:25,000



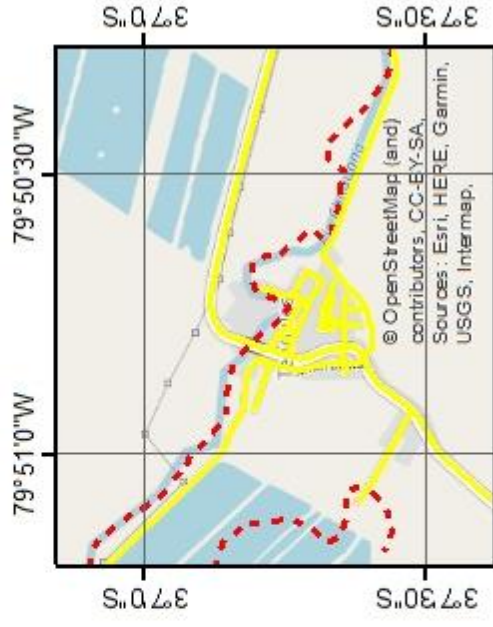
<b>Elaborado por:</b>	Alex Bismark Henríquez Ortega
<b>Levantamiento realizado con sistema de coordenadas</b>	WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona
<b>Escala:</b>	1:15,000
<b>Escala gráfica:</b>	0 135 270 540 810 1,080 Metros



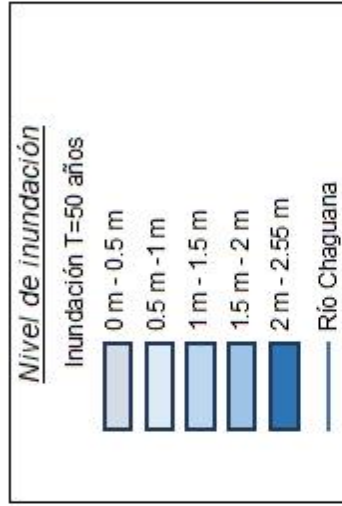
# MAPA DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS



## UBICACIÓN



Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:25,000

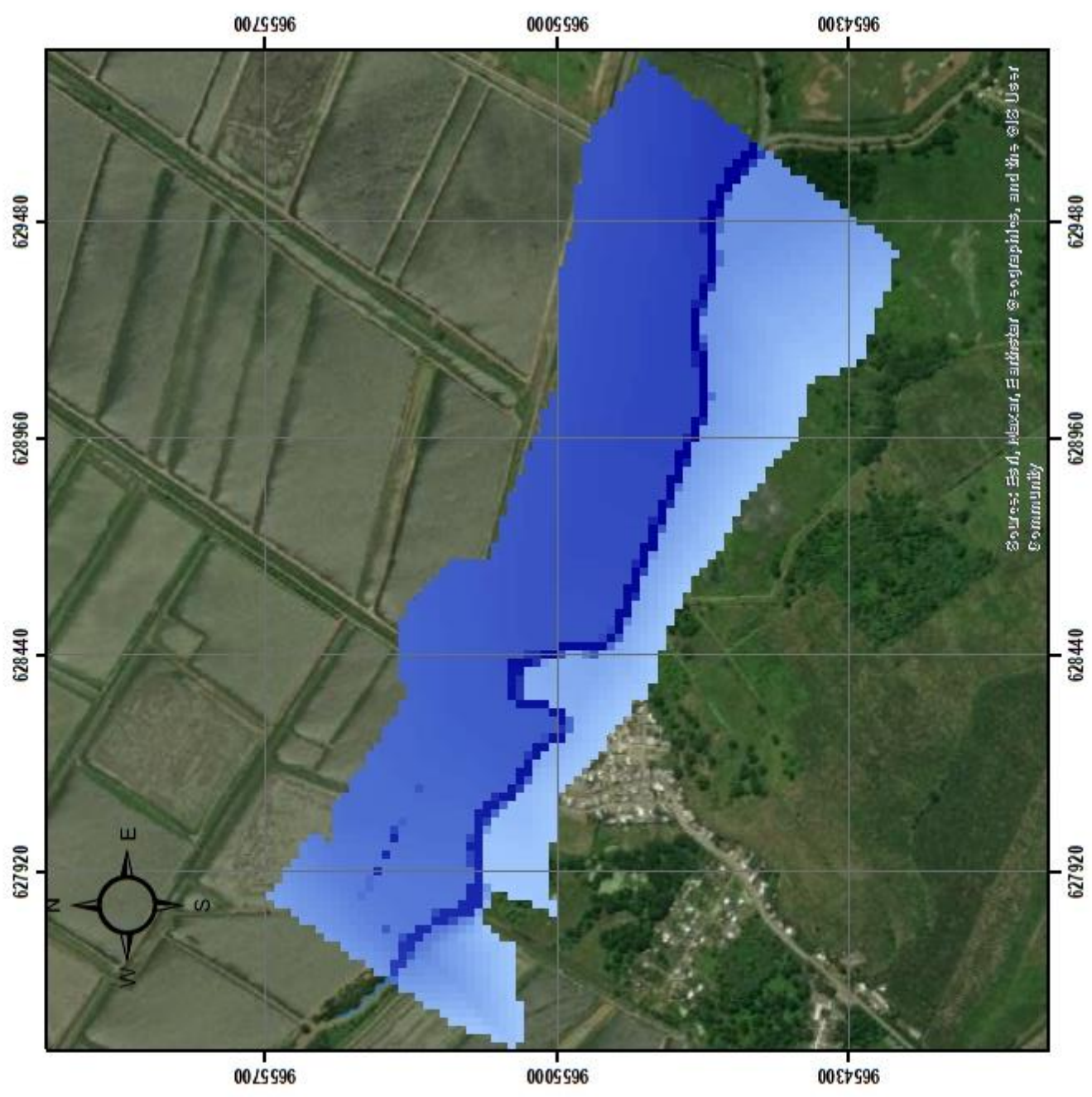


<b>Elaborado por:</b>	Alex Bismark Henriquez Ortega
<b>Levantamiento realizado con sistema de coordenadas</b>	WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona
<b>Escala:</b>	1:15,000
<b>Escala gráfica:</b>	

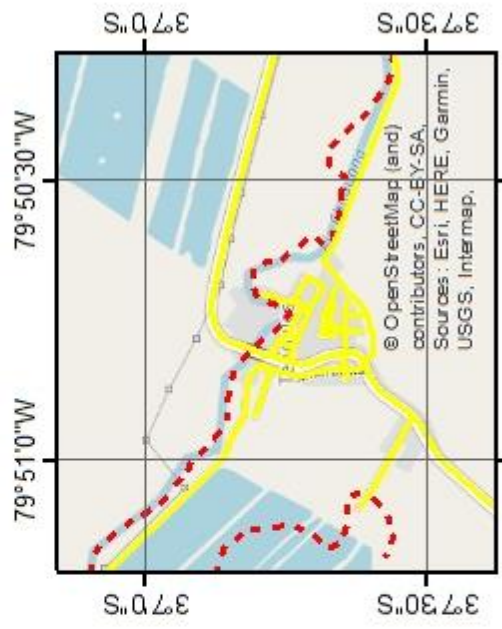




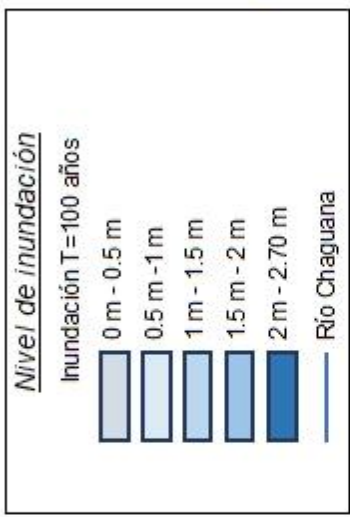
# MAPA DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS



## UBICACIÓN



Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:25,000

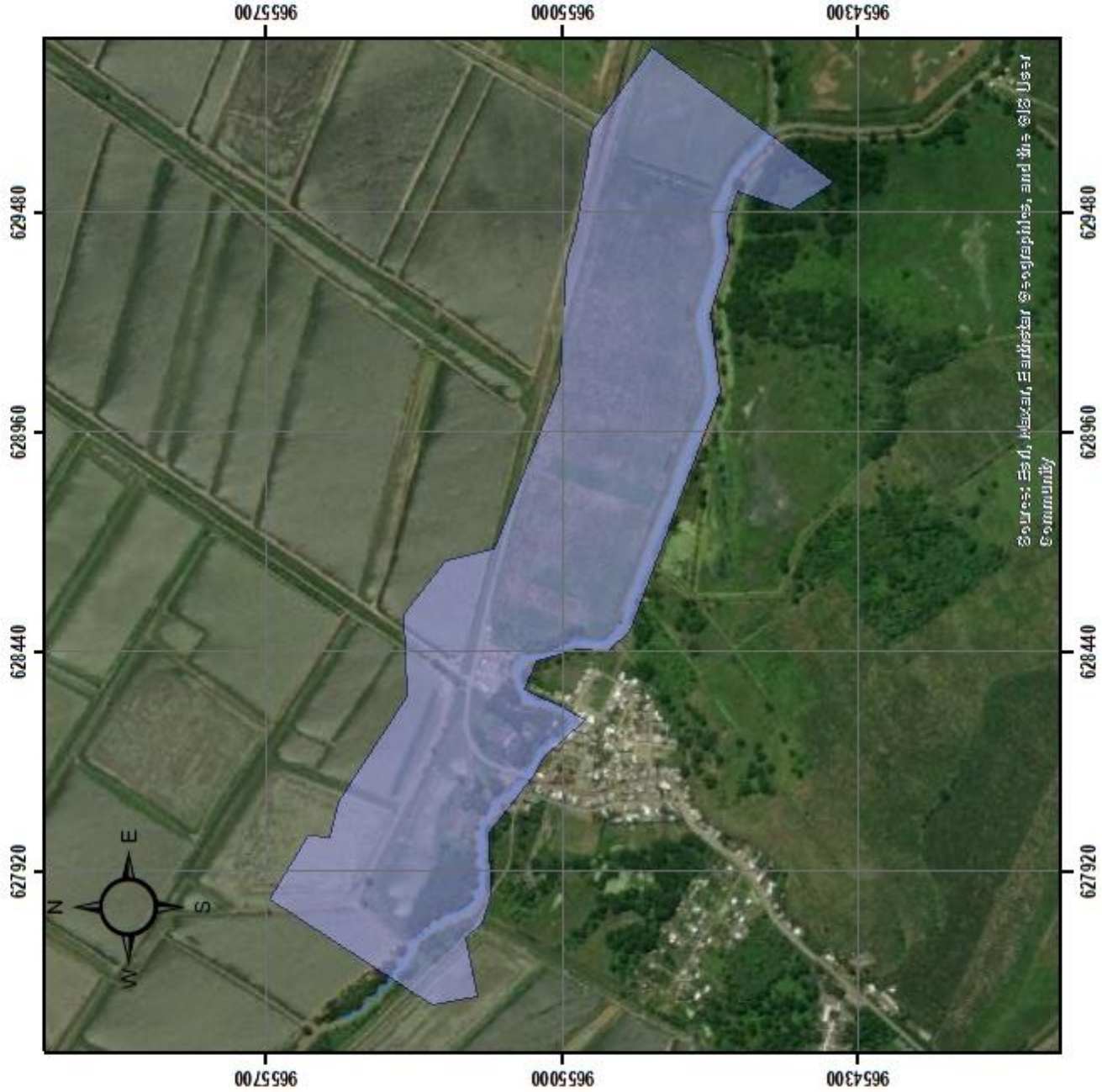


<b>Elaborado por:</b>
Alex Bismark Henríquez Ortega
Levantamiento realizado con sistema de coordenadas WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona
<b>Escala:</b>
1:15,000
<b>Escala gráfica:</b>

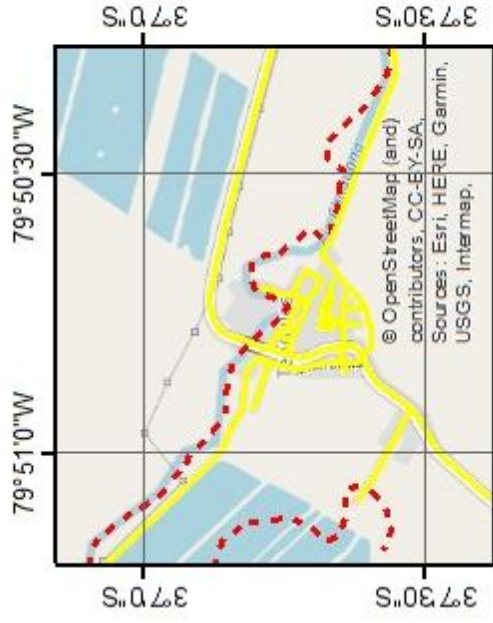
## **8.6 Mapas de Márgenes de Inundación**



# MAPA DE MARGEN DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS



## UBICACIÓN



Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:25,000



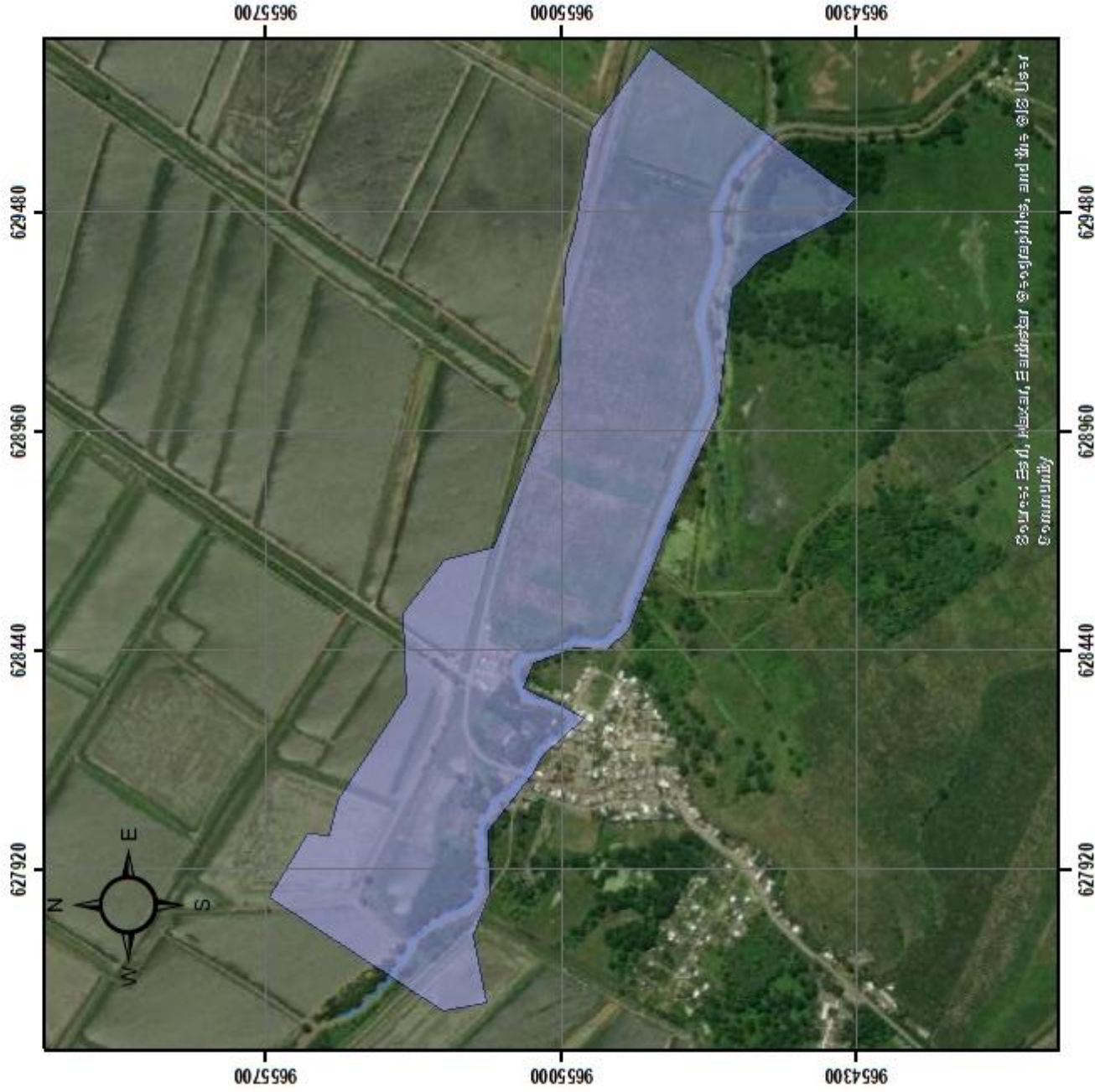
## Contenido

- Margen T=2 años
- Margen de inundación
- Río Chaguana

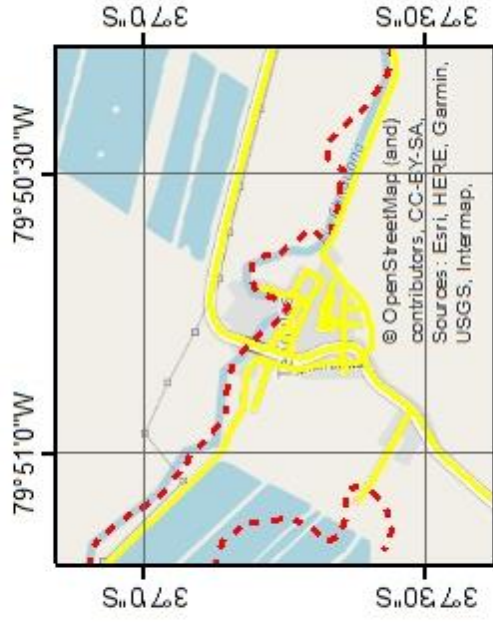
<b>Elaborado por:</b>	Alex Bismark Henríquez Ortega
<b>Levantamiento realizado con sistema de coordenadas</b>	WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona
<b>Escala:</b>	1:15,000
<b>Escala gráfica:</b>	



# MAPA DE MARGEN DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS



## UBICACIÓN



Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:25,000



## Contenido

Margen T=5 años

— Margen de inundación

— Río Chaguana

Elaborado por:

Alex Bismark Henríquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona

Escala:

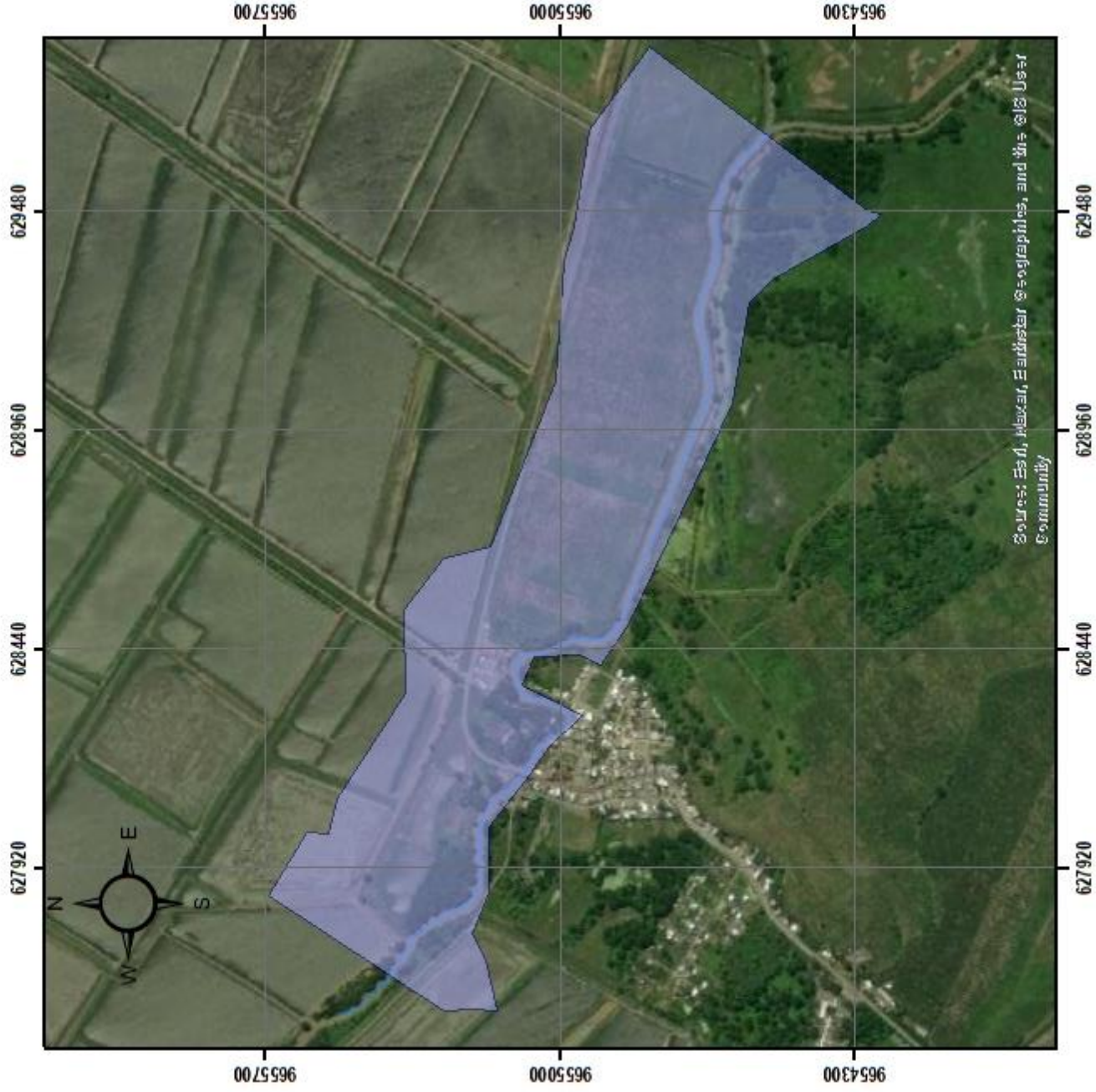
1:15,000

Escala gráfica:

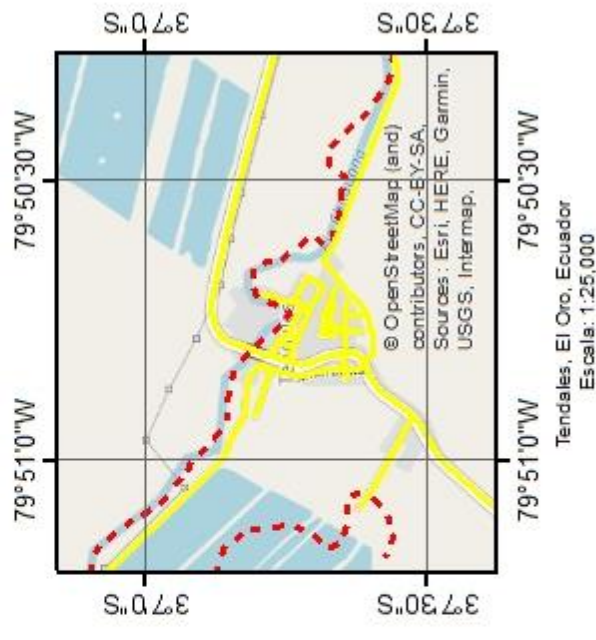




# MAPA DE MARGEN DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS



## UBICACIÓN



## Contenido

Margen T=10 años

- Margen de inundación
- Río Chaguana



## Elaborado por:

Alex Bismark Henriquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona

## Escala:

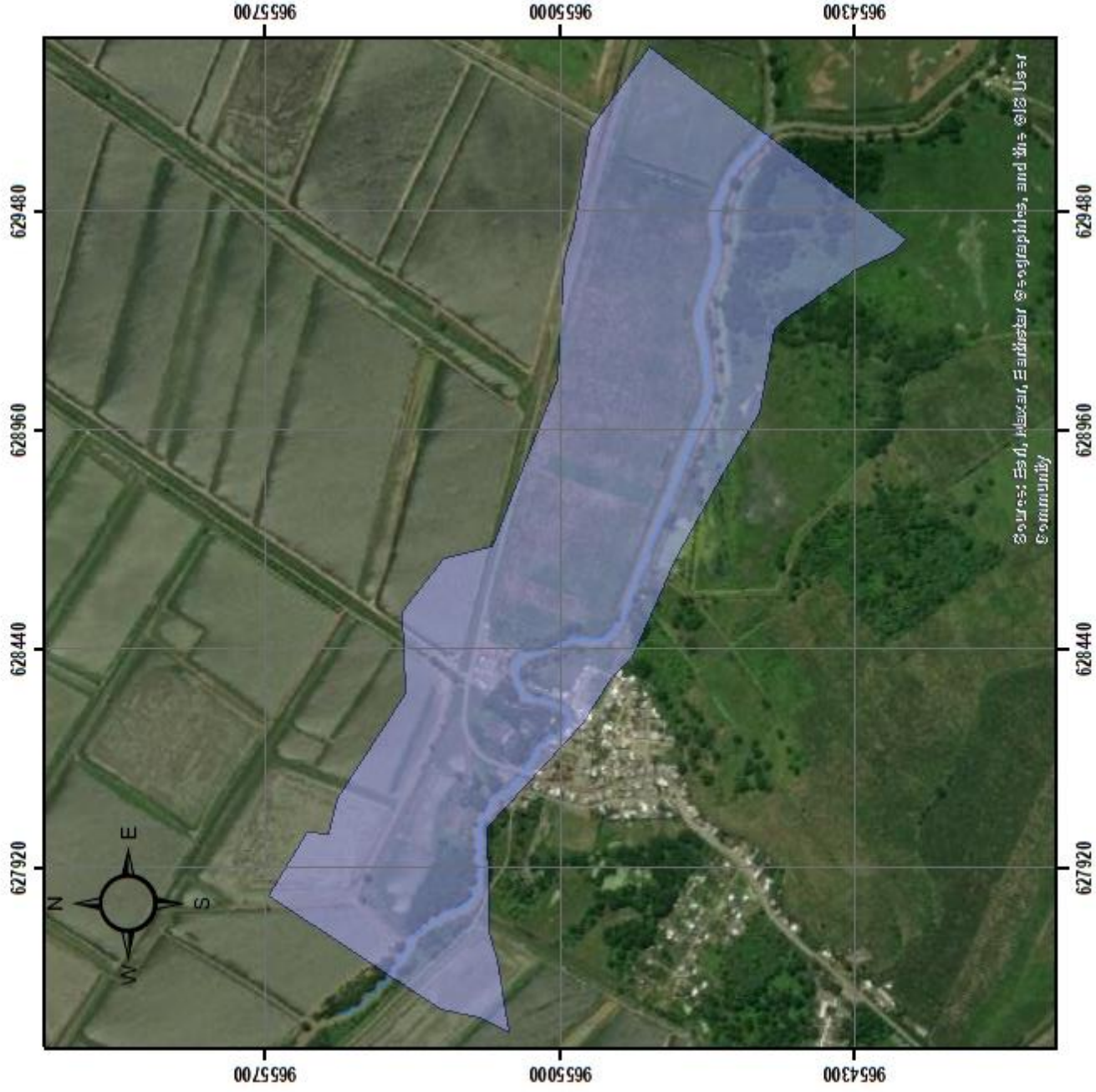
1:15,000

## Escala gráfica:

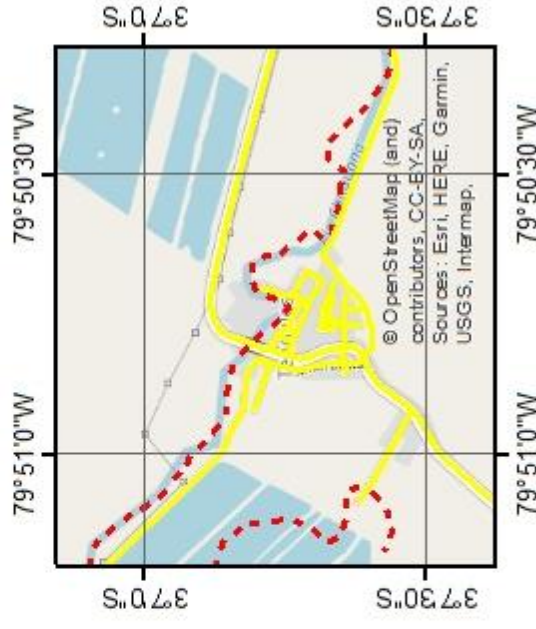




# MAPA DE MARGEN DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS



## UBICACIÓN





Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:25,000



## Contenido

Margen T=25 años

-  Margen de inundación
-  Rio Chaguana

Elaborado por:

Alex Bismark Henriquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona

Escala:

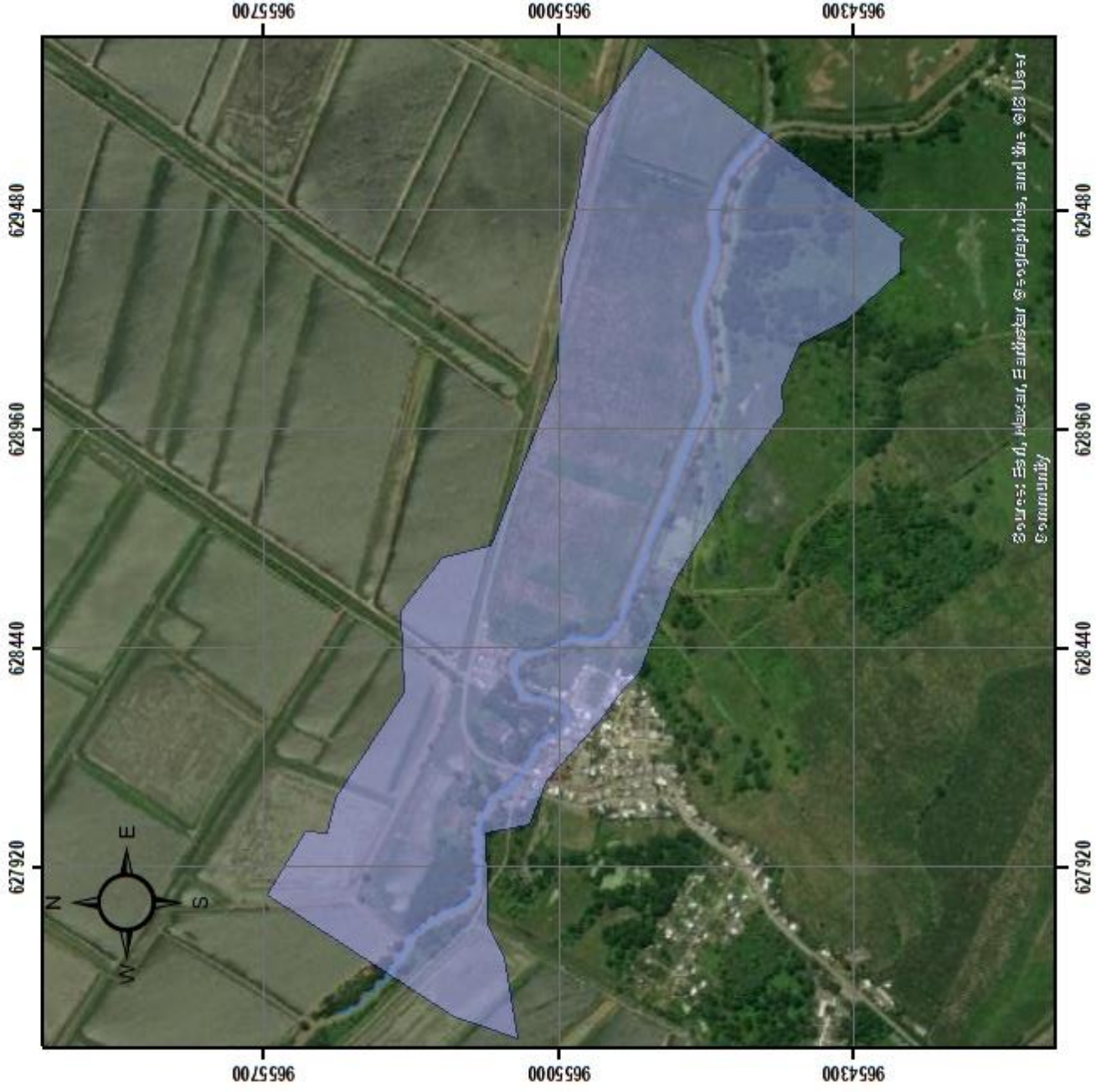
1:15,000

Escala gráfica:

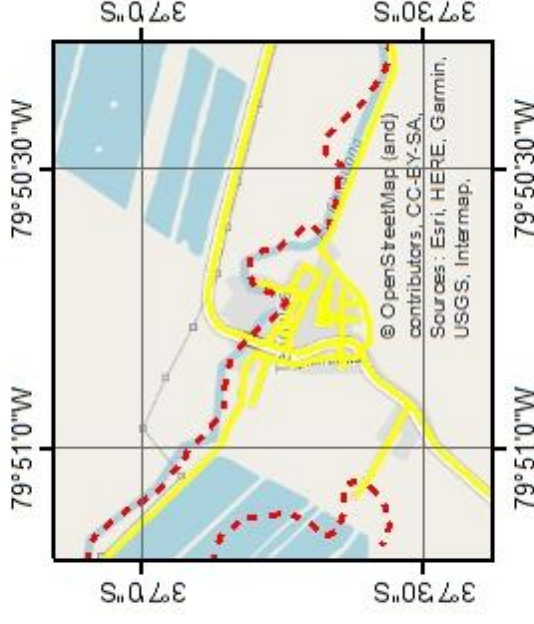




# MAPA DE MARGEN DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS



## UBICACIÓN



## Contenido

Margen T=50 años

-  Margen de inundación
-  Río Chaguana



Elaborado por:

Alex Bismark Henríquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona

Escala:

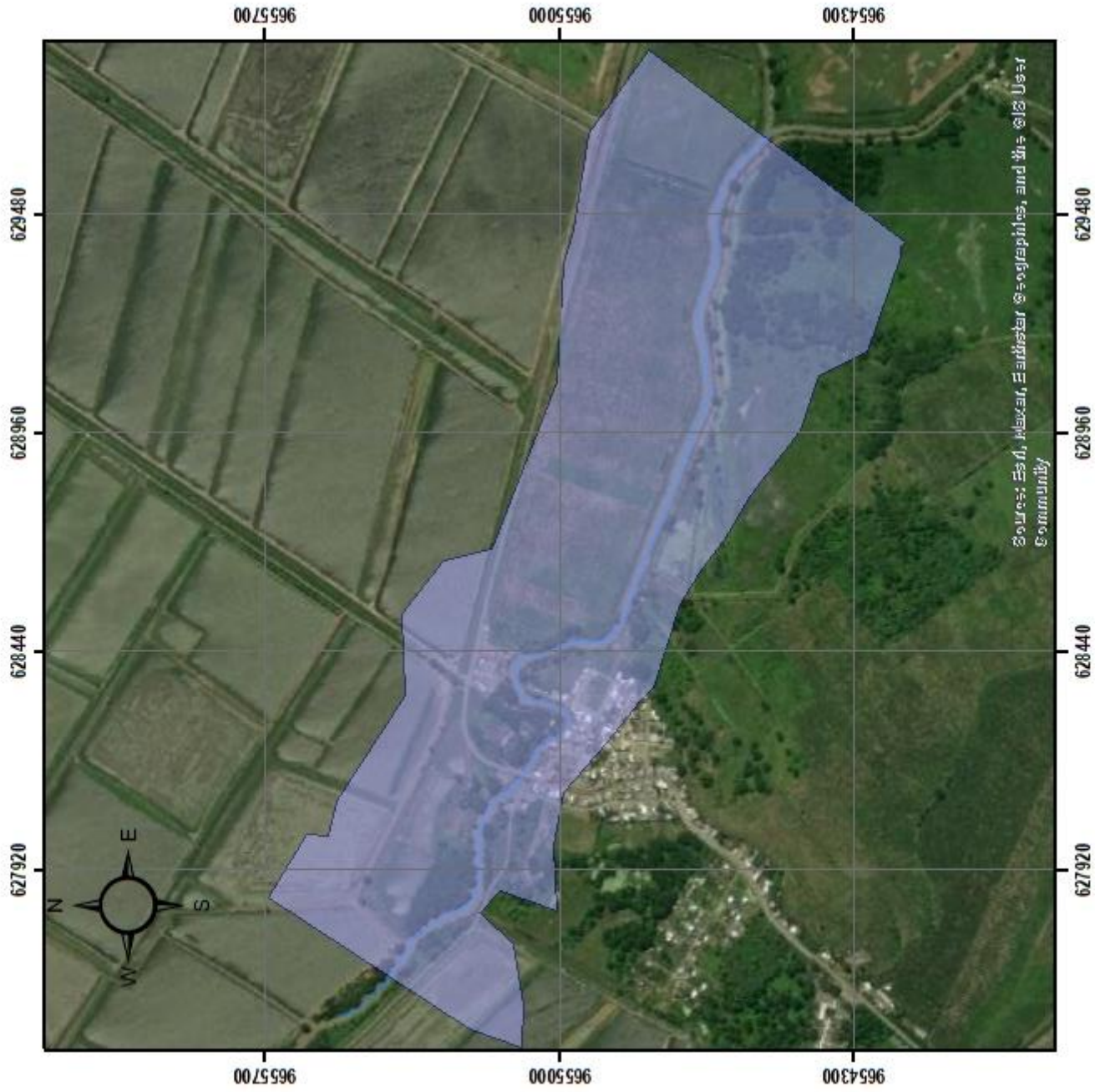
1:15,000

Escala gráfica:

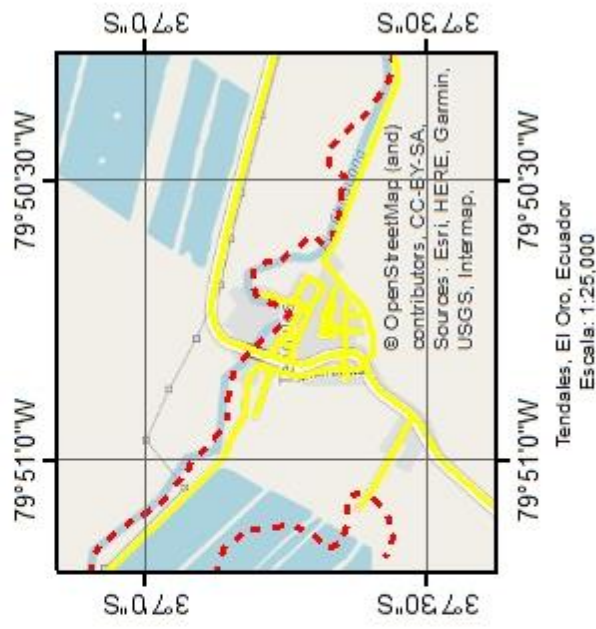




# MAPA DE MARGEN DE INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS



## UBICACIÓN



**Contenido**

- Margen T=100 años
- Margen de inundación
- Río Chaguana

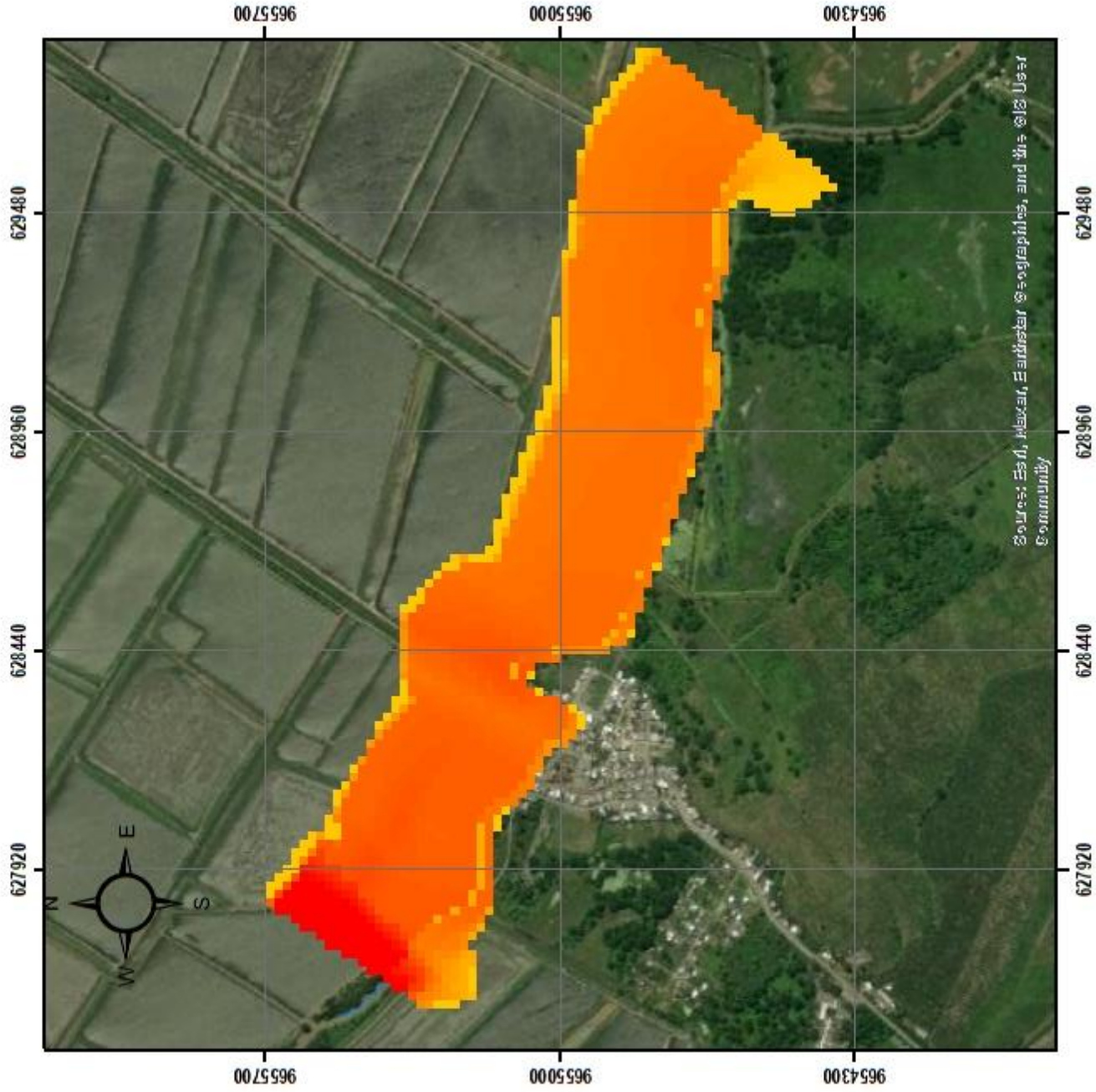


<b>Elaborado por:</b>	Alex Bismark Henriquez Ortega
<b>Levantamiento realizado con sistema de coordenadas</b>	WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona
<b>Escala:</b>	1:15,000
<b>Escala gráfica:</b>	0 135 270 540 810 1,080 Metros

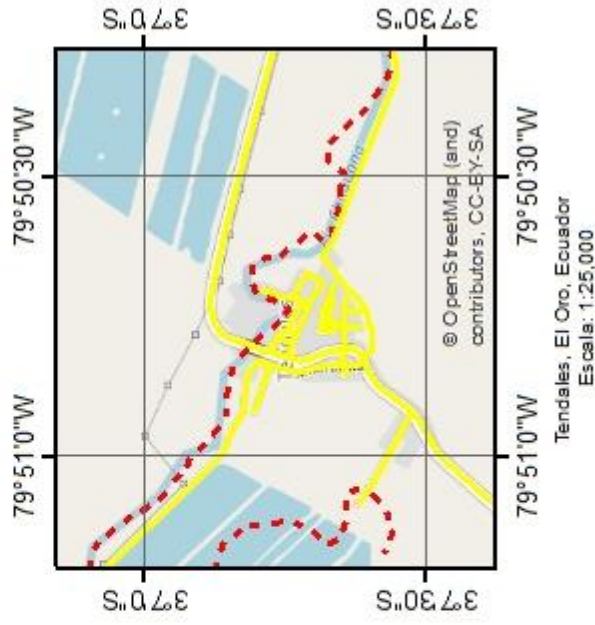
## **8.7 Mapas de Riesgo a Inundaciones**



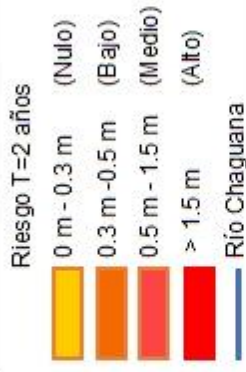
# MAPA DE RIESGO A INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS



## UBICACIÓN



### Nivel de riesgo a inundación



Elaborado por:

Alex Bismark Henriquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona

Escala:

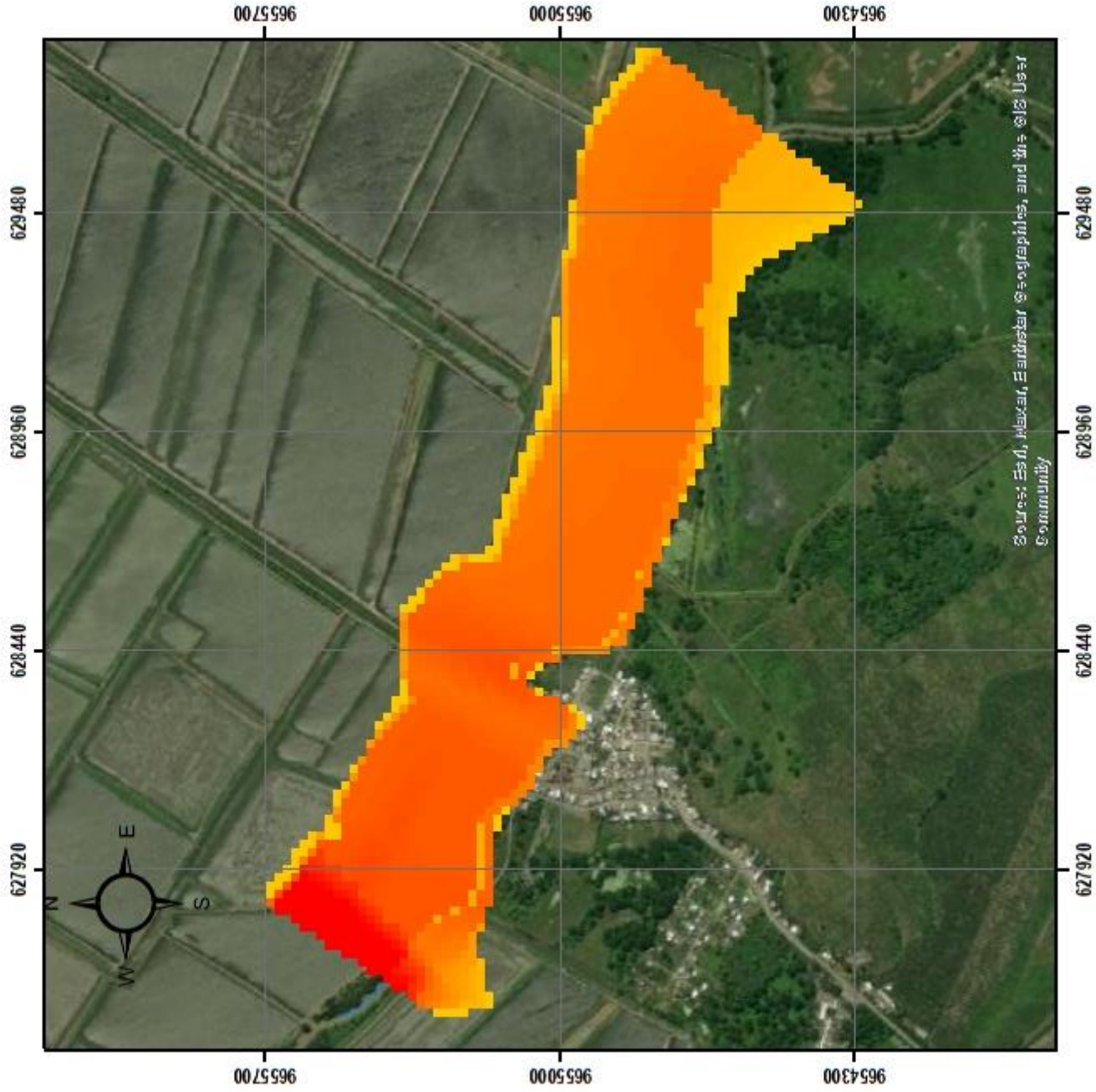
1:15,000

Escala gráfica:

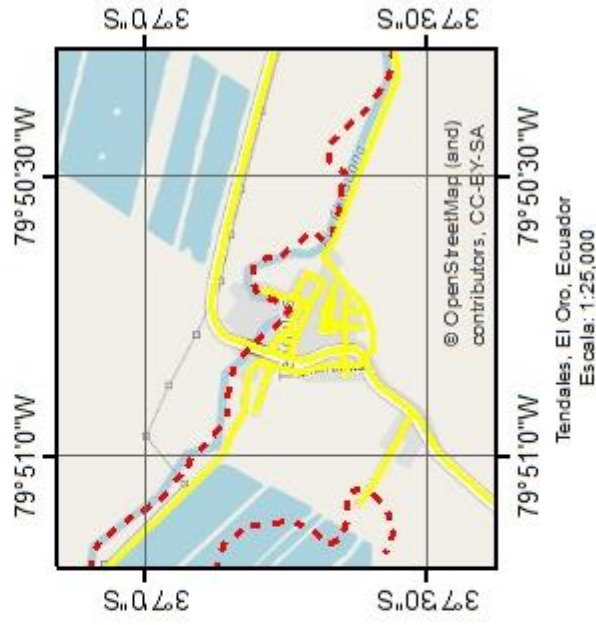




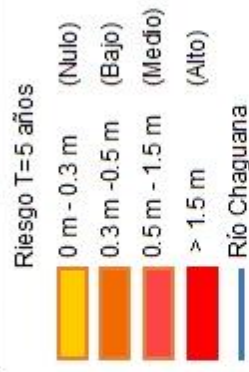
# MAPA DE RIESGO A INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS



## UBICACIÓN



### Nivel de riesgo a inundación



Elaborado por:

Alex Bismark Henriquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proj. Cart. UTM Zona

Escala:

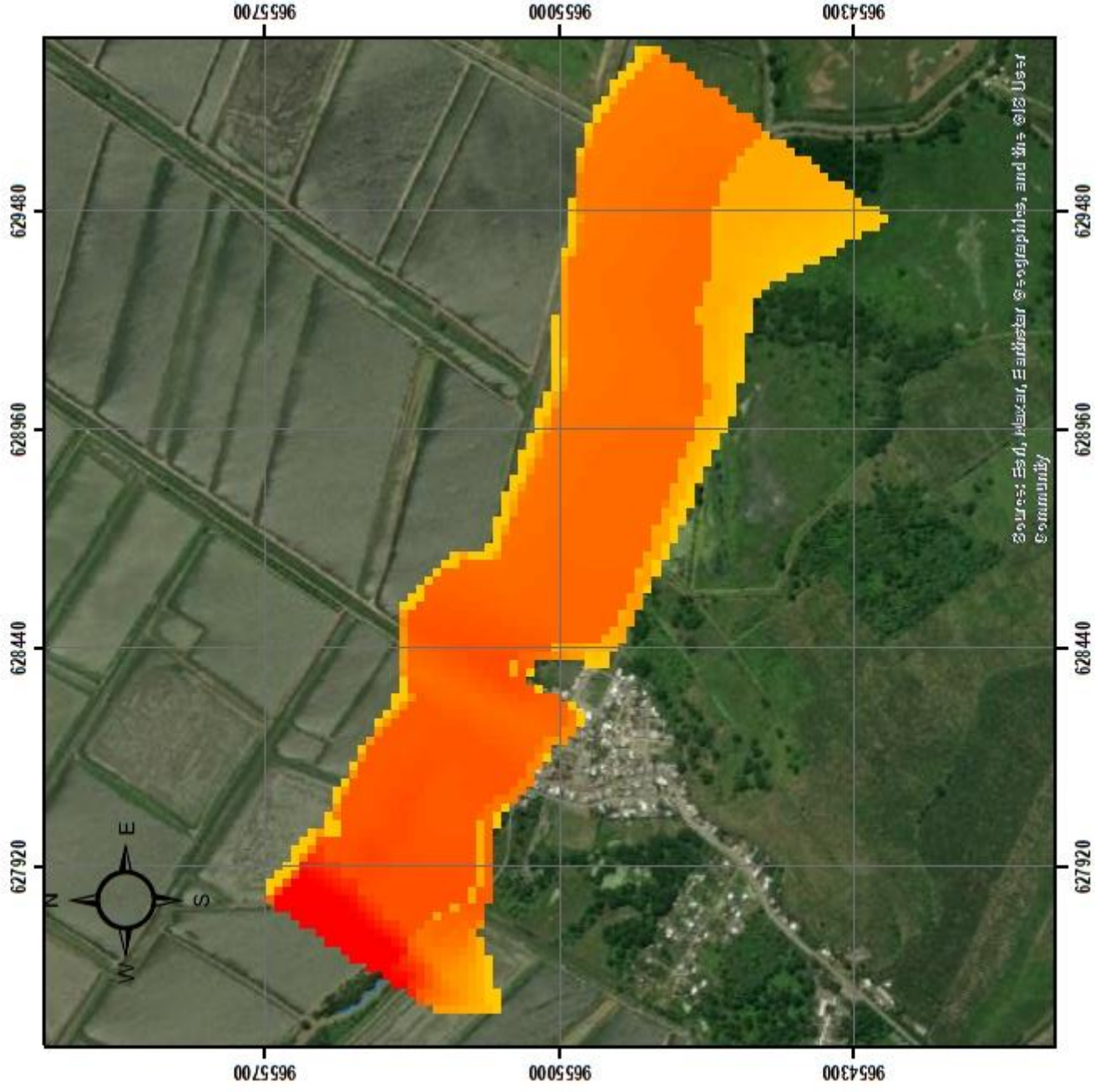
1:15,000

Escala gráfica:

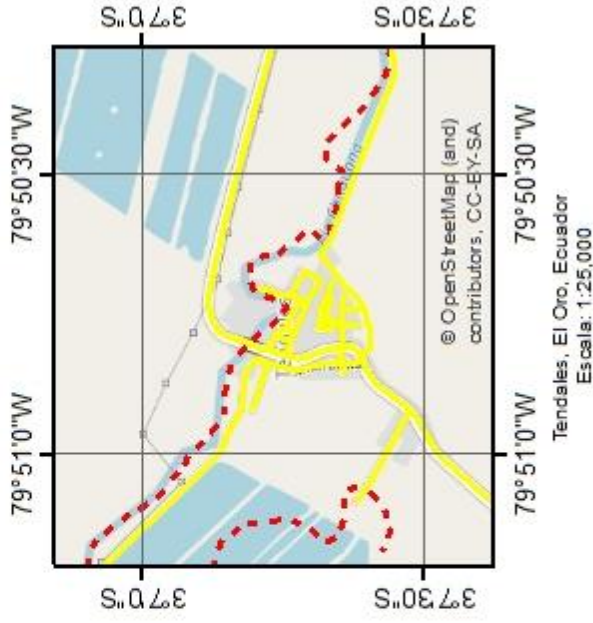




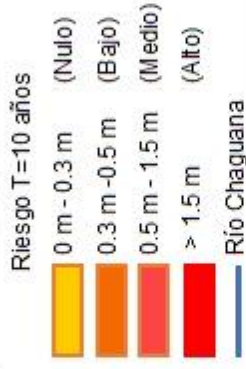
# MAPA DE RIESGO A INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS



## UBICACIÓN



## Nivel de riesgo a inundación



Elaborado por:

Alex Bismark Henriquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona

Escala:

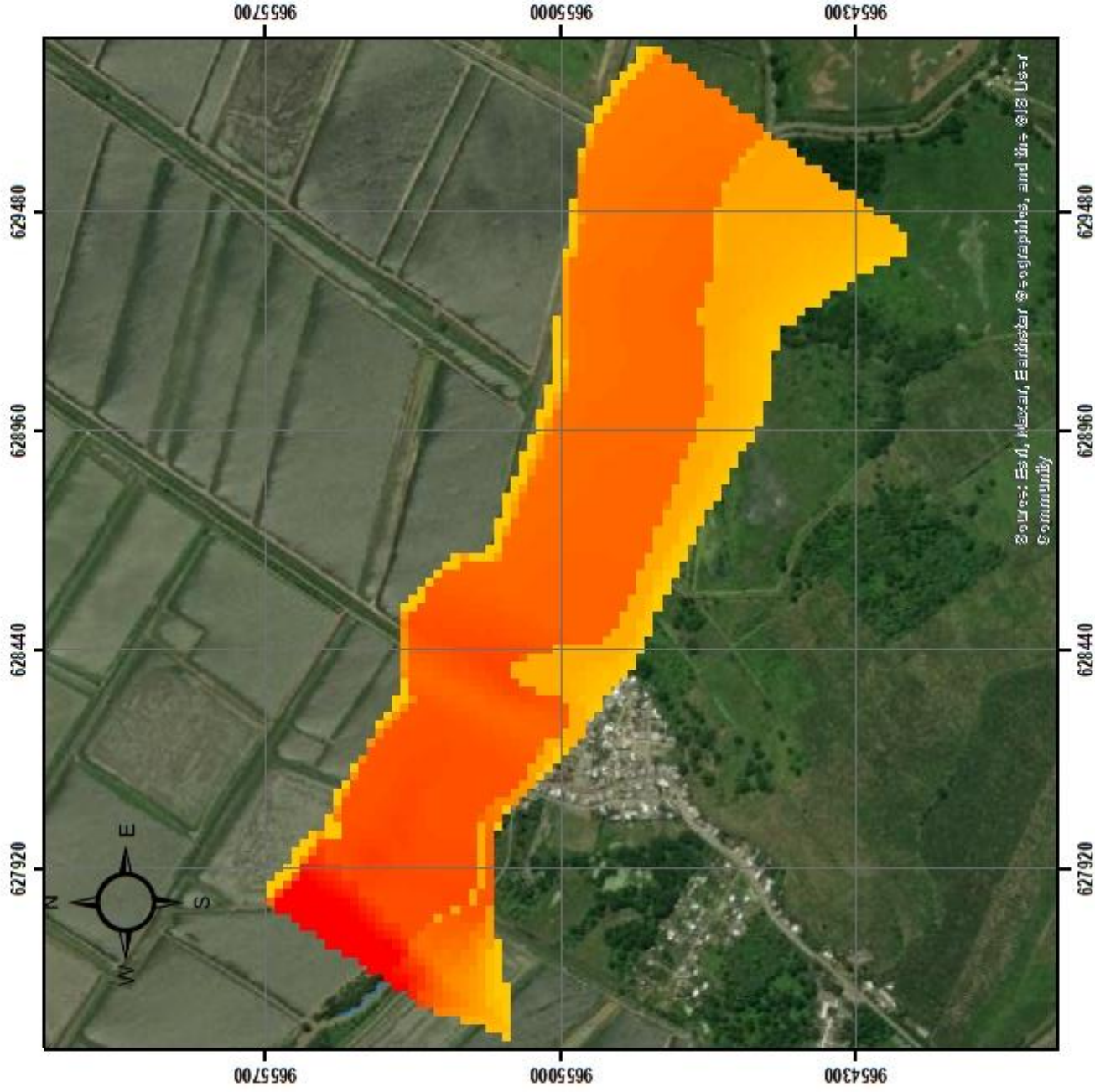
1:15,000

Escala gráfica:

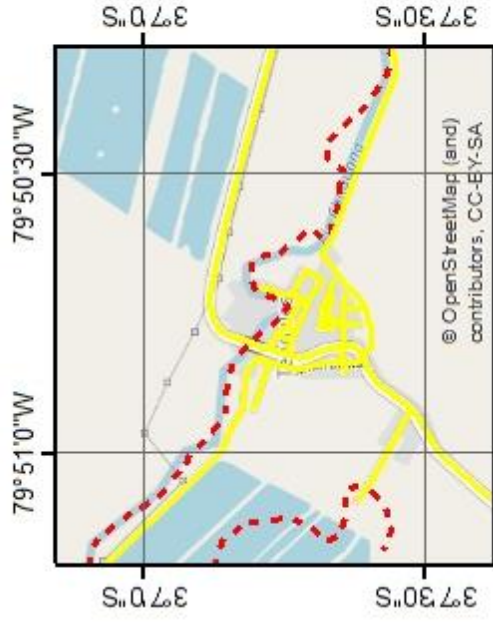




# MAPA DE RIESGO A INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS



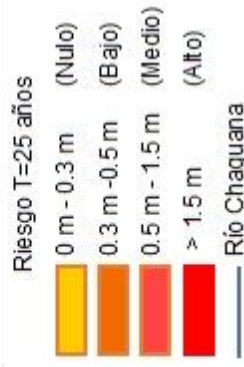
## UBICACIÓN



Tendales, El Oro, Ecuador  
Escala: 1:25,000



### Nivel de riesgo a inundación



### Elaborado por:

Alex Bismark Henríquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proy. Cart. UTM Zona

