



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Estudio de la vulnerabilidad hidrológica a inundaciones en poblaciones  
menores a 10,000 habitantes.**

**FLORES SOTO CRISTOFFER GABRIEL  
INGENIERO CIVIL**

**GRANDA CHACHA SMITH ALEXANDER  
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Estudio de la vulnerabilidad hidrológica a inundaciones en  
poblaciones menores a 10,000 habitantes.**

**FLORES SOTO CRISTOFFER GABRIEL  
INGENIERO CIVIL**

**GRANDA CHACHA SMITH ALEXANDER  
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTOS TÉCNICOS**

**Estudio de la vulnerabilidad hidrológica a inundaciones en  
poblaciones menores a 10,000 habitantes.**

**FLORES SOTO CRISTOFFER GABRIEL  
INGENIERO CIVIL**

**GRANDA CHACHA SMITH ALEXANDER  
INGENIERO CIVIL**

**ESPINOZA CORREA JESUS ENRIQUE**

**MACHALA  
2024**

# Estudio de la vulnerabilidad hidrológica a inundaciones en poblaciones menores a 10,000 habitantes

*por* Smith Granda

---

**Fecha de entrega:** 02-ago-2024 11:05a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2426325762

**Nombre del archivo:** Estudio de la vulnerabilidad hidrológica a inundaciones en poblaciones menores a 10,000 habitantes (3.17M)

**Total de palabras:** 13332

**Total de caracteres:** 72933

# Estudio de la vulnerabilidad hidrológica a inundaciones en poblaciones menores a 10,000 habitantes

## INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

%

FUENTES DE INTERNET

%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	3%
2	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	1%
3	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	1%
4	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1%
5	Submitted to consultoriadeserviciosformativos Trabajo del estudiante	<1%
6	Submitted to Pontificia Universidad Catolica de Chile Trabajo del estudiante	<1%
7	Submitted to ucr Trabajo del estudiante	<1%

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

Los que suscriben, FLORES SOTO CRISTOFFER GABRIEL y GRANDA CHACHA SMITH ALEXANDER, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Estudio de la vulnerabilidad hidrológica a inundaciones en poblaciones menores a 10,000 habitantes., otorgan 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 tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran 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.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen 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.

  
FLORES SOTO CRISTOFFER GABRIEL

0750568396

  
GRANDA CHACHA SMITH ALEXANDER

0751069121

## **Dedicatoria**

Con sincero agradecimiento y un profundo sentido de gratitud, dirigimos esta tesis a Dios, así como a nuestros amados padres y queridos hermanos. Reconocemos con profunda admiración el apoyo inquebrantable, el amoroso respaldo y la inspiración constante que nos han brindado a lo largo de este extenso y desafiante viaje académico. Sus palabras de aliento y su presencia alentadora han sido la fuerza motriz que nos ha impulsado a alcanzar nuestras metas educativas. En este sentido, valoramos profundamente la comunidad académica y profesional que nos rodea, reconociendo el impacto positivo que cada individuo ha tenido en nuestra formación y desarrollo personal. Con humildad y reconocimiento, dedicamos este trabajo a todos aquellos que han sido parte integral de nuestro crecimiento intelectual y nos han alentado a alcanzar nuestras aspiraciones académicas.

## **Agradecimiento**

En primer lugar, queremos expresar nuestra más profunda gratitud hacia Dios, quien ha sido nuestra guía inquebrantable durante los momentos más desafiantes y nos ha otorgado la fuerza y la perseverancia necesarias para completar con éxito nuestra trayectoria universitaria. Asimismo, deseamos extender nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, en especial a nuestros padres y hermanos, cuyo apoyo incondicional y presencia constante han sido pilares fundamentales en cada etapa de este exigente recorrido académico.

A la Universidad Técnica de Machala, a la Facultad de Ingeniería Civil y, de manera particular, a la carrera de Ingeniería Civil, les reconocemos profundamente por proporcionarnos un entorno educativo enriquecedor. Agradecemos especialmente a los docentes por su generosidad al compartir sus conocimientos, los cuales han contribuido significativamente a nuestra formación profesional.

Por último, pero no menos importante, deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Jesus Enrique Espinoza Correa, quien ha desempeñado un papel crucial como tutor de esta tesis. Su apoyo constante y orientación a lo largo de todo el proceso de este trabajo de titulación han sido de un valor incalculable para nuestro crecimiento tanto académico como profesional.

## **Resumen**

Las fuertes precipitaciones son comunes durante la temporada invernal en Ecuador, lo que provoca inundaciones fluviales y pluviales con grandes pérdidas socioeconómicas. El crecimiento desordenado y rápido también contribuye a la obstrucción en el proceso de infiltración y escorrentía, aumentando significativamente el nivel del agua en las áreas urbanas y provocando inundaciones. Los estudios hidrológicos son fundamentales para identificar las áreas vulnerables a inundaciones y planificar estrategias de prevención ante el aumento del caudal. El objetivo de este trabajo es conocer las zonas propensas a inundaciones en las parroquias La Bocana y Piedras, pertenecientes al cantón Piñas. El proceso metodológico consta de dos partes: una investigación documental exhaustiva que se enfoca en revisar fuentes académicas, y una investigación experimental que incluye análisis topográficos, hidrográficos, de uso del suelo, hidráulicos e hidrológicos. Con estos datos, se generan mapas de las zonas más vulnerables en las parroquias mencionadas. Para comparar el tirante generado mediante software y los datos in situ, se realizó un levantamiento topográfico en las áreas más propensas a inundarse. Los resultados indican que en la parroquia La Bocana, la calle “Vía Tahuín” es la más susceptible a inundaciones, con un periodo de retorno de 100 años que genera un tirante de 6.4 metros dando como resultado un nivel de vulnerabilidad alto. En la parroquia Piedras, el lugar más propenso a inundarse es el parque de piedras, con un tirante de más de 3 metros dando como resultado un nivel de vulnerabilidad de muy alto.

**Palabras clave:** inundación, vulnerabilidad, mapas de inundaciones, parroquia La Bocana, parroquia Piedras.

## **Abstract**

Heavy precipitation is common during the winter season in Ecuador, leading to fluvial and pluvial flooding with significant socio-economic losses. Disorderly and rapid growth also contributes to obstruction in the infiltration and runoff process, significantly increasing the water level in urban areas and causing flooding. Hydrological studies are essential to identify areas vulnerable to flooding and plan prevention strategies against increased flow. The objective of this work is to determine the areas prone to flooding in the parishes of La Bocana and Piedras, belonging to the canton of Piñas. The methodological process consists of two parts: an exhaustive documentary research focusing on reviewing academic sources, and experimental research including topographic, hydrographic, land use, hydraulic, and hydrological analysis. With these data, maps of the most vulnerable areas in the mentioned parishes are generated. To compare the water level generated by software and in-situ data, a

topographic survey was carried out in the areas most prone to flooding. The results indicate that in the La Bocana parish, "Vía Tahuín" street is the most susceptible to flooding, with a 100-year return period generating a water level of 6.4 meters resulting in a high vulnerability level. In the Piedras parish, the most prone area to flooding is the Piedras park, with a water level of over 3 meters resulting in a very high vulnerability level.

**Keywords:** flood, vulnerability, flood maps, La Bocana parish, Piedras parish.

# Índice

Dedicatoria.....	7
Agradecimiento .....	8
Resumen.....	9
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
1.1    Importancia del tema .....	15
1.2    Actualidad de la problemática .....	16
1.3    Estructura del trabajo .....	17
<b>2. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>18</b>
2.1    Antecedentes (Línea Base del Proyecto).....	18
2.1.1    Información climática.....	18
2.1.2    Agua .....	20
2.1.3    Uso y cobertura del suelo .....	22
2.2    Descripción de la Situación Problémica (Causas y efectos).....	24
2.3    Formulación del Problema: Preguntas Científicas .....	25
2.4    Delimitación del objeto de estudio .....	26
2.5    Justificación .....	27
2.6    Objetivos .....	28
2.6.1    Objetivos Generales .....	28
2.6.2    Objetivos Específicos .....	28
<b>3. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>29</b>
3.1    Antecedentes contextuales .....	29
3.2    Antecedentes conceptuales .....	31
3.2.1    Cuenca hidrográfica .....	31
3.2.2    Caudal .....	31
3.2.3    Inundaciones.....	32
3.2.4    Precipitaciones.....	32
3.2.5    Tiempo de concentración.....	32
3.2.6    Coeficiente de escorrentía.....	32
3.2.7    Coeficiente de rugosidad de Manning .....	33
3.2.8    Periodo de retorno .....	33
3.2.9    Cuenca hidrográfica .....	33
3.2.10    Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS).....	33
3.2.11    Hydrological Engineering Center – Geospatial River Analysis System (HEC–GeoRas) 34	

3.2.12	Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) .....	34
3.2.13	Curvas de nivel.....	34
3.3	Antecedentes referenciales .....	34
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>35</b>
4.1	Modalidad básica de la investigación.....	35
4.2	Tipo de investigación .....	35
4.3	Objeto de estudio.....	35
4.4	Descripción de la población y muestra.....	36
4.5	Métodos con los materiales utilizados .....	36
4.5.1	Recopilación de información.....	36
4.5.2	Procesamiento de información.....	36
4.5.3	Estimación de los caudales de diseño .....	37
<b>5.</b>	<b>Capitulo IV: Análisis e interpretación de resultados.....</b>	<b>41</b>
5.1	Entorno hidrológico .....	41
5.1.1	Análisis de precipitaciones del río Piedras y La Bocana .....	41
5.1.2	Áreas de estudio: Cuenca del río la Bocana y del río Piedras.....	44
5.1.3	Coeficiente de escorrentía.....	46
5.1.4	Tiempo de concentración.....	46
5.1.5	Cálculo de caudales de diseño .....	46
5.2	Entorno hidráulico.....	47
5.2.1	Coeficiente de rugosidad .....	47
5.2.2	Simulación de inundaciones .....	48
5.2.3	Levantamiento de información topográfica.....	50
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>54</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>
9.1	Anexo. Coeficiente de escorrentía.....	59
9.2	Anexo. Coeficiente de rugosidad mediante formula .....	60
9.3	Anexo. Coeficiente de rugosidad.....	61
9.4	Delimitación de la cuenca de la parroquia La Bocana .....	64
9.5	Delimitación de la cuenca de la parroquia Piedras.....	67
9.6	Mapas de riesgo a inundaciones de la parroquia La Bocana.....	70
9.7	Mapas de riesgo a inundaciones de la parroquia Piedras .....	77

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1:</b> Mapa de Precipitaciones de la Parroquia La Bocana .....	19
<b>Ilustración 2:</b> Mapa de recurso hídricos de la parroquia La Bocana .....	21
<b>Ilustración 3:</b> Mapa de uso de suelo de la Parroquia Piedras .....	22
<b>Ilustración 4:</b> Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo de la parroquia La Bocana .....	23
<b>Ilustración 5:</b> Antecedentes de amenazas de riesgo de la Parroquia Piedras.....	24
<b>Ilustración 6:</b> Zona de estudio .....	26
<b>Ilustración 7:</b> Segunda zona de estudio .....	27
<b>Ilustración 8:</b> Caracterización de la cuenca.....	37
<b>Ilustración 9:</b> Geometría del río Piedras.....	40
<b>Ilustración 10:</b> Geometría del río La Bocana .....	40
<b>Ilustración 11:</b> Análisis hidráulico - recopilación de datos.....	41
<b>Ilustración 12:</b> Curvas IDF del río Piedras .....	43
<b>Ilustración 13:</b> Curvas IDF del río La Bocana .....	44
<b>Ilustración 14:</b> Cuenca perteneciente al río Piedras .....	45
<b>Ilustración 15:</b> Cuenca perteneciente al río La Bocana.....	45
<b>Ilustración 16:</b> Simulación de inundación sobre el río Piedras para un periodo de retorno de 100 años .....	48
<b>Ilustración 17:</b> Simulación de inundación sobre el río La Bocana para un periodo de retorno de 100 años .....	49
<b>Ilustración 18:</b> Sección transversal del río Piedras para un periodo de retorno de 100 años .....	49
<b>Ilustración 19:</b> Sección transversal del río La Bocana para un periodo de retorno de 100 años.....	50
<b>Ilustración 20:</b> Superficie generada de la topografía del río Piedras mediante Software ArcGIS.....	51
<b>Ilustración 21:</b> Superficie generada de la topografía del río La Bocana mediante Software ArcGIS .....	51
<b>Ilustración 22:</b> Perfil perteneciente al río Piedras generado mediante topografía in situ .....	52
<b>Ilustración 23:</b> Perfil perteneciente al río La Bocana generado mediante topografía in situ.....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Calendario natural de la parroquia Piedras .....	19
<b>Tabla 2:</b> Cuencas y Subcuencas de la parroquia Piedras.....	20
<b>Tabla 3:</b> Estados de los recursos hídricos de la parroquia La Bocana.....	21
<b>Tabla 4:</b> Porcentaje actual de uso y cobertura de suelo de la parroquia La Bocana.....	23
<b>Tabla 5:</b> Nivel de peligro de inundaciones.....	39
<b>Tabla 6:</b> Cantidades de precipitación en la zona del río Piedras y La Bocana .....	42
<b>Tabla 7:</b> Coeficientes para las relaciones de precipitación en 24 horas .....	42
<b>Tabla 8:</b> Intensidades de precipitación sobre el río Piedras .....	42
<b>Tabla 9:</b> Intensidades de precipitación sobre el río La Bocana .....	43
<b>Tabla 10:</b> Parámetros físicos del río Piedras .....	44
<b>Tabla 11:</b> Parámetros físicos del río La Bocana .....	44
<b>Tabla 12:</b> Coeficiente de escorrentía del río Piedras .....	46
<b>Tabla 13:</b> Coeficiente de escorrentía del río La Bocana .....	46
<b>Tabla 14:</b> Caudales máximos calculados para el río Piedras .....	47
<b>Tabla 15:</b> Caudales máximos calculados para el río La Bocana .....	47
<b>Tabla 16:</b> Coeficiente de rugosidad perteneciente al río Piedras .....	47
<b>Tabla 17:</b> Coeficiente de rugosidad perteneciente al río La Bocana .....	48

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Importancia del tema**

La modelación hidrológica, nos brinda la información pertinente acerca del comportamiento de los recursos hídricos, esto involucra tanto a la disponibilidad como su uso, además estos al ser sistemas caóticos cuyo comportamiento puede variar de manera significativa dependiendo de sus condiciones iniciales, es de vital importancia conocer el comportamiento de los cuerpos de agua durante eventos extremos, en este caso los eventos extremos son las inundaciones, al no conocer las cotas de crecidas máximas de nivel agua se corre el riesgo de pérdidas materiales y humanas, es por esto que los mapas de inundaciones son de suma importancia para conocer las zonas más propensas a ser afectadas en eventos de inundaciones.

Por su importancia global, regional y local, el cambio climático, el cual es el principal factor que contribuye a las crecidas de los ríos, ha generado desde hace más de 40 años numerosas investigaciones, enfocadas en diversos aspectos del fenómeno y sus consecuencias. Investigaciones como las de Meerhoff (2008) desde una perspectiva general analizan los efectos sobre el clima, la salud, la agricultura y pesca y los recursos hídricos, así como de su influencia en países de casi toda América Latina, Asia y Europa (Meerhoff, 2008).

Tal como menciona Raúl Zambrano en su artículo, la tecnología computacional ha avanzado de tal manera que es posible evaluar el comportamiento de una cuenca y subcuenca a través de distintos procesos numéricos, sin embargo, debido a que las cuencas y subcuencas son sistemas heterogéneos, es decir, no lineales, se ha cuestionado sobre el grado de confiabilidad que puede tener estos procesos (Zambrano, 2010).

En los trabajos consultados se aprecia relativo consenso en la atención que se presta al Cambio Climático y fenómenos meteorológicos. Entre las ideas más generalizadas y de interés en esta investigación están: No se puedan tomar decisiones esenciales ante las alertas de fenómenos ligados al cambio climático sin una correcta articulación entre las poblaciones y el Estado que hagan funcionales los planes de contingencia. Por esta razón se ha propuesto realizar el siguiente tema: “Estudio de la vulnerabilidad hidrológica a inundaciones en poblaciones menores a 10,000 habitantes.”

## 1.2 Actualidad de la problemática

Cerca de las orillas de las áreas de estudio existen numerosas viviendas, estas se pueden ver afectadas debido a un desbordamiento del mismo, las causas de estas crecidas puede deberse a diferentes factores, tales son los cambios climáticos extremos , que provoca altas precipitaciones ,desbordamientos de ríos y grandes inundaciones, con grandes efectos sobre la economía debido a las pérdidas materiales y paralización de actividades económicas, así como sobre la población, por el incremento de focos de enfermedades y plagas que conduce a incrementos en la mortalidad, aspecto que debido a la alta vulnerabilidad de la población desencadena sistemáticamente desastres. (Cai, 2020)

Ante estos cambios climáticos, se requiere abordar un análisis histórico del problema. Un instrumento común para particularizar los eventos y sus efectos puede ser el estudio de los desastres originados por un evento recurrente, Finalmente, estos eventos generan enormes desastres naturales a nivel macro, que causan cientos de damnificados, con mayor impacto en las zonas costeras de El Ecuador, como es el caso de la ciudad de Piñas-

Tal como señala Abdellah Khouz y Jorge Trinidad las inundaciones pueden tener efectos desastrosos como la pérdida de personas y daños estructurales. De hecho, las inundaciones provocan un 40% de pérdidas humanas causadas por desastres naturales. Los lugares más propensos a inundaciones provocados por fuertes precipitaciones son las zonas urbanas esto se debe a su densidad y su población (Khouz, 2023). Las inundaciones pueden darse debido a varios factores como son las fuertes precipitaciones, derretimiento de la nieve y el desbordamiento de los ríos y presas. Esto causa una oleada de agua rio abajo (Hilden, 2011).

Según Ji He y Yu Wan señalan en su artículo que el cambio de uso de suelo produce un incremento de las precipitaciones esto se debe por la disminución de paisajes naturales ya que estos pueden retener y absorber agua lo que provoca que la escorrentía superficial aumente, también señalan como las deforestaciones y el incremento de la tasa poblacional puede reducir la infiltración, lo que produce un aumento de agua sobre la superficie provocando inundaciones (He, Wan, Chen, & Wang, 2022).

Los mapas de inundaciones son de vital importancia ya que nos proporcionan información de los lugares vulnerables a las fuertes precipitaciones, además proporciona información oportuna a las unidades de ayuda de emergencia (Kevin Iselborn, 2023). El cantón La Bocana ha sido protagonista de fuertes inundaciones en el transcurso de los años, esto se debe por las fuertes precipitaciones y el desbordamiento del río provocando daños estructurales y pérdidas económicas importantes.

Por lo tanto, los propósitos de este trabajo se enfocan en realizar un estudio de las fuentes disponibles que permitan identificar o predecir el comportamiento de los ríos en diferentes periodos de retorno, así como sus consecuencias para el cantón Piñas, específicamente en las parroquias Piedras y La Bocana. Verificar, mediante un estudio de campo, la existencia de potencialidades, vulnerabilidades y riesgos de desastres y proponer un conjunto de acciones para mitigar los efectos tanto en lo social como en lo económico.

### **1.3 Estructura del trabajo**

La presente tesis tiene como objetivo clasificar la información sobre el tema que se investigará. Para ello, se colocarán en diversos capítulos las cuales siguen una estructura sistemática y organizada. A continuación, se presenta una breve explicación del contenido de cada capítulo. En la introducción presenta el tema del trabajo y su importancia, así como la problemática actual que motiva su estudio.

Inicialmente, se sitúa el asunto de estudio en su correspondiente marco teórico y práctico. Posteriormente, se detalla la organización del documento y se adelanta lo que se abordará en los capítulos subsiguientes.

El primer capítulo introduce las bases del proyecto, analizando los antecedentes de las zonas de estudio, proporcionando un resumen de la región investigada y las interrogantes científicas que se formularon y solucionaron. Se delimita el tema central, se defiende la perspectiva seleccionada y se fijan tanto el propósito principal como los fines particulares.

El segundo capítulo se dedica a revisar el conocimiento actual para comprender de una mejor manera el enfoque del proyecto, se presentan los antecedentes teóricos desde el nivel global hasta el nivel regional con el fin de obtener referencias en base a otros proyectos similares para aplicarlos en la zona de estudio, referencias previas y contextos relacionados.

En el tercer capítulo desempeña una función esencial al explicar la metodología que guiara nuestra investigación, en el cual se describirán los métodos y técnicas utilizadas para el desarrollo y solución de la problemática el cual nos permitirá llegar a los resultados requeridos y que el lector pueda reconocer la solidez y coherencia de nuestra estrategia de investigación, lo que les permitirá valorar la calidad de los resultados obtenidos.

En el capítulo cuatro se examinará y se interpretarán los resultados obtenidos, además de verificar y validar la información obtenida a lo largo de toda la investigación, también se detallarán los resultados obtenidos del capítulo anterior y así poder presentar las conclusiones y sugerencias que resumen los hallazgos más significativos del estudio y proponer direcciones para investigaciones venideras.

## **2. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 Antecedentes (Línea Base del Proyecto)**

Las parroquias Piedras y La Bocana de la provincia de El Oro, específicamente del cantón Piñas han sido afectados por fuertes lluvias que han provocado grandes desastres materiales siendo sus parroquias las más afectadas, tales como la parroquia La Bocana y Piedras, el cual, por su ubicación geográfica, en épocas de lluvia sufren grandes pérdidas económicas, tal es el caso del año 2010 en la parroquia La Bocana en el cual 9 viviendas colapsaron debido a las altas intensidades de precipitación, en el mismo año, el río que pasa por la parroquia de Piedras sufrió un desbordamiento, impidiendo el paso vehicular en dicha zona.

El análisis de los antecedentes se los realizo en base al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Piedras y La Bocana, del cual se puede extraer diferentes características.

#### **2.1.1 Información climática**

La parroquia Piedras está ubicada entre los 200msnm y 400 msnm, el mismo tiene un clima tropical, por lo cual la temperatura promedio de la parroquia oscila entre los 24°C hasta los 26°C, las precipitaciones promedias obtenidas van desde los 750 mm hasta los 1000 mm, siendo de diciembre a mayo los meses con mayor precipitación y junio y noviembre los meses más secos, esta correlación la podemos observar en la tabla 1.

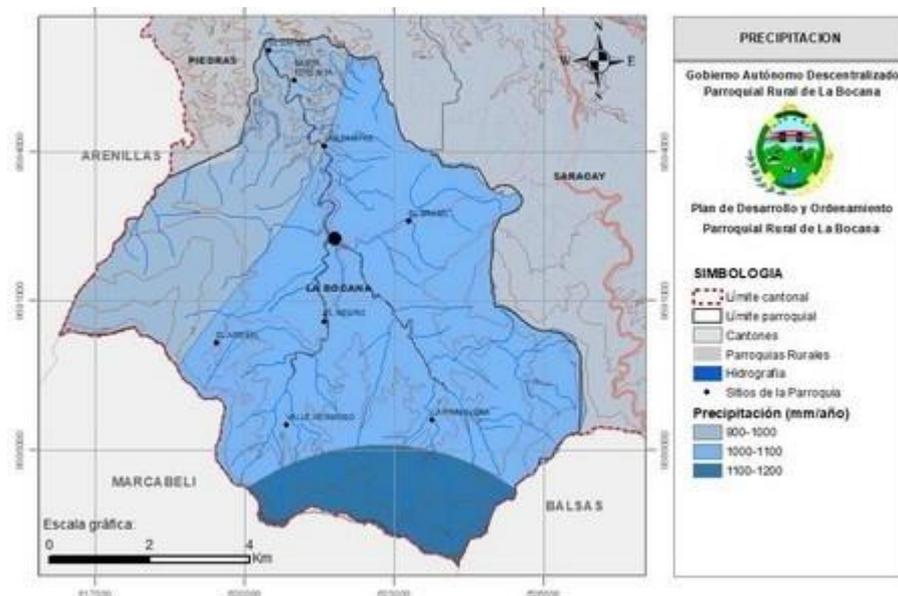
**Tabla 1:** Calendario natural de la parroquia Piedras

Evento	Meses del año											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Invierno	X	X	X	X	X							X
Verano						X	X	X	X	X	X	
Época que hace frío							X	X	X	X		
Época hace fuertes vientos							X	X	X			
Cosecha de frutas						X	X	X	X	X	X	
Florecimiento del campo		X	X	X								
Reproducción de aves y mamíferos								X	X	X	X	X

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

Por otra parte, dentro de los factores naturales determinantes para el desarrollo de los sistemas productivos de la Parroquia La Bocana están la temperatura y las precipitaciones, las cuales presentan variaciones de 21 a 24°C respecto a la temperatura y de 750 a 1250 mm de precipitación tal como se muestra en la ilustración 1.

**Ilustración 1:** Mapa de Precipitaciones de la Parroquia La Bocana



**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia La Bocana

### 2.1.2 Agua

La parroquia Piedras se encuentra ubicado en la cuenca hidrográfica del río arenillas, los principales recursos hídricos del mismo son las quebradas Lobos, Granda, San Martín y El Arenal, además, se puede observar en la tabla 2, los ríos que también proporcionan recursos hídricos son la Bocana Y Piedras.

Los recursos hídricos anteriormente mencionados son destinados para el uso diario de los habitantes de la parroquia, ya sea para consumo doméstico, abrevadero o riego. Los causes de río y quebradas están ligadas a distintos fenómenos, tales como deslaves, crecidas y sequías.

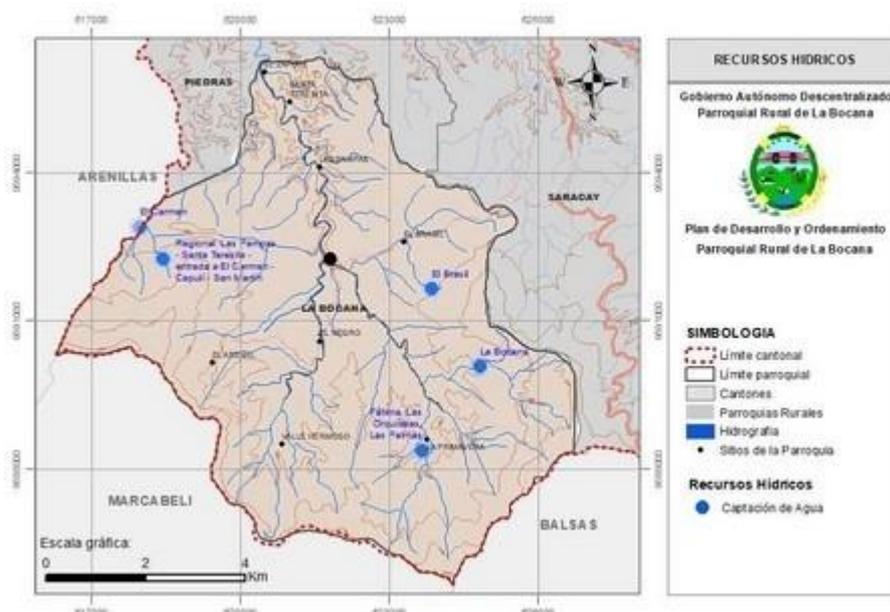
**Tabla 2:** Cuencas y Subcuencas de la parroquia Piedras

No.	Nombre	Lugar	Cuenca y Subcuenca.
1	Río Piedras	Cabecera Parroquial	Cuenca
2	Q. La Granada	Cabecera Parroquial	Subcuenca
3	Q. La Bocana	Cabecera Parroquial	Subcuenca
4	Río Naranjo	El Recuerdo	Cuenca
5	Q. Román	El Recuerdo	Subcuenca
6	Q. Aguilar	El Recuerdo	Subcuenca
7	Q. La Palma	El Recuerdo	Subcuenca
8	Q. Lobos	El Carmen	Subcuenca
9	Q. El Arenal	El Carmen	Subcuenca
10	Q. San Martín	El Carmen	Subcuenca
11	Q. La Florida	El Carmen	Subcuenca

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

Por otra parte, Los principales cursos de agua que cruzan el territorio de la parroquia La Bocana son: Quebrada la bocana, Brasil, La Primavera, Blanco. En la ilustración 2 se observa la disposición geográfica de los recursos de agua ubicados en la Parroquia La Bocana de forma irregular, favorece a que se puedan establecer puntos de captación para el aprovechamiento del recurso hídrico, pero no cuentan con un tipo de manejo tecnificado.

**Ilustración 2:** Mapa de recurso hídricos de la parroquia La Bocana



**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia La Bocana  
A continuación, en la tabla 3 se presenta las características que evidencian el estado actual del recurso hídrico.

**Tabla 3:** Estados de los recursos hídricos de la parroquia La Bocana

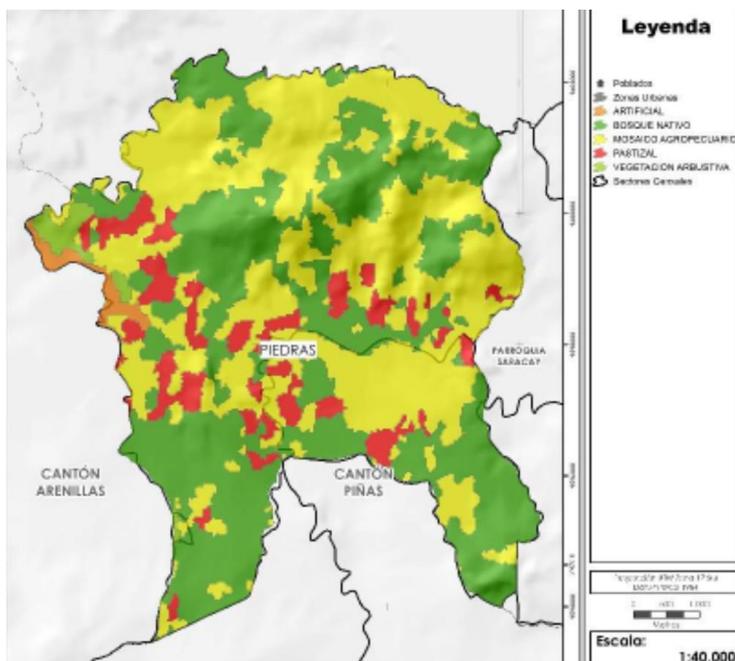
Comunidades que beneficia	Caudal aforado [mt/s]	Estado de la infraestructura	Usuarios	Tipo de tratamientos	Costo/mes	Estado de la planta de tratamiento
La Bocana	0.52	Buena	173	Convencional (Filtración y cloración)	\$3.00	Bueno
Brasil	0.03	Mala	62	Convencional (Filtración y cloración)	\$2.50	Bueno
El Negro	0.5	Buena	19	No tiene	\$3.00	No existe planta de tratamiento
La Primavera	0.73	Buena	20	Convencional (Filtración y cloración)	\$2.50	Bueno
Las Pampas, Santa Teresita, Entrada al Carmen San Martín	0.11	Buena	70	Convencional (Filtración y cloración)	\$3.50	Bueno

**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia La Bocana

### 2.1.3 Uso y cobertura del suelo

El mapa de uso y cobertura del suelo demuestra que un 61.20% de la parroquia tiene un suelo mosaico agropecuario, el pastizal del sector corresponde a un 20,62% el cual equivale a un total de 829,73 hectáreas, estos resultados se pueden observar en la ilustración 3 de forma gráfica.

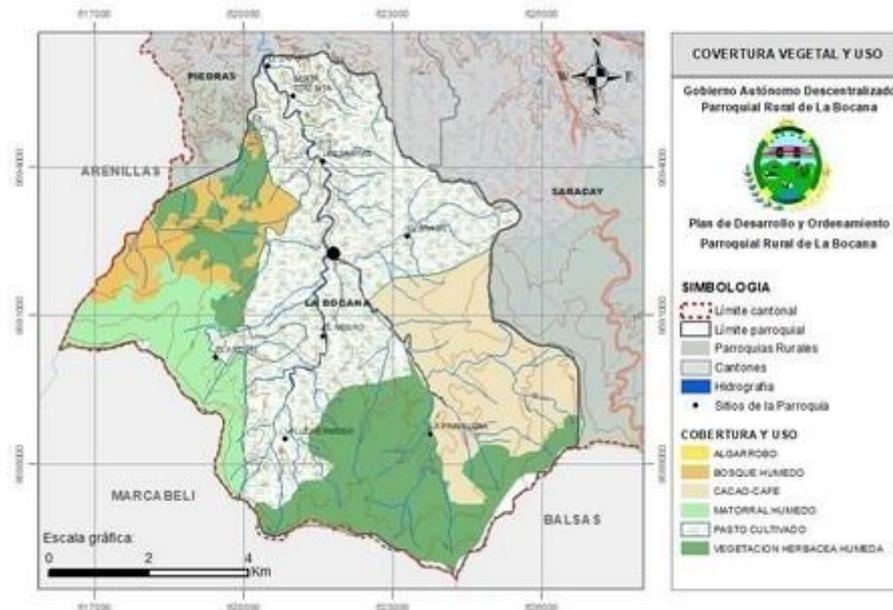
**Ilustración 3:** Mapa de uso de suelo de la Parroquia Piedras



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

En cambio, en base a las condiciones climáticas, fisiográficas, edafológicas el suelo de la Parroquia rural La Bocana es muy aprovechable para agricultura, tal como se muestra en la ilustración 4, esto se puede evidenciar en que la mayor parte del área total de la zona es usada para actividades agrícola lo que a su vez indica que esta es una de las principales actividades económicas.

**Ilustración 4:** Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo de la parroquia La Bocana



**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia La Bocana

A continuación, en la tabla 4 se muestra los porcentajes de cobertura vegetal respecto al área total de la Parroquia Rural La Bocana en dónde se puede apreciar, que el porcentaje de zona poblada es ínfimo en comparación a las zonas de producción agrícola.

**Tabla 4:** Porcentaje actual de uso y cobertura de suelo de la parroquia La Bocana

Cobertura vegetal	Área [ha]	%
Bosque nativo	1124.38	18.23
vegetación arbustiva	2.16	0.04
Cultivo permanente	586.21	9.50
Cultivo semi – permanente	189.71	3.08
Mosaico agropecuario	138.8	2.25
Pastizales	4119.47	66.78
Área poblada	8.21	0.13
Total	6168.94	100.00

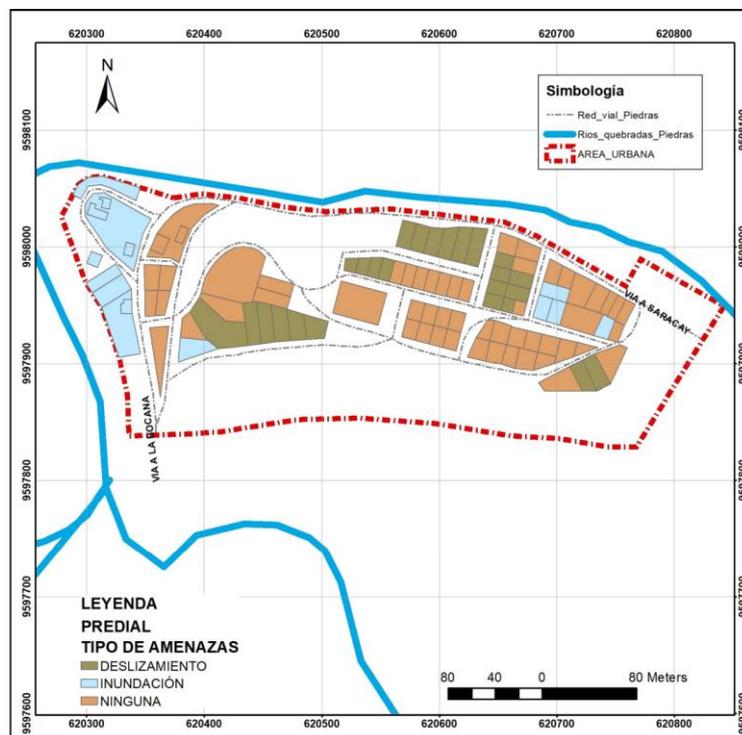
**Fuente:** Tomado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia La Bocana

## 2.2 Descripción de la Situación Problemática (Causas y efectos)

El riesgo de vulnerabilidad de inundaciones en Ecuador está relacionado con varias causas favorecidas por las condiciones naturales y la forma de ocupación del territorio. Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, entre 1960 y 2006, el país ha experimentado un aumento tanto en la temperatura promedio anual como en la intensidad y frecuencia de eventos extremos, como sequías e inundaciones. La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos indica que desde 2010 hasta 2016 se han registrado 2,002 inundaciones en todo el territorio ecuatoriano, que dejaron como saldo 22 muertes, 7,239 damnificados, 756 viviendas destruidas y 11,333.77 hectáreas de cultivos perdidas. Además, resultaron afectados 191,205 personas, 28,035 viviendas, 329 centros educativos y 14,678.79 hectáreas de cultivos. (Bryan Danilo Burgos Choez, 2019)

Debido a la ubicación geográfica y su cercanía con el río Piedras, la parroquia Piedras está expuesto a una alta probabilidad de inundaciones, en contraste a los estudios obtenidos por parte del Plan de Uso y Gestión de Suelo del cantón Piñas, en la zona, las amenazas por inundaciones alcanzan un 15,6%, siendo estas las zonas más cercanas al río, en la ilustración 5 se logra apreciar mejor dichas zonas afectadas.

**Ilustración 5:** Antecedentes de amenazas de riesgo de la Parroquia Piedras



**Fuente:** Tomado del Plan de Uso y Gestión de Suelo del cantón Piñas

Uno de los problemas más recurrentes de la parroquia Piedras es el abastecimiento de agua limitado debido a que el río está contaminado por las actividades mineras que se ha llevado realizado los últimos años, consecuencia de esto, el agua del río no es apto para consumo humano. La actividad minera se ha convertido de uno de los problemas principales de la zona ya que debido a esto ha disminuido el turismo urbano de la zona ya que el río Piedras era la principal fuente de turismo y, al verse contaminado, no hace posible realizar actividades de pesca entre otros.

Por su parte, actualmente en la Parroquia rural La Bocana no se cuenta con dispositivos para controlar el exceso de caudal que es producto de las constantes lluvias en épocas lluviosa, por lo que el aumento del tirante hidráulico ocasiona un riesgo a la población de la zona, en especial a aquellas familias cuyos hogares se encuentran en las orillas de los cuerpos de agua.

Las medidas que ha tomado el Gobierno Autónomo Descentralizado de Piñas ha sido la construcción de un paso peatonal colgante que cruza los extremos del río El Brasil, además de la construcción de un puente tipo badén como paso vehicular, esta estructura es inundable por lo cual en épocas de inundaciones queda inhabilitada, pero al ser una estructura de hormigón armado el tráfico vehicular se reanuda de forma rápida.

Al ser una parroquia rural no cuenta con los recursos necesarios para implementar obras de protección en las orillas de los ríos como escolleras o muros de gaviones con el fin de contrarrestar socavación.

### **2.3 Formulación del Problema: Preguntas Científicas**

¿Cómo se puede evaluar vulnerabilidad a inundaciones en las zonas de influencia en poblaciones menores a 10 000 habitantes?

¿Qué metodología se puede aplicar para analizar el nivel de vulnerabilidad a inundaciones en poblaciones menores a 10 000 habitantes?

¿Cómo determinar las áreas de influencia sobre las poblaciones menores a 10 000 habitantes para evaluar la vulnerabilidad a inundaciones?

¿Cómo se puede describir la variación de vulnerabilidad en poblaciones menores a 10 000 habitantes para distintos periodos de retorno?

A partir de la formulación de estas preguntas se expone la necesidad de contar con mapas de vulnerabilidad georreferenciados donde se exponga el riesgo frente a inundaciones en zonas específicas de la parroquia Piedras y La Bocana, debido a que los lugares mencionados no cuentan con dicho recurso y se desconoce el nivel de peligro existente respecto a la creciente de los ríos cercanos.

#### **2.4 Delimitación del objeto de estudio**

La Parroquia Piedras se encuentra ubicada en el occidente del territorio cantonal, a 45 km aproximadamente de la ciudad de Piñas. Está ubicada en la vía cantonal Saracay – Piedras – La Bocana. La comunicación hacia la parroquia Piedras es a través de la red arterial estatal E-50; aunque la vía está asfaltada, hay tramos en mal estado, y el carril izquierdo desde Saracay aún no ha sido completamente asfaltado. En cuanto a la población, los habitantes de la parroquia Piedras representan el 2,19% de la población total según el INEC 2010. Su ubicación geográfica es central; conecta los asentamientos dispersos.

**Ilustración 6:** Zona de estudio



**Fuente:** Google Maps

En contraste con los datos de población y vivienda realizado por el INEC en el año 2010, la parroquia Piedras tiene un aproximado de 569 habitantes, de los cuales 294 habitantes son hombres y 275 habitantes son mujeres.

La Parroquia Rural La Bocana pertenece al cantón Piñas, en la provincia de El Oro. Cuenta con 1365 habitantes y geográficamente limita al Norte con la parroquia Piedras perteneciente al mismo cantón Piñas, limita al Sur con las parroquias de Marcabelí del cantón Marcabelí y el cantón Balsas.

### **Ilustración 7:** Segunda zona de estudio



**Fuente:** Google Maps

Al este limita con la parroquia Saracay perteneciente al cantón Piñas y al oeste limita con el cantón Arenillas y parte de la parroquia El Ingenio perteneciente al cantón Marcabelí.

### **2.5 Justificación**

Las fuertes precipitaciones representan un gran problema para las ciudades, principalmente para las poblaciones costeras y cercanas a ríos o canales, ya que las fuertes lluvias generan varios peligros como inundaciones, desbordamiento de ríos y focos de enfermedades. Estos tipos de peligros son muy frecuentes en la parroquia Piedras debido a la falta de planificación. Con la presencia del río Piedras ubicado cerca de la parroquia, hace que sea muy vulnerable a los peligros mencionados anteriormente.

Esta investigación aportará al diseño de un mapa que indique la vulnerabilidad que sufre cada zona específica en la parroquia Piedras, con el fin de hacer un énfasis en los lugares que posiblemente se verán afectados, todo con el objetivo de llamar la atención al Gobierno Autónomo Descentralizado de Piedras y Piñas para tomar medidas más efectivas a futuro y así prevenir futuras catástrofes.

Esta investigación, además de realizar mapas de riesgo a inundación para distintos periodos de retorno, también se lo elabora con fines investigativos, los cuales tienen el objetivo de aportar una solución definitiva a futuro en cuanto a la reducción de víctimas y desastres.

Por otra parte, las inundaciones han causado daños los habitantes de la parroquia rural La Bocana, en los recientes años los problemas más evidentes son las vías de comunicación porque al ocurrir estos eventos extremos sectores quedan incomunicados. Las soluciones planteadas por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Piñas fueron la construcción de un paso

peatonal colgante sobre el río La Bocana además de la construcción de un puente tipo badén para el paso vehicular.

Al ser una zona con un relieve con montañoso esto provoca que el río La Bocana tenga una velocidad que de manera paulatina va erosionando los márgenes del río lo que pone en riesgo directo a las casas más cercanas a esta zona, por estas razones los mapas de inundaciones son de vital importancia para informar a la población de la parroquia rural La Bocana las zonas en dónde colocar infraestructura habitacional conlleva un riesgo muy alto respectos a eventos de inundaciones.

## **2.6 Objetivos**

### **2.6.1 Objetivos Generales**

Evaluar la vulnerabilidad hidrológica a inundaciones en poblaciones menores a 10 000 habitantes mediante la implementación de un enfoque metodológico para un modelado hidráulico.

### **2.6.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar información acerca de los factores y circunstancias que intervienen en los eventos de inundación mediante la revisión de información bibliográfica y referencial para la elaboración del estudio de la problemática de la Parroquia Piedras y La Bocana.
- Realizar el estudio hidrológico e hidráulico mediante el uso de los Sistemas Información Geográfica para la correcta caracterización de su comportamiento para determinar sus áreas de influencia en la Parroquia Piedras y La Bocana.
- Elaborar los mapas de vulnerabilidad de la zona de estudios mediante la correcto análisis e interpretación de los datos obtenidos.

### **3. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.**

#### **3.1 Antecedentes contextuales**

La modelación de eventos hidrológicos extremos puede contribuir a la predicción y prevención de eventos como inundaciones, además de ayudar a tomar medidas para minimizar los daños. También permite una correcta planificación urbana y rural. Facilita la evaluación del impacto ambiental y de los cambios climáticos que afectan a los sistemas hídricos, permitiendo así desarrollar estrategias de mitigación.

De acuerdo al artículo de Alarcón Neva, en México, en la cercanía de Morelia se llevaron a cabo la aproximación de áreas susceptibles a inundaciones en las áreas urbanizadas causadas por el río Grande mediante la modelación Hidrológica, en el cual se tomó en cuenta los periodos de retorno comprendidos entre los 100 y 500 años, esto dio como resultado que una de las afectaciones principales derivadas por la obstrucción del agua son los estancamientos por basura orgánica y desechos varios (Alarcón Neva, 2018).

En Rumanía, el río Siret es uno de los afluentes más importantes del río Danubio, en la zona confluencia en los últimos 50 años se han producido más de 20 inundaciones. En el año 2010 se produjo una inundación con impactos significativos en la población local, economía y medio ambiente. Por lo que se decidió realizar un manual explicando los pasos a seguir para la creación de mapas de inundación (Arseni, 2020).

Un estudio comparativo realizado sobre las estructuras residenciales de Países bajos, Puerto Rico y Estados Unidos, que en los últimos años han sufrido inundaciones de origen fluvial y pluvial, reveló que uno de los principales factores que intervienen en el riesgo de inundaciones es la elevación de la estructura en comparación a la altura de la inundación. Las elevaciones de primer piso son cruciales para determinar la vulnerabilidad de una construcción (Diaz, 2024).

En la zona Eco – económica del Lago Poyang en China como área de estudio, se procedió a reproducir escenarios históricos de inundación utilizando las imágenes del satélite Sentinel – 1 de 2015 a 2021 para la construcción de una base de datos de riesgo de inundaciones, utilizando como variable principal el calentamiento global se puede proyectar distintos escenarios hasta el año 2040 (ao & Yang, 2024).

En la ciudad de Napoles, se realizaron modelos de detección de riesgo hidrológico y térmico teniendo en cuenta las variaciones producidas por el calentamiento global en zonas urbanas, además de introdujeron variables como la densidad población y el componente físico de los

asentamientos urbanos, ya sean zonas residenciales o espacios abiertos (Cardone, D'Ambrosio, Di Martino, & Miraglia, 2024).

Una serie de universidades, una red de Gestión Integral del Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático (GIRD-ACC). Para ayudar a la profundización de conocimiento y fomentar una cultura de prevención de riesgo, porque América Latina en las últimas décadas ha sufrido severas inundaciones y que han llevado a varios deslizamientos de tierra que han hecho que los efectos negativos se maximicen (Espinoza-Molina & Acosta-Caipa, 2022).

En los países en vías de desarrollo como Ecuador, la falta de monitoreo respecto a los eventos de inundaciones, las limitaciones financieras y la falta de políticas para adecuadas solo hacen que las inundaciones año tras año causen estragos las comunidades con índice de riesgo mayor ante estos eventos, en este artículo se propusieron dos medidas de bajo impacto para mitigar el problema de las inundaciones, además el aplicar mapeos sobre la zona de estudio, Guayaquil, para identificar las zonas con mayor riesgo ayudó a crear un sistema de jerárquico de prioridad (Quichimbo-Miguitama, Matamoros, Jiménez, & Quichimbo-Miguitama, 2022).

En Ecuador, es un hecho que los mapas de inundaciones proporcionan información valiosa acerca de que zonas son más propensas a sufrir estragos en un evento de inundación, pero hay un factor que no se toma en cuenta la mayoría de las veces el cual es el factor económico, este parámetro nos permite en cambio realizar un mapeo en conjunto para saber que zonas tienen una mayor capacidad de recuperación y resiliencia. En zonas rurales que presentan riesgos de inundaciones es muy probable que su recuperación sea más difícil por los limitados recursos económicos de la zona en contraste con la zona urbana que puede presentar un riesgo igual o mayor, pero al tener una mayor cantidad de ingresos su recuperación se puede dar en menor tiempo con resultados más satisfactorios (Frontuto, Dalmazzone, Salcuni, & Pezzoli, 2022).

Según Serrano, Reisancho, Lizano, Borbor-Córdova y Stewart-Ibarra (2016) la inundación como amenaza es el desbordamiento no controlado de grandes masas de agua muy alejada de sus límites normales; por lo general causada por la lluvia, la marea de tormenta o fallas de alguna instalación hidráulica. Afectan las comunidades e instalaciones ubicadas en zonas bajas, con insuficiente cobertura vegetal o suelos asfálticos que limitan la infiltración de agua. Según esos autores en ciudades como Machala las inundaciones se originan principalmente por precipitaciones intensas, a lo que se junta el efecto de una la topografía plana, que ocasiona que toda actividad de desagüe sea lenta y poco eficiente (Serrano, 2016):

Por otra parte, un estudio realizado en la ciudad de Tendales en el río Chaguana por el Autor Alex Henríquez Ortega señala la importancia de la utilización del satélite Giovanni ya que este permite obtener las precipitaciones a lo largo de los años en una zona de estudio específica. Y así poder anticipar y gestionar eficazmente los datos obtenidos a riesgo a inundaciones, ya que un mal ordenamiento territorial y las fuertes precipitaciones pueden provocar inundaciones en áreas cercas a ríos o canales. Estos dos elementos combinados pueden provocar grandes desastres económicos (Bismark, 2023).

En la ciudad de Marcabeli, Amanda Estefanía y María Elena señalan en su artículo la importancia de realizar un análisis topográfico en la zona de estudio, con la finalidad de obtener un modelo digital de elevaciones (DEM), para llevar este proceso se utilizó la técnica de teledetección que permite obtener datos de la superficie de la tierra a través de satélites espaciales (Sánchez Armijos & Morocho Ortega, 2023). Otro estudio realizado en Balsas por el autor Jean Paolo Asanza sostiene la importancia de la utilización de modelo digital de elevaciones para explicar la distribución de fenómenos en la superficie de la tierra (Asanza Suarez, 2022).

## **3.2 Antecedentes conceptuales**

### **3.2.1 Cuenca hidrográfica**

Es la región donde se encuentran diversos flujos de agua, en donde las precipitaciones que caen sobre la cuenca producen que una parte del agua fluya por la superficie y otra sea absorbida por el suelo, el agua superficial alimenta a un río principal o varios ríos más pequeños llamados afluentes donde todos en conjunto desemboca en el punto más bajo de la cuenca (Braz, Garcia, Pinto, Chávez, & Oliveira, 2020).

### **3.2.2 Caudal**

Se refiere a la cantidad de volumen de fluido que pasa durante una unidad de tiempo, basándonos en el sistema internacional, las unidades para representar el caudal serían  $m^3 \cdot s^{-1}$ , a la hora de elaborar investigaciones o proyectos en el ámbito de la hidrología e hidráulica se necesitan de caudales específicos, es decir que fueron medidos en durante un periodo de tiempo especificado. El caudal máximo es la mayor cantidad de caudal registrado durante un periodo de tiempo determinado, este caudal es el más usado en ámbitos de hidráulicos porque nos permite modelar ciertas estructuras bajo eventos extremos, el caudal promedio en cambio se refiere a una cantidad total que pasa durante un tiempo determinado y luego se la divide para ese periodo, este caudal en cambio es útil para modelados tanto en hidrología como en

hidráulica porque nos permite entender el comportamiento de nuestro objeto de estudio en condiciones normales mientras que el caudal mínimo se refiere el menor caudal registrado durante un tiempo determinado este en cambio se utiliza más como parámetro de seguridad para determinar los caudales necesarios para que el ecosistema se mantenga saludable (Merchán-Sanmartín, 2022).

### **3.2.3 Inundaciones**

Las inundaciones son eventos extremos que consisten en la acumulación de agua en una zona determinada ya sea por acción natural o antropogénica. En el caso de ocurrir en alguna zona libre de asentamientos humanos los factores para determinar si la zona es inundable van desde el relieve, la cantidad de cubierta vegetal en la zona hasta la permeabilidad del suelo y temperatura entre otros, en cambio si se trata de una zona urbana para mantener las zonas con bajo riesgo de inundación se deben tener sistemas de drenaje adecuados además de en lo posible embaular los canales naturales que presenten más riesgo a socavarse (Aversa, Rotger, & Senise, 2020).

### **3.2.4 Precipitaciones**

Se refieren al proceso mediante el cual el agua en forma líquida o sólida cae de la atmósfera hacia la superficie terrestre, este proceso es fundamental en el ciclo hidrológico. La cantidad y frecuencia de precipitaciones están influenciadas por factores como la temperatura, la presión atmosférica, la humedad relativa, el relieve y la presencia de sistemas meteorológicos como frentes, tormentas o ciclones (S., R., & J., 2020).

### **3.2.5 Tiempo de concentración**

Es el tiempo necesario para que la escorrentía viaje desde el punto más distante hidráulicamente hasta la salida de la cuenca. El tiempo de concentración es un valor específico para una cuenca hidrográfica y una condición de precipitaciones específicas, y representa las condiciones hidráulicas e hidrológicas en estado estacionario que hay en una cuenca hidrográfica (Nam, 2024).

### **3.2.6 Coeficiente de escorrentía**

El coeficiente de escorrentía es un indicador sobre el porcentaje del agua que al caer sobre una cuenca hidrográfica se convierte en escorrentía, aunque existen varios documentos fiables donde por medio de tablas brindan un coeficiente en base a ciertos parámetros de la zona, para determinarlo de manera muy precisa se deben tomar varios aspectos de la cuenca hidrográfica como el tipo de vegetación, el porcentaje de vegetación presente en la zona, el nivel

permeabilidad del suelo, entre otros. Se debe mencionar que el coeficiente no es estacionario, porque los procesos hidrológicos y climatológicos dentro de una cuenca hidrográfica son caóticos (Castillo García, 2023).

### **3.2.7 Coeficiente de rugosidad de Manning**

El coeficiente de rugosidad de “n” como se conoce generalmente, es un valor adimensional que nos indica la resistencia que ofrece el medio por donde fluye el agua, mientras más alto sea su valor, la superficie del medio ofrece más resistencia al paso del flujo, es decir su superficie es más áspera. Este valor se lo determina de manera empírica, es decir que no hay una manera analítica de obtenerlo porque depende de varios factores como la geometría en sección transversal, pendiente longitudinal, la vegetación presente en la zona, los sedimentos que pueden generar un cambio de pendiente significativo (Takata, Obata, Sato, & Shimatani, 2024).

### **3.2.8 Periodo de retorno**

Son una medida que nos indica la probabilidad de que ocurra un evento, es ampliamente utilizado en hidrología para determinar cuándo ocurrirá un evento extremo que puede englobar eventos de sequía o de inundación. La forma en que se obtiene un periodo retorno es realizando un análisis histórico de registros recopilados, por lo que es indispensable que este tipo de información esté al alcance de todos para facilitar la realización de trabajos académicos (MARTÍNEZ GONZALEZ, PEÑA SERNA, & RESTREPO BETANCUR, 2019).

### **3.2.9 Cuenca hidrográfica**

Un hidrograma unitario que muestra cómo una cuenca hidrográfica se comporta bajo cantidad de precipitación. Este concepto es importante para estimar cómo variarán los hidrogramas de escorrentía ante diversas intensidades de precipitación. Al representar la distribución temporal del flujo de escorrentía generada por esta cantidad de lluvia, el hidrograma unitario se convierte en una herramienta fundamental en la predicción de caudales resultantes para diferentes condiciones climáticas (Xu, 2023).

### **3.2.10 Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS)**

Es un software desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, utilizado ampliamente en ingeniería hidráulica para la modelización y análisis de la hidráulica de ríos, canales y sistemas de drenajes. Esta herramienta también nos permite modelar un flujo estacionario y no estacionario, así como medir el transporte de sedimentos, calidad de agua, temperatura (Peker, Gülbaz, Demir, Orhan, & Beden, 2024).

### **3.2.11 Hydrological Engineering Center – Geospatial River Analysis System (HEC–GeoRas)**

HEC-GeoRAS es una extensión creada por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos para complementar el software HEC-RAS. Al integrarse con sistemas de información geográfica, ofrece la capacidad de realizar análisis hidráulicos más detallados. Al aprovechar los datos geoespaciales, permite modelar inundaciones utilizando información relevante, como caudales máximos asociados a períodos de retorno específicos (Alcántara Boza & Castro Tenorio, 2021).

### **3.2.12 Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)**

Es un software desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Se utiliza para modelar y simular el comportamiento hidrológico de cuencas hidrográficas, permitiendo realizar análisis detallados de los procesos hidrológicos en una cuenca determinada (Xiao, 2024).

### **3.2.13 Curvas de nivel**

Las curvas de nivel, o también conocidas como líneas de contorno, son los trazos de un mapa que unen puntos extraídos en campo mediante topográfica, estos contienen información clave como la georreferenciación del lugar, la altura sobre el nivel del mar medio, cada contorno es una curva cerrada a lo largo del mapa generado, los intervalos de cada contorno son cada vez mayor siempre que el mapa sea cada vez menor (Yan, 2019).

## **3.3 Antecedentes referenciales**

Tal como lo explican Muñoz y Zamudio, hay que establecer una zona de estudio concreta para lograr realizar la investigación tomando en cuenta aspectos espaciales y temporales para lograr obtener resultados satisfactorios. También se recalca la acción de recopilar bibliografía para realizar una correlación de los resultados (Muñoz Barragán & Zamudio Huertas, 2018).

Se debe tener en cuenta la disponibilidad de los datos, en relación directa con este proyecto son los registros pluviométricos que en la mayoría de los casos están en bases de datos ya sea recolectados por centros académicos o por entidades gubernamentales nacionales o internacionales. Al momento de utilizar los modelados hidrológicos e hidráulicos se deben tener en cuenta que realizar un modelo preciso de la cuenca, para el modelado hidrológico realizado por el HEC-HMS, además se debe realizar un modelo preciso del canal natural para realizar un modelado hidráulico en el software HEC-RAS. Muchas de las veces crear un modelo digital de elevaciones (DEM acrónimo en inglés) de una cuenca hidrográfica resulta

muy poco preciso por lo que se necesita datos de campo para establecer un punto de referencia y poder realizar un modelo digital de calidad (Timbe Castro, Crespo Sánchez, & Cabrera-Balarezo, 2019).

Basado en los datos de los modelos hidrológicos e hidráulicos, se debe realizar la zonificación correspondiente de los sectores con mayor susceptibilidad a inundarse respecto a varios periodos de retornos, en cambio el riesgo no solo depende del nivel de agua, es este enfoque de cuantificador de riesgo a inundaciones que Ruiz Magaña, M. P., Rivera Godínez, M. F., & Hernández Guerrero, J. A hacen una relación directa respecto al tipo de viviendas ubicadas en los sectores inundables, esto dio como resultado una relación directa con factores económicos y además esto influye en el grado de resiliencia y recuperación ante los eventos extremos de inundaciones (Hernández Guerrero & Rivera Godínez, 2022).

#### **4. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

##### **4.1 Modalidad básica de la investigación**

En el presente proyecto de titulación se aplicará la modalidad de investigación documental, de campo y experimental, considerando la implicación de recolectar datos topográficos in situ para la elaboración de este proyecto.

##### **4.2 Tipo de investigación**

En primera instancia la investigación y realización del proyecto será de tipo documental en donde su principal enfoque será la recopilación de información de fuentes académicas con el fin de lograr una base de conocimiento teórico, el siguiente tipo de investigación a utilizar será de campo, está en cambio estará enfocada hacia la recolección de datos topográficos e hidrológicos de la zona de estudio y en última instancia se utilizará el tipo de investigación experimental para el procesamiento de datos con los cuales se podrá determinar cuáles son las zonas más susceptibles a inundarse en eventos de lluvias torrenciales y la altura máxima de lámina de agua.

##### **4.3 Objeto de estudio**

El objeto de estudio será la zona influenciada por el Río Piedras y el Río La Bocana que se encuentran ubicados en el cantón Piñas, en la ilustración 6 y 7 se puede observar lo sitios poblados más cercanos a los ríos, en donde se presentan los mayores efectos adversos debido a las inundaciones en temporada invernal.

#### **4.4 Descripción de la población y muestra**

Al tratarse de un estudio en la parroquia La Bocana y la parroquia Piedras, ambas pertenecientes al cantón Piñas, se delimitó la población hasta 10000 habitantes, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de La Bocana y de Piedras, las poblaciones se encuentran por debajo de los 10000 habitantes.

#### **4.5 Métodos con los materiales utilizados**

Los métodos que se utilizarán durante la elaboración de este proyecto constan de 3 fases en donde se realizarán diversas actividades para el cumplimiento de las mismas, las fases son las siguientes:

##### **4.5.1 Recopilación de información**

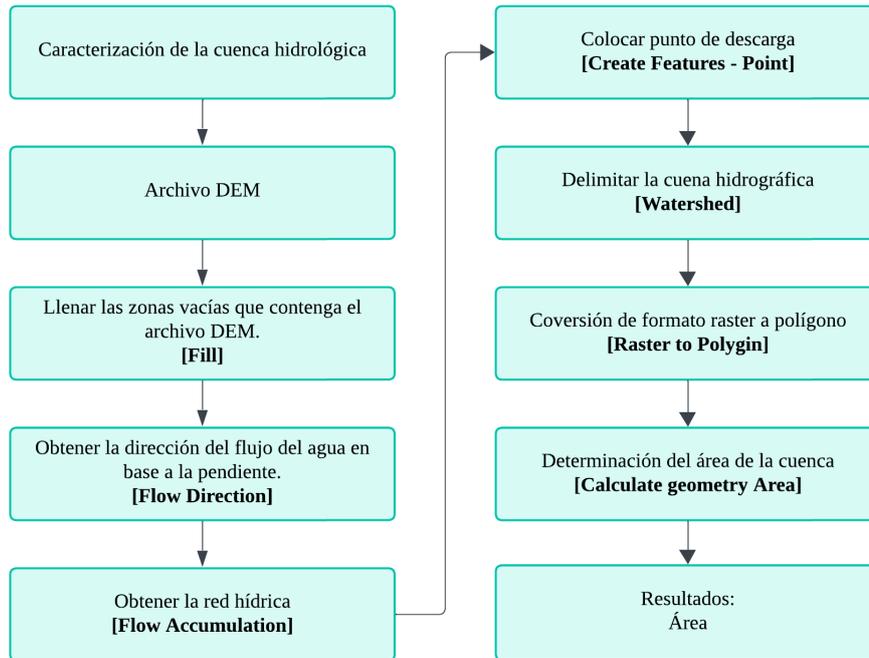
Esto se llevará a cabo por medio de una extensa y exhaustiva búsqueda de bibliografía que esté relacionado al tema de discusión de este proyecto, la información se obtendrá de fuentes verificables como trabajos de investigación académicos o artículos científicos. Esto se realizará para obtener información que servirá de base para obtener y procesar datos hidrológicos e hidráulicos.

##### **4.5.2 Procesamiento de información**

En base a la información bibliográfica, es necesario obtener información geoespacial por medio de modelos digitales de elevaciones (Digital Model Elevation, DEM), esta información se obtiene por medio del satélite ALOS PALSAR, además se necesitarán registros históricos de precipitación de las zonas de estudio, a nivel nacional, el manejo de esta información por parte del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) es deficiente por varias razones que están fuera del alcance de este trabajo académico, es por esta razón que esta información se obtendrá por medio del satélite Giovanni.

La caracterización de la cuenca hidrográfica se la realizará utilizando software ArcGIS, el cual emplea Sistemas de Información Geográfica, utilizando como dato de entrada el modelo digital de elevaciones para obtener las siguientes características de la cuenca hidrográfica. Mediante la ilustración 8 se puede observar el diagrama de flujo con la secuencia de pasos a seguir para caracterizar la cuenca hidrográfica.

**Ilustración 8:** Caracterización de la cuenca



**Fuente:** Elaboración propia

### 4.5.3 Estimación de los caudales de diseño

El análisis de las precipitaciones es de suma importancia para comprender y prever los riesgos que se podrían presentar, lo que implica una mejor gestión y organización en la identificación de zonas vulnerables ante los eventos de inundaciones y a su vez a establecer mejores planes de acción preventiva ante los mismos.

Al tratarse de zonas rurales, no había suficiente información disponible que se pudiera obtener a través de una institución nacional, por lo que los datos pluviométricos se obtuvieron a través del satélite “Giovanni” (Geospatial Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure) de la NASA, es una herramienta que facilita el acceso, visualización y análisis de datos medioambientales y climáticos.

Al emplear modelos estadísticos era necesario tener registros de varios años para que los resultados sean precisos, por lo que se obtuvieron registros desde el año 1995 hasta el año 2022 dando como resultado un total de 27 registros anuales.

Los registros pluviométricos son necesarios para determinar las curvas IDF (intensity – dration – frequency) que son cruciales en proyecto que necesiten planificación hidrológica o hidráulica. Las gráficas resultantes se generan a partir de intervalos de tiempo de 5 minutos por 1 hora, esto a su vez nos da la capacidad de estimar los caudales de diseño respecto al tiempo de concentración.

### ***Tiempo de concentración***

Se seleccionó método de Kirpich para estimar el tiempo de concentración aplicando la siguiente fórmula:

$$T_c = 0.00325 * L^{0.77} * S^{-0.355} \quad [1]$$

Dónde:

L= Longitud del cauce principal [m]

S= Pendiente media del cauce principal

### ***Coefficiente de escorrentía***

Para determinar el valor del coeficiente de escorrentía de una cuenca hidrográfica se debe recordar que en una cuenca se pueden presentar varios tipos de suelo, esto es evidente en cuencas cercanas a poblaciones humanas en donde el suelo sufre grandes alteraciones en consecuencia al aumento demográfico. Por medio del procedimiento brindado por el libro de Chow David podemos calcular el valor del coeficiente de escorrentía de manera ponderada como se observa en el anexo 8.1

### ***Análisis hidráulico***

El análisis hidráulico se llevó a cabo por medio de software, en este caso se utilizó ArcGIS para el proceso de caracterización de la cuenca hidrográfica, los productos generados luego se los ingresaron a una extensión del software ArcGIS, en este caso HEC – GeoRAS, esta extensión nos permite crear la geometría del río, el cual se observa en la ilustración 9 y 10, también se puede asignar atributos a las distintas entidades geográficas, además los productos generados que este caso son los márgenes del río y sus secciones transversales son compatibles con el software HEC – RAS el cual se utilizó para realizar la modelación hidráulica, en este software es en dónde se determinarán las zonas que son más susceptibles a inundarse, esto se logra añadiendo datos para simular la naturaleza del río como el coeficiente de Manning, estableciendo los tipos de flujo, así como el régimen en el cual se necesite ejecutar la simulación. Una vez finalizada la simulación podemos observar por medio de tablas o diagramas los resultados como velocidad, altura de la lámina de agua, tirante crítico, etc.

El coeficiente de rugosidad de Manning se calcula de la siguiente manera, utilizando el método de Cowan:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5 \quad [2]$$

Dónde:

$n$  = Coeficiente de rugosidad de Manning

$n_0$  = Coeficiente para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados.

$n_1$  = Coeficiente que debe agregarse al  $n_0$  para corregir el efecto de la rugosidad superficial.

$n_2$  = Coeficiente que considera las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal.

$n_3$  = Coeficiente para considerar las obstrucciones.

$n_4$  = Coeficiente que considera la vegetación y condiciones de flujo.

$m_5$  = Factor de corrección.

### ***Crterios para la generaci3n de mapas de peligro por inundaciones***

Los resultados obtenidos por el software HEC-RAS se los ingres3 al programa ArcGIS para generar los mapas de inundaci3n, que se representa las zonas d3nde se acumula el agua durante inundaci3n como un pol3gono cerrado, con esta informaci3n se pueden generar m3s resultados como el volumen de agua comprendido en la zona, las 3reas afectadas y la altura del nivel de agua durante las inundaciones, los mapas se generan por intervalos de tiempo espec3fico en los cuales se prev3 que ocurran eventos de inundaciones en las zonas, en la ilustraci3n 11 se encuentra un diagrama de flujo resumiendo los procesos clave para llegar a los resultados deseados.

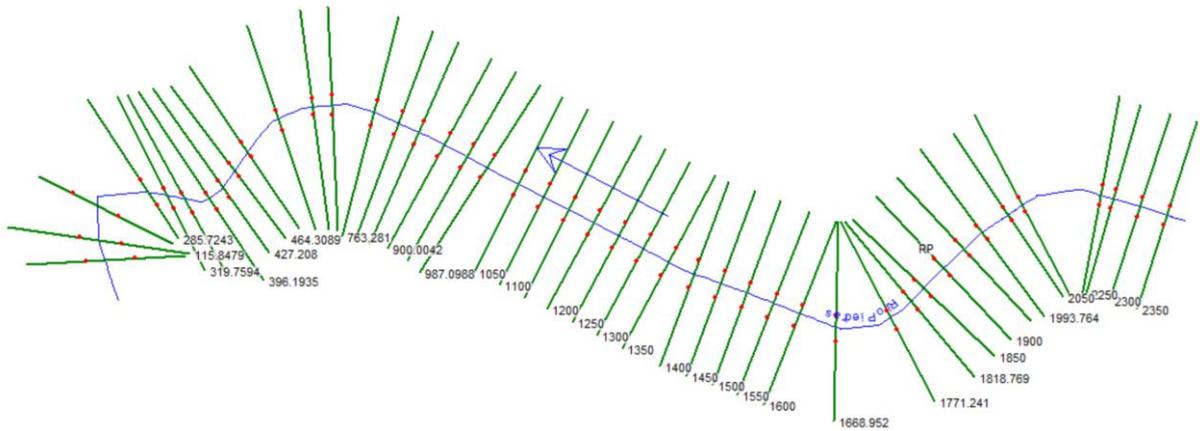
Para determinar un nivel de peligrosidad a las inundaciones usaremos como base la tabla 5:

**Tabla 5:** Nivel de peligro de inundaciones

<b>La Bocana</b>		<b>Piedras</b>	
<b>Nivel de peligro</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Nivel de peligro</b>	<b>Altura (m)</b>
<b>Nulo</b>	$h \leq 1.5$	<b>Nulo</b>	$h \leq 0.75$
<b>Bajo</b>	$1.5 \leq h \leq 2.5$	<b>Bajo</b>	$0.75 \leq h \leq 1.5$
<b>Medio</b>	$2.5 \leq h \leq 4$	<b>Medio</b>	$1.5 \leq h \leq 2.25$
<b>Alto</b>	$4 \leq h \leq 5.25$	<b>Alto</b>	$2.25 \leq h \leq 3$
<b>Muy alto</b>	$h \geq 5.25$	<b>Muy alto</b>	$h \geq 3$

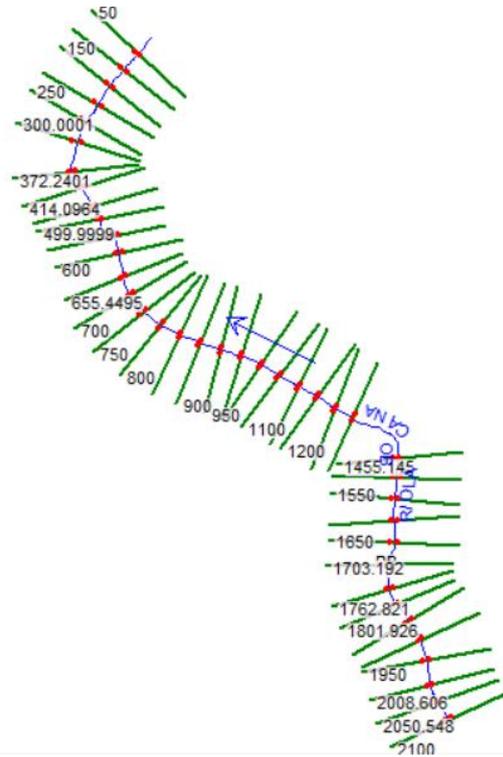
**Fuente:** Elaboraci3n propia

**Ilustración 9:** Geometría del río Piedras



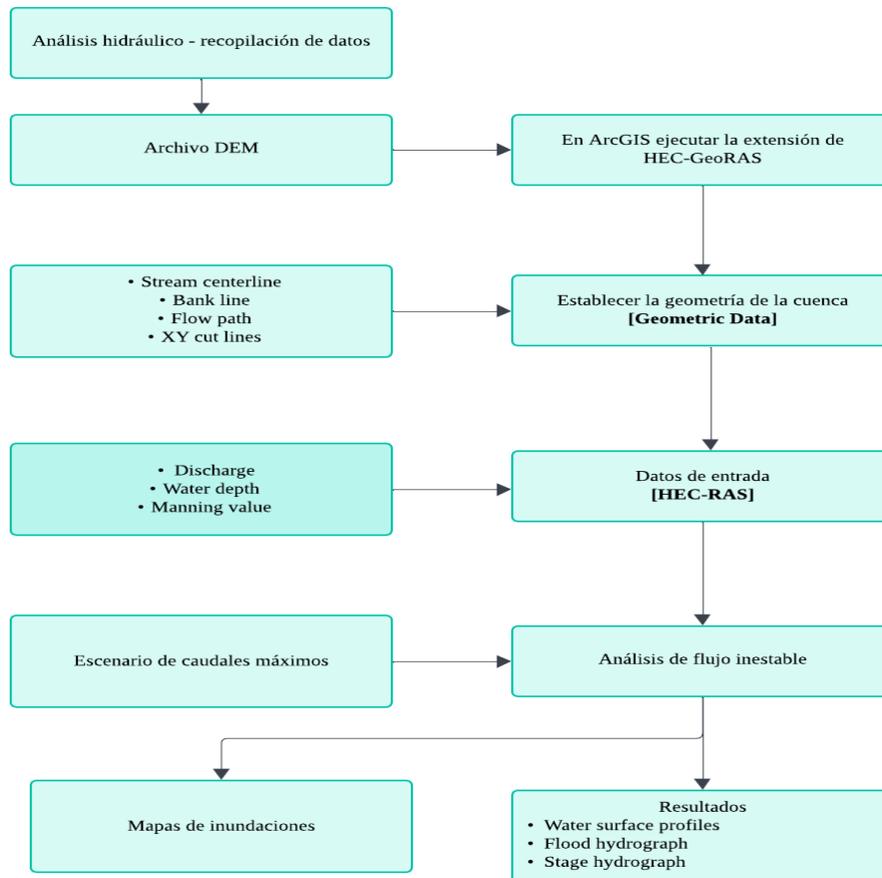
**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 10:** Geometría del río La Bocana



**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 11:** Análisis hidráulico - recopilación de datos



Fuente: Elaboración propia

## 5. Capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados

### 5.1 Entorno hidrológico

#### 5.1.1 Análisis de precipitaciones del río Piedras y La Bocana

La recopilación de información de precipitaciones en las zonas de estudio es crucial porque al tener una mayor cantidad de datos históricos produce que los resultados sean más precisos y esto a su vez nos permite calcular la probabilidad de que ocurran dentro de un intervalo de tiempo determinado.

En este análisis se seleccionaron varios periodos de retorno abarcando los periodos de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años. Esto en base a los criterios de Jorge Julián Vélez en su libro de diseño hidráulico de obras de ingeniería para proyectos viales, además en ambas zonas estudio tanto en la parroquia La Bocana y la parroquia Piedras se obtuvieron datos pluviométricos similares que van de 1995 a 2022 como se pueden observar en la tabla 6.

**Tabla 6:** Cantidades de precipitación en la zona del río Piedras y La Bocana

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1995	93.74	146.16	178.92	98.92	63.20	18.32	15.51	9.26	8.48	28.60	54.12	122.05	178.92
1996	171.00	205.11	206.35	90.23	42.25	22.81	20.63	13.85	13.79	53.38	22.28	52.39	206.35
1997	97.93	123.29	222.90	171.18	54.11	36.87	24.10	18.82	44.34	84.21	164.55	283.36	283.36
1998	241.26	320.96	334.37	288.53	162.57	51.99	40.71	19.67	22.62	47.54	31.55	64.62	334.37
1999	137.35	352.18	259.40	136.64	114.82	52.80	24.74	21.43	44.68	24.35	27.66	151.05	352.18
2000	104.88	234.06	320.04	193.43	121.09	37.58	13.61	17.50	40.99	10.38	9.77	67.18	320.04
2001	195.19	149.10	332.63	103.71	51.36	31.20	17.22	21.38	15.49	11.54	46.50	60.59	332.63
2002	73.91	203.82	298.85	174.92	51.72	18.82	13.38	11.75	7.50	42.54	50.45	98.68	298.85
2003	77.06	112.71	135.46	106.66	42.62	24.96	13.98	13.00	14.02	27.19	40.98	93.66	135.46
2004	81.73	138.91	133.75	161.40	57.82	33.35	31.25	16.94	40.50	48.06	33.50	59.64	161.40
2005	79.20	167.41	315.41	96.37	38.35	26.14	12.49	13.33	10.63	32.39	16.80	73.52	315.41
2006	115.33	284.33	284.41	127.94	33.02	24.29	9.68	7.30	12.84	21.83	89.50	126.70	284.41
2007	136.89	94.33	225.43	160.71	67.10	41.18	8.06	21.81	10.67	26.26	56.53	77.65	225.43
2008	226.03	351.87	334.80	260.97	83.01	32.37	27.27	24.79	15.14	69.37	61.07	57.76	351.87
2009	245.88	249.19	200.42	121.64	86.36	22.16	14.54	13.80	10.44	25.34	28.93	110.36	249.19
2010	128.50	238.79	228.27	156.82	74.98	52.72	31.85	14.09	22.87	29.02	39.05	103.48	238.79
2011	150.78	212.53	87.52	250.30	40.24	34.39	40.14	49.68	31.60	25.10	47.01	117.56	250.30
2012	314.80	339.93	202.65	218.88	78.86	29.12	15.92	9.50	10.46	38.85	82.38	64.72	339.93
2013	156.73	188.01	168.92	51.78	119.92	28.71	24.03	15.48	8.94	50.90	6.08	49.11	188.01
2014	112.05	135.60	178.35	62.79	210.40	62.74	20.46	20.43	16.07	55.65	26.79	61.22	210.40
2015	141.99	111.02	321.81	133.34	92.88	35.93	29.19	16.69	10.02	49.42	44.81	28.47	321.81
2016	151.47	186.84	194.05	144.82	49.86	40.17	21.13	15.19	29.20	13.10	22.37	90.88	194.05
2017	187.97	190.02	284.66	189.43	90.97	29.25	26.70	19.68	7.38	13.06	19.01	84.24	284.66
2018	118.75	150.92	138.36	94.82	79.85	27.50	18.18	19.33	12.89	13.73	87.73	74.05	150.92
2019	157.18	166.60	151.98	149.99	58.39	29.85	29.06	30.75	8.40	31.36	36.74	94.68	166.60
2020	97.55	210.90	125.59	103.16	61.90	12.27	19.21	8.13	19.09	4.77	13.42	55.02	210.90
2021	101.78	100.04	256.54	93.23	67.17	26.40	11.33	9.84	7.80	57.20	59.23	49.59	256.54
2022	98.37	113.47	207.75	124.66	53.77	37.90	38.73	19.76	12.31	32.72	13.97	59.91	207.75
<b>MAX</b>	<b>314.80</b>	<b>352.18</b>	<b>334.80</b>	<b>288.53</b>	<b>210.40</b>	<b>62.74</b>	<b>40.71</b>	<b>49.68</b>	<b>44.68</b>	<b>84.21</b>	<b>164.55</b>	<b>283.36</b>	<b>352.18</b>

Fuente: Elaboración propia

Las curvas IDF se elaboraron utilizando los datos recolectados de precipitación, para identificar la relación presente en un intervalo de 24 horas, las cuales posteriormente fueron aplicadas a diferentes duraciones de lluvia, los coeficientes se muestran a continuación en la tabla 7.

**Tabla 7:** Coeficientes para las relaciones de precipitación en 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: Elaboración propia

Utilizando los coeficientes anteriores se obtuvo la intensidad de lluvia que se expresa en unidades de mm/min, los valores obtenidos están en relación a los periodos de retorno y a intervalos de tiempo en minutos que se pueden observar en las tablas 8 y 9.

**Tabla 8:** Intensidades de precipitación sobre el río Piedras

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	413.93	269.54	209.73	175.52	152.89	136.57	124.15	114.30	106.27	99.56	93.86	88.93
5	472.60	307.76	239.46	200.41	174.56	155.93	141.75	130.50	121.33	113.67	107.16	101.54
10	522.46	340.22	264.72	221.55	192.97	172.38	156.70	144.27	134.13	125.66	118.46	112.25
25	596.52	388.45	302.25	252.95	220.33	196.82	178.91	164.72	153.14	143.48	135.26	128.17
50	659.45	429.43	334.13	279.64	243.57	217.58	197.78	182.10	169.30	158.61	149.53	141.69
100	729.01	474.72	369.38	309.14	269.26	240.53	218.65	201.31	187.16	175.34	165.30	156.63

Fuente: Elaboración propia

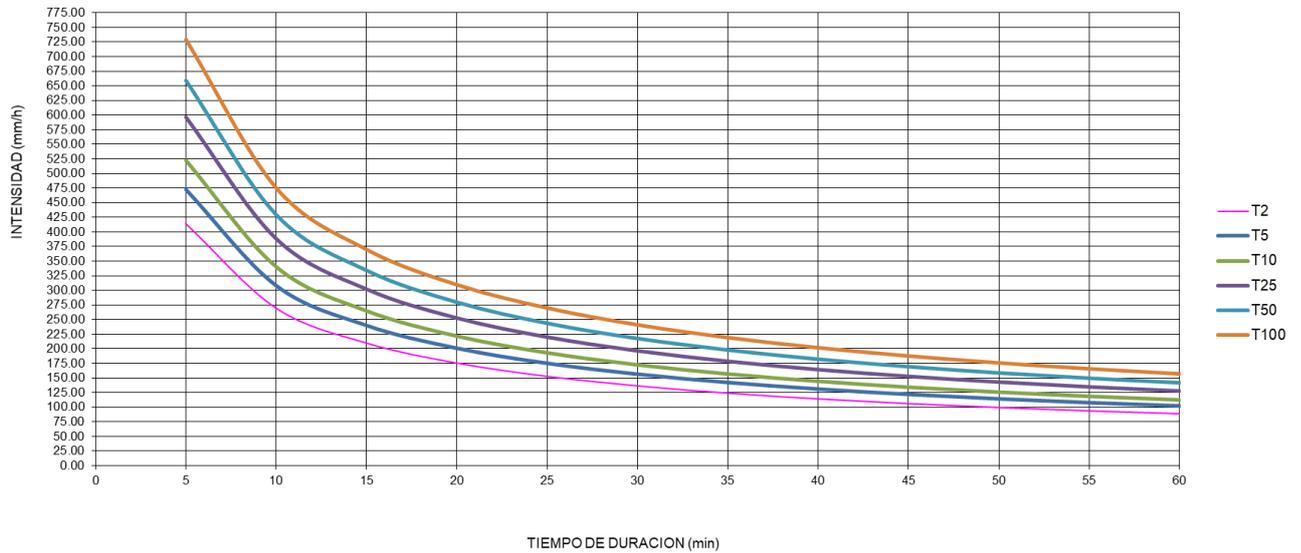
**Tabla 9:** Intensidades de precipitación sobre el río La Bocana

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	413.93	269.54	209.73	175.52	152.89	136.57	124.15	114.30	106.27	99.56	93.86	88.93
5	472.60	307.76	239.46	200.41	174.56	155.93	141.75	130.50	121.33	113.67	107.16	101.54
10	522.46	340.22	264.72	221.55	192.97	172.38	156.70	144.27	134.13	125.66	118.46	112.25
25	596.52	388.45	302.25	252.95	220.33	196.82	178.91	164.72	153.14	143.48	135.26	128.17
50	659.45	429.43	334.13	279.64	243.57	217.58	197.78	182.10	169.30	158.61	149.53	141.69
100	729.01	474.72	369.38	309.14	269.26	240.53	218.65	201.31	187.16	175.34	165.30	156.63

**Fuente:** Elaboración propia

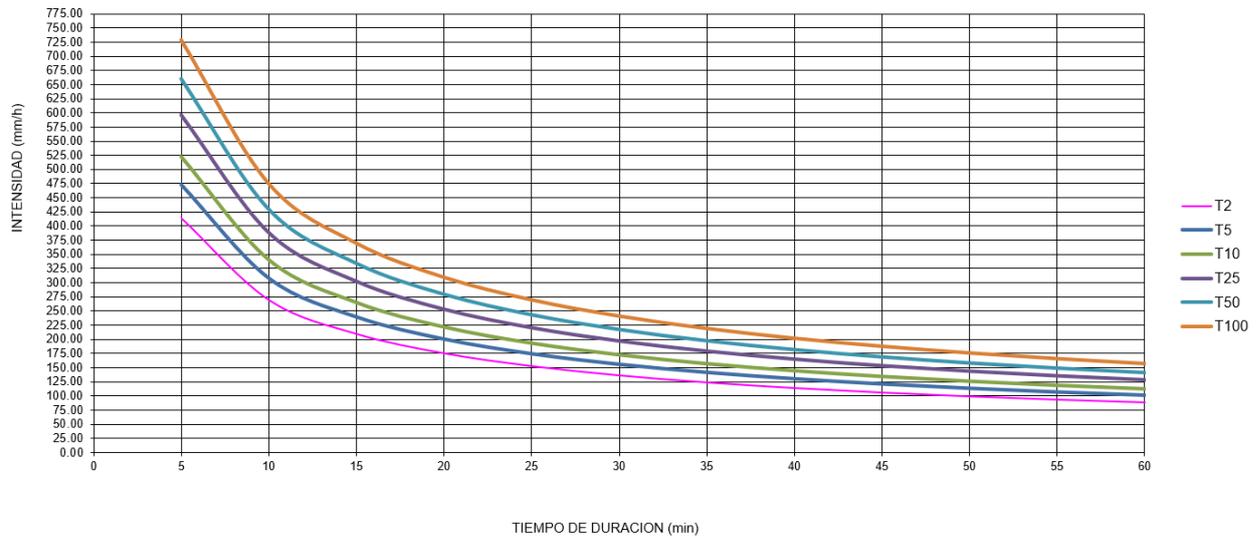
Estos datos se utilizaron de manera posterior para realizar las curvas IDF, que los valores de las abscisas son las duraciones en minutos y las ordenadas corresponden a las intensidades, cada curva corresponde a un periodo de retorno determinado que muestran en la ilustración 12 y 13.

**Ilustración 12:** Curvas IDF del río Piedras



**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 13:** Curvas IDF del río La Bocana



**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.2 Áreas de estudio: Cuenca del río la Bocana y del río Piedras

Ambas zonas fueron caracterizadas por medio de la utilización de modelos digitales de elevación (DEM) que fueron utilizados como datos de entrada en el software ArcGIS, los parámetros físicos resultantes fueron necesarios para el posterior cálculo de los caudales.

A continuación, en las tablas 10 y 11 se muestran los resultados de la caracterización física:

**Tabla 10:** Parámetros físicos del río Piedras

Parámetros físicos	
Área (A)	23.74 Km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	22.01 Km
Longitud del cauce principal (L)	2.38 Km
Pendiente (S)	0.02 m/m

**Fuente:** Elaboración propia

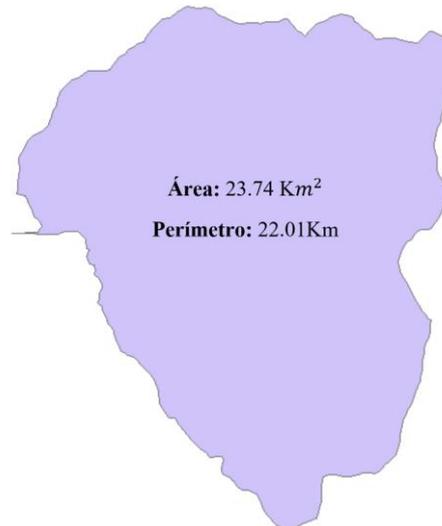
**Tabla 11:** Parámetros físicos del río La Bocana

Parámetros físicos	
Área (A)	56.11 Km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	37.27 Km
Longitud del cauce principal (L)	2.11 Km
Pendiente (S)	0.02 m/m

**Fuente:** Elaboración propia

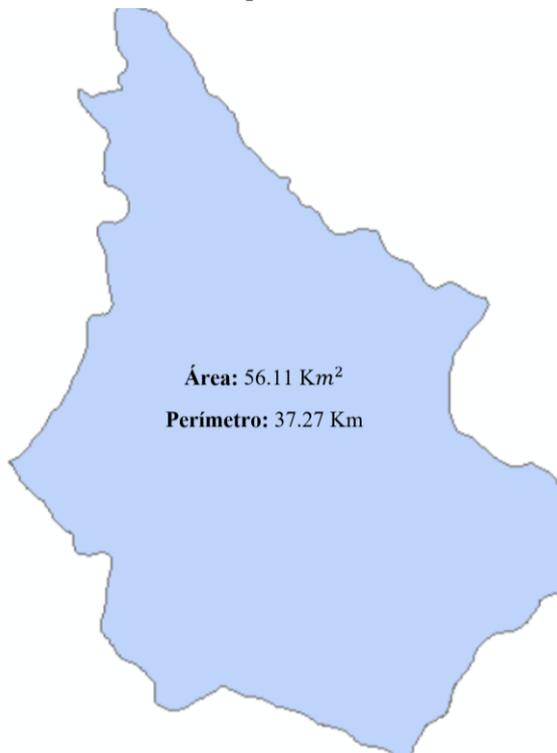
Tal como se mencionó anteriormente, la caracterización de la cuenca en las zonas de estudio se determinó mediante el software ArcGIS, obteniendo como resultado las ilustraciones 14 y 15.

**Ilustración 14:** Cuenca perteneciente al río Piedras



**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 15:** Cuenca perteneciente al río La Bocana



**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.3 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es uno de los parámetros más importantes dentro de la hidrología porque nos muestra que tanto del agua que cae por medio de las precipitaciones se convierte en escorrentía y que cantidad se infiltra en el suelo.

El método que se aplicó para calcular el coeficiente de las zonas de estudio consiste en ponderar la influencia de los distintos tipos de suelo que se puedan presentar, así como su porcentaje de área, se utilizó la tabla 12 y 13 para mostrar los resultados.

**Tabla 12:** Coeficiente de escorrentía del río Piedras

Uso	Sección	Área m2	Área km <sup>2</sup>	Fracción de Área	Coeficiente de Escorrentia					
					2	5	10	25	50	100
AGRICOLA	Área 1	494547.31	0.49	2.08%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
AGROPECUARIO MIXTO	Área 2	1389062.07	1.39	5.85%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
PECUARIO	Área 3	15907175.76	15.91	67.00%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53
CONSERVACION Y PROTECCION	Área 4	5095801.00	5.10	21.46%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
ANTROPICO	Área 5	168090.64	0.17	0.71%	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97
AVICOLA	Área 6	54565.68	0.05	0.23%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
AGUA	Área 7	270120.08	0.27	1.14%	0	0	0	0	0	0
TIERRAS IMPRODUCTIVAS	Área 8	362227.53	0.36	1.53%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39
	Área Total	23741590.08	23.74	100.0%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13:** Coeficiente de escorrentía del río La Bocana

Uso	Sección	Área m2	Área km <sup>2</sup>	Fracción de Área	Coeficiente de Escorrentia					
					2	5	10	25	50	100
CONSERVACION Y PROTECCION	Área 1	17035387.86	17.04	30%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
PECUARIO	Área 2	36638559.48	36.64	65%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53
AGROPECUARIO MIXTO	Área 3	1279658.33	1.28	2%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
AGRICOLA	Área 4	518290.80	0.52	1%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
ANTROPICO	Área 5	198579.61	0.20	0%	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97
TIERRAS IMPRODUCTIVAS	Área 6	13607.66	0.01	0%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39
AVICOLA	Área 7	191520.26	0.19	0%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
AGUA	Área 8	234549.03	0.23	0%	0	0	0	0	0	0
	Área Total	55875604.00	56.11	100%	Coeficiente de Escorrentia Ponderado =					

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.4 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se calcula por medio de la ecuación 1, la cual nos arroja un resultado de 34.8 minutos, con este resultado podemos correlacionarlo con los intervalos de tiempo establecidos previamente.

### 5.1.5 Cálculo de caudales de diseño

Con las intensidades calculadas al igual que los respectivos coeficientes de escorrentía de las cuencas hidrográficas del río La Bocana y el río Piedras obtuvieron los caudales de diseño por medio del método racional utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = 0.278 * C * I * A \quad [3]$$

Dónde:

Q = Caudal máximo de diseño en [m<sup>3</sup>/s]

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de precipitación máxima horaria [mm/h]

A = Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

A continuación, en las tablas 14 y 15 presentan los resultados obtenidos de la cuantificación de caudales:

**Tabla 14:** Caudales máximos calculados para el río Piedras

Frecuencia	Caudales máximos m <sup>3</sup> /s											
	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	1016.62	662.01	515.10	431.09	375.49	335.43	304.91	280.72	260.99	244.52	230.51	218.43
5	1253.69	816.39	635.22	531.62	463.05	413.65	376.01	346.19	321.85	301.54	284.27	269.36
10	1454.89	947.41	737.16	616.94	537.37	480.03	436.36	401.75	373.51	349.93	329.89	312.59
25	1816.50	1182.89	920.39	770.29	670.93	599.35	544.81	501.60	466.34	436.91	411.88	390.29
50	2138.18	1392.36	1083.38	906.69	789.75	705.48	641.29	590.43	548.93	514.28	484.82	459.40
100	2540.09	1654.08	1287.02	1077.12	938.19	838.09	761.84	701.41	652.11	610.94	575.95	545.76

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15:** Caudales máximos calculados para el río La Bocana

Frecuencia	Caudales máximos m <sup>3</sup> /s											
	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	2431.21	1583.18	1231.85	1030.95	897.98	802.17	729.18	671.35	624.15	584.76	551.26	522.36
5	2996.62	1951.37	1518.33	1270.71	1106.81	988.72	898.76	827.48	769.31	720.75	679.46	643.85
10	3475.35	2263.11	1760.89	1473.72	1283.63	1146.67	1042.34	959.67	892.21	835.89	788.01	746.70
25	4338.96	2825.49	2198.47	1839.93	1602.61	1431.62	1301.36	1198.15	1113.92	1043.61	983.83	932.26
50	5104.36	3323.91	2586.28	2164.50	1885.32	1684.16	1530.92	1409.50	1310.42	1227.70	1157.38	1096.71
100	6057.61	3944.66	3069.27	2568.72	2237.41	1998.68	1816.83	1672.73	1555.14	1456.98	1373.53	1301.52

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Entorno hidráulico

### 5.2.1 Coeficiente de rugosidad

Para determinar el valor de “n”, que en este caso se debe hacer de manera independiente para las dos zonas de estudio, esto se logra teniendo en cuenta las condiciones naturales de las zonas de estudio que nos sirven para establecer parámetros que se utilizarán en la ecuación 2, en la tabla 16 y 17 se observan los resultados obtenidos:

**Tabla 16:** Coeficiente de rugosidad perteneciente al río Piedras

Coeficiente de rugosidad		Detalles
n0	0.02	Tierra
n1	0.01	Moderado
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

**Tabla 17:** Coeficiente de rugosidad perteneciente al río La Bocana

Coeficiente de rugosidad		Detalles
n0	0.02	Tierra
n1	0.01	Moderado
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>

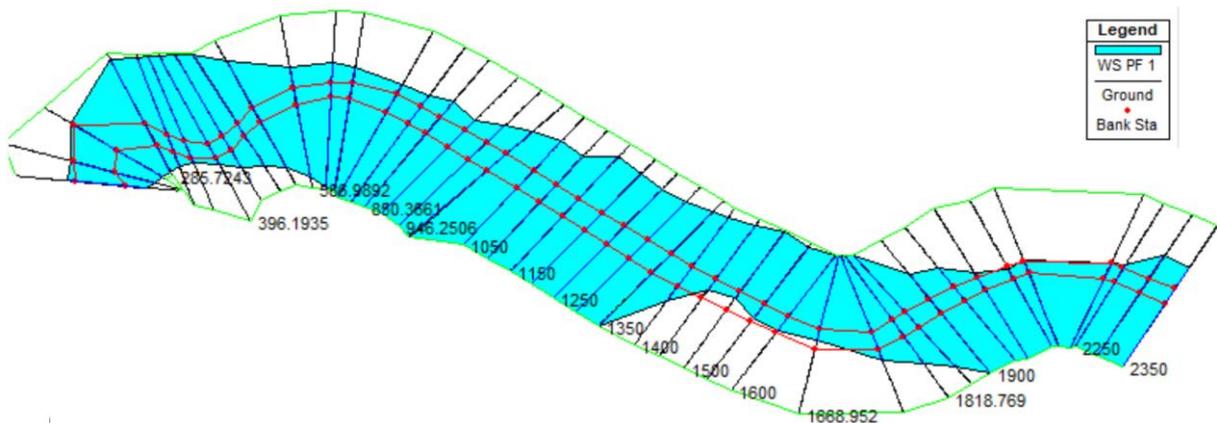
**Fuente:** Elaboración propia

### 5.2.2 Simulación de inundaciones

Por medio del software HEC-RAS, se realizó la simulación de inundaciones como datos de entrada se utilizaron las secciones transversales obtenidas por medio del software ArcGIS y su extensión HEC-GeoRAS, además se necesitan los caudales de diseño que se muestran en la tabla 14 y 15, a su vez como otro dato de entrada se necesita el coeficiente “n” de las zonas de estudio que se muestran en la tabla 16 y 17.

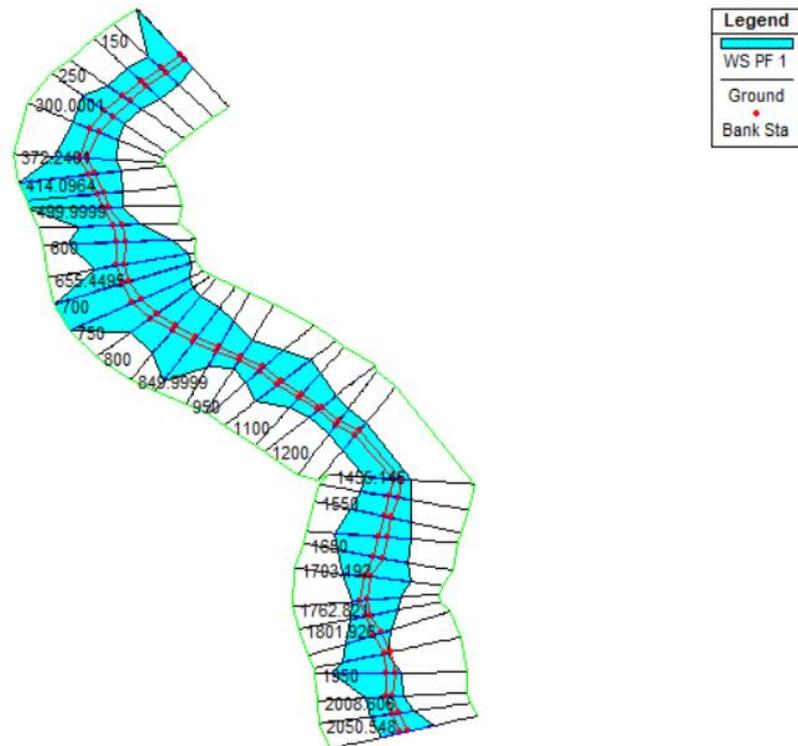
Con todos los parámetros anteriores se logró realizar la simulación con éxito, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Con el software HEC-RAS podemos tener una vista longitudinal y transversal de cada sección para apreciar más detalles de los escenarios de inundación.

**Ilustración 16:** Simulación de inundación sobre el río Piedras para un periodo de retorno de 100 años



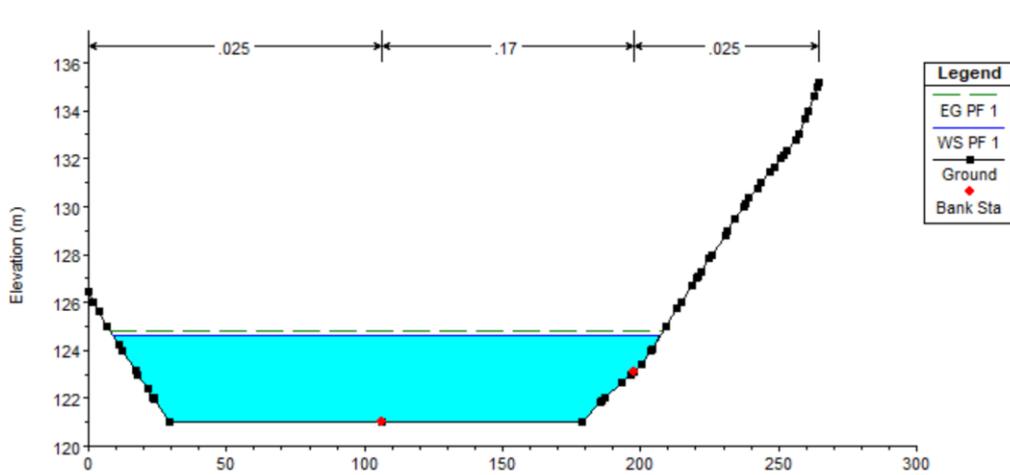
**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 17:** Simulación de inundación sobre el río La Bocana para un periodo de retorno de 100 años



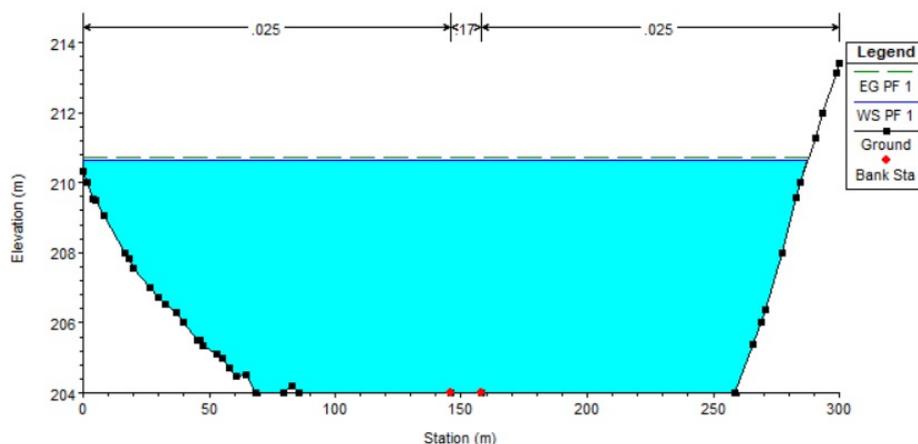
**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 18:** Sección transversal del río Piedras para un periodo de retorno de 100 años



**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 19:** Sección transversal del río La Bocana para un periodo de retorno de 100 años



**Fuente:** Elaboración propia

### 5.2.3 Levantamiento de información topográfica

El levantamiento de información topográfica se realizó con la finalidad de correlacionar los tirantes calculados por medio de HEC-RAS, con un conjunto de datos topográficos medidos en campo.

En la zona del río la Bocana se colocó un BM en las coordenadas 9592268.0000,621715.0000 y en la zona del río Piedras de igual manera se colocó un BM con las coordenadas 9598069.0000,620308.0000, luego de definir los puntos BM en ambas zonas se procedió a levantar la información topográfica por medio de la estación total.

El registro de puntos de ambas zonas de estudio se encuentra en las ilustraciones 22 y 23, en dónde se utilizó el World Geodetic System 1984 como sistema de referencia para las coordenadas.

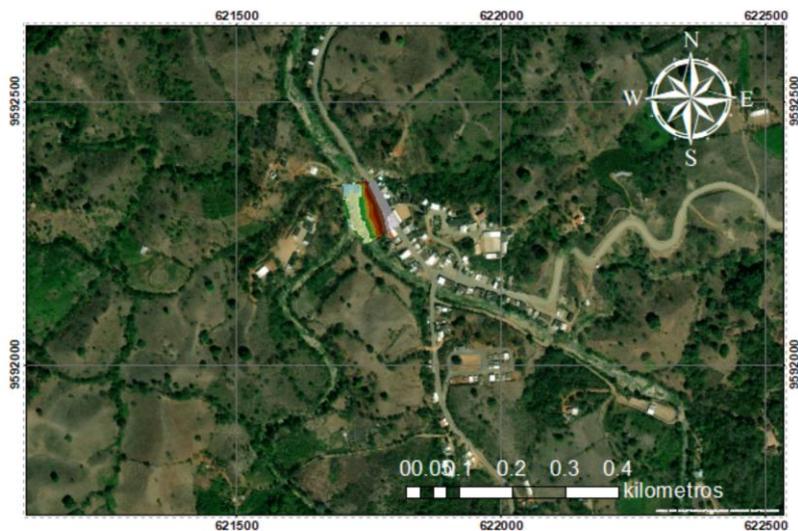
Los puntos se ingresaron en el software ArcGIS para generar una superficie, con esto se determinó que la zona del río La Bocana se levantó aproximadamente 7613.17 metros cuadrados mientras que la zona del río Piedras se levantó 2975.95 metros cuadrados.

**Ilustración 20:** Superficie generada de la topografía del río Piedras mediante Software ArcGIS



**Fuente:** Elaboración propia

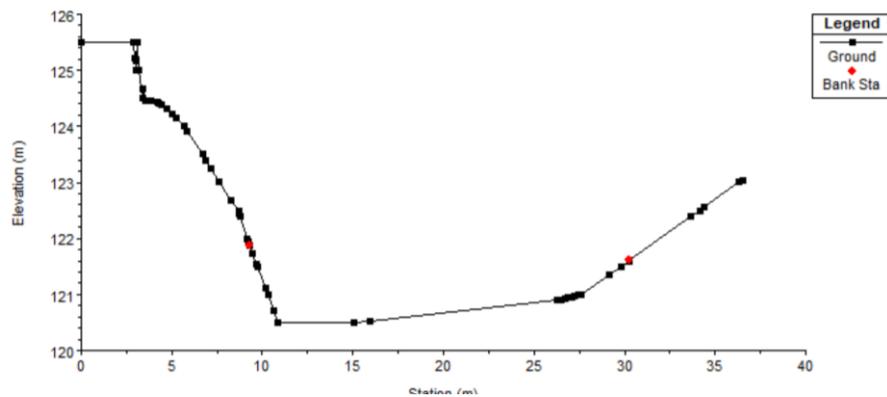
**Ilustración 21:** Superficie generada de la topografía del río La Bocana mediante Software ArcGIS



**Fuente:** Elaboración propia

Se pudo observar que la diferencia de cotas calculadas para el caso de la parroquia Piedras mediante software es 121 msnm y la calculada a través de datos topográficos tomadas in situ es 120.4 msnm, en contraste a estos resultados y las ilustraciones 18 y 22, se puede apreciar una mínima variación de cotas de fondo, quedando con un margen de error de  $\pm 0.6$  m.

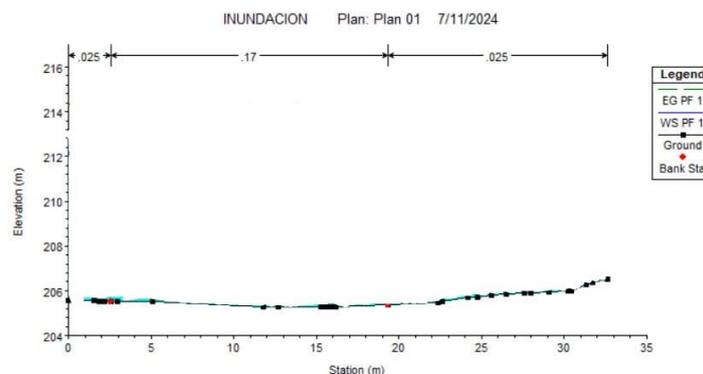
**Ilustración 22:** Perfil perteneciente al río Piedras generado mediante topografía in situ



**Fuente:** Elaboración propia

Así mismo se evidencio una diferencia de cotas de fondo en el caso del río La Bocana, teniendo como resultado mediante software de 204 msnm y la calculada a través de datos topográficos tomadas in situ de 205.6 msnm, como se puede observar en contraste con la ilustración 19 y 23, la variación de cotas de fondo también es mínimamente apreciable, teniendo un margen de error de  $\pm 1.6$  m.

**Ilustración 23:** Perfil perteneciente al río La Bocana generado mediante topografía in situ



**Fuente:** Elaboración propia

## 6. CONCLUSIONES

Se llevó a cabo una investigación detallada para reunir una amplia colección de artículos científicos y proyectos de investigación relacionados con el tema en cuestión. Este estudio nos permitió identificar la metodología adecuada para abordar la problemática de las parroquias La Bocana y Piedras. Para realizar el trabajo, se utilizó un satélite de acceso libre y se obtuvo un mapa de elevación digital (DEM) con una resolución de 12 metros. Para obtener información sobre el uso del suelo, se recurrió al Ministerio de Ganadería y Agricultura. Posteriormente, utilizando el software ArcMap, se delimitó la cuenca, obteniendo un área de drenaje de 56.11

km<sup>2</sup> y un perímetro de 37.27 km para la parroquia La Bocana, y un área de drenaje de 23.74 km<sup>2</sup> y un perímetro de 22.01 km para la parroquia Piedras.

Se elaboraron mapas de inundaciones para las parroquias La Bocana y Piedras, considerando periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, teniendo como resultados caudales de 729.18, 898.76, 1042.34, 1301.36, 1530.92 y 1816.83 m<sup>3</sup>/s para La Bocana y caudales de 304.91, 376.01, 436.36, 544.81, 641.29 y 761.84 m<sup>3</sup>/s para Piedras. Estos mapas muestran las áreas más propensas a inundarse según su tirante, como se detalla en los anexos. Se identificó que las zonas con mayor riesgo de inundación son la calle “Vía a Tahuín” en La Bocana y gran parte de la parroquia Piedras.

Se realizó un estudio topográfico en ambas zonas de estudio con el fin de comparar el margen de error existente entre los perfiles generados mediante software y los elaborados in situ, dando como resultado un margen mínimo de error en ambos ríos, por lo cual, tomando el caso más extremo, es decir, 100 años de periodo de retorno, la zona estudiada dentro de la parroquia Piedras al tener un tirante de más de 3 metros, se lo considera como zona de alto riesgo, esto es debido a que la altura del muro es de aproximadamente 2.5 metros de alto, sin contar el terreno natural, en cambio, la zona de estudio dentro de la parroquia La Bocana tiene un tirante hidráulico de 6.4 metros, por lo cual se lo considera como zona de alto riesgo, esto es debido a que entre el perfil del río existe una conexión entre una institución educativa y la parroquia, por lo cual quedaría en total aislamiento.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Utilizar aforos como un método para correlacionar los datos obtenidos a partir del proceso estadístico, esto es debido a que los datos de pluviometría nos permiten cuantificar los caudales de diseño, pero al ser un método estadístico, mientras más datos existan, la metodología tendrá una mayor precisión.
- Emplear los modelos digitales de elevación, estos ofrecen resultados satisfactorios ya que las zonas de estudio cuentan con un relieve irregular y con pendientes pronunciadas, en caso de realizarse un proyecto en una zona relativamente plana es posible que existan ciertos problemas al tratar de generar las secciones transversales
- Utilizar un software que emplee una compatibilidad con los resultados procesados para modelos digitales de elevación, en este caso HEC-RAS al ser un software muy utilizado en el campo de la hidrología e hidráulica, varios softwares tienen integrado por defecto herramientas

para generar datos compatibles con HEC-RAS como es el caso de Civil 3D, o si no poseen extensiones que se deben instalar por el usuario como es el caso de ArcGIS con su extensión HEC GeoRAS.

## 8 BIBLIOGRAFIA

Alarcón Neva, A. (2018). *Estimación de áreas vulnerables a inundaciones en zonas urbanas, caso: Morelia, Michoacán, México.* Morelia. doi:<http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/3053>

Alcántara Boza, A., & Castro Tenorio, A. (2021). Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Cordillera Central de los Andes. Microcuenca del río Saraus-río La Llanga. Celendín. *Revistas de investigación UNMSM*, 24(48). doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19852>

ao, K., Yang, S., Wang, Z., Liu, W., Han, J., Liu, Y., . . . Jaeger, C. (2024). A Novel Flood Risk Analysis Framework Based on Earth Observation Data to Retrieve Historical Inundations and Future Scenarios. *Remote Sens*, 16(8). doi:<https://doi.org/10.3390/rs16081413>

Arseni, M., Rosu, A., Calmuc, M., Calmuc, V., Iticescu, C., & Georgescu, L. (2020). Development of Flood Risk and Hazard Maps for the Lower Course of the Siret River, Romania. *Sustainability*, 12(16). doi:<https://doi.org/10.3390/su12166588>

Asanza Suarez, J. P. (2022). EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA QUEBRADA BALSAS EN EL CANTÓN BALSAS PARA LA DETERMINACIÓN DE FACTORES Y MAPAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN. "*Tesis de grado*". Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/21209>

Aversa, M., Rotger, D. V., & Senise, F. (2020). Vivir en las márgenes del riesgo. Inundación y resiliencia en La Plata. *Bitácora Urbano Territorial*, 30(3). doi:<https://doi.org/10.15446/bitacora.v30n3.86792>

Bismark, H. O. (2023). Modelación hidrológica del río Chaguana para la generación de mapas de inundación en la parroquia Tendales provincia de El Oro. "*Tesis de grado*". Universidad Técnica de Machala, Machala. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/21991/1/HENRIQUEZ%20ORTEGA%2C%20ALEX%2000067.pdf>

- Braz, A. M., Garcia, P. H., Pinto, A. L., Chávez, E. S., & Oliveira, I. J. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 69-85. doi:<https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Bryan Danilo Burgos Choez, c. J. (2019). parroquia, Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. *Investigaciones Geográficas • Instituto de Geografía • UNAM(98)*. doi:<https://doi.org/10.14350/rig.59767>
- Cai, W. M. (2020). Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 216-231. doi:<https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>
- Cardone, B., D'Ambrosio, V., Di Martino, F., & Miraglia, V. (2024). Hierarchical Fuzzy MCDA Multi-Risk Model for Detecting Critical Urban Areas in Climate Scenarios. *applied sciences*, 14(7). doi:<https://doi.org/10.3390/app14073066>
- Castillo García, C. L. (2023). Hydrological modeling of the urban basin of the Bélico river in the city of Santa Clara, Cuba. *Enfoque UTE*, 14(2), 77-93. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.888>
- Diaz, N., Lee, Y., Kothuis, B., Pagán-Trinidad, I., Jonkman, S., & Brody, S. (2024). Mapping the Flood Vulnerability of Residential Structures: Cases from The Netherlands, Puerto Rico, and the United States. *Geosciences*, 14(4). doi:<https://doi.org/10.3390/geosciences14040109>
- E, M. (2008). *Análisis de los impactos causados por el fenómeno meteorológico el niño 1997-1998 a escala regional y por países*. Informe de Pasantía PHI-LAC UNESCO.
- Espinoza-Molina, J., Paucar-Cáceres, A., Silva-Cornejo, M., Quispe-Prieto, S., Acosta-Caipa, K., Chambe-Vega, E., . . . Huerta-Tantalean, L. (2022). Enabling Risk Management and Adaptation to Climate Change through a Network of Peruvian Universities. *Sustainability*, 14(24). doi:<https://doi.org/10.3390/su142416754>
- Frontuto, V., Dalmazzone, S., Salcuni, F., & Pezzoli, A. (2022). Risk Aversion, Inequality and Economic Evaluation of Flood Damages: A Case Study in Ecuador. *Sustainability*, 12(23). doi:<https://doi.org/10.3390/su122310068>

- He, J., Wan, Y.-R., Chen, H.-T., & Wang, S.-L. (2022). Effects of Land Use Change on Rainfall Erosion in Luojiang River Basin, China. *Sustainability*, 14(14), 8441. doi:<https://doi.org/10.3390/su14148441>
- Hernández Guerrero, J. A., & Rivera Godínez, M. F. (2022). Capacidad de respuesta ante inundaciones en sectores con vulnerabilidad social de la delegación Félix Osores Sotomayor del municipio de Querétaro. *Acta Universitaria*, 32. doi:<https://doi.org/10.15174/au.2022.3282>
- Hilden, M. D. (2011). *Floods: vulnerability, risks and management*. doi:[https://purehost.bath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/16661916/TP\\_2\\_2012.pdf](https://purehost.bath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/16661916/TP_2_2012.pdf)
- Kevin Iselborn, M. S. (2023). *On the Importance of Feature Representation for Flood Mapping using Classical Machine Learning Approaches*. Department of Computer Science, University of Kaiserslautern-Landau, Kaiserslautern, Germany. doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.00691>
- Khouz, A., Trindade, J., Santos, P., Oliveira, S., El Bchari, F., Bougadir, B., . . . al., e. (2023). Flood Susceptibility Assessment through Statistical Models and HEC-RAS Analysis for Sustainable Management in Essaouira Province, Morocco. *Geosciences*, 382. doi:<https://doi.org/10.3390/geosciences13120382>
- MARTÍNEZ GONZALEZ, M. F., PEÑA SERNA, C., & RESTREPO BETANCUR, L. F. (2019). Cambio climático en la ciudad de Medellín – Colombia, en un periodo de cincuenta años (1960-2010). *DYNA*, 209(86), 312–318. doi:<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.69531>
- Merchán-Sanmartín, B., Aucapeña-Parrales, J., Alcívar-Redrován, R., Carrión-Mero, P., Jaya-Montalvo, M., & Arias-Hidalgo, M. (2022). Earth Dam Design for Drinking Water Management and Flood Control: A Case Study. *Water*, 14(13). doi:<https://doi.org/10.3390/w14132029>
- Muñoz Barragán, J. E., & Zamudio Huertas, E. (2018). Regionalización de ecuaciones para el cálculo de curvas de intensidad, duración y frecuencia mediante mapas de isolíneas en el departamento de Boyacá. *Tecnura*, 22(58), 53-64. doi:<https://doi.org/10.14483/22487638.14295>

- Nam, S., Lim, H., Choi, B., Li, Q., Moon, H., & Choi, H. (2024). Characteristics and Estimation of the Time of Concentration for Small Forested Catchments in Steep Mountainous Terrain. *forests*, 15(1). doi:<https://doi.org/10.3390/f15010186>
- Peker, İ., Gülbaz, S., Demir, V., Orhan, O., & Beden, N. (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in Flood Modeling and Flood Hazard Mapping. *Sustainability*, 16(3). doi:<https://doi.org/10.3390/su16031226>
- Quichimbo-Miguitama, F., Matamoros, D., Jiménez, L., & Quichimbo-Miguitama, P. (2022). Influence of Low-Impact Development in Flood Control: A Case Study of the Febres Cordero Stormwater System of Guayaquil (Ecuador). *Sustainability*, 14(12). doi:<https://doi.org/10.3390/su14127109>
- S., H., R., L., & J., E. (2020). Comparación de parámetros de valor extremo de la distribución generalizada asociada a eventos de precipitación extrema en América Central. *Uniciencia*, 34(1), 111-128. doi:<https://doi.org/10.15359/ru.34-1.7>
- Sánchez Armijos, M. E., & Morocho Ortega, A. E. (2023). ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD HIDROLÓGICA POR INUNDACIONES EN CIUDADES DE HASTA 6 000 HABITANTES. *tesis de grado*. Universidad Técnica de Machala, Machala. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22803>
- Serrano, S. A.-C.-I. (2016). Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de El Niño. Caso de estudio: Machala. *LA GRANJA: Revista de Ciencias de la Vida*, 53-68. doi:<https://doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.05>
- Takata, H., Obata, S., Sato, T., & Shimatani, Y. (2024). Back-Calculation of Manning's Roughness Coefficient by 2D Flow Simulation and Influence of In-Channel Physical Parameters in a Mountain River, Japan. *Water*, 16(4). doi:<https://doi.org/10.3390/w16020320>
- Timbe Castro, L. M., Crespo Sánchez, P. J., & Cabrera-Balarezo, J. J. (2019). Evaluation of the HEC-HMS model for the hydrological simulation of a paramo basin. *DYNA*, 86(210), 338-344. doi:<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.70738>
- Xiao, Y., Wen, T., Gu, P., Xiong, B., Xu, F., Chen, J., & Zou, J. (2024). Response of Floods to the Underlying Surface Changes in the Taojiang River Basin Using the Hydrologic

Engineering Center's Hydrologic Modeling System. *Water*, 16(8).  
doi:<https://doi.org/10.3390/w16081120>

Xu, Y., Liu, C., Yu, Q., Zhao, C., Quan, L., & Hu, C. (2023). Study on a Hybrid Hydrological Forecasting Model SCE-GUH by Coupling SCE-UA Optimization Algorithm and General Unit Hydrograph. *Water*, 15(15). doi: <https://doi.org/10.3390/w15152783>

Yan, H. (2019). Descripción y generalización de curvas de nivel. En: Enfoques de descripción y algoritmos de generalización automatizados para grupos de objetos de mapas. . *Springer Link*. doi:[https://www.doi.org/10.1007/978-981-13-3678-2\\_3](https://www.doi.org/10.1007/978-981-13-3678-2_3)

Zambrano, R. F. (2010). Modelación hidrológica de una microcuenca Altoandina ubicada en el Austro Ecuatoriano. *MASKANA*, 1(1). doi: <https://doi.org/10.18537/mskn.01.01.06>

## 9. ANEXOS

### 9.1 Anexo. Coeficiente de escorrentía

**Tabla 18:** 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

## 9.2 Anexo. Coeficiente de rugosidad mediante formula

**Tabla 19:** 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 Hidrología Aplicado - Chow David

### 9.3 Anexo. Coeficiente de rugosidad

**Tabla 19:** 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 Hidrología Aplicado - Chow David

**Tabla 19:** Valores del coeficiente de rugosidad n

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
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 Hidrología Aplicado - Chow David

**Tabla 19:** Valores del coeficiente de rugosidad n

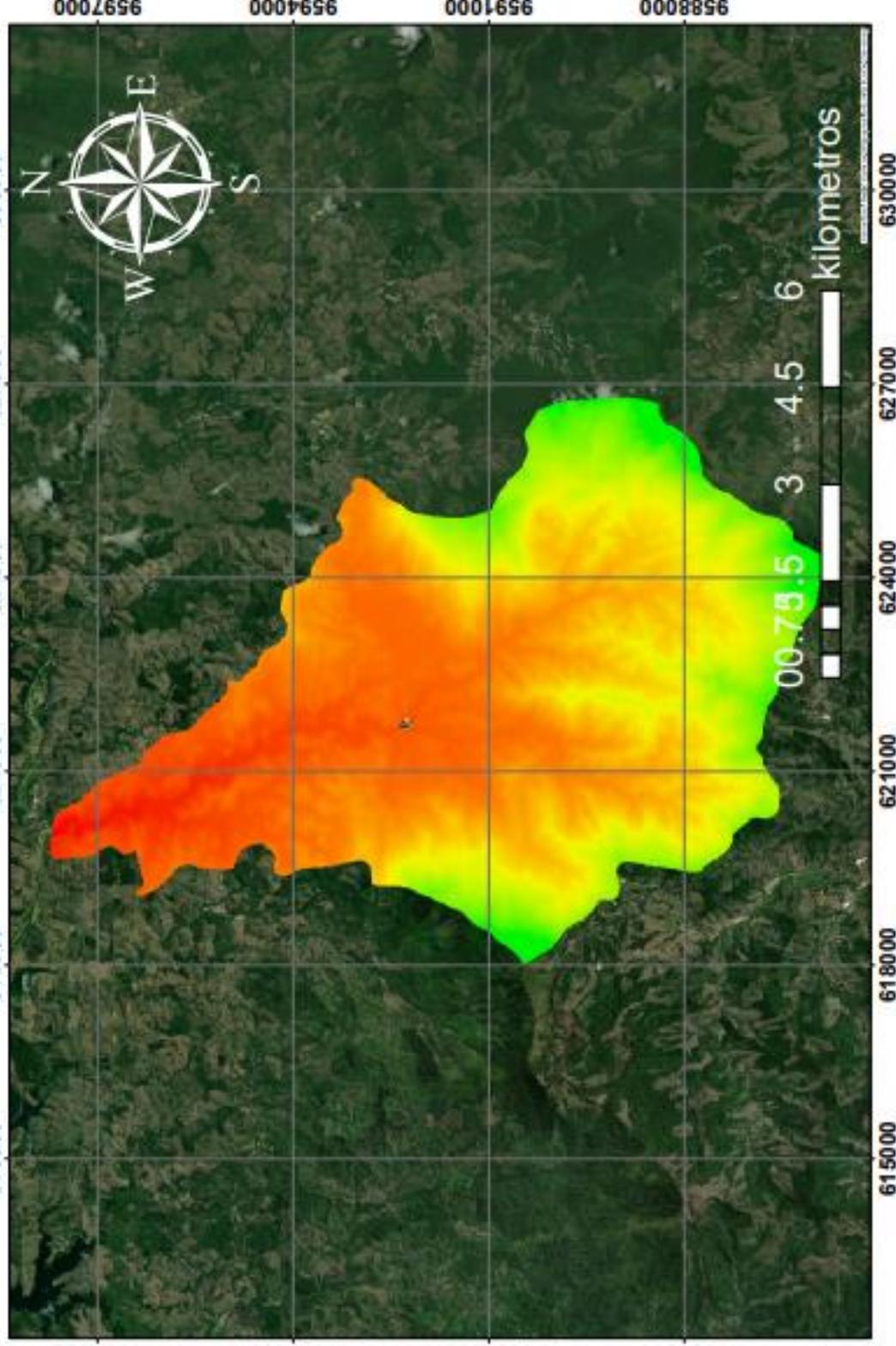
<b>Tipo de canal y descripción</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Normal</b>	<b>Máximo</b>
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de:			
1. Piedra labrada en mortero	0.015	0.017	0.02
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.02	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	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 Hidrología Aplicado - Chow David

## **9.4 Delimitación de la cuenca de la parroquia La Bocana**

# MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DE LA MICROCUENCA DE LA PARROQUIA LA BOCANANA

## UBICACIÓN



### ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

### UBICACIÓN:

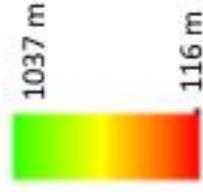
La Bocana- Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

### ESCALA:

1:3000

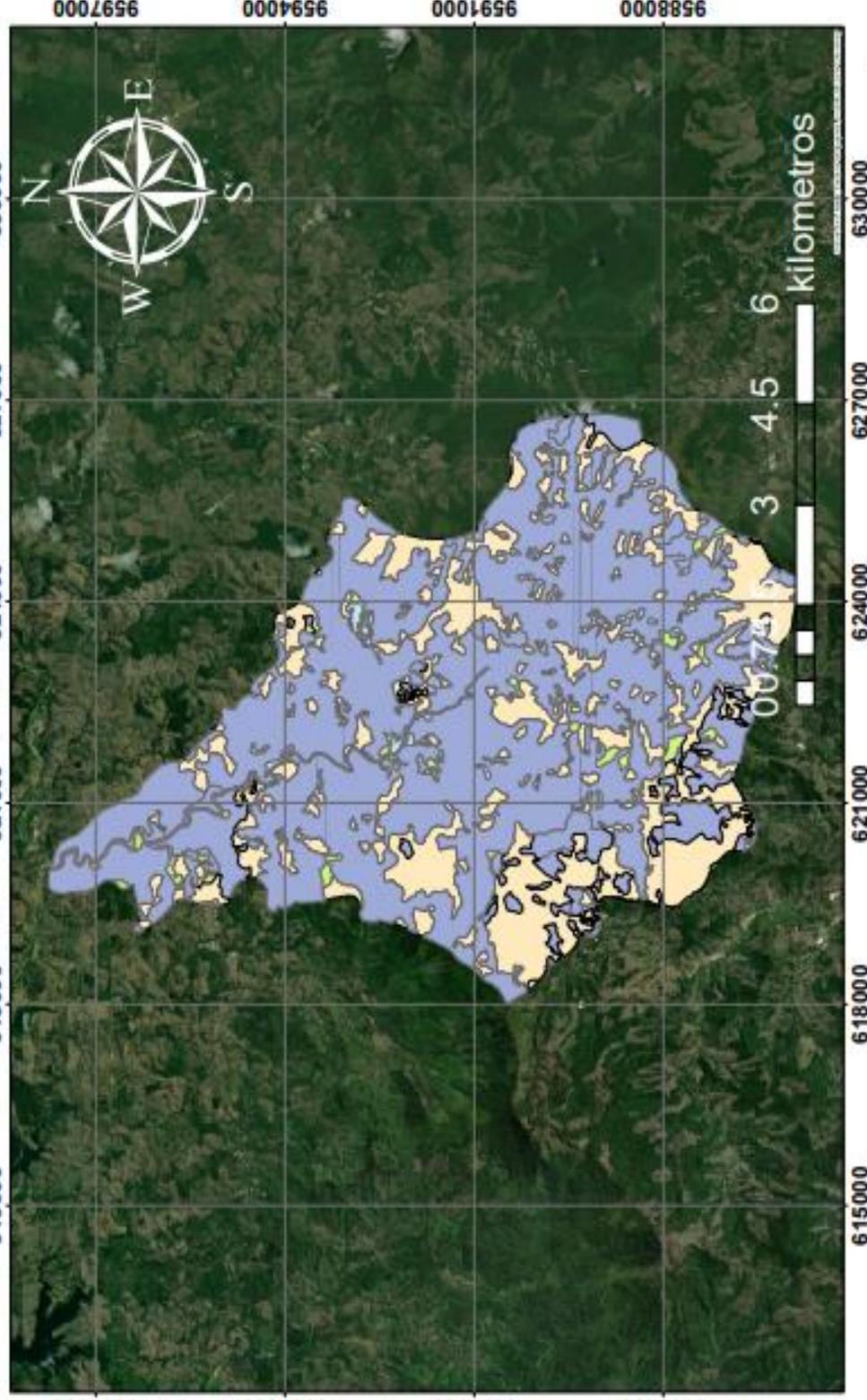
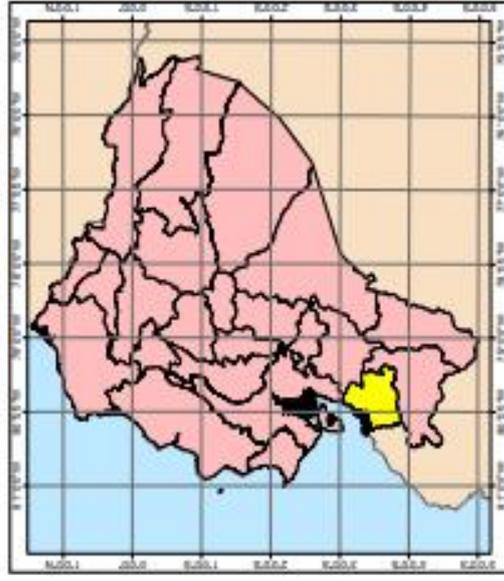
### Leyenda

#### Niveles de altura



# MAPA DE USO DE SUELO DE LA MICROCUENCA DE LA PARROQUIA LA BOCANA

## UBICACIÓN



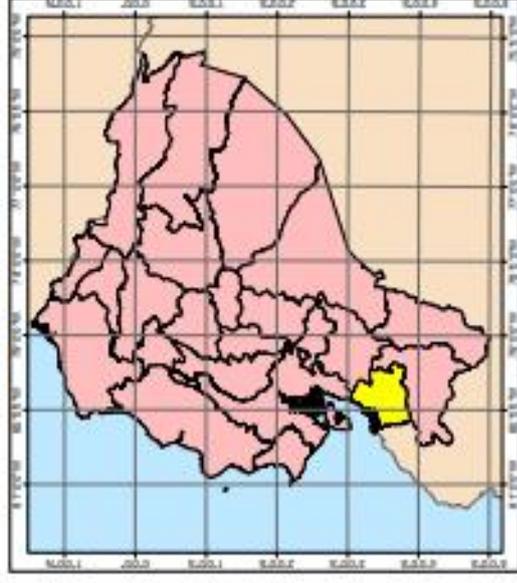
<b>ELABORADO POR:</b>	- Smith Alexander Granda Chacha
	- Cristoffer Gabriel Flores Soto
<b>UBICACIÓN:</b>	La Bocana - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador
<b>ESCALA:</b>	1:3000



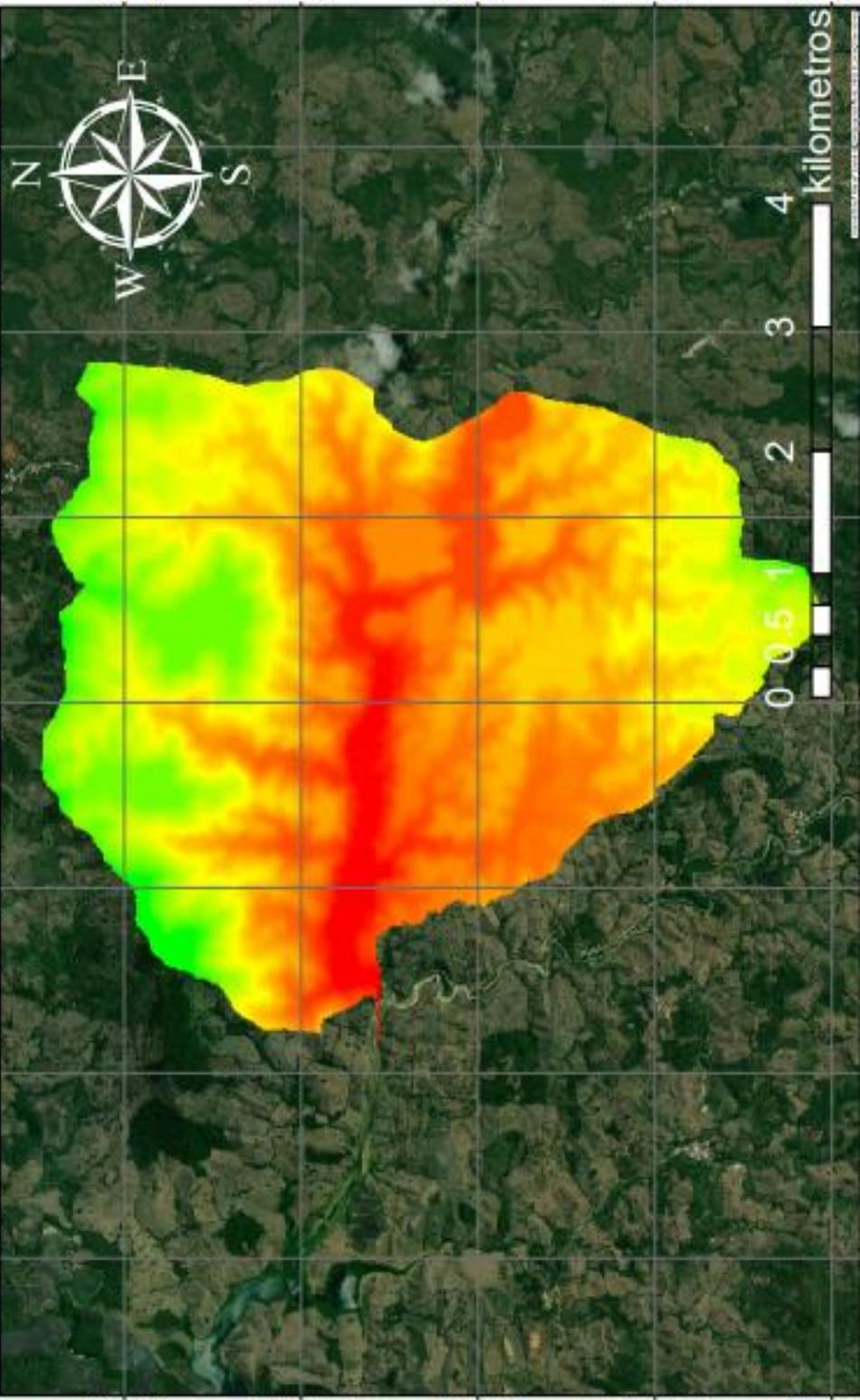
## **9.5 Delimitación de la cuenca de la parroquia Piedras**

# MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DE LA MICROCUENCA DE LA PARROQUIA PIEDRAS

## UBICACIÓN



618000 619500 621000 622500 624000 625500 627000



### ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

### UBICACIÓN:

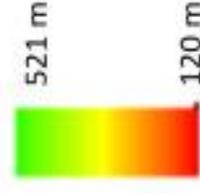
Piedras- Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

### ESCALA:

1:1500

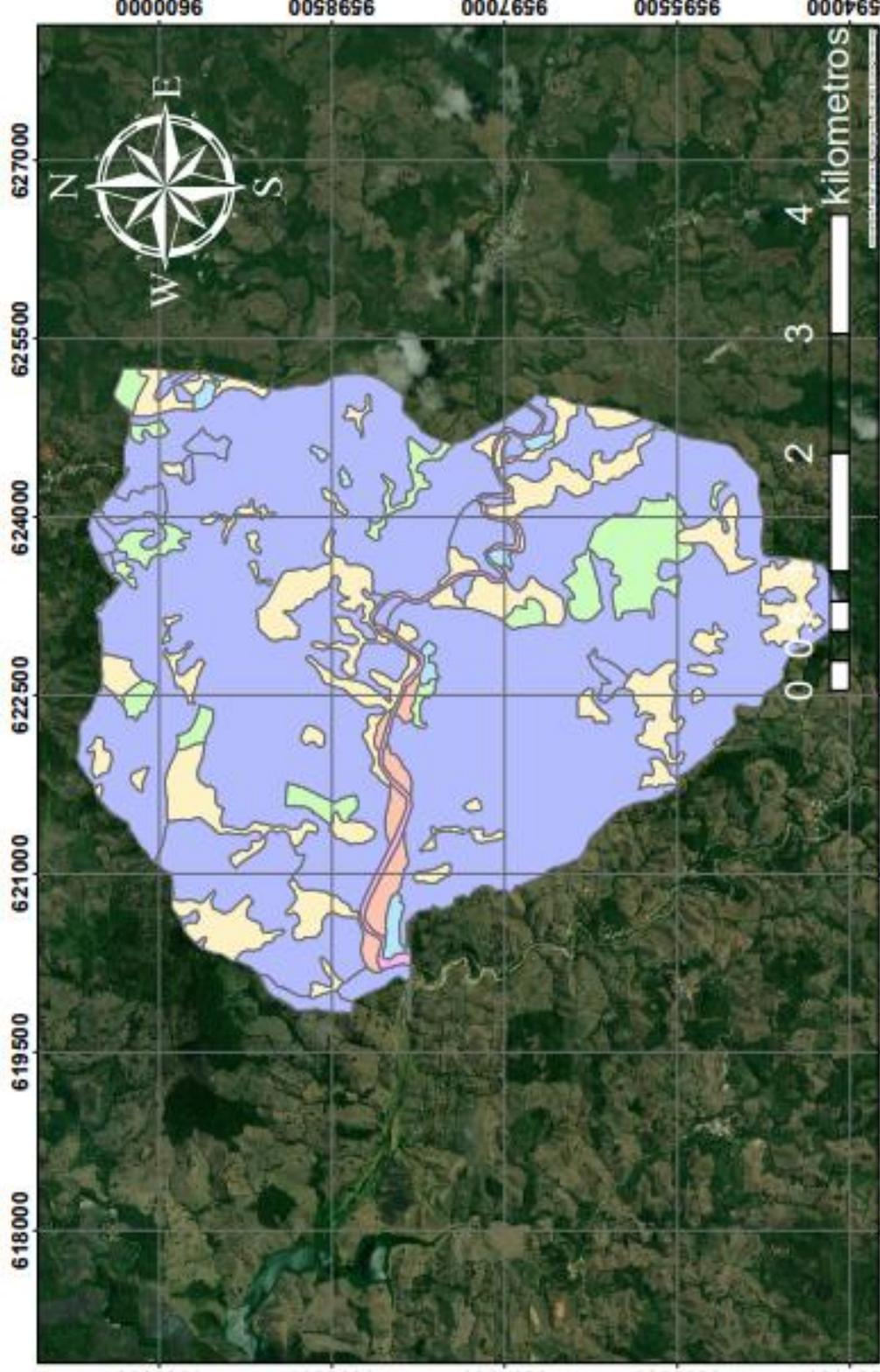
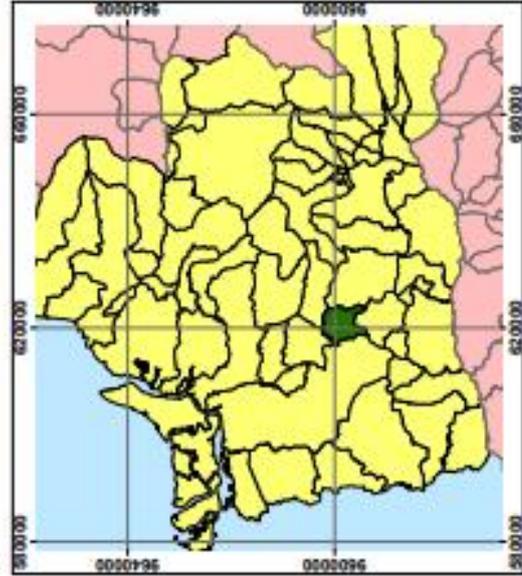
### Leyenda

Niveles de altura



# MAPA DE USO DE SUELO DE LA MICROCUENCA DE LA PARROQUIA PIEDRAS

## UBICACIÓN



**ELABORADO POR:**  
 - Smith Alexander Granda Chacha  
 - Cristoffer Gabriel Flores Soto

**UBICACIÓN:**  
 Piedras- Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

**ESCALA:**  
 1:1500

**Leyenda**

Uso de suelo

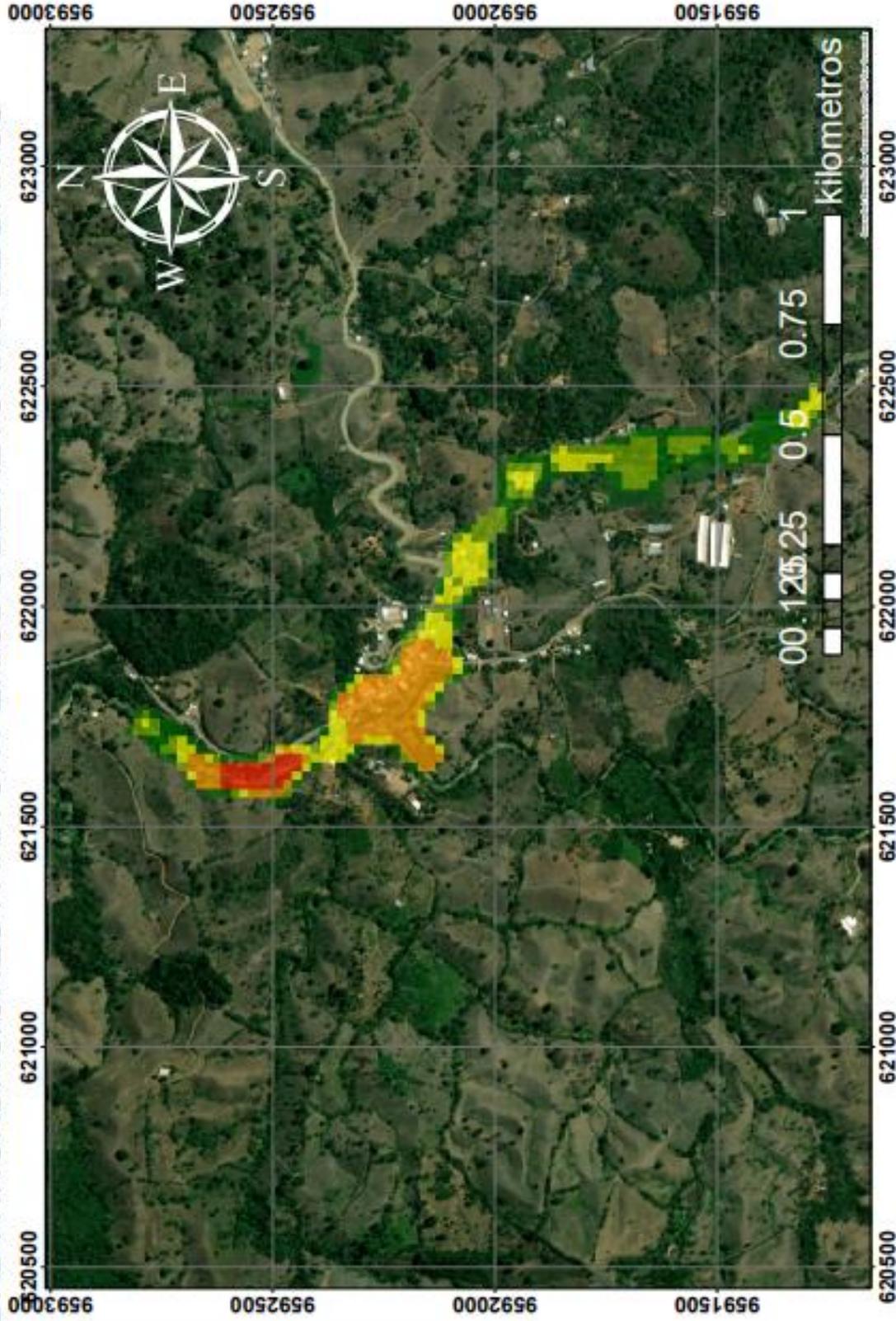
	CUERPO DE AGUA
	TIERRA AGROPECUARIA
	TIERRA ARBUSTIVA Y HERBACEA
	TIERRA FORESTAL
	TIERRA SIN COBERTURA VEGETAL
	ZONA ANTRÓPICA



## **9.6 Mapas de riesgo a inundaciones de la parroquia La Bocana**

# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS

## UBICACIÓN



### ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

### UBICACIÓN:

La Bocana - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

### ESCALA:

1:500

### Leyenda

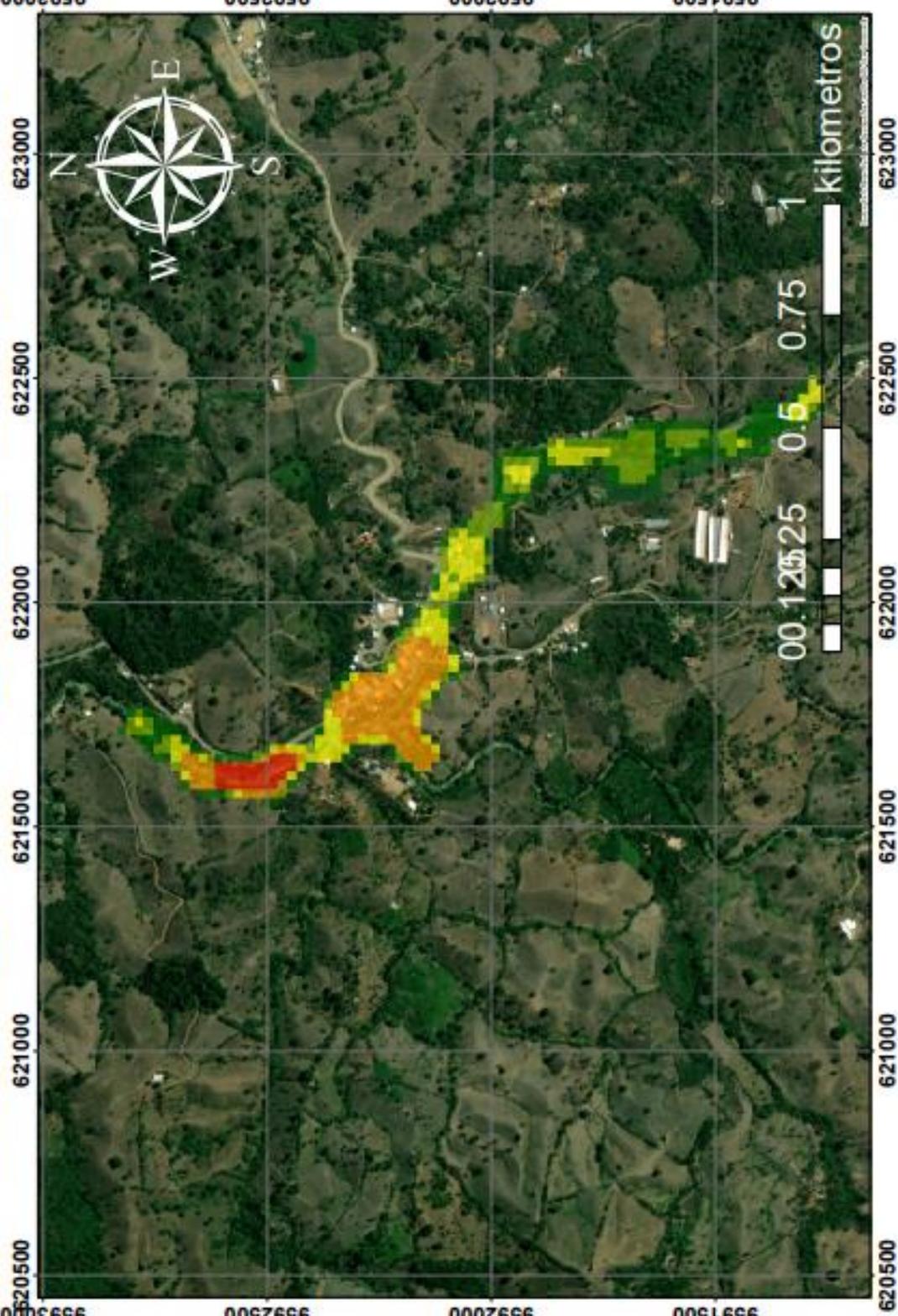
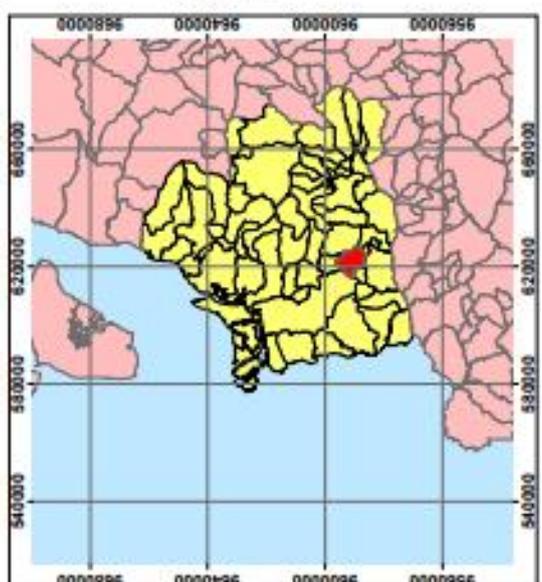
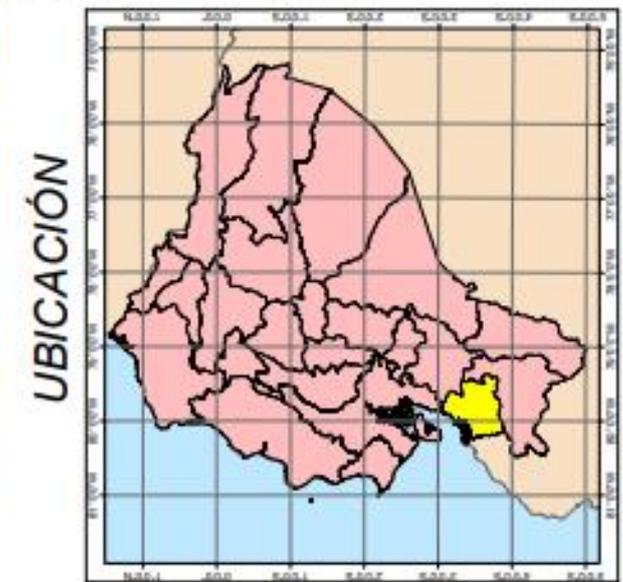
Niveles de vulnerabilidad a inundaciones

T = 2 años

- 0 m - 1.5 m (muy bajo)
- 1.5 m - 2.5 m (bajo)
- 2.5 m - 4 m (medio)
- 4 m - 5.25 m (alto)
- > 5.25 m (muy alto)



# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS



**ELABORADO POR:**

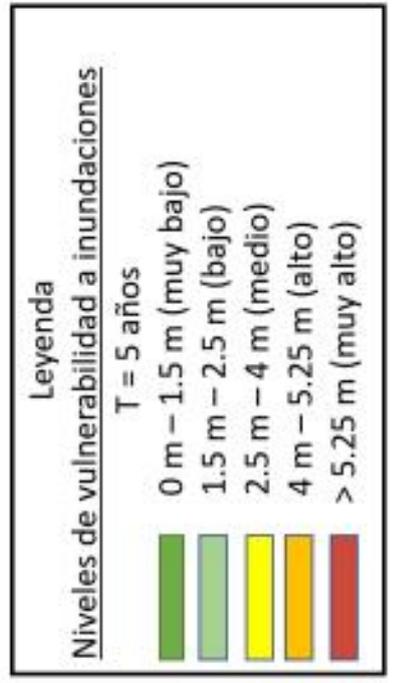
- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

**UBICACIÓN:**

La Bocana - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

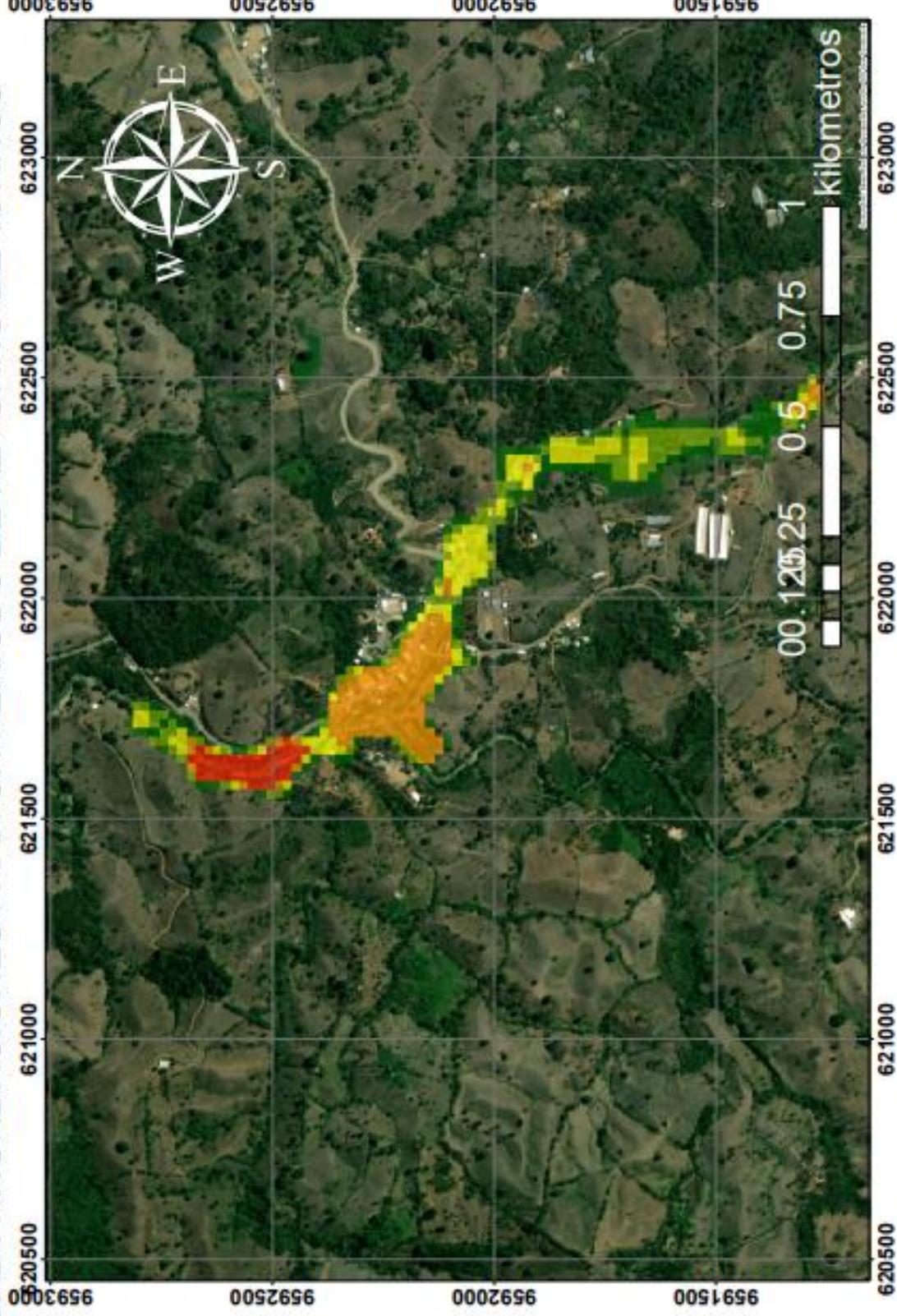
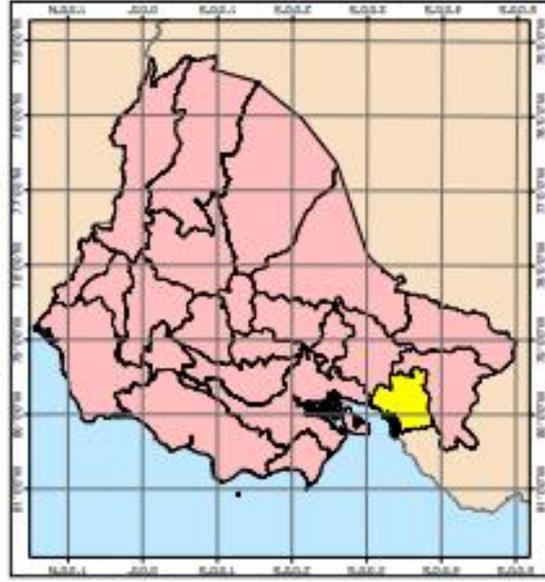
**ESCALA:**

1:500



# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS

## UBICACIÓN



## ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

## UBICACIÓN:

La Bocana - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

## ESCALA:

1:500

## Leyenda

Niveles de vulnerabilidad a inundaciones

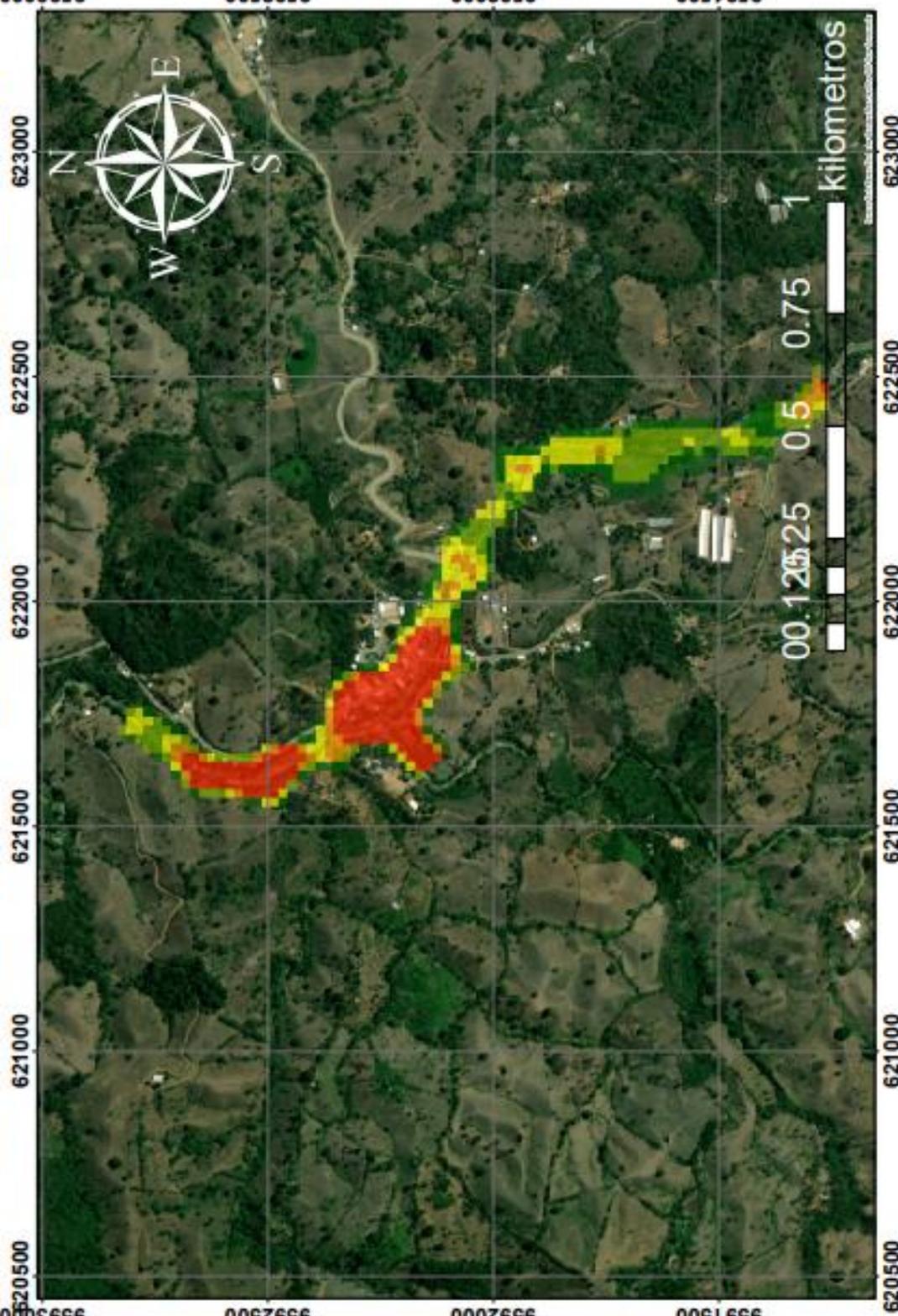
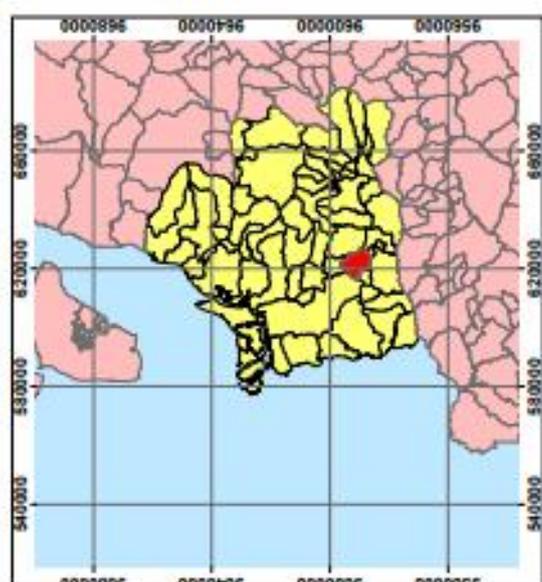
T = 10 años

- 0 m - 1.5 m (muy bajo)
- 1.5 m - 2.5 m (bajo)
- 2.5 m - 4 m (medio)
- 4 m - 5.25 m (alto)
- > 5.25 m (muy alto)



# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS

## UBICACIÓN



## ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

## UBICACIÓN:

La Bocana - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

## ESCALA:

1:500

## Leyenda

Niveles de vulnerabilidad a inundaciones

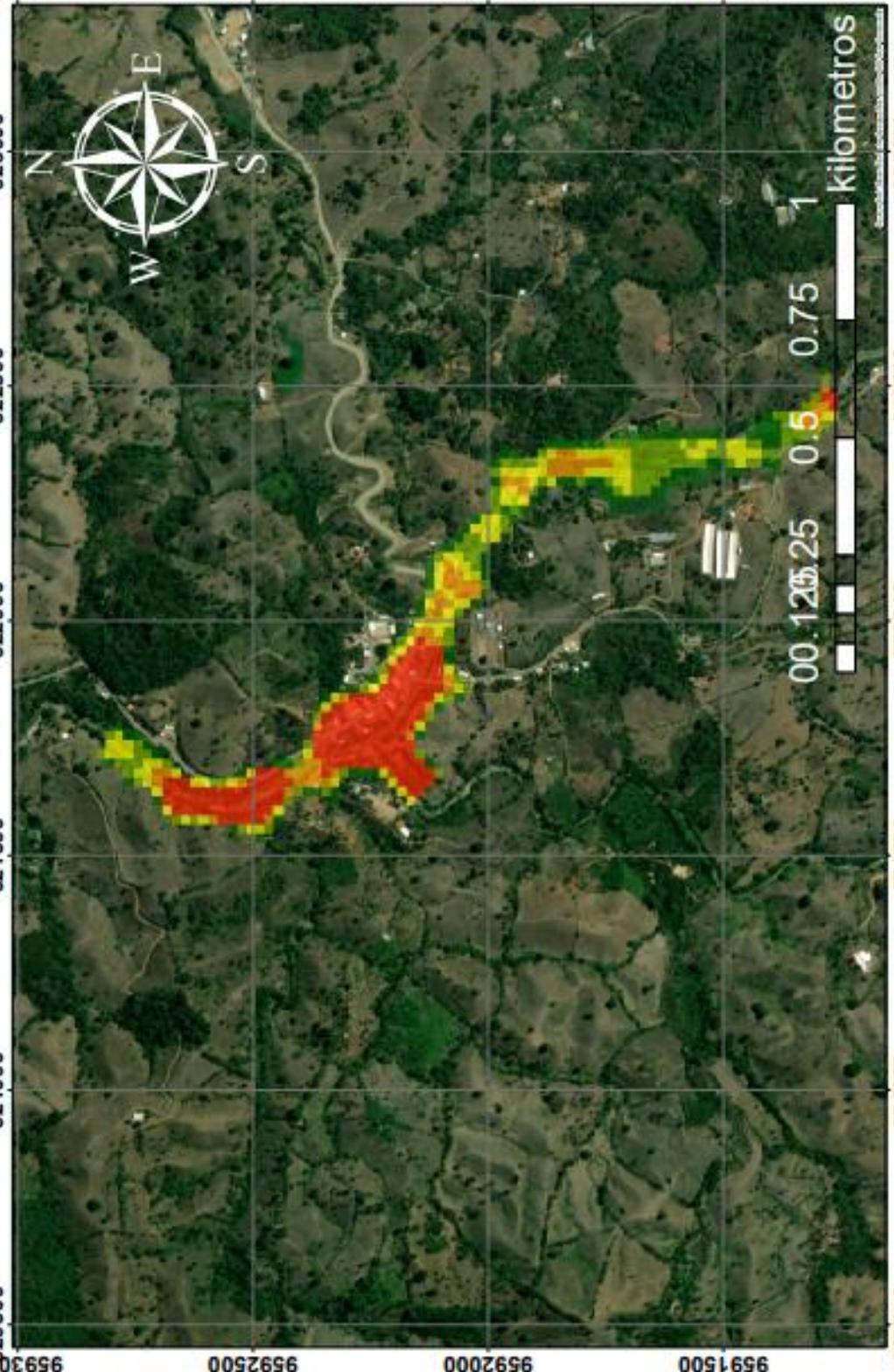
T = 25 años

- 0 m - 1.5 m (muy bajo)
- 1.5 m - 2.5 m (bajo)
- 2.5 m - 4 m (medio)
- 4 m - 5.25 m (alto)
- > 5.25 m (muy alto)



# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS

## UBICACIÓN



### ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

### UBICACIÓN:

La Bocana - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

### ESCALA:

1:500

### Leyenda

Niveles de vulnerabilidad a inundaciones

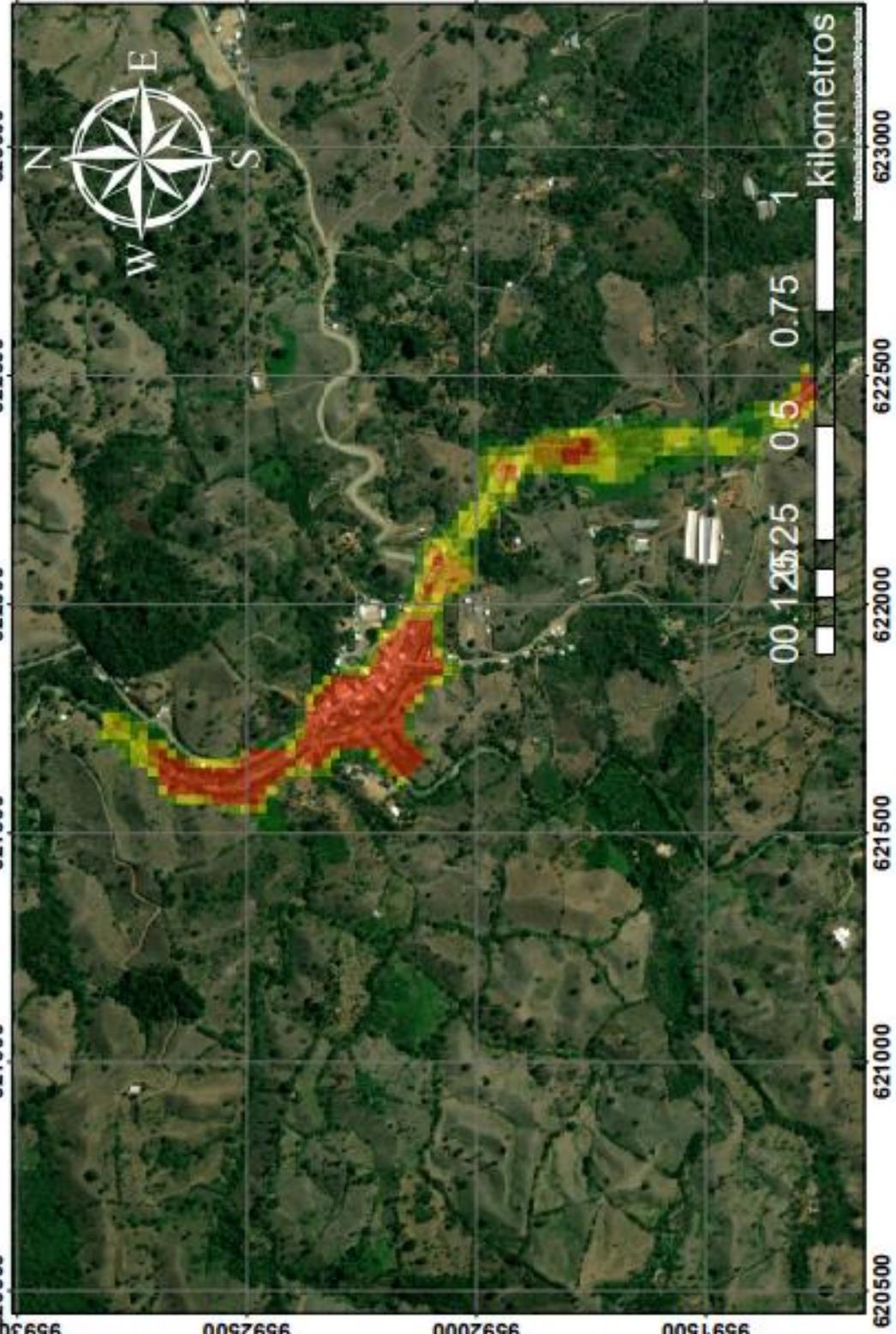
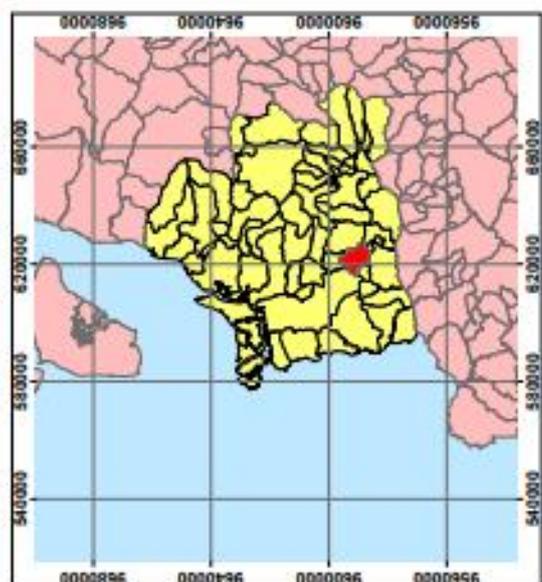
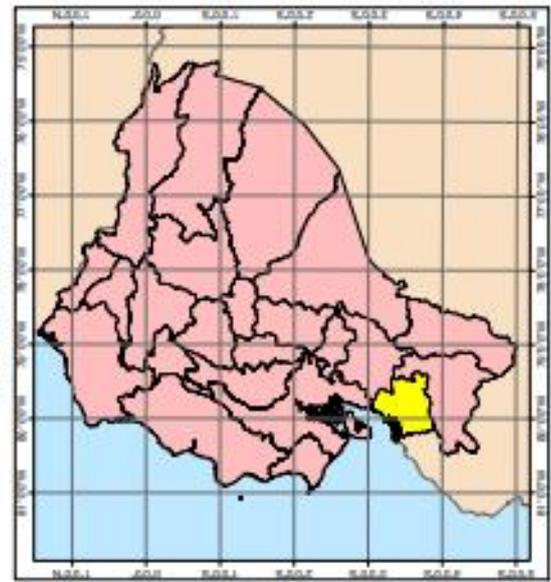
T = 50 años

- 0 m - 1.5 m (muy bajo)
- 1.5 m - 2.5 m (bajo)
- 2.5 m - 4 m (medio)
- 4 m - 5.25 m (alto)
- > 5.25 m (muy alto)



# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

## UBICACIÓN



### ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

### UBICACIÓN:

La Bocana - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

### ESCALA:

1:500

### Leyenda

Niveles de vulnerabilidad a inundaciones  
T = 100 años

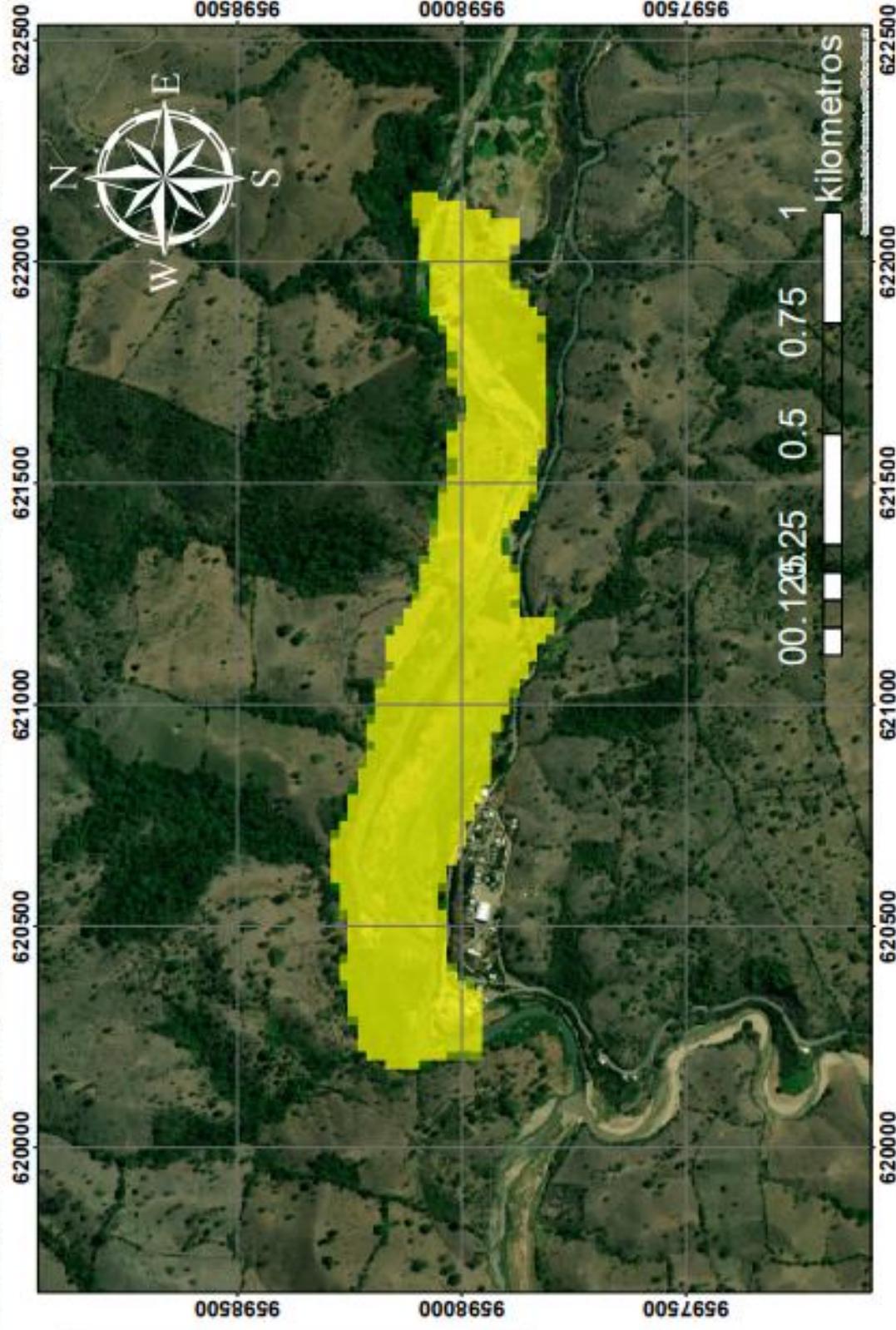
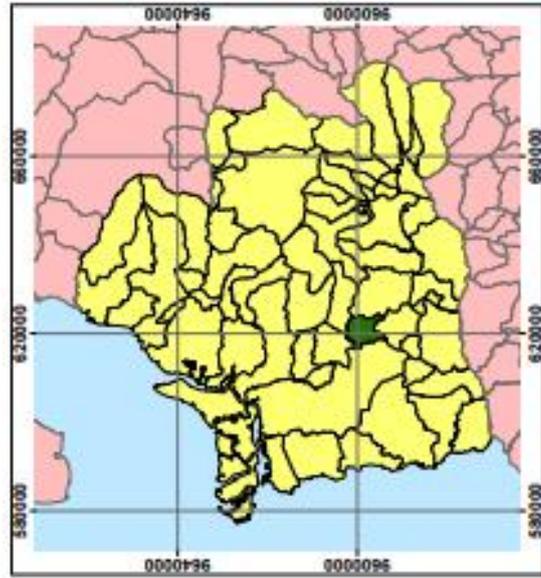
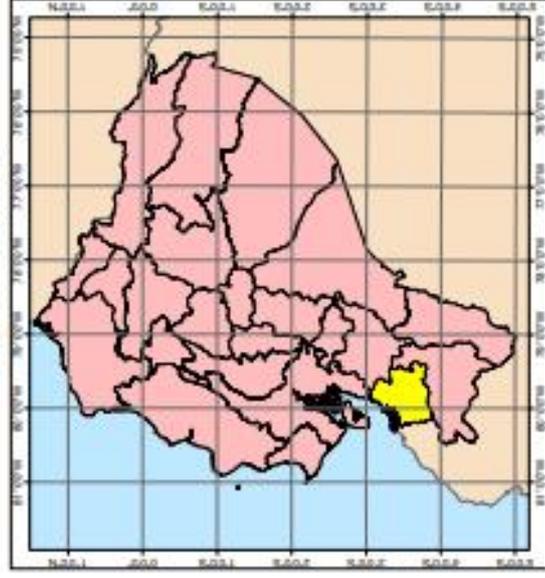
- 0 m - 1.5 m (muy bajo)
- 1.5 m - 2.5 m (bajo)
- 2.5 m - 4 m (medio)
- 4 m - 5.25 m (alto)
- > 5.25 m (muy alto)



## **9.7 Mapas de riesgo a inundaciones de la parroquia Piedras**

# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS

## UBICACIÓN



### ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

### UBICACIÓN:

Piedras - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

### ESCALA:

1:500

### Leyenda

Niveles de vulnerabilidad a inundaciones

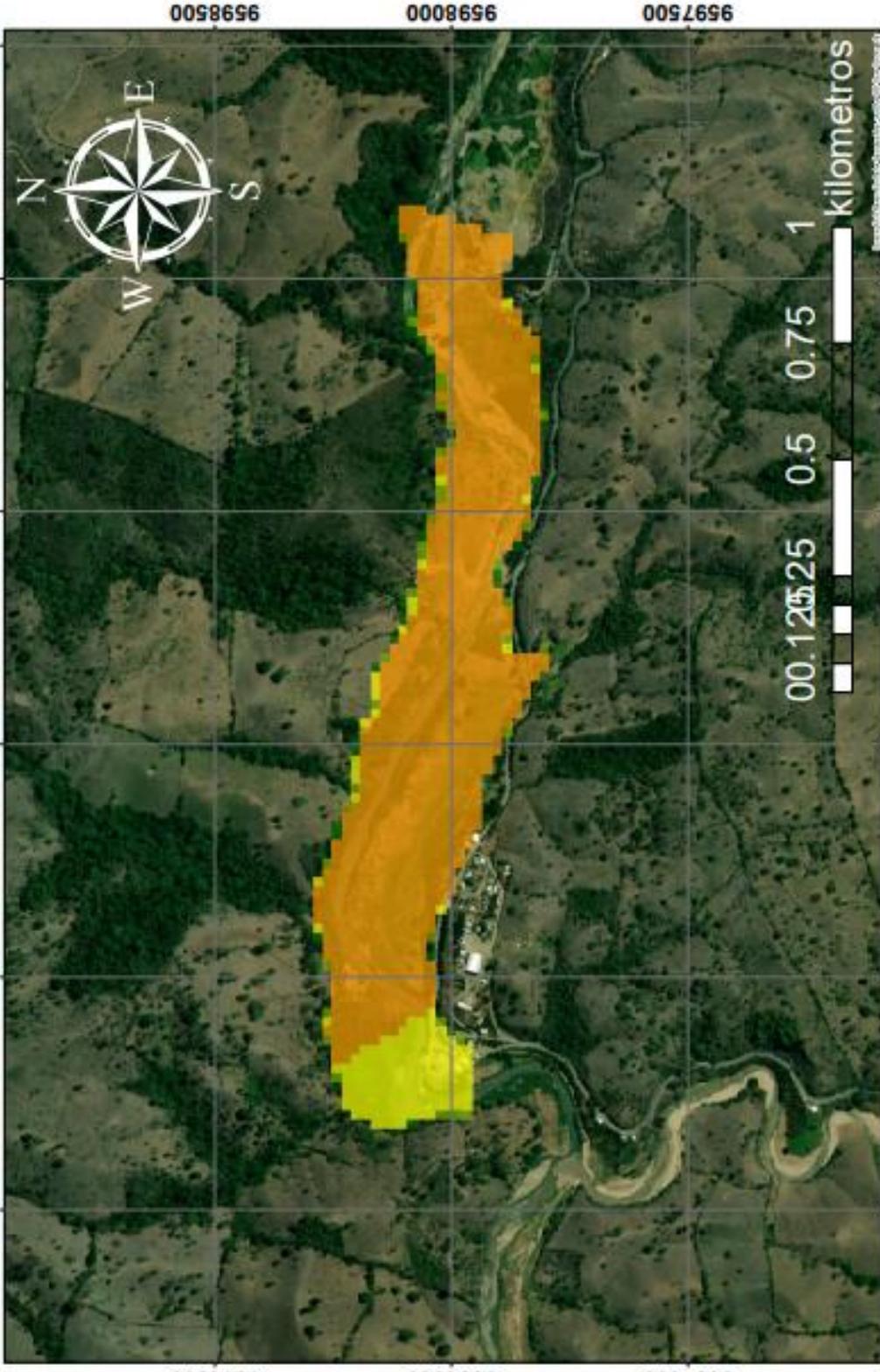
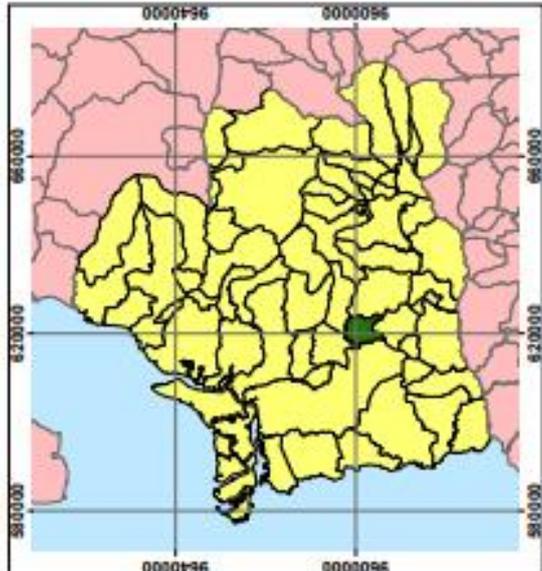
T = 2 años

- 0 m - 0.75 m (muy bajo)
- 0.75 m - 1.5 m (bajo)
- 1.5 m - 2.25 m (medio)
- 2.25 m - 3 m (alto)
- > 3 m (muy alto)



# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS

## UBICACIÓN



### ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

### UBICACIÓN:

Piedras - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

### ESCALA:

1:500

### Leyenda

#### Niveles de vulnerabilidad a inundaciones

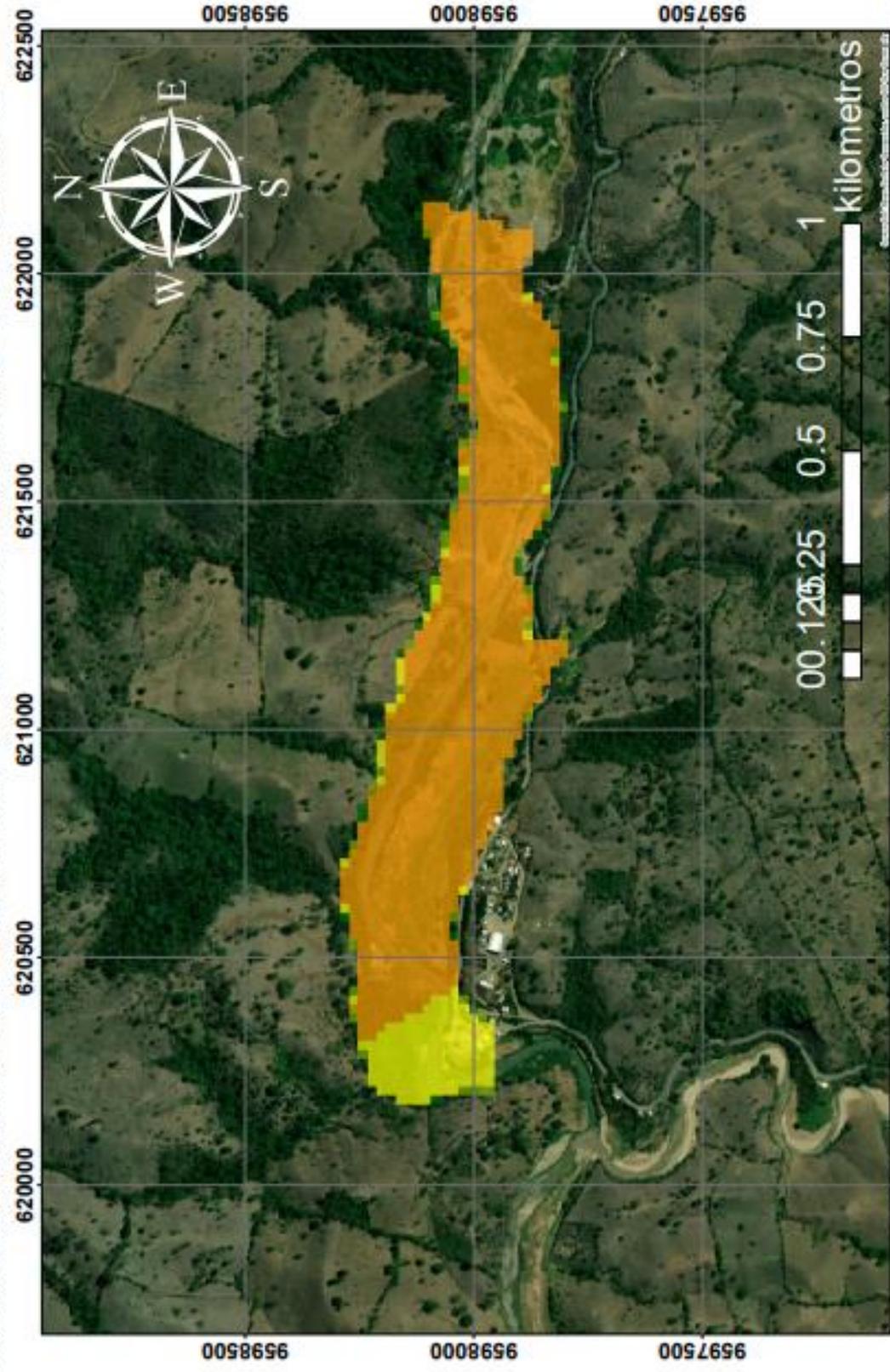
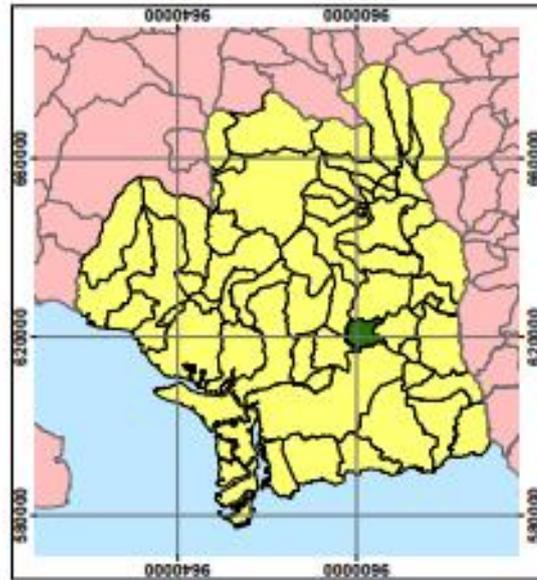
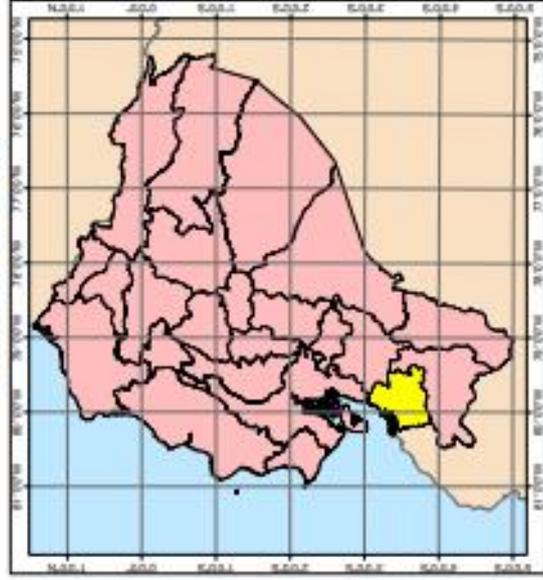
T = 5 años

- 0 m - 0.75 m (muy bajo)
- 0.75 m - 1.5 m (bajo)
- 1.5 m - 2.25 m (medio)
- 2.25 m - 3 m (alto)
- > 3 m (muy alto)



# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS

## UBICACIÓN



## ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

## UBICACIÓN:

Piedras - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

## ESCALA:

1:500

## Leyenda

Niveles de vulnerabilidad a inundaciones

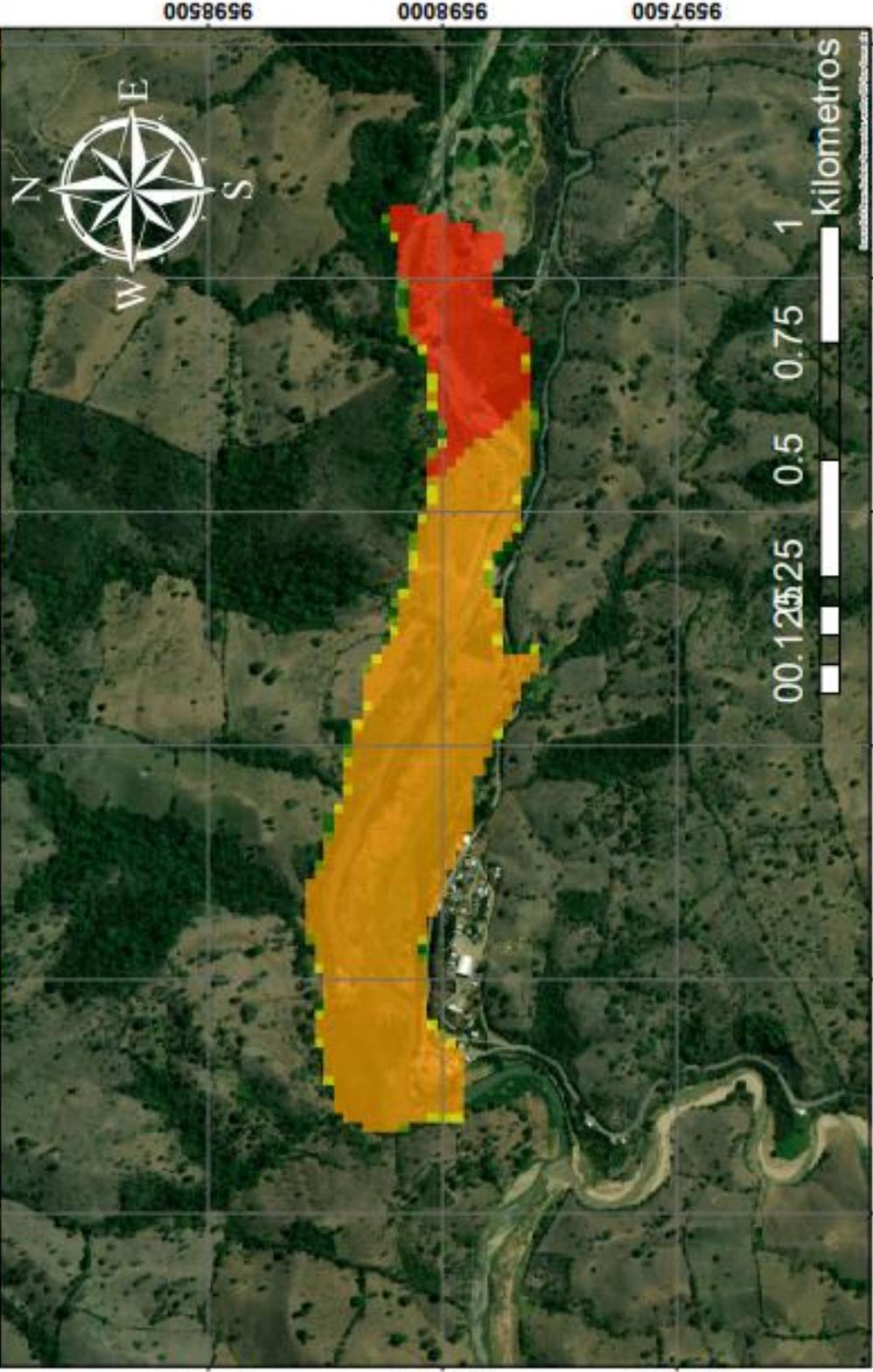
T = 10 años

- 0 m - 0.75 m (muy bajo)
- 0.75 m - 1.5 m (bajo)
- 1.5 m - 2.25 m (medio)
- 2.25 m - 3 m (alto)
- > 3 m (muy alto)



# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS

## UBICACIÓN



### ELABORADO POR:

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

### UBICACIÓN:

Piedras - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

### ESCALA:

1:500

### Leyenda

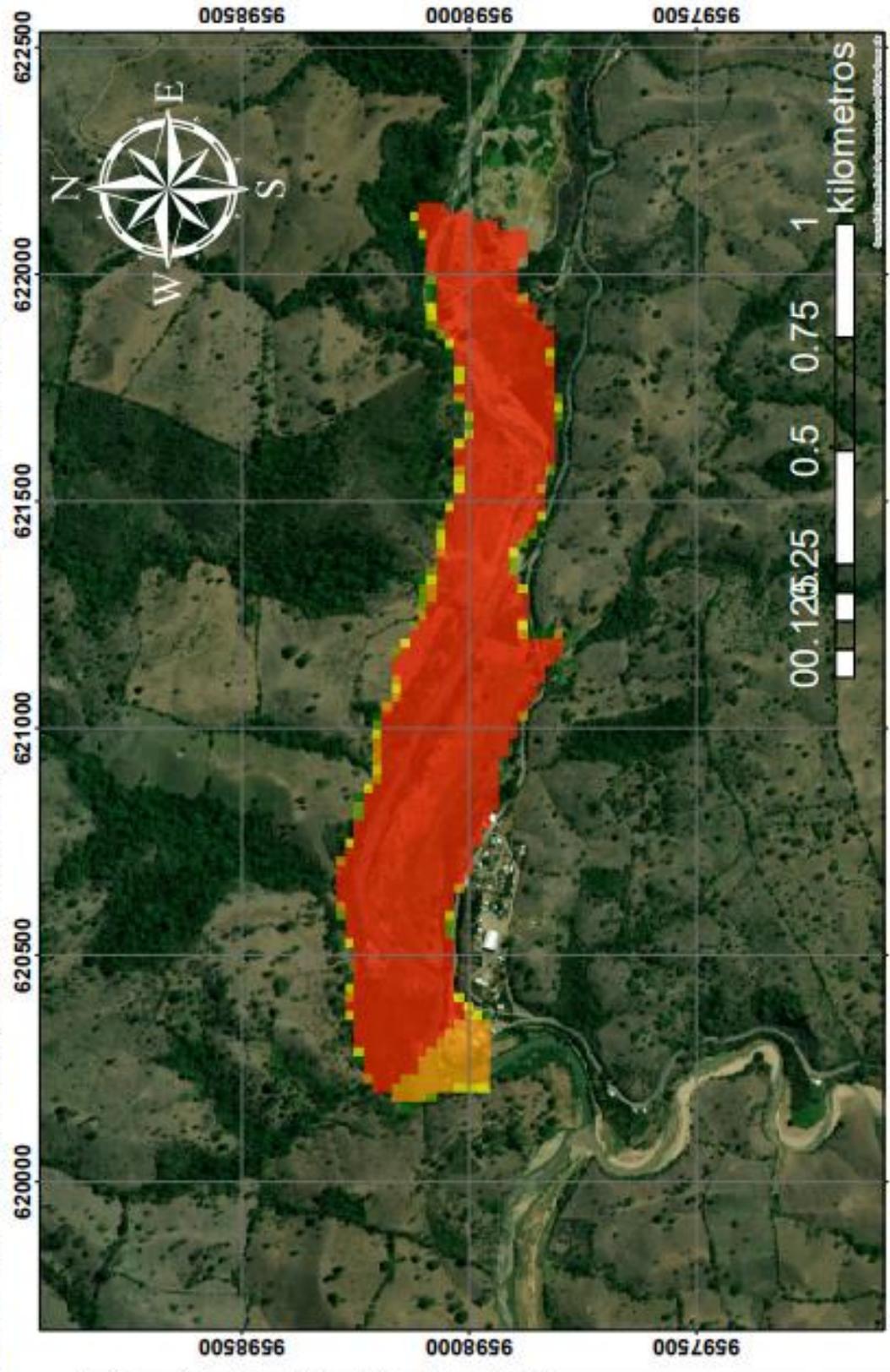
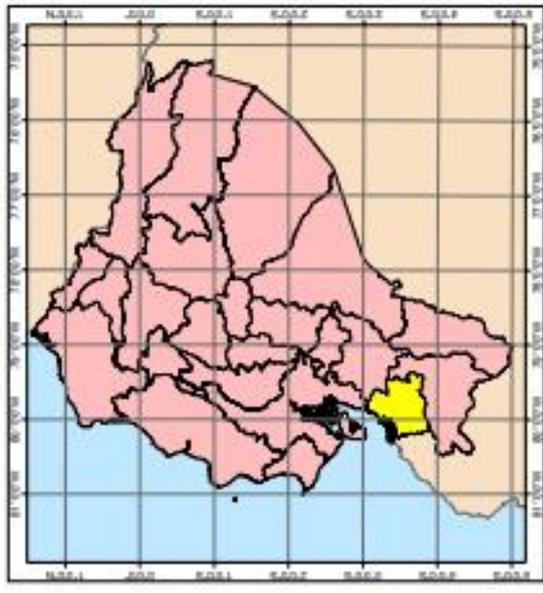
Niveles de vulnerabilidad a inundaciones  
T = 25 años

- 0 m - 0.75 m (muy bajo)
- 0.75 m - 1.5 m (bajo)
- 1.5 m - 2.25 m (medio)
- 2.25 m - 3 m (alto)
- > 3 m (muy alto)



# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS

## UBICACIÓN



**Leyenda**

T = 50 años

0 m - 0.75 m (muy bajo)
0.75 m - 1.5 m (bajo)
1.5 m - 2.25 m (medio)
2.25 m - 3 m (alto)
> 3 m (muy alto)

**ELABORADO POR:**

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

**UBICACIÓN:**

Piedras - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

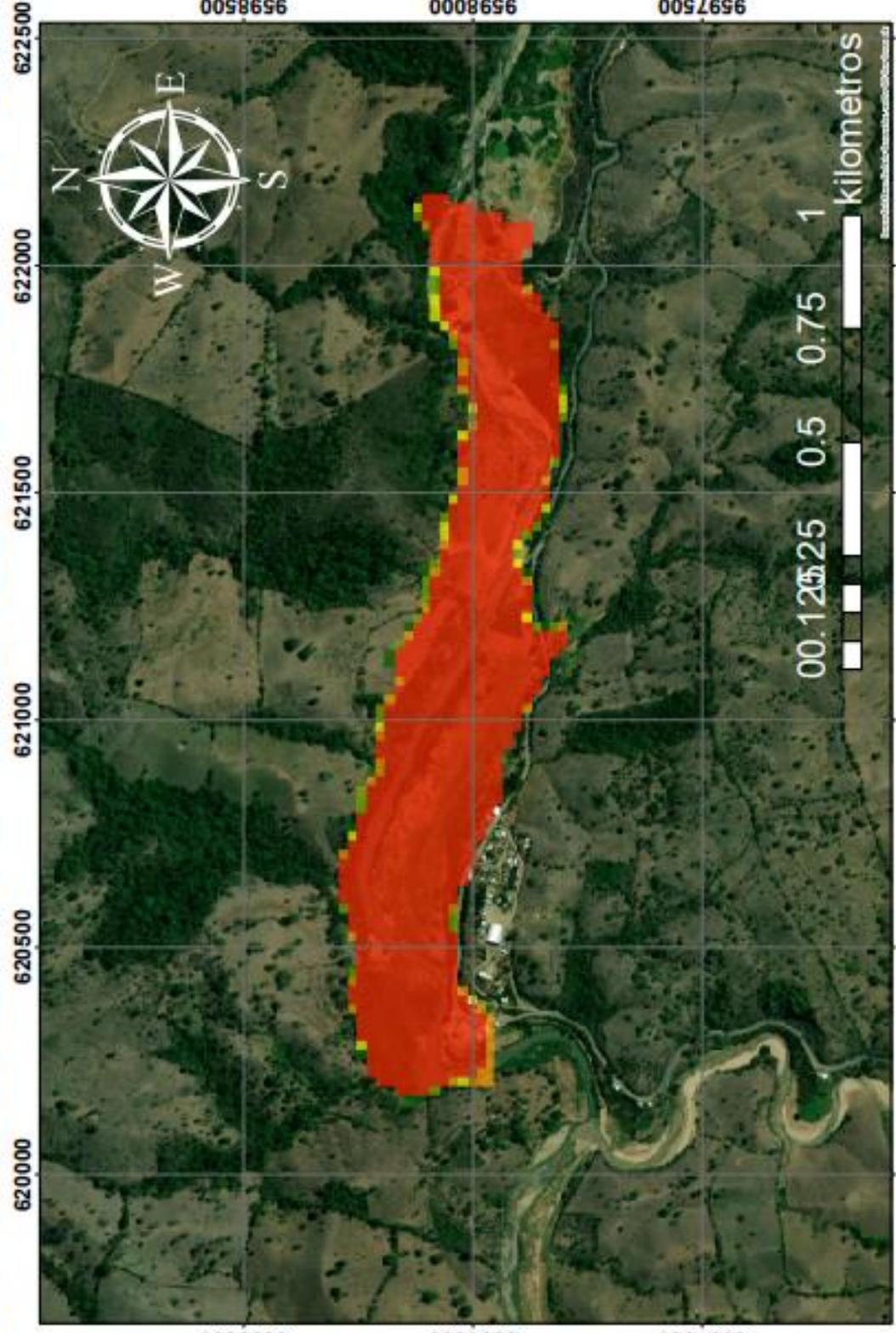
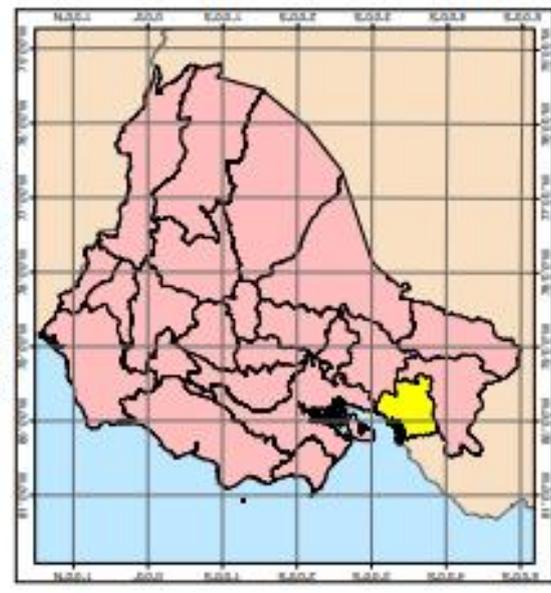
**ESCALA:**

1:500



# MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

## UBICACIÓN



**ELABORADO POR:**

- Smith Alexander Granda Chacha
- Cristoffer Gabriel Flores Soto

**UBICACIÓN:**

Piedras - Cantón Piñas - El Oro - Ecuador

**ESCALA:**

1:500