### Escala:

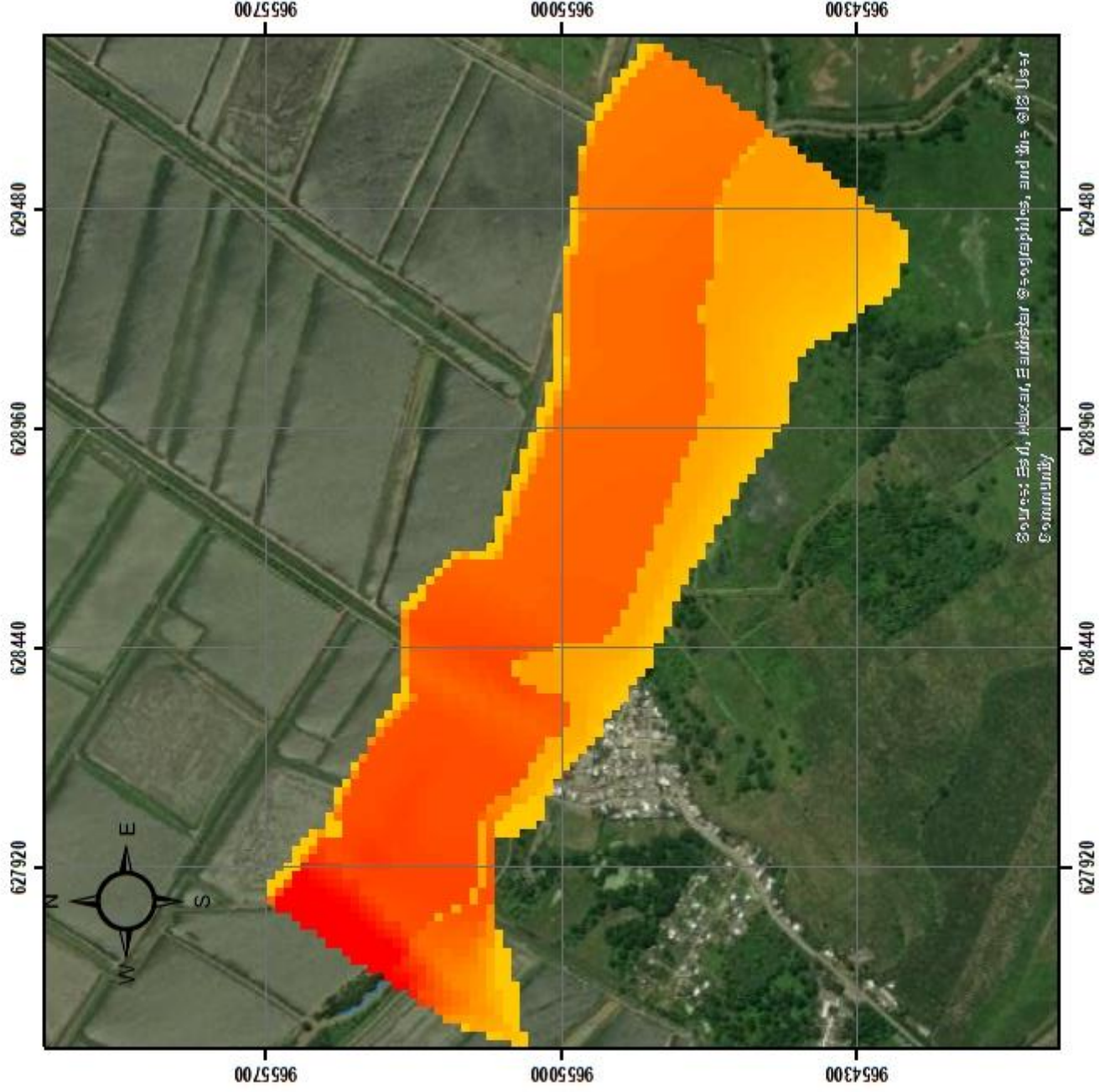
1:15,000

### Escala gráfica:

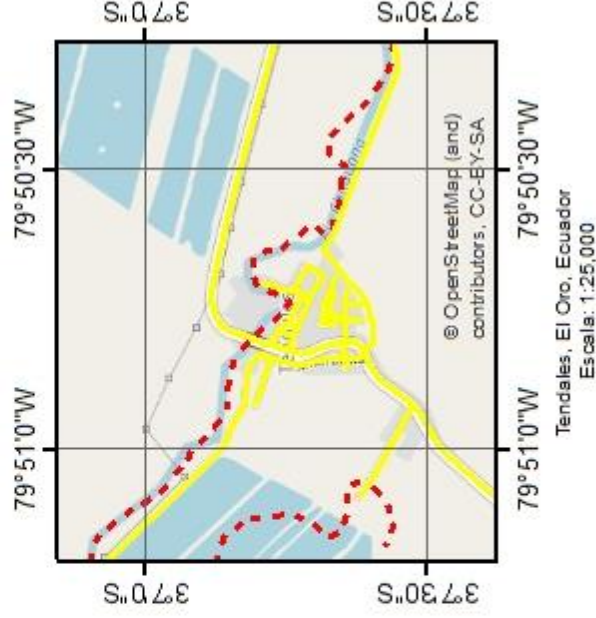




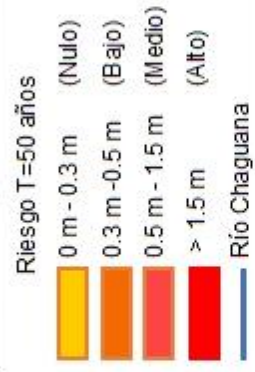
# MAPA DE RIESGO A INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS



## UBICACIÓN



## Nivel de riesgo a inundación



Elaborado por:

Alex Bismark Henriquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas WGS 84 - Proj. Cart. UTM Zona

Escala:

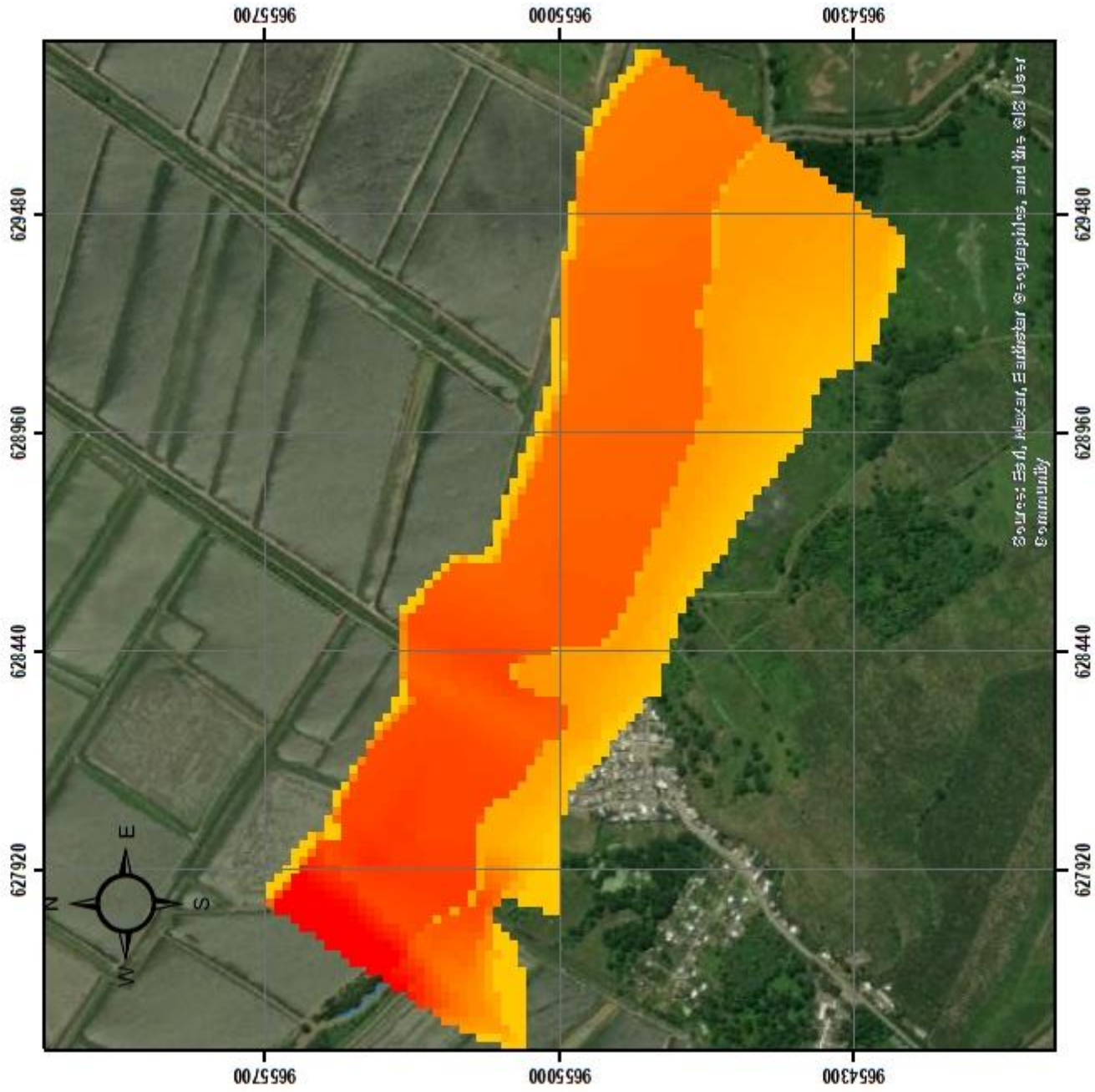
1:15,000

Escala gráfica:

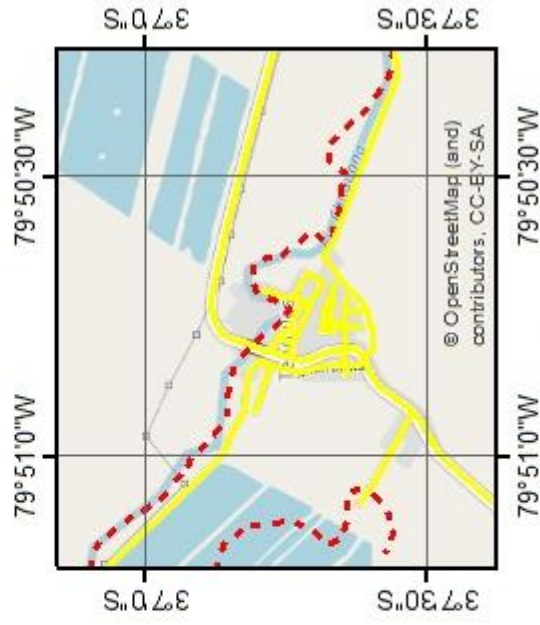




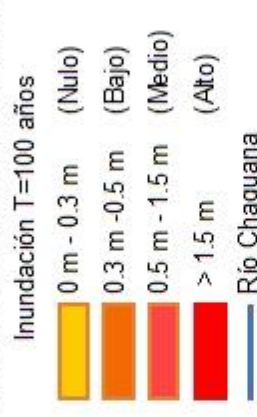
# MAPA DE RIESGO A INUNDACIÓN PLUVIAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS



## UBICACIÓN



## Nivel de riesgo a inundación



Elaborado por:

Alex Bismark Henriquez Ortega

Levantamiento realizado con sistema de coordenadas  
WGS 84 - Proj. Cart. UTM Zona

Escala:

1:15,000

Escala gráfica:

