



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el Barrio Quito,  
Cantón Santa Rosa.**

**ROMERO ABARCA GINA YULIANA  
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el  
Barrio Quito,  
Cantón Santa Rosa.**

**ROMERO ABARCA GINA YULIANA  
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTOS TÉCNICOS**

**Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el  
Barrio Quito,  
Cantón Santa Rosa.**

**ROMERO ABARCA GINA YULIANA  
INGENIERA CIVIL**

**ESPINOZA CORREA JESUS ENRIQUE**

**MACHALA  
2024**

# EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES EN EL BARRIO QUITO, CANTÓN SANTA ROSA.

**5%**  
Textos sospechosos

**5% Similitudes**  
0% similitudes entre comillas  
< 1% entre las fuentes mencionadas

**8% Idiomas no reconocidos (ignorado)**

**Nombre del documento:** EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES EN EL BARRIO QUITO, CANTÓN SANTA ROSA..docx  
**ID del documento:** 5fb3d7577eb1025e686be62401291102d1533e3e  
**Tamaño del documento original:** 10,93 MB  
**Autores:** []

**Depositante:** JESUS ENRIQUE ESPINOZA CORREA  
**Fecha de depósito:** 5/2/2025  
**Tipo de carga:** interface  
**fecha de fin de análisis:** 5/2/2025

**Número de palabras:** 9858  
**Número de caracteres:** 65.945

Ubicación de las similitudes en el documento:






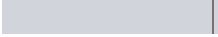

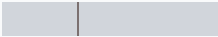

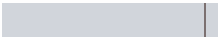

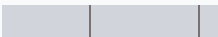

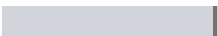

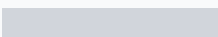



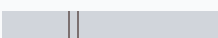
## Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>Documento de otro usuario</b> #ba7c8e El documento proviene de otro grupo 11 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (112 palabras)
2	<b>dx.doi.org</b>   Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana d... <a href="http://dx.doi.org/10.14350/rig.59767">http://dx.doi.org/10.14350/rig.59767</a> 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (62 palabras)
3	<b>www.scielo.sa.cr</b>   Inundaciones por zonas funcionales en la subcuenca Santa Rosa J... <a href="https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2215-25632022000100238">https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2215-25632022000100238</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)
4	<b>polodelconocimiento.com</b> <a href="https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/6890/pdf">https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/6890/pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (58 palabras)
5	<b>scielo.senescyt.gob.ec</b>   Valoración económica del impacto de la inundación de febr... <a href="http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2528-79072020000400021">http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2528-79072020000400021</a> 13 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (52 palabras)





**Fuentes ignoradas** Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>santarosa.gob.ec</b> <a href="https://santarosa.gob.ec/planificacion/PDOT/PDOT%202019-2023%20SANTA%20ROSA%20-%20EL%20ORO.pdf">https://santarosa.gob.ec/planificacion/PDOT/PDOT 2019-2023 SANTA ROSA - EL ORO.pdf</a>	3%		Palabras idénticas: 3% (322 palabras)
2	<b>santarosa.gob.ec</b> <a href="https://santarosa.gob.ec/FASES_RENDICION2021/PDOT%20SANTA%20ROSA%202019-2023.pdf">https://santarosa.gob.ec/FASES_RENDICION2021/PDOT SANTA ROSA 2019-2023.pdf</a>	3%		Palabras idénticas: 3% (311 palabras)
3	<b>www.celec.gob.ec</b> <a href="https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/noticias/2021WEB/STLaAvanzada/ANEXOS...">https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/noticias/2021WEB/STLaAvanzada/ANEXOS...</a>	1%		Palabras idénticas: 1% (130 palabras)
4	<b>www.santarosa.gob.ec</b> <a href="https://www.santarosa.gob.ec/index_antigua.php/ins-planificacion/pdot-2014-2017?download=1...">https://www.santarosa.gob.ec/index_antigua.php/ins-planificacion/pdot-2014-2017?download=1...</a>	1%		Palabras idénticas: 1% (130 palabras)
5	<b>Documento de otro usuario</b> #9bf127 El documento proviene de otro grupo	1%		Palabras idénticas: 1% (112 palabras)
6	<b>Documento de otro usuario</b> #6fa0c6 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (83 palabras)
7	<b>www.investigacionesgeograficas.unam.mx</b>   Burgos Choez, Cartaya Ríos, and Mer... <a href="https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/download/59767/5339271...">https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/download/59767/5339271...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (84 palabras)
8	<b>dspace.ucenca.edu.ec</b>   El sistema de asentamientos humanos en la ordenación te... <a href="http://dspace.ucenca.edu.ec/bitstream/123456789/21771/3/TESIS.pdf.txt">http://dspace.ucenca.edu.ec/bitstream/123456789/21771/3/TESIS.pdf.txt</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (80 palabras)
9	<b>www.investigacionesgeograficas.unam.mx</b> <a href="https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/download/59767/53314">https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/download/59767/53314</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (62 palabras)
10	<b>www.mendeley.com</b>   Modelo de vulnerabilidad al cambi... preview & related info   ... <a href="https://www.mendeley.com/catalogue/069a464e-d09a-3d20-952b-94ea15753a3b/">https://www.mendeley.com/catalogue/069a464e-d09a-3d20-952b-94ea15753a3b/</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)
11	<b>polodelconocimiento.com</b> <a href="https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/6890/pdf">https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/6890/pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (58 palabras)



N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
12	 <b>scielo.senescyt.gob.ec</b>   Valoración económica del impacto de la inundación de febr... <a href="http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2528-79072020000400021">http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2528-79072020000400021</a>	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (52 palabras)
13	 <b>scielo.senescyt.gob.ec</b>   Las capacidades sociales en las familias de la zona urbana ... <a href="http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2550-65872021000300103">http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2550-65872021000300103</a>	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (46 palabras)
14	 <b>diariopinion.com</b>   CANTONIZACIÓN DE SANTA ROSA - Diario Opinión <a href="https://diariopinion.com/cantonizacion-de-santa-rosa/">https://diariopinion.com/cantonizacion-de-santa-rosa/</a>	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)
15	 <b>doi.org</b>   Desempeño de métodos deterministas en la estimación del tiempo de conc... <a href="https://doi.org/10.57188/manglar.2024.50">https://doi.org/10.57188/manglar.2024.50</a>	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
16	 <b>doi.org</b> <a href="https://doi.org/10.14483/22487638.15248">https://doi.org/10.14483/22487638.15248</a>	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
17	 <b>dialnet.unirioja.es</b>   Modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inu... <a href="https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9862254">https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9862254</a>	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
18	 <b>doi.org</b>   Computation of Time of Concentration Based on Two-Dimensional Hydraul... <a href="https://doi.org/10.3390/w14193155">https://doi.org/10.3390/w14193155</a>	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
19	 <b>es.wikipedia.org</b>   Santa Rosa (Ecuador) - Wikipedia, la enciclopedia libre <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Santa_Rosa_(Ecuador)">https://es.wikipedia.org/wiki/Santa_Rosa_(Ecuador)</a>	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (45 palabras)
20	 <b>GUERRA GAONA ANGELLO ISRAEL.pdf</b>   GUERRA GAONA ANGELLO ISRAEL #00a850 📄 El documento proviene de mi grupo	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)

**Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)** Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	 <a href="https://doi.org/10.1061/(asce)">https://doi.org/10.1061/(asce)</a>
2	 <a href="https://doi.org/10.5194/hessd-10-10535-2013">https://doi.org/10.5194/hessd-10-10535-2013</a>
3	 <a href="https://doi.org/10.36986/impj.v6i1.105">https://doi.org/10.36986/impj.v6i1.105</a>
4	 <a href="https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2605">https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2605</a>
5	 <a href="https://doi.org/10.29019/enfoqueute.729">https://doi.org/10.29019/enfoqueute.729</a>



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

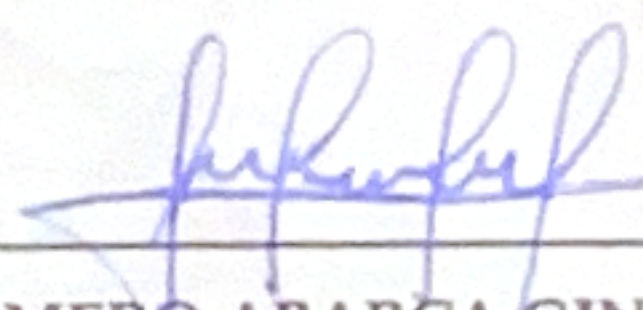
La que suscribe, ROMERO ABARCA GINA YULIANA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el Barrio Quito, Cantón Santa Rosa., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

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

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

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

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



---

ROMERO ABARCA GINA YULIANA

0706126042



## **Dedicatoria**

Con profunda gratitud y cariño, dedico este trabajo a aquellas personas que han sido pilares fundamentales en mi vida y en la culminación de esta etapa académica.

A mis amados padres, Dayse Abarca y Jorge Romero, por su infinito amor, sacrificio y apoyo incondicional. Gracias por ser mi refugio en los momentos difíciles y por brindarme siempre su guía, comprensión y aliento. Sus valores, enseñanzas y ejemplo de esfuerzo y dedicación han sido la base sobre la que he construido mi camino. No hay palabras suficientes para expresar mi gratitud por cada sacrificio que han hecho para que yo pueda alcanzar mis metas, por su confianza en mí incluso cuando yo misma dudaba, y por demostrarme con su amor y fortaleza que no hay obstáculo imposible de superar. Son mi mayor orgullo e inspiración para seguir adelante.

A mis hermanos, Diana, Jorge Luis, Andrea, Juan Diego y a mi padrastro Eder por ser más que familia: compañeros de vida, cómplices de alegrías y apoyo en cada desafío. Su compañía, sus palabras de aliento y su ejemplo de perseverancia han sido una fuente constante de motivación. Gracias por cada momento compartido, por su cariño incondicional y por demostrarme que la unión familiar es el mayor tesoro que uno puede tener. A todos mis familiares, especialmente a mi prima Yudy y a mi tía Nimia, por ser parte fundamental de mi formación, por acompañarme y guiarme en mi vida académica.

A mi enamorado Jhon, por su paciencia, amor y comprensión inquebrantables. Gracias por estar a mi lado en cada paso de este camino, por recordarme siempre que con esfuerzo y dedicación puedo cumplir todos mis sueños, y por ser mi apoyo en los momentos de incertidumbre. Gracias por celebrar conmigo cada logro, por demostrarme con cada gesto y palabra que el amor verdadero es aquel que impulsa a ser la mejor versión de uno mismo.

A mis mejores amigos, Mishel y José Manuel, por ser mis más grandes compañeros a lo largo de esta etapa académica. Agradezco profundamente cada momento compartido, cada conversación enriquecedora y cada reto superado juntos. Su disposición para compartir conocimientos, su entusiasmo por aprender y su constante motivación han sido una fuente de inspiración para mí. Gracias por estar presentes en los momentos difíciles, por celebrar conmigo los logros y, sobre todo, por ser parte esencial de esta etapa que ha marcado mi vida. Esta experiencia no habría sido la misma sin ustedes.

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a Dios por acompañarme en cada paso de este camino, por darme la fortaleza para superar cada desafío y por permitirme alcanzar un logro más en mi vida académica. Su guía ha sido mi refugio en los momentos de incertidumbre y mi fuente de inspiración para seguir adelante con determinación y fe.

A mis padres, hermanos, enamorado, amigos y demás seres queridos, quienes han estado a mi lado a lo largo de esta travesía, brindándome su amor, comprensión y apoyo incondicional. Gracias por ser mi sostén en los momentos difíciles, por darme palabras de aliento cuando más lo necesité y por compartir conmigo cada alegría y cada triunfo. Su compañía ha sido mi mayor fortaleza y su confianza en mí me ha impulsado a no rendirme, incluso en los momentos de mayor dificultad. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Expreso también mi profundo agradecimiento a cada uno de los docentes que forman parte de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala. Su compromiso con la enseñanza y su dedicación han sido fundamentales en mi formación académica. Gracias por compartir sus conocimientos, por motivarnos a ser mejores profesionales y por convertirse en guías a lo largo de este proceso de aprendizaje. Su paciencia, exigencia y vocación han dejado una huella imborrable en mi desarrollo como ingeniero.

En especial, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor, el Ing. Jesús Espinoza, por su invaluable apoyo, paciencia y orientación a lo largo de este proceso de titulación. Gracias por brindarme las herramientas necesarias para enfrentar cada etapa del proyecto, por su tiempo, dedicación y confianza en mi capacidad para alcanzar esta meta. Su guía ha sido fundamental para la culminación de esta etapa, y siempre llevaré conmigo cada consejo y enseñanza que me ha brindado.

## Resumen

El presente estudio aborda la modelación hidrológica e hidráulica con el objetivo de evaluar la disponibilidad y uso de los recursos hídricos en la zona noroeste del Cantón Santa Rosa, particularmente en el Barrio Quito, identificado como un sector vulnerable a inundaciones. La investigación se fundamenta en la recopilación y análisis de datos pluviométricos obtenidos a través del satélite Giovanni de la NASA, debido a la falta de información completa y actualizada en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI).

Se determinaron tres causas principales que agravan la problemática: precipitaciones intensas influenciadas por el cambio climático, un sistema de drenaje deficiente con tuberías en mal estado y la saturación del suelo, lo que disminuye su capacidad de infiltración y aumenta la escorrentía superficial. Estos factores contribuyen al desbordamiento del río Santa Rosa, incrementando el riesgo de daños estructurales, pérdidas humanas y proliferación de enfermedades.

Para evaluar la magnitud del riesgo, se realizó un análisis hidráulico en ArcGIS, complementado con la extensión HEC-GeoRAS y el software HEC-RAS, permitiendo la simulación de escenarios de inundación para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Los resultados reflejan que, a partir de los 5 años de retorno, los niveles de agua comienzan a superar los 4.60 metros, incrementando significativamente el riesgo de desbordamiento.

Con base en estos hallazgos, se resalta la necesidad de implementar estrategias de mitigación y planificación territorial, incluyendo mejoras en el sistema de drenaje y medidas preventivas para reducir el impacto de las inundaciones en la población y la infraestructura local.

**Palabras clave:** Modelación hidrológica, inundaciones, HEC-RAS, ArcGIS, períodos de retorno.

## **Abstract**

The present study addresses hydrological and hydraulic modeling with the objective of evaluating the availability and use of water resources in the northwestern area of Cantón Santa Rosa, particularly in Barrio Quito, identified as a sector vulnerable to flooding. The research is based on the collection and analysis of rainfall data obtained through NASA's Giovanni satellite, due to the lack of complete and updated information from the National Institute of Meteorology and Hydrology of Ecuador (INAMHI).

Three main causes were identified as aggravating factors in this issue: intense rainfall influenced by climate change, a deficient drainage system with deteriorated pipelines, and soil saturation, which reduces infiltration capacity and increases surface runoff. These factors contribute to the overflow of the Santa Rosa River, increasing the risk of structural damage, human losses, and the spread of diseases.

To assess the magnitude of the risk, a hydraulic analysis was conducted using ArcGIS, complemented with the HEC-GeoRAS extension and the HEC-RAS software, allowing the simulation of flood scenarios for return periods of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years. The results indicate that, starting from the 5-year return period, water levels exceed 4.60 meters, significantly increasing the risk of overflow.

Based on these findings, the need to implement mitigation strategies and territorial planning is emphasized, including improvements in the drainage system and preventive measures to reduce the impact of flooding on local populations and infrastructure.

**Keywords:** Hydrological modeling, flooding, HEC-RAS, ArcGIS, return periods.

## INDICE

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento.....	3
Resumen.....	4
Abstract.....	5
INTRODUCCIÓN .....	11
1. CAPÍTULO I – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1. Antecedentes (Línea base del proyecto).....	13
1.1.1 Datos de la población .....	13
1.1.2 Sistema de alcantarillado, abastecimiento de agua potable.....	13
1.1.3 Hidrografía .....	14
1.1.4 Clima.....	15
1.1.5 Riesgos hidrológicos .....	16
1.1.6 Uso del suelo.....	16
1.1.7 Geología.....	17
1.2 Descripción de la situación problemática (Causas y efectos). .....	18
1.3 Formulación del problema (preguntas científicas).....	19
1.3.1 Problema.....	19
1.3.2 Problemas secundarios .....	19
1.4 Delimitación del objeto de estudio.....	20
1.5 Justificación. ....	20
1.6 Objetivos: General y específicos.....	21
1.6.1 Objetivo General .....	21
1.6.2 Objetivos específicos .....	21
2. CAPITULO II – MARCO TEÓRICO .....	21
2.1 Antecedentes Contextuales .....	21
2.2 Antecedentes conceptuales.....	23
2.2.1 Cuenca hidrográfica .....	23
2.2.2 Caudal .....	23
2.2.3 Inundaciones pluviales .....	23
2.2.4 Vulnerabilidad a inundaciones .....	23
2.2.5 Precipitación.....	23
2.2.6 Periodo de retorno .....	23
2.2.7 Modelos hidrológicos.....	24
2.2.8 Tiempo de concentración .....	24
2.2.9 Coeficiente de escorrentía .....	24

2.2.10 Método racional .....	24
2.2.11 Coeficiente de rugosidad de Manning.....	25
2.2.12 Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS) .....	25
2.2.13 Hydrological Engineering Center – Geospatial River Analysis System (HEC–GeoRas).....	25
2.2.14 Curvas de nivel.....	25
2.3    Antecedentes referenciales.....	25
3.    CAPITULO III – METODOLOGÍA.....	27
3.1    Modalidad básica de investigación. ....	27
3.2    Tipo de investigación .....	27
3.2.1 Investigación bibliográfica.....	27
3.2.2 Investigación de campo.....	28
3.2.3 Investigación experimental. ....	28
3.3    Objeto de estudio .....	29
3.4    Descripción de la población y muestra .....	29
3.5    Técnicas con los materiales utilizados. ....	30
3.5.1 Recopilación de información. ....	30
3.5.2. Procesamiento de información.....	30
3.5.3. Característica Hidrológica de la cuenca .....	30
3.5.4. Estimación de los caudales de diseño .....	31
3.5.5. Tiempo de concentración .....	32
3.5.6. Coeficiente de escorrentía .....	32
3.5.7. Coeficiente de rugosidad de Manning.....	32
3.5.8. Análisis hidráulico.....	33
3.5.9. Criterios para la generación de mapas de peligro por inundaciones. ....	33
4.    Capitulo IV-Análisis e interpretación de resultados.....	35
4.1    Entorno hidrológico. ....	35
4.1.1 Análisis de precipitaciones del rio Santa Rosa.....	35
4.1.2 Área de estudio- Cuenca del rio Santa Rosa. ....	37
4.1.3 Coeficiente de escorrentía. ....	38
4.1.4 Tiempo de concentración .....	39
4.1.5 Cálculo de caudales de diseño.....	39
4.2    Entorno hidrográfico .....	40
4.2.1 Coeficiente de rugosidad.....	40
4.2.2 Simulación de inundaciones.....	40
4.2.3. Levantamiento de información topográfica .....	41
4.2.4. ARC Gis (RAS mapping).....	43



5.	CONCLUSIONES .....	43
6.	RECOMENDACIONES .....	44
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	46
8.	ANEXOS .....	49
8.1	Coeficiente de escorrentía .....	49
8.2	Coeficiente de rugosidad mediante formula.....	50
8.3	Coeficiente de rugosidad.....	51
8.4.	Delimitación de la cuenca del rio Santa Rosa.....	54
8.5.	Mapas de riesgo a inundaciones del Barrio Quito.....	57

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Cobertura del servicio de alcantarillado.....	13
<b>Tabla 2.</b> Cobertura del servicio de alcantarillado.....	14
<b>Tabla 3.</b> Cuencas y microcuencas del cantón Santa Rosa.....	15
<b>Tabla 4.</b> Superficie y tipos de uso productivo del suelo.....	17
<b>Tabla 5.</b> Análisis comparativo para la creación de mapas de inundación. ....	27
<b>Tabla 6.</b> Zonas en riesgo de inundación cabecera cantonal Santa Rosa.....	29
<b>Tabla 7.</b> Densidad Poblacional del cantón Hab/km2 .....	29
<b>Tabla 8.</b> Nivel de peligro de inundaciones .....	34
<b>Tabla 9.</b> Precipitaciones en la zona del río Santa Rosa.....	36
<b>Tabla 10.</b> Coeficientes para las relaciones de precipitación en 24 horas .....	36
<b>Tabla 11.</b> Intensidades de precipitación sobre el río Santa Rosa.....	37
<b>Tabla 12.</b> Parámetros físicos del río Santa Rosa .....	37
<b>Tabla 13.</b> Coeficiente de escorrentía de la zona de estudio.....	39
<b>Tabla 14.</b> Caudales máximos calculados para el río Santa Rosa. ....	40
<b>Tabla 15.</b> Coeficiente de rugosidad del río Santa Rosa.....	40
<b>Tabla 16.</b> Resultados del nivel de inundación máxima para el Barrio Quito según el periodo de retorno.....	43

## Índice de ilustraciones

<b>Ilustración 1.</b> Áreas inundables del cantón.....	16
<b>Ilustración 2.</b> Superficie y tipos de uso productivo del suelo.....	18
<b>Ilustración 3.</b> Árbol de problemas .....	19
<b>Ilustración 4.</b> Zona de estudio .....	20
<b>Ilustración 5.</b> Etapas de investigación .....	28
<b>Ilustración 6.</b> Caracterización de la cuenca.....	31
<b>Ilustración 7.</b> Geometría del río Santa Rosa.....	34
<b>Ilustración 8.</b> Propuesta metodológica para la creación de mapas de inundación. ....	35
<b>Ilustración 9.</b> Curvas IDF .....	37
<b>Ilustración 10.</b> Cuenca rio Santa Rosa .....	38
<b>Ilustración 11.</b> Simulación de inundación sobre el río Santa Rosa para un periodo de retorno de 100 años.....	41
<b>Ilustración 12.</b> Superficie generada de la topografía del rio Santa Rosa mediante Software ArcGIS.....	42
<b>Ilustración 13.</b> Perfil del río Santa Rosa generado mediante topografía in situ .....	42

## INTRODUCCIÓN

La modelación hidrológica e hidráulica desempeña un papel fundamental en la evaluación de la disponibilidad y el uso de los recursos hídricos, siendo esencial para la planificación y administración adecuada de los mismos. Los estudios realizados mediante esta modelación no solo ofrecen soluciones óptimas, sino que también contribuyen a comprender las causas de los fenómenos naturales, lo que permite implementar medidas efectivas de mitigación y estar preparados ante eventualidades, previniendo pérdidas materiales, económicas y humanas.

Los peligros causados por el cambio climático han aumentado significativamente provocando pérdidas económicas y humanas. La Organización Meteorológica Mundial presentó un informe en el que se menciona la importancia de fortalecer la gestión del riesgo de desastres en todas las amenazas naturales y provocadas por el hombre. Se resalta la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para evitar un aumento de la temperatura global. Entre 2000 y 2019, hubo un aumento significativo en el número de desastres relacionados con el clima. Se registraron 7,348 desastres en todo el mundo en este período, que se cobraron aproximadamente 1.23 millones de vidas y afectaron a más de 4,000 millones de personas (El costo humano de los desastres Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres CRED, 2000).

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Santa Rosa, en el cantón la mayor amenaza que enfrenta la población son las inundaciones, provocadas principalmente por precipitaciones intensas, las comunidades cercanas a la cuenca del río Santa Rosa sufren los embates de estos eventos. En el año 2012, se registró el mayor número de viviendas afectadas por este fenómeno, para el 2017, las inundaciones fueron ocasionadas por la influencia del Fenómeno del Niño Costero. Posteriormente, en marzo de 2019, las inundaciones alcanzaron un área de 577 hectáreas, afectando a 2130 construcciones en el casco urbano y dejando a alrededor de 6200 personas damnificadas.(GAD SANTA ROSA, 2019)

En el primer capítulo, se establece la línea base del proyecto, evidenciando el área de investigación y detallando la situación problemática a través del árbol de problemas, que identifica las causas y efectos en la zona de estudio. Se plantean preguntas científicas guiadas por el árbol de medios y fines, orientadas a alcanzar objetivos generales y específicos, respaldadas por una justificación sólida para el trabajo.

El segundo capítulo aborda una investigación bibliográfica profunda para comprender el contexto del proyecto, identificando antecedentes contextuales a nivel global, continental y regional. También se exploran antecedentes conceptuales y referenciales para obtener una visión integral de las iniciativas y metodologías existentes que se aplicarán en el proyecto.

El tercer capítulo desempeña un papel crucial al describir la metodología que guiará la investigación. Se explica detalladamente el enfoque utilizado para abordar las preguntas de investigación y alcanzar los objetivos planteados, lo que permite a los lectores comprender la solidez y coherencia de la estrategia de investigación y evaluar la calidad de los resultados obtenidos.

Finalmente, el último capítulo se centra en el análisis e interpretación de los resultados, presentando de manera minuciosa los datos recolectados durante el estudio. Se utilizan recursos visuales, tablas y mapas para mostrar los resultados de manera efectiva, facilitando su comprensión.

## 1. CAPÍTULO I – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### 1.1. Antecedentes (Línea base del proyecto).

Para realizar el análisis que corresponde a la línea base del proyecto, se fundamenta principalmente en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa Rosa, donde se puede encontrar diversas características que son muy importantes, como se detallan a continuación.

#### 1.1.1 Datos de la población

En 2020, Santa Rosa se estima que creció la población de 82171 habitantes, la relación urbano-rural del cantón es muy implicada porque el 77 % de la población se centra en el casco urbano con 5 parroquias, mientras que el 23 % se distribuye entre las 7 parroquias. En la tabla 1 se muestra la población urbana y rural del cantón y su debido porcentaje (GAD SANTA ROSA, 2019).

*Tabla 1. Cobertura del servicio de alcantarillado*

<b>Parroquias</b>	<b>Población 2020</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Santa Rosa</b>	62921	77%
<b>Victoria</b>	3793	5%
<b>Bellavista</b>	3374	4%
<b>Bellamaría</b>	2764	3%
<b>La Avanzada</b>	2461	3%
<b>San Antonio</b>	2488	3%
<b>Torata</b>	2325	3%
<b>Jambelí</b>	2045	2%
<b>Total</b>	8211	100%
<b>Urbano</b>	65921	77%
<b>Rural</b>	19250	23%

*Fuente: Tomada del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa Rosa*

#### 1.1.2 Sistema de alcantarillado, abastecimiento de agua potable

El casco urbano de Santa Rosa tiene un sistema de alcantarillado tipo combinado, que se construyó en 1976 ya cumplió con su tiempo de vida útil. Este sistema está dividido en dos subdrenes con una longitud de 80 km que recogen las aguas residuales de los sectores que cuentan con este servicio. Las tuberías son de asbesto cemento, estas dirigen los desechos a las lagunas de estabilización que tienen una superficie de 4Has. En la Tabla 2 se describe el número de hogares que existen y el número de abonados que cuentan con el sistema de alcantarillado sanitario,

dándonos como resultado que en todo el cantón solo el 70% de los hogares cuentan con este servicio (GAD SANTA ROSA, 2019).

**Tabla 2.** Cobertura del servicio de alcantarillado

**Fuente:** Tomada del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa Rosa

Código de parroquia	Nombre de parroquia	Número de hogares	Número de abonados con alcantarillado	% de cobertura alcantarillado
71251	Bellavista	774	428	55.30%
71255	Torata	532	245	46.05%
71257	Bellamaría	626	126	20.13%
71254	San Antonio	541	216	39.93%
71256	Victoria	819	268	32.72%
71253	La Avanzada	541	398	73.57%
71250	Santa Rosa	1448	11078	76.47%
71252	Jambelí	514	125	24.32%
712	Total Cantón	18834	12884	70%

Con respecto al sistema de agua potable, el cantón se ha visto afectado por diversos problemas que afectan la cantidad y disponibilidad de agua, algunas de ellas son, la deforestación, la ganadería, la presencia de la minería, actividades agropecuarias, balnearios, descarga de desechos sólidos y líquidos.

El 80% de la población es dotada de agua potable por la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Rosa (EMAPASR-EP), el otro 20% es administrado por las Juntas de Agua de cada parroquia.

### 1.1.3 Hidrografía

Santa Rosa tiene dos cuencas hidrográficas, la del río Santa Rosa y la del río Arenillas, la primera es la más representativa, pues tiene 76.63% de cobertura superficial sobre el territorio, equivalente a 435.46 km<sup>2</sup>, y la del río Arenillas, con 23.37%, que representa 132.84 km<sup>2</sup>. En la tabla 3 se puede evidenciar las cuencas, con sus respectivas Microcuencas y la extensión de cada una (GAD SANTA ROSA, 2019).

**Tabla 3.** Cuencas y microcuencas del cantón Santa Rosa

<b>Cuenca</b>	<b>Microcuencas</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>% Microcuenca</b>	<b>% Cuenca</b>
Río Arenillas	Drenajes Menores	31.27	5.5%	14.27%
	Estero Jumón	47.61	8.38%	
	Microcuenca S/N	28.94	5.09%	
	Quebrada Las Palmas	14.27	2.51%	
	Río Arenillas	0.29	0.05%	
	Quebrada Raspas	10.46	1.84%	
Río Santa Rosa	Drenajes Menores	95.49	16.80%	85.73%
	Estero Culebrero	17.55	3.09%	
	Estero El Palmar	26.27	4.97%	
	Estero Tomás	16.60	2.92%	
	Microcuencas S/N	11.46	2.02%	
	Río Caluguro	96.48	15.22%	
	Río Chico	18.53	3.26%	
	Río Chilola	12.53	2.20%	
	Río Negro	69.80	12.28%	
	Río Santa Rosa	78.78	13.86%	
<b>Total</b>		568.29	100%	

*Fuente:* Tomada del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa Rosa

#### 1.1.4 Clima

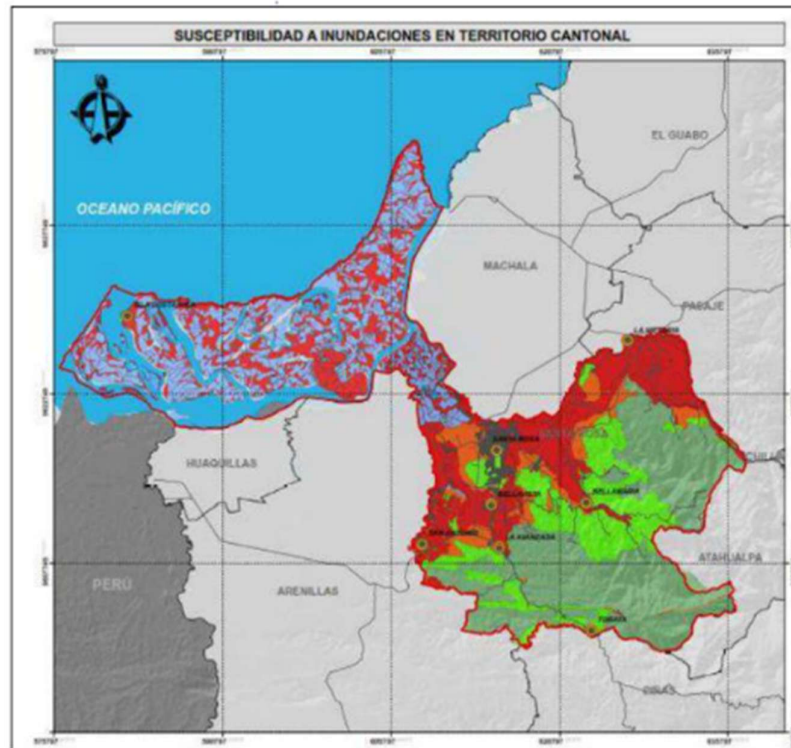
La superficie terrestre del territorio cantonal se divide en ocho zonas en función de las temperaturas medias anuales, que varían entre 18 y 26°C en el cantón. El clima que predomina es tropical mega térmico seco, este abarca la cabecera cantonal, La Victoria, Bellamaría, Bellavista, Torata, La Avanzada, San Antonio y parte del archipiélago de Jambelí, este clima cuenta con precipitaciones entre los 500 y 1000 mm entre diciembre y mayo. La diferencia de temperaturas en el cantón, son altamente influenciadas por dos fenómenos: El Niño que se presenta con altas temperaturas y la corriente fría de Humboldt que se presentan con temperaturas bajas.(GAD SANTA ROSA, 2019).



### 1.1.5 Riesgos hidrológicos

La amenaza más frecuente del cantón son las inundaciones, eventos que han ocurrido con mayor frecuencia e incidencia en los últimos años, especialmente en el casco urbano. En Santa Rosa se han identificado 23 zonas con características particulares que determinan el nivel de susceptibilidad a la amenaza de inundaciones. En la ilustración 1 se puede ver las áreas inundables del cantón Santa Rosa (GAD SANTA ROSA, 2019).

*Ilustración 1. Áreas inundables del cantón*



*Fuente: Tomada del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa Rosa.*

### 1.1.6 Uso del suelo

El 73% de la extensión territorial del cantón se destina a actividades productivas, es decir es de 68798.30 hectáreas. La superficie destinada al cultivo de dos tipos de pasto, chilena y estrella representa el principal uso del suelo, abarcando el 29.55% de la superficie productiva. Le sigue en importancia el cultivo de banano y cacao, que ocupa el 16.43% de la superficie productiva. En la tabla 4. se evidencian los diferentes usos de suelo, con respectiva superficie. (GAD SANTA ROSA, 2019).

*Tabla 4. Superficie y tipos de uso productivo del suelo*

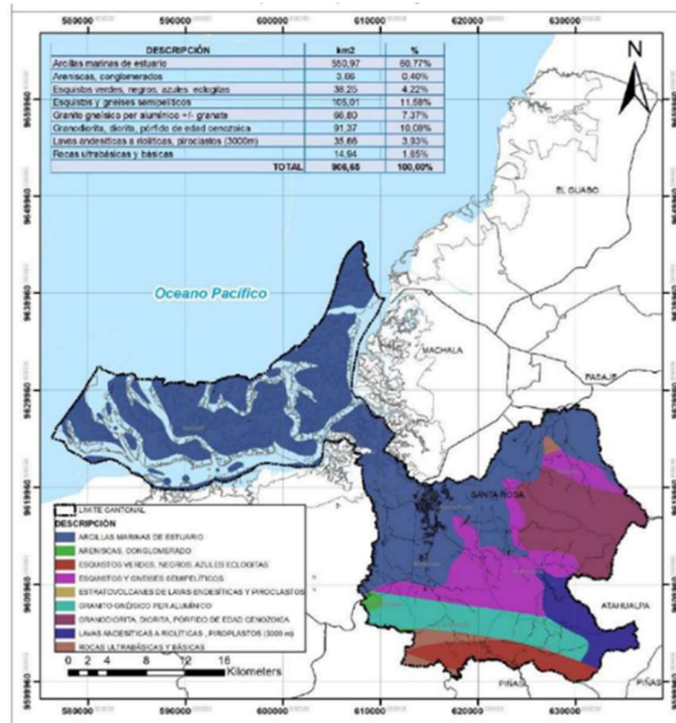
<b>Usos del suelo</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Barbecho y cultivos transitorios	191.76
Bosque	92.80
Bosque natural	5415.94
Cultivos permanentes	11306.94
Descanso	3.24
Pastos	20328
Otros usos	31462.50
<b>Total</b>	<b>68798.30</b>

*Fuente:* Tomada del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa Rosa

### **1.1.7 Geología**

Según el Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa las formaciones geológicas predominantes en el territorio son las arcillas marinas de estuario, típicos de suelos considerablemente fértiles, lo que ha permitido tanto la formación de vegetación ribereña y manglar en la zona occidente del cantón (Archipiélago de Jambelí); como la producción de banano, hacia el centro del cantón, en la cabecera cantonal y parte de La Victoria. Englobando ésta predominante formación geológica, un problema ambiental, en cuanto al mal manejo y ocupación del suelo por las camaroneras, irrumpiendo y fragmentado el ecosistema natural de manglar en el Archipiélago. En la ilustración 2. Se identifican los usos y las superficies del uso del suelo productivo en el cantón (GAD SANTA ROSA, 2019).

**Ilustración 2. Superficie y tipos de uso productivo del suelo**



**Fuente:** Tomada del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa Rosa

## 1.2 Descripción de la situación problemática (Causas y efectos).

Una de las causas trata de las precipitaciones intensas, que se ven afectadas por los cambios climáticos aumentando el flujo hidráulico de la zona, esto hace que este lugar sea susceptible a inundaciones, ocasionado daños a la infraestructura y a su vez a las familias quienes estarían en estado de vulnerabilidad.

La otra causa trata del sistema de drenaje que existe en la zona de estudio, ya que las tuberías están en mal estado y generan un sistema ineficiente, mismo que se vería colapsado, afectando a que el caudal de escorrentía superficial sea superado y a su vez ayudaría a la proliferación de enfermedades.

Otra de las causas es la saturación del suelo que causa una disminución en la capacidad de infiltración del suelo debido a los cambios de permeabilidad que se dan por los diferentes tipos de pavimentos, esto afecta a que el suelo pierda resistencia.

La problemática central se basa en la vulnerabilidad a inundaciones que presentan los habitantes de la zona noroeste del cantón Santa Rosa, misma que se ve afectada por la influencia del río Santa Rosa, el cual juega un papel fundamental en este problema, especialmente en temporadas invernales.

*Ilustración 3. Árbol de problemas*



*Fuente: Elaboración propia*

### 1.3 Formulación del problema (preguntas científicas).

#### 1.3.1 Problema

¿Los habitantes de la zona noroeste del cantón Santa Rosa son vulnerables a inundaciones por la influencia del Río Santa Rosa?

#### 1.3.2 Problemas secundarios

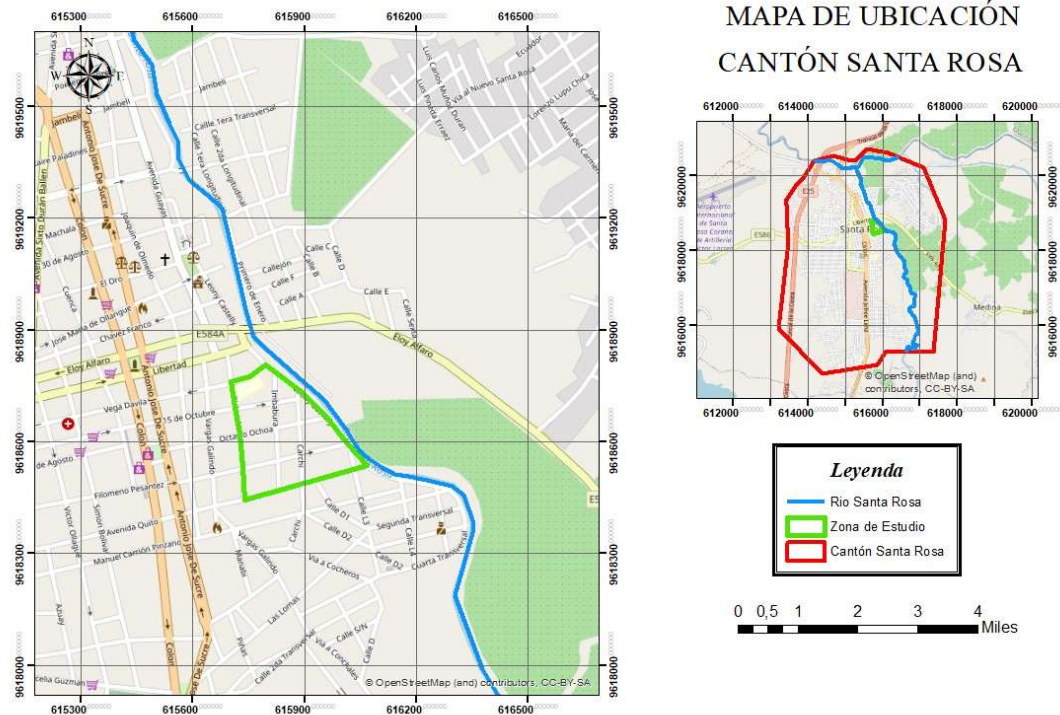
- ¿Cuáles son las teorías que analizan la vulnerabilidad por riesgo hidrológico en el Barrio Quito?
- ¿Cuáles son las dificultades que afectan al sistema de drenaje en el Barrio Quito?
- ¿El barrio Quito de la ciudad de Santa Rosa cuenta con mapas de vulnerabilidad a inundaciones?

#### 1.4 Delimitación del objeto de estudio.

Santa Rosa es una ciudad ecuatoriana, cabecera cantonal del cantón Santa Rosa, así como la tercera urbe más grande y poblada de la provincia de El Oro. Se localiza al sur de la región litoral del Ecuador, en una extensa llanura, en la orilla derecha del río Santa Rosa, a una altitud de 10 m s. n. m..

El barrio Quito está ubicada en la zona noroeste del Cantón Santa Rosa, limita al norte con la avenida Vega Dávila, al sur con la avenida Quito, al este con el río Santa Rosa y el colegio Zoila Ugarte de Landívar y al Oeste con la avenida Pichincha. Su altitud es de 8 m.s.n.m.

*Ilustración 4. Zona de estudio*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 1.5 Justificación.

Santa Rosa es una ciudad que se ve afectada por la influencia de ríos y canales, es por ello que el casco urbano se inunda frecuentemente en las zonas más bajas y cercanas a los ríos. Dando lugar al deterioro de viviendas, instituciones educativas, espacios de recreación, colapso de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, pérdidas humanas, entre otros.

La existencia de precipitaciones intensas en temporadas invernales, ayudan al tener una mayor frecuencia de inundaciones en la zona de estudio, llevándonos a que se incremente el riesgo de proliferación de enfermedades, contaminación del suelo y del agua, es por ello que es necesario implementar medidas de precaución para los habitantes de la zona.

Debido a esta problemática, es necesario realizar un estudio hidráulico e hidrológico en la zona, así mismo realizar un levantamiento topográfico para conocer los niveles en los que se encuentran las calzadas de la zona, para generar mapas de inundaciones de la cuenca del Rio Santa Rosa para diferentes escenarios teniendo en cuenta la influencia del suelo y la intensidad de la lluvia. Esto nos ayudara a tener parámetros de prevención en los cuales los habitantes se verán beneficiados, evitando así más pérdidas humanas, daños estructurales y otros. Todo esto con el fin de que los moradores realicen trabajos de adecuación y prevención en sus hogares.

Para finalizar, este proyecto no solo representa un paso crucial hacia la obtención de mi título como Ingeniera Civil, sino que también desempeña un papel significativo que contribuirá al bienestar y desarrollo de la comunidad.

## **1.6 Objetivos: General y específicos.**

### **1.6.1 Objetivo General**

Determinar la vulnerabilidad hidrológica en el barrio Quito del cantón Santa Rosa mediante el uso de técnicas de modelado hidrológico e hidráulico para la realización de mapas de inundación en la zona de estudio.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Analizar las teorías sobre la vulnerabilidad hidrológica.
- Identificar las características hidrológicas e hidráulicas de las inundaciones en la zona de estudio.
- Elaborar mapas de inundación de la zona de estudio.

## **2. CAPITULO II – MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes Contextuales**

En Costa Rica, en la provincia de Limón realizaron un estudio en el que, mediante la aplicación de la cartografía social, determinaron que los pobladores se encuentran sometidos a inundaciones por dos factores, el cambio climático, con aumento en frecuencia e intensidad de las lluvias y factores antrópicos como las construcciones en los cauces de los ríos, desarrollo urbano sin planificación, obras de desviación. La cartografía

revelo que Pandora Oeste se encuentra en zona de alto riesgo por la amenaza de desbordamiento del río La Estrella (Anchía Leitón & José, 2023).

En Colombia, en la ciudad de Tunja, realizaron un estudio hidrológico en los ríos La Vega y Jordán para identificar los puntos críticos de los cauces susceptibles de desbordamiento en la zona urbana de la ciudad. Mediante dos investigaciones realizadas lograron determinar que estos ríos presentan una deficiente convivencia de la ciudad con el recurso hídrico, y propusieron la construcción de muros para evitar las posibles inundaciones (Arevalo Algarra et al., 2021).

En México, en Querétaro, se identificó que en la periferia urbana las inundaciones son más frecuentes y peligrosas. Estas se ven afectadas conforme se altera la estructura y función de las cuencas hidrográficas. Mediante un sistema de información geográfica, se definieron unidades y secciones con análisis hidrogeomorfológico y se recopilaron registros de inundaciones. Como resultado, se encontró que la zona funcional media transformó la permeabilidad del suelo por secciones permeables, lo que favoreció las inundaciones. Mientras tanto, en la zona baja, el agua se retiene y es desviada a través de canales, ralentizando su salida de la subcuenca (Hernández Guerrero & Oreano Hernández, 2021).

En Ecuador, en la provincia de Manabí, en la parroquia Charapotó, realizaron un estudio de las características morfológicas de la cuenca "Cañitas", basándose en parámetros de forma, relieve y red de drenaje. En esta provincia, existe un manejo inadecuado de las inundaciones debido a que no se toman las medidas preventivas. Mediante HEC-HMS se realizaron hietogramas de crecidas con un periodo de retorno de 100 años, en el cual se visualiza que la cuenca reporta inundaciones repentinas en temporal invernal (Caicedo Toro et al., 2021).

En la provincia de Manabí, en la ciudad de Chone, se llevó a cabo un estudio metodológico descriptivo y exploratorio con un enfoque cualitativo y cuantitativo para identificar la vulnerabilidad física que enfrentan los hogares de la zona urbana frente a las inundaciones. Como resultado, se sugiere que es importante la integración de la comunidad a lo largo del desarrollo e implementación de las políticas públicas para que comprendan los riesgos que generan las inundaciones, lo que ayudaría a prevenir y mitigar sus impactos (Jonathan Zambrano Muñoz & Macías Ramos, 2021).

## **2.2 Antecedentes conceptuales.**

### **2.2.1 Cuenca hidrográfica**

Son sistemas naturales críticos que sirven como base para el sustento de la vida, el desarrollo de las mismas es importante para la sostenibilidad de los recursos hídricos y recursos relacionados con el suelo (Challa et al., 2019).

### **2.2.2 Caudal**

El caudal es el volumen de agua que fluye por unidad de tiempo en un río o una corriente de agua, mediante la utilización de datos de caudal se puede estimar el caudal promedio de largo plazo en la cuenca hidrográfica. Por lo tanto, es importante comparar las estimaciones de caudal, para evaluar su desempeño como un parámetro hidrológico (Florian-Vergara et al., 2021).

### **2.2.3 Inundaciones pluviales**

El crecimiento de la urbanización ha provocado el aumento de los volúmenes de escorrentía superficial, produciendo el desbordamiento de la capacidad de los sistemas de drenaje, estas pueden causar daños a la infraestructura, víctimas humanas y pérdidas económicas (Zambrano Nájera & Rey, 2022).

### **2.2.4 Vulnerabilidad a inundaciones**

La vulnerabilidad a las inundaciones se correlaciona directamente con varios factores, entre ellos la exposición de las viviendas, así como su fragilidad tanto física como social, y la dimensión de la comunidad afectada. Además, la capacidad de recuperación o resiliencia de la población frente a los desastres naturales también desempeña un papel crucial (Montero Chirito & Cabrera Carranza, 2022).

### **2.2.5 Precipitación**

La precipitación adquiere una importancia trascendental en la toma de decisiones respecto al estudio espacial y temporal de cuencas hidrográficas. Esto se debe a su influencia directa en las actividades que promueven el desarrollo social y económico de la población que reside en estas áreas (Pérez-Ortiz et al., 2022).

### **2.2.6 Periodo de retorno**

El número promedio de años en que se espera que ocurra un evento con una intensidad determinada se determina mediante el inverso de la probabilidad de ocurrencia del evento. El cálculo de las curvas de Precipitación-Duración-Periodo de retorno (P-D-Tr) se basa en el procesamiento estadístico de las precipitaciones máximas diarias disponibles. Este



proceso se utiliza para obtener los valores probables de la precipitación en un período de 24 horas para los periodos de retorno seleccionados (Arturo Ojeda de la Cruz et al., 2020).

### **2.2.7 Modelos hidrológicos**

Son herramientas que se utilizan para comprender y predecir el comportamiento de los sistemas hidrológicos, abordar y gestionar los desafíos de los recursos hídricos, se los puede clasificar según su estructura y procesos espaciales (Babel & Karssenber, 2013).

Los modelos hidrológicos son herramientas empleadas para simular y prever el flujo de ríos y arroyos, considerando una variedad de factores como la precipitación, la cobertura del suelo y otros parámetros hidrológicos. Su principal objetivo es reproducir los procesos hidrológicos presentes en una cuenca específica, proporcionando así información crucial sobre el comportamiento del flujo del agua en dicha área (Janicka et al., 2023).

### **2.2.8 Tiempo de concentración**

El tiempo de concentración es un parámetro crucial para la aplicación de modelos lluvia-escorrentía, ya que determina el periodo en el cual el agua fluye desde el punto más alejado de una cuenca hacia el punto de interés donde se estima el gasto máximo de escurrimiento. Este tiempo puede estimarse utilizando fórmulas empíricas o mediante simulaciones hidráulicas (Zolghadr et al., 2022).

### **2.2.9 Coeficiente de escorrentía**

El coeficiente de escorrentía es una variable que posee una alta incertidumbre en su determinación y representa la relación adimensional entre la lámina de escorrentía superficial generada por una cuenca determinada y la lámina de precipitación, es decir, la cantidad de lluvia que se convierte en escorrentía directa. Este coeficiente varía en función de la pendiente, las condiciones de la superficie y la cobertura vegetal, así como del tipo de suelo hidrológico (Chiarito et al., 2018).

### **2.2.10 Método racional**

Es un enfoque ampliamente utilizado para estimar el caudal máximo en cuencas, el cual se basa en la longitud y pendiente del río bajo estudio. Este método implica la determinación de los tiempos de concentración y la intensidad para cada periodo de retorno, teniendo en cuenta factores como el coeficiente de escorrentía, la cobertura vegetal y el área de la cuenca (Ariel Lapidés et al., 2021).

### **2.2.11 Coeficiente de rugosidad de Manning**

El coeficiente de rugosidad de Manning es un parámetro que se utiliza para definir la resistencia del cauce al flujo del río. Es un factor clave en la ecuación de Manning, y una estimación precisa de este coeficiente es fundamental para obtener resultados confiables en estudios hidráulicos (Yarahmadi et al., 2023).

Este coeficiente se emplea en la ecuación de Manning para calcular el caudal en ríos no aforados. La simplicidad de este enfoque radica en que solo requiere como variable de entrada el diámetro efectivo ( $d_i$ ) del material del lecho del río, obtenido a partir del análisis de granulometría (Díaz-Salas et al., 2020).

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

HEC-RAS, o Sistema de Análisis de Ríos del Centro de Ingeniería Hidrológica, es un software desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. que se utiliza para modelar el comportamiento hidráulico de ríos y arroyos. Permite a ingenieros e hidrólogos analizar el flujo de agua, el transporte de sedimentos y la gestión de llanuras de inundación. HEC-RAS puede simular diversas condiciones hidráulicas, incluyendo flujos constantes y variables, y es ampliamente utilizado para la evaluación del riesgo de inundaciones, la ingeniería fluvial y estudios ambientales. (Bimantoro et al., 2024)

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

HEC-GeoRAS es una extensión geoespacial diseñada para mejorar las capacidades de modelado hidráulico del software HEC-RAS, se utiliza para generar datos esenciales sobre la geometría del río y para producir representaciones visuales de las áreas susceptibles a inundaciones. Es crucial para crear mapas de inundación que delimiten las áreas afectadas y para comprender mejor la dinámica del flujo de agua en situaciones de emergencia. (Ahmad et al., 2023)

### **2.2.14 Curvas de nivel**

Las curvas de nivel son líneas en un mapa que conectan puntos de igual elevación sobre el nivel del mar. Estas curvas son fundamentales en topografía y se utilizan para representar la forma del terreno en un área determinada. (Deaconu & Deaconu, 2021)

## **2.3 Antecedentes referenciales**

Según Bilal, Gulbaz, Demir, Orhan y Beden en su estudio realizaron la determinación de riesgo de inundación en la ciudad de Turkiye. Desarrollaron un modelo de inundaciones

para la cuenca del río Göksu, Mersin, utilizando GIS, HEC-RAS y HEC-HMS, en el modelado hidráulico, los valores  $n$  de Manning se obtuvieron a partir de datos CORINE de 2018, usaron periodos de retorno de 25, 50, 100 y 500 años se obtuvieron de HEC-HMS y la aplicación se realizó en un modelo de superficie digital de 5 m de resolución. Los resultados mostraron que áreas extensas de la cuenca estudiada se vieron afectadas por inundaciones desde caudales de retorno de 25 años. Se observó que la mayoría de las áreas afectadas por las inundaciones presentaban un nivel de peligro extremo (Peker et al., 2024).

Un estudio realizado por Burgos, Cartaya y Mero en la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, en el que analizan la vulnerabilidad a inundaciones mediante componentes físicos, sociales, económicos y ecológicos, utilizando un método de observación directa, encuestas personales y descriptivas con el fin de recabar información necesaria sobre los riesgos y pérdidas económicas. Además, utilizaron un sistema de información geográfica (SIG) para el análisis cartográfico de los aspectos ecológicos de la parroquia, determinando así que son 6 los barrios que se encuentran en la zona más vulnerable (Burgos Choez et al., 2019).

En un estudio llevado a cabo en la cuenca del río Baro Akobo en Etiopía, se realizaron análisis utilizando modelos de redes neuronales artificiales (ANN) y el software HEC-RAS para mapear las inundaciones en la zona. Este estudio empleó datos recopilados de estaciones meteorológicas y el índice topográfico de humedad. Con el uso del software ANN, se generaron coeficientes de escorrentía, los cuales fueron posteriormente integrados en el modelo HEC-RAS para producir mapas de predicción de inundaciones, considerando tanto el espacio como el tiempo. Los resultados revelaron que la combinación de estos dos modelos resultó altamente efectiva para el mapeo preciso de las inundaciones en la región (Tamiru & Dinka, 2021).

**Tabla 5. Análisis comparativo para la creación de mapas de inundación.**

<b>Autores</b>	<b>Criterios</b>	<b>Métodos</b>	<b>Aplicaciones Practicas</b>	<b>Conclusiones</b>
Ismail Bilal Peker Sezar Gulbaz Vahdettin Demir Osman Orhan Neslihan Beden	Integración de los modelos HEC-RAS y HEC-HMS con SIG en la modelización de inundaciones y la cartografía de peligros de inundación en la Cuenca del Río Göksu.	Los métodos utilizados incluyen la integración de los modelos HEC-RAS, HEC-HMS y GIS para la modelización de inundaciones y la elaboración de mapas de peligros de inundación en la Cuenca del Río Göksu. Se utilizaron varios intervalos de retorno de curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) en el modelo hidrológico, como 25, 50, 100 y 500 años.	Modelización de Inundaciones, elaboración de Mapas de Peligros de Inundación, planificación de Gestión de Inundaciones	Proporciona información detallada sobre la modelización de inundaciones y la elaboración de mapas de peligros en la Cuenca del Río Göksu, lo que puede ser fundamental para la toma de decisiones en la gestión de riesgos de inundaciones y la planificación de emergencias en la región.
Bryan Danilo Burgos Choez Scarlet Josefina Cartaya Ríos David Jesod Mero del Valle	Consideración de aspectos físicos, sociales, ecológicos y económicos, utilización de variables e indicadores específicos para cada aspecto, como material de construcción, conservación de infraestructura, cercanía al río	Método de observación directa, encuestas personales, Sistemas de Información geografico (SIG)	Identificación de áreas de mayor vulnerabilidad, planificación de medidas de gestión del riesgo, mejora de la infraestructura.	La parroquia Santa Ana de Vuelta Larga presenta una vulnerabilidad global media del 55%, influenciada principalmente por aspectos sociales como la falta de preparación ante el riesgo de las instituciones locales y los habitante
Habtamu Tamiru Megersa O Dinka	Emplea el modelo HEC-RAS para generar áreas de inundación y se evalúa la precisión de estas áreas comparándolas con los cuerpos de agua delimitados a partir de imágenes de satélite.	Los métodos utilizados en el estudio incluyen la implementación de modelos hidrológicos como el modelo de red neuronal artificial (ANN) para la predicción de caudales y el modelo HEC-RAS para la simulación de la propagación de inundaciones en el río Baro.	Mejora de la gestión del riesgo de inundaciones y la implementación de sistemas de alerta temprana en la cuenca del río Baro en Etiopía.	La integración de modelos hidrológicos mejora la precisión en la predicción de inundaciones y puede ser crucial para la gestión del riesgo de inundaciones y la planificación de medidas de mitigación en la región.

*Fuente: Elaboración propia*

### **3. CAPITULO III – METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad básica de investigación.**

La investigación que se llevará a cabo será de tipo documental en donde se recopilará, y analizara información necesaria e importante, de campo en donde se tomaran datos relevantes de la zona de estudio y experimental debido a que se procesara la información obtenida mediante la investigación bibliográfica y los datos tomados in situ.

#### **3.2 Tipo de investigación**

El presente trabajo se basa en 3 tipos de investigación: bibliográfico, de campo y experimental.

##### **3.2.1 Investigación bibliográfica**

Se basa en la recopilación de información de documentos, estudios científicos, informes técnicos, libros, estudios previos, con el fin de determinar datos necesarios para la investigación.

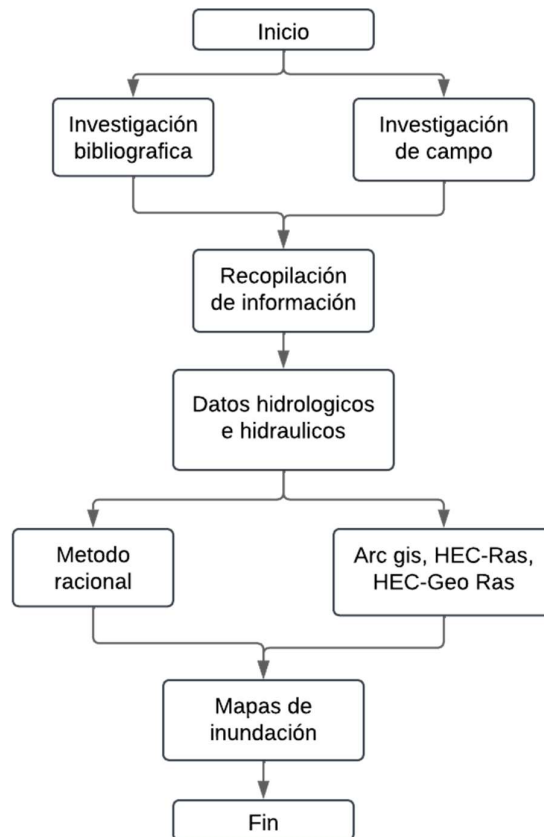
### 3.2.2 Investigación de campo

También se llevará a cabo una investigación de campo en la zona de estudio, mediante la cual se recopilarán datos relevantes para a investigación, lo que nos permitirá una comprensión más detallada de las variables que intervienen y como influyen en la problemática del estudio.

### 3.2.3 Investigación experimental.

Se procesará toda la recopilación de datos obtenidos mediante la investigación bibliográfica y los tomados en campo, los que se contrastaran con un Modelo Digital de Elevación (DEM), y se determinará si estos son correctos y necesitan ser corregidos, para su posterior utilización en la generación de mapas de vulnerabilidad inundación de la zona de estudio.

**Ilustración 5.** Etapas de investigación



*Fuente:* Elaboración propia

### 3.3 Objeto de estudio

El objeto de estudio es el análisis de la vulnerabilidad a inundaciones del barrio Quito, cantón Santa Rosa, en la ilustración 4 se puede observar la zona urbana que se encuentra susceptible a las inundaciones por la influencia del río Santa Rosa.

### 3.4 Descripción de la población y muestra

Santa Rosa es una ciudad que se ve influenciada por la presencia de constantes inundaciones, eventos que se dan con recurrencia en las temporadas invernales y que afectan principalmente a la cabecera cantonal. El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Santa Rosa, identifica las zonas más vulnerables a inundaciones y las clasifica en niveles, que van desde muy alta, alta, media, baja y nula.

*Tabla 6. Zonas en riesgo de inundación cabecera cantonal Santa Rosa*

<b>Código de Zona</b>	<b>Nivel de riesgo por inundación</b>	<b>Referencia</b>	<b>Descripción</b>
ZONA 05 (Z05)	Muy Alto	Noroeste de la ciudad, a orillas del Río Santa Rosa	Ubicado en el margen derecho del Río Santa Rosa en la prolongación de la Javier Soto hasta el puente sobre la vía a Bellamaria es el área afectada por el desborde del Río Santa Rosa en aproximadamente 100 metros.

*Fuente: Tomada del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa Rosa*

Santa Rosa cuenta con una población muy amplia que se concentra con un 77% en la cabecera cantonal y el 23% se distribuye en las 7 parroquias rurales que tiene el cantón. En la tabla 7 se puede evidenciar que Santa Rosa cuenta con 82171 habitantes, según el censo realizado en INEC 2010.

*Tabla 7. Densidad Poblacional del cantón Hab/km<sup>2</sup>*

<b>Parroquia</b>	<b>Población (hab)</b>	<b>Superficie km<sup>2</sup></b>	<b>Densidad poblacional</b>
Santa Rosa (cabecera cantonal)	62.921	141,77	443,82 Hab/km <sup>2</sup>
Total	82.171	896.46	91,66 Hab/ km <sup>2</sup>

*Fuente: Tomada del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa Rosa*

### **3.5 Técnicas con los materiales utilizados.**

En la ilustración 5 se puede observar las etapas de nuestra investigación, la cual consta de recopilación de 3 etapas, como son: la recopilación de información, el procesamiento de información y la generación de mapas de inundación.

#### **3.5.1 Recopilación de información.**

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

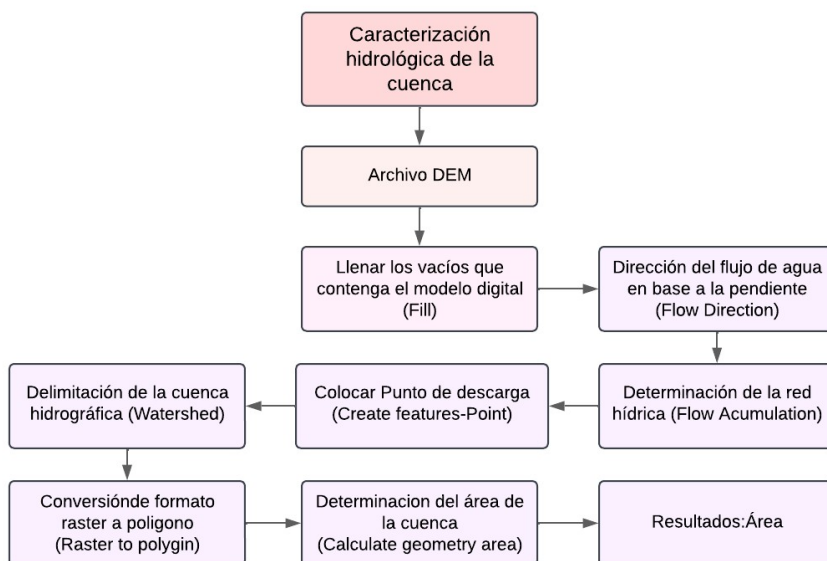
#### **3.5.2. Procesamiento de información.**

Una vez obtenida la información bibliográfica, es necesario también recopilar información de Modelos digitales de elevación (DEM), esta misma se obtiene por medio del satélite ALOS PALSAR, así mismo se necesitarán registros históricos de precipitación de la zona de estudio, para ello se utilizó el satélite Giovanni, quien nos facilitara la información requerida.

#### **3.5.3. Característica Hidrológica de la cuenca**

Mediante el software ArcGIS, se realizará la caracterización de la cuenca hidrográfica, el dato de entrada será el modelo digital de elevaciones, con el cual se obtendrá el área y el perímetro de la cuenca. A continuación, se describe el método que servirá de guía para llevar a cabo la caracterización de la cuenca, detallando las herramientas que se emplearan en el software como se puede observar en la ilustración 6.

**Ilustración 6.** Caracterización de la cuenca



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.4. Estimación de los caudales de diseño

El análisis de las precipitaciones resulta fundamental para comprender y anticipar los posibles riesgos asociados, lo que permite una gestión más eficiente y una mejor identificación de las áreas vulnerables frente a eventos de inundación. Así mismo, este análisis facilita la elaboración de estrategias preventivas más efectivas para mitigar sus impactos.

Los datos pluviométricos obtenidos fueron a través del satélite “Giovanni” Geospatial Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure) de la NASA, debido a que el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) no cuenta con datos completos y actualizados.

Se obtuvo registros de precipitaciones que van desde el año 1983 hasta el año 2019, siendo un total de 37 años de registros, en la tabla 8 se muestran las precipitaciones máximas anuales y los promedios mensuales.

Los datos presentados en la tabla 9 fueron empleados para elaborar la representación gráfica de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), correspondientes a diversas duraciones y períodos de retorno. Para ello, se utilizó la fórmula general propuesta en el libro *"Estudio de lluvias intensas"* del INAMHI, con el objetivo de calcular la intensidad máxima. (ecuación 1). (Hidrología, 1999).



*Ecuación 1. Intensidad*

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

Dónde:

- I: Intensidad (mm/h)
- T: período de retorno (años)
- t: tiempo de duración (minutos)
- K, m, n: Constates de ajuste

**3.5.5. Tiempo de concentración**

Para estimar el tiempo de concentración, se utilizó el método de Kirpich aplicando la siguiente fórmula.

*Ecuación 2. Tiempo de Concentración.*

$$Tc = 0.00325 * L^{0.77} * S^{-0.355} \text{ (Castillo García et al., 2021)}$$

Dónde:

- L: Longitud del cauce principal [m]
- S: Pendiente media del cauce principal

**3.5.6. Coeficiente de escorrentía**

Chow David en su libro de “Hidrología Aplicada”, propone valores para el coeficiente de escorrentía que dependen del uso del suelo, la cobertura y las características del terreno, en el anexo ... se puede observar este valor de manera ponderada.

**3.5.7. Coeficiente de rugosidad de Manning**

El coeficiente de rugosidad de Manning se calcula utilizando el método de Cowan, con la siguiente formula. (Chow. V, 2004)

*Ecuación 3. Coeficiente de rugosidad de Manning*

$$n = (n0 + n1 + n2 + n3 + n4) * m$$

Donde:

- n0: Involucra el material del fondo del canal
- n1: Cuantifica las irregularidades superficiales

- n2: Cuantifica la variación en forma y tamaño de la sección transversal
- n3: Cuantifica el efecto de las obstrucciones.
- n4: Toma en cuenta la vegetación.
- m: Factor de corrección por los efectos de meandros.

### **3.5.8. Análisis hidráulico**

El análisis hidráulico se lo realizó mediante el software ArcGIS, en el cual se realizó la caracterización de la cuenca, para posteriormente utilizar la extensión HEC-GeoRAS, misma que nos permite crear la geometría del río, es decir, el cauce principal con “Stream Centerline”, orilla izquierda y derecha con “Bank Lines”, flujo izquierdo y derecho con “Flow Path Centerlines”, y las secciones transversales con “XS Cut Lines”, como se observa en la ilustración 7, seguidamente se deberá utilizar el software HEC-RAS exportando los productos obtenidos con RASImport creado en HEC-GeoRAS a HEC-RAS empezando por “Geometry Data”, que brindara un esquema del tramo del río, posteriormente con la herramienta “Manning’s n or k values” se ingresara los datos correspondientes según la sección del canal, para los datos del caudal se empleó “Steady Flow Data”, así se obtendrá la modelación hidráulica que nos permitirá determinar las zonas más susceptibles a inundarse.

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

Los resultados obtenidos a través del software HEC-RAS fueron incorporados en el programa ArcGIS para la generación de mapas de inundación, los cuales representan, mediante polígonos cerrados, las áreas donde se acumula el agua durante un evento de inundación. A partir de esta información, es posible obtener diversos análisis adicionales, como la estimación del volumen de agua dentro de la zona afectada, la identificación de las áreas afectadas y la determinación de la altura del nivel del agua durante la inundación. Estos mapas se elaboran en intervalos de tiempo específicos, considerando los períodos en los que se prevé la ocurrencia de eventos de inundación en las regiones analizadas. En la Ilustración 8, se presenta un diagrama de flujo que resume los procesos clave necesarios para obtener los resultados esperados.

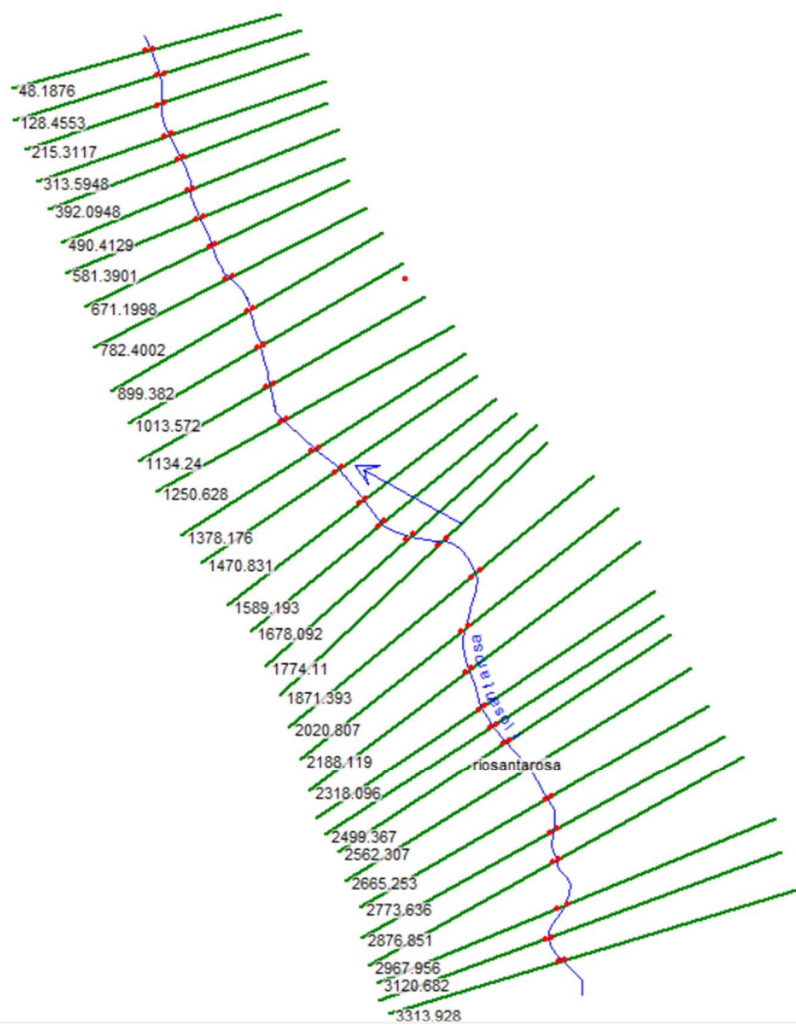
Para determinar un nivel de peligrosidad a las inundaciones usaremos como la tabla 8:

**Tabla 8.** Nivel de peligro de inundaciones

Río Santa Rosa	
<b>Muy bajo</b>	0-1.5m
<b>Bajo</b>	1.51m-2.50m
<b>Medio</b>	2.51m-3.50m
<b>Alto</b>	3.51m-4.60m
<b>Muy alto</b>	h>4.61m

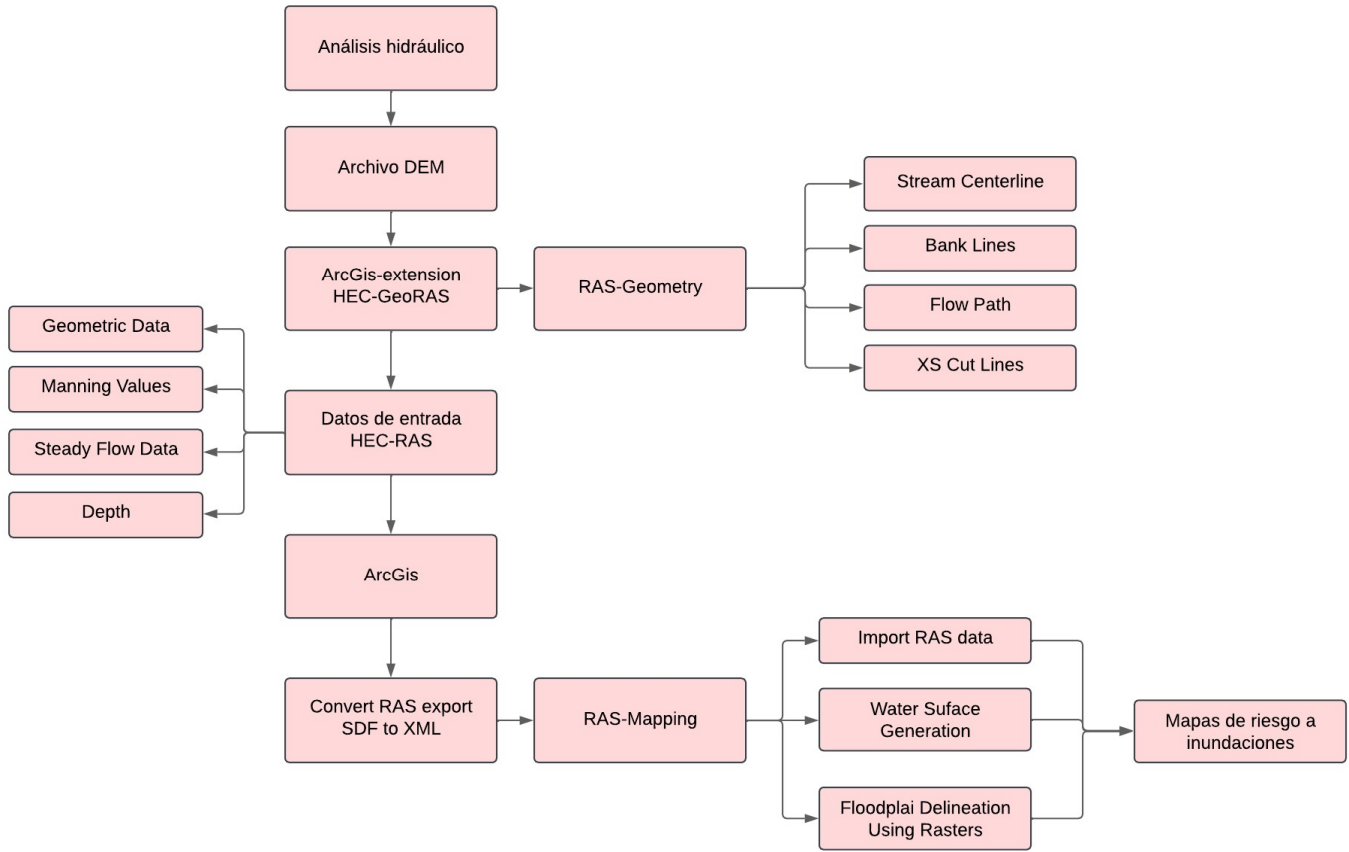
*Fuente: Elaboración propia*

**Ilustración 7.** Geometría del río Santa Rosa



*Fuente: Elaboración propia*

*Ilustración 8. Propuesta metodológica para la creación de mapas de inundación.*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **4. Capítulo IV-Análisis e interpretación de resultados.**

##### **4.1 Entorno hidrológico.**

###### **4.1.1 Análisis de precipitaciones del río Santa Rosa**

La recopilación de información de precipitaciones de la zona de estudio es un paso fundamental, ya que al tener datos históricos nos ayudara a que los resultados sean más precisos.

En la tabla 9 se puede evidenciar los datos pluviométricos obtenidos en el Cantón Santa Rosa, que van desde el año 1983 a 2019.

**Tabla 9. Precipitaciones en la zona del río Santa Rosa.**

AÑO	ENERO (mm/mes)	FEBRERO (mm/mes)	MARZO (mm/mes)	ABRIL (mm/mes)	MAYO (mm/mes)	JUNIO (mm/mes)	JULIO (mm/mes)	AGOSTO (mm/mes)	SEPTIEMBRE (mm/mes)	OCTUBRE (mm/mes)	NOVIEMBRE (mm/mes)	DICIEMBRE (mm/mes)	PRECIPITACIÓN MAXIMA (mm/mes)
1983	434,264	201,39	353,36	373,73	358,34	231,12	129,85	20,58	32,20	53,78	19,35	139,83	434,26
1984	16,80	306,26	203,20	196,95	35,47	33,23	20,00	9,66	22,88	42,25	34,11	64,17	306,26
1985	67,00	31,41	137,65	24,38	32,81	16,90	13,35	15,75	19,98	25,36	17,75	72,19	137,65
1986	171,76	110,69	86,07	138,92	20,29	9,06	12,13	9,89	14,98	20,33	37,84	30,48	171,76
1987	169,77	230,41	176,40	185,34	64,47	9,75	17,16	19,54	16,90	19,59	27,51	16,93	230,41
1988	180,43	178,46	29,14	123,73	26,61	17,56	15,15	10,38	18,28	34,87	38,06	50,74	180,43
1989	247,00	274,66	249,07	66,36	26,64	25,63	15,85	10,26	14,25	45,37	8,18	14,54	274,66
1990	46,03	102,00	71,86	107,96	32,54	26,83	17,93	9,91	8,19	35,33	29,31	26,39	107,96
1991	39,11	205,96	168,25	43,03	38,91	20,76	12,12	12,47	12,83	26,25	24,06	62,68	205,96
1992	86,16	243,22	308,03	268,88	135,12	33,00	10,22	15,70	33,49	14,10	25,14	17,58	308,03
1993	99,38	234,38	276,55	209,25	80,54	13,68	16,82	11,09	14,18	25,75	27,15	97,49	276,55
1994	212,45	131,37	141,12	117,36	33,11	20,62	10,63	18,92	16,69	14,79	26,27	78,34	212,45
1995	88,21	106,63	156,79	63,37	41,06	14,09	22,43	4,69	8,45	29,47	61,39	61,15	156,79
1996	120,42	194,74	139,12	49,40	17,12	19,02	14,88	6,50	9,19	31,47	9,10	16,52	194,74
1997	79,34	128,16	276,43	151,66	58,20	52,90	31,30	23,91	60,85	80,40	197,29	330,28	330,28
1998	335,58	354,96	333,42	300,55	177,77	74,14	36,41	14,94	15,20	33,44	18,84	14,18	354,96
1999	78,43	210,86	200,09	95,87	70,68	25,60	13,76	13,49	35,23	13,70	19,60	105,91	210,86
2000	72,88	191,30	174,60	127,58	85,80	30,78	7,42	10,16	32,15	5,63	6,25	30,17	191,30
2001	139,82	151,55	270,30	81,96	41,92	21,17	6,79	12,88	14,45	8,68	39,58	32,23	270,30
2002	47,42	190,42	320,15	147,90	39,16	17,80	14,33	5,52	5,39	25,47	36,73	59,67	320,15
2003	51,21	114,08	106,65	87,23	28,58	15,75	9,27	10,09	23,56	16,80	42,67	52,48	114,08
2004	63,78	110,36	104,58	118,50	39,33	19,83	11,84	11,61	26,72	24,33	35,22	33,70	118,50
2005	57,86	104,88	186,64	101,50	27,12	20,93	10,17	5,56	15,20	25,68	9,50	74,93	186,64
2006	104,41	212,32	159,59	57,71	11,75	21,37	8,08	7,53	15,82	13,94	38,39	37,39	212,32
2007	92,22	48,19	124,55	113,49	36,32	52,50	4,32	44,00	13,24	22,97	49,18	26,70	124,55
2008	112,06	276,31	190,09	101,49	41,49	32,65	14,17	18,08	14,25	39,72	44,40	33,95	276,31
2009	108,06	158,17	127,21	53,73	26,09	35,52	27,53	11,23	10,04	13,21	12,12	47,16	158,17
2010	67,46	187,44	105,49	109,31	31,09	54,77	38,41	8,99	18,98	8,17	28,87	41,84	187,44
2011	80,10	148,72	108,44	172,75	35,76	21,15	43,10	11,04	34,69	28,13	41,19	58,24	172,75
2012	210,00	240,84	169,72	132,63	37,39	38,34	15,70	8,22	18,65	36,78	39,08	37,94	240,84
2013	117,75	133,63	150,13	65,12	67,58	39,93	39,02	14,64	9,91	42,70	6,80	29,69	150,13
2014	117,53	100,34	119,76	65,12	70,09	38,95	20,44	13,67	10,02	50,57	27,44	27,96	119,76
2015	121,84	69,17	277,66	102,89	83,94	36,65	28,95	12,23	7,15	21,60	15,37	31,45	277,66
2016	118,96	219,59	188,91	122,23	26,52	33,09	15,87	14,56	25,18	10,87	18,87	58,34	219,59
2017	176,38	139,83	305,57	194,81	94,27	25,28	22,22	13,87	6,02	8,56	11,68	58,78	305,57
2018	63,71	145,23	88,35	57,76	68,74	22,98	15,31	18,30	10,27	12,34	60,93	34,01	145,23
2019	117,17	127,55	107,77	92,30	36,65	25,25	22,54	23,62	7,44	22,45	34,20	47,16	127,55
<b>PRECIPITACIÓN MAXIMA (mm/mes)</b>	434,26	354,96	353,36	373,73	358,34	231,12	129,85	44,00	60,85	80,40	197,29	330,28	434,26

*Fuente: Elaboración propia*

Las curvas IDF se desarrollaron a partir de los datos recolectados sobre precipitación, con el propósito de identificar la relación existente en un intervalo de 24 horas. Posteriormente, estas curvas se aplicaron a diversas duraciones de lluvia. Los coeficientes correspondientes se presentan a continuación en la tabla 10.

**Tabla 10.** 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*

A partir de los coeficientes mencionados, se determinó la intensidad de lluvia, expresada en unidades de mm/min. Los valores obtenidos están asociados a los periodos de retorno y a los intervalos de tiempo en minutos, los cuales se presentan en la tabla 11.

**Tabla 11.** Intensidades de precipitación sobre el río Santa Rosa.

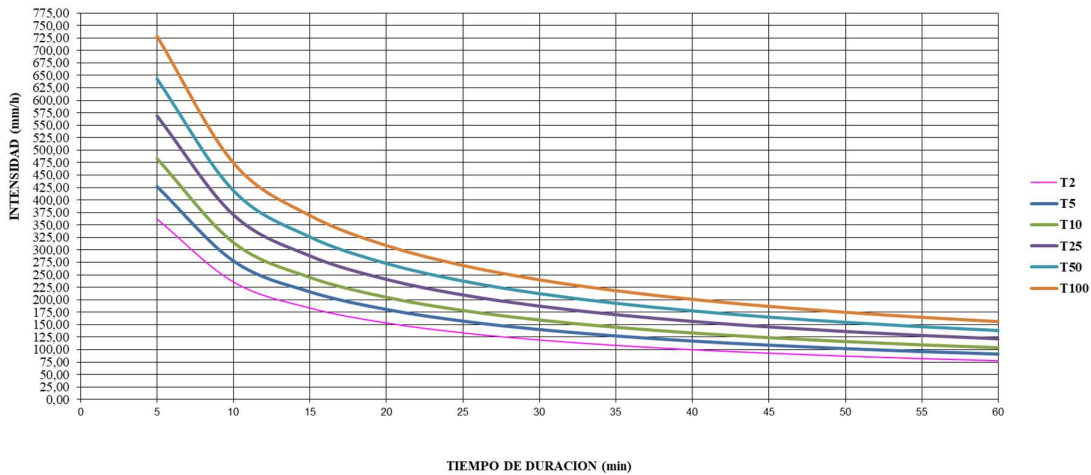
Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	362,49	236,05	183,67	153,72	133,89	119,60	108,72	100,10	93,06	87,19	82,19	77,88
5	426,83	277,95	216,27	181,00	157,65	140,83	128,02	117,86	109,58	102,66	96,78	91,71
10	482,99	314,52	244,72	204,81	178,39	159,36	144,86	133,37	124,00	116,17	109,51	103,77
25	568,72	370,34	288,16	241,16	210,06	187,64	170,57	157,04	146,00	136,79	128,95	122,19
50	643,54	419,06	326,07	272,89	237,69	212,33	193,01	177,70	165,21	154,78	145,92	138,27
100	728,20	474,20	368,96	308,79	268,96	240,27	218,41	201,08	186,95	175,15	165,11	156,46

*Fuente: Elaboración propia*

Estos datos se emplearon posteriormente para construir las curvas IDF, donde las abscisas representan las duraciones en minutos y las ordenadas indican las intensidades. Cada curva está asociada a un periodo de retorno específico, tal como se muestra en la ilustración 9.

**Ilustración 9.** Curvas IDF

**Curvas IDF del Río Santa Rosa**



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.2 Área de estudio- Cuenca del río Santa Rosa.

La zona de estudio fue analizada utilizando modelos digitales de elevación (DEM), que sirvieron como datos de entrada en el software ArcGIS. Los parámetros físicos obtenidos a partir de este análisis fueron fundamentales para el cálculo posterior de los caudales.

**Tabla 12.** Parámetros físicos del río Santa Rosa

CUENCA SANTA ROSA		
Área	309.770	km2
Perimetro	102.080	km
Longitud del cauce principal	3.440	km
Pendiente	0.020	m/m

*Fuente: Elaboración propia*

Para la caracterización de la cuenca en la zona de estudio, se utilizó el software ArcGIS, el resultado se muestra en la ilustración 10.

*Ilustración 10. Cuenca rio Santa Rosa*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.1.3 Coeficiente de escorrentía.**

El coeficiente de escorrentía es un parámetro fundamental en el campo de la hidrología, ya que permite estimar la proporción de precipitación que se transforma en escorrentía superficial dentro de una cuenca determinada. Este coeficiente es crucial para el diseño y planificación de sistemas de drenaje, estudios de inundaciones y gestión de recursos hídricos, ya que influye directamente en la cantidad de agua que escurre sobre la superficie en función de las características del terreno.

Para la determinación del coeficiente de escorrentía en la zona de estudio, se aplicó un método basado en la ponderación de la influencia de los distintos tipos de suelo presentes en el área. Este procedimiento considera la capacidad de infiltración y retención de cada tipo de suelo, así como el porcentaje de cobertura que representa dentro de la cuenca. De

esta manera, se obtiene un valor ponderado del coeficiente de escorrentía que refleja con mayor precisión el comportamiento hidrológico de la zona analizada.

Los resultados obtenidos a partir de este análisis se presentan en la tabla 13, donde se detallan las características de los suelos evaluados, sus respectivas áreas dentro de la cuenca y los coeficientes asignados a cada uno.

**Tabla 13.** *Coficiente de escorrentía de la zona de estudio.*

Uso	Sección	Área m2	Área km <sup>2</sup>	Fracción de Área	Coeficiente de Escorrentía					
					2	5	10	25	50	100
CONSERVACIÓN Y PROTECCION	Área 1	117478530.57	117.48	38%	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.15
AGROPECUARIO MIXTO	Área 2	75101558.79	75.10	24%	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.18
PECUARIO	Área 3	67890352.79	67.89	22%	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18
AGRICOLA	Área 4	29847926.02	29.85	10%	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.19
ANTROPICO	Área 5	9062134.57	9.06	3%	0.28	0.29	0.31	0.33	0.34	0.36
NUBOSIDAD	Área 6	8338071.28	8.34	3%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AGUA	Área 7	1616419.91	1.62	1%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PROTECCION O PRODUCCION	Área 8	435463.00	0.44	0%	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.19
ACUICOLA	Área 9	1040.64	0.00	0%	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.19
	Área Total	309771497.57	309.77	100%	0.90	0.97	1.04	1.11	1.20	1.26

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.4 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se calcula mediante la ecuación 2, esta nos da como resultado de 46.20 minutos, con este dato se procede a relacionarlo con los intervalos de tiempo establecidos anteriormente.

#### 4.1.5 Cálculo de caudales de diseño

Mediante el método racional se obtuvieron los caudales de diseño para la cuenca del río Santa Rosa, esto se realizó con las intensidades y coeficientes de escorrentía calculados previamente, para el cálculo de los caudales se lo hizo con la siguiente formula:

*Ecuación 4. Caudal de diseño*

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Dónde:

- Q = Caudal máximo de diseño en [m3/s]
- C = Coeficiente de escorrentía
- I = Intensidad de precipitación máxima horaria [mm/h]
- A = Área de la cuenca [km2]

En la tabla 14, se presentan los resultados obtenidos de los caudales de diseño para los diferentes periodos de retorno, y tiempos de concentración.



**Tabla 14.** Caudales máximos calculados para el río Santa Rosa.

Frecuencia	Caudales máximos $m^3/s$											
	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	28176.09	18348.00	14276.27	11948.04	10406.96	9296.57	8450.70	7780.45	7233.51	6776.91	6388.75	6053.84
5	35546.94	23147.82	18010.94	15073.64	13129.42	11728.55	10661.40	9815.81	9125.79	8549.75	8060.05	7637.52
10	43062.82	28042.09	21819.09	18260.74	15905.44	14208.38	12915.60	11891.22	11055.30	10357.47	9764.23	9252.36
25	54606.64	35559.32	27668.11	23155.88	20169.20	18017.21	16377.87	15078.89	14018.89	13133.99	12381.72	11732.63
50	66414.52	43248.50	33650.94	28163.00	24530.49	21913.16	19919.35	18339.48	17050.27	15974.02	15059.08	14269.64
100	78719.41	51261.32	39885.58	33380.88	29075.36	25973.10	23609.89	21737.30	20209.24	18933.59	17849.14	16913.43

*Fuente: Elaboración propia*

## 4.2. Entorno hidrográfico

### 4.2.1 Coeficiente de rugosidad.

El valor del coeficiente de rugosidad “n”, se caculo conociendo las condiciones naturales de la zona de estudio que nos sirven para clasificarlos según los parámetros que se usan en la ecuación 3, en la tabla 15 se observan los resultados obtenidos:

**Tabla 15.** Coeficiente de rugosidad del río Santa Rosa

Coeficiente de rugosidad	Detalles	
n0	0.02	Tierra
n1	0.005	Menos
n2	0.005	Ocasionalmente alternante
n3	0.02	Apreciable
n4	0.025	Alta
m5	1.15	Apreciable
<b>C. rugosidad "n"</b>	<b>0.09</b>	

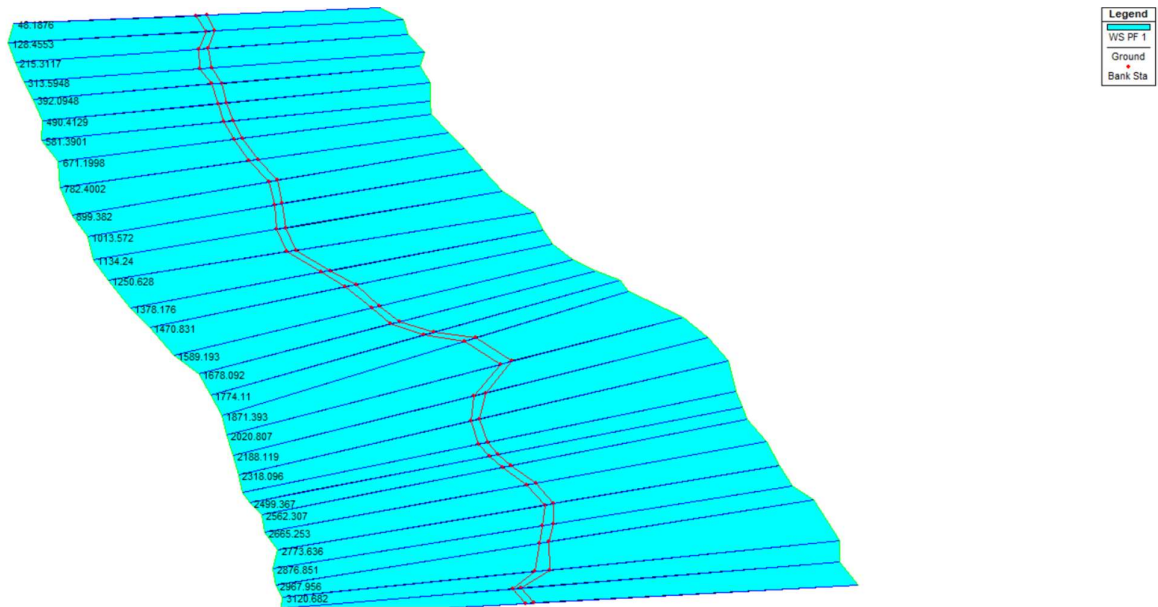
*Fuente: Elaboración propia*

### 4.2.2 Simulación de inundaciones

La simulación se realizó por medio del software HEC-RAS, los datos de entrada son las secciones transversales obtenidas por medio del software ArcGIS y su extensión HEC-GeoRAS, también se necesitan los caudales de diseño que fueron previamente mostrados en la tabla 14, con el tiempo de concentración de 50 minutos, también se necesita el coeficiente de rugosidad “n” de la zona de estudio.

Se realizo la simulación con los parámetros antes mencionados para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. HEC-RAS nos permite visualizar la vista longitudinal y transversal de cada sección, permitiéndonos observar con mayor detalle los escenarios de inundación.

**Ilustración 11.** Simulación de inundación sobre el río Santa Rosa para un periodo de retorno de 100 años



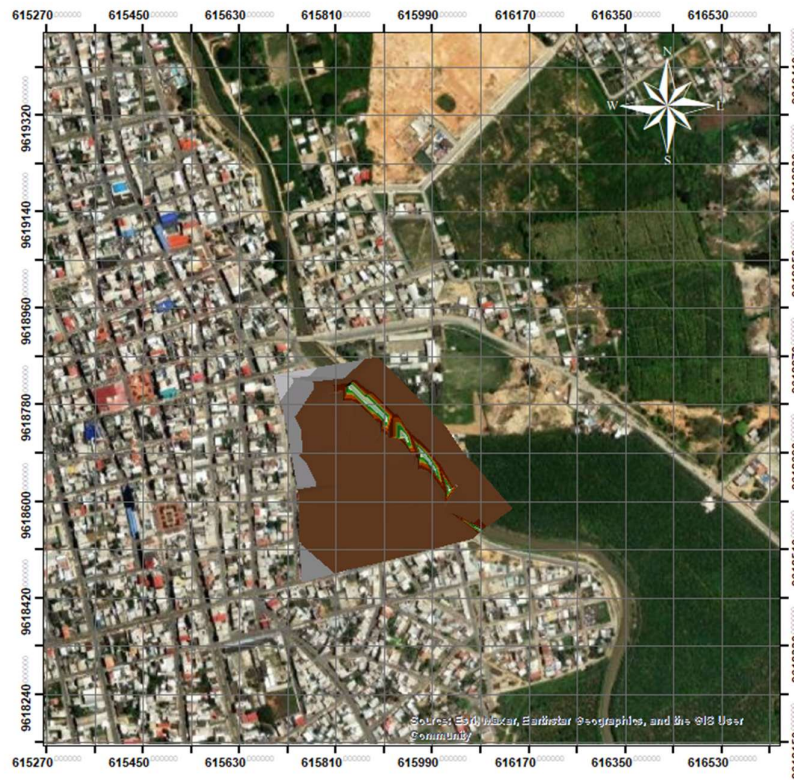
*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.2.3. Levantamiento de información topográfica**

Se realizó un levantamiento topográfico con la finalidad de conocer las cotas y correlacionar los resultados obtenidos mediante la simulación de inundación. Para ello se colocó un BM en el río Santa Rosa con coordenadas 9618816.65, 615835.93 y un BM en una alcantarilla en el Barrio Quito, con coordenadas 9618836.87, 615692.25, una vez definidos los puntos BM, se procedió a realizar un estudio topográfico en la zona de estudio.

Se utilizó el sistema de referencia World Geodetic System 1984, zona 1 sur, para el registro de los puntos obtenidos en la zona de estudio. En la ilustración 12, se puede evidenciar el levantamiento realizado.

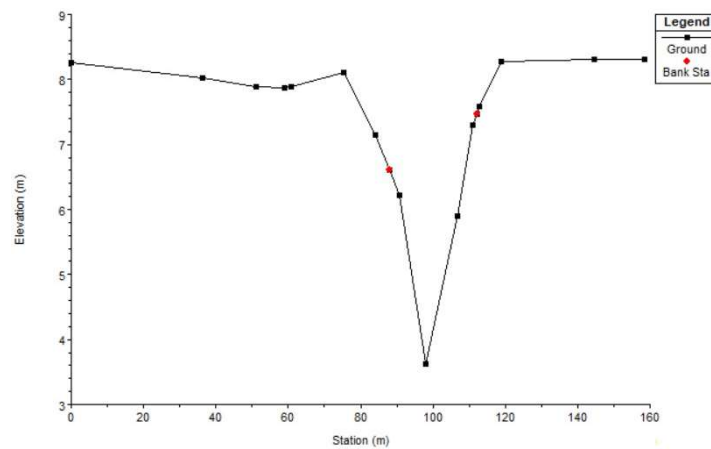
*Ilustración 12. Superficie generada de la topografía del río Santa Rosa mediante Software ArcGIS*



*Fuente: Elaboración propia*

Se encontró una diferencia de cotas obtenida mediante el software es de 4.84 msnm y la calculada a través de los datos topográficos tomados in situ es de 3.65 msnm. Dando como resultado un margen de error de  $\pm 1.19\text{m}$ . En la ilustración 13, se puede observar el perfil del río Santa Rosa generado mediante topografía in situ.

*Ilustración 13. Perfil del río Santa Rosa generado mediante topografía in situ*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.4. ARC Gis (RAS mapping)

Para llevar a cabo la modelación en ArcMap, se inicia con la exportación del archivo .RASexport, el cual contiene la información procesada en HEC-RAS. A continuación, utilizando la herramienta RAS Mapping, se genera un nuevo Modelo Digital de Elevación (DEM), que servirá como base para el análisis.

Luego, se procede a importar los datos previamente trabajados mediante la opción "Import RAS Data", asegurando que todos los elementos relevantes, como superficies de agua y perfiles hidráulicos, sean incorporados correctamente.

Dentro de la sección "Inundation Mapping", se emplean las funciones "Water Surface Generation", encargada de crear las superficies de agua basadas en los datos hidráulicos, y "Floodplain Delineation Using Rasters", que permite definir y visualizar las zonas de inundación de manera precisa.

Finalmente, con estos procesos completados, se obtienen los mapas de inundación, los cuales pueden ser analizados para evaluar el impacto de eventos hidrológicos y tomar decisiones en la gestión del riesgo de inundaciones. En la tabla 16 se detalla los niveles de inundación, con su respectivo periodo de retorno.

**Tabla 16.** Resultados del nivel de inundación máxima para el Barrio Quito según el periodo de retorno.

Nivel de inundación Barrio Quito		
Periodo de retorno	Nivel de inundación máxima	Nivel de inundación real
2 años	4.13m	0m
5 años	4.66m	0.06m
10 años	5.15m	0.55m
25 años	5.84m	1.24m
50 años	6.48m	1.88m
100 años	7.10m	2.5m

*Fuente: Elaboración propia*

## 5. CONCLUSIONES

Se llevó a cabo una investigación bibliográfica exhaustiva mediante la revisión de artículos científicos, revistas especializadas y libros relevantes al tema de estudio. Este análisis permitió identificar la metodología más adecuada para abordar la problemática del Barrio Quito, ubicado en el Cantón Santa Rosa. Para el desarrollo de este trabajo, se emplearon datos obtenidos a través del satélite de acceso libre ALOS PALSAR, el cual proporcionó un Modelo Digital de Elevación (DEM) con una resolución espacial de 12.5

metros, garantizando así un alto nivel de precisión en el análisis del relieve. Adicionalmente, la información sobre el uso del suelo fue obtenida a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería, asegurando la validez y confiabilidad de los datos utilizados. Posteriormente, mediante el software ArcGIS, se llevó a cabo la delimitación de la cuenca de estudio, obteniendo un área total de drenaje de 309.77 km<sup>2</sup>.

Se elaboro mapas de inundación, considerando periodos de retorno de 2,5,10,25,50 y 100 años, obteniendo como resultados caudales de 6776.91, 8549.75, 10357.47, 13133.99, 15974.02, 18933.59 m<sup>3</sup>/s. Estos mapas permiten identificar las zonas con mayor susceptibilidad a inundaciones, destacando al Barrio Quito como uno de los sectores más vulnerables dentro del área de estudio.

El Barrio Quito ha sido identificado como una zona de alto riesgo de inundación, debido a que, en periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, la altura del agua supera los 4.60 metros. Este incremento en los niveles de inundación provoca el desbordamiento del río, generando impactos significativos en la infraestructura, las viviendas y la seguridad de los habitantes. La magnitud de estos eventos hidrológicos representa un peligro considerable para la comunidad, ya que el aumento del caudal y la expansión del área inundada pueden ocasionar daños estructurales, pérdida de bienes materiales y alteraciones en la movilidad de la población. Además, la persistencia de estos eventos a lo largo del tiempo resalta la necesidad de implementar estrategias de mitigación y gestión del riesgo.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Es fundamental realizar una investigación bibliográfica exhaustiva que proporcione una comprensión profunda del problema a abordar. Esta revisión de la literatura permitirá identificar los enfoques teóricos y metodológicos más adecuados, facilitando la selección de herramientas y técnicas que mejor se adapten a los objetivos del proyecto. Además, permitirá conocer estudios previos, tendencias actuales y posibles limitaciones, lo que contribuirá a un diseño metodológico sólido y fundamentado.
- Es crucial disponer de Modelos de Elevación Digital (DEM) de alta resolución, con una resolución espacial que no exceda los 15 metros por celda. La precisión de estos modelos es un componente esencial para el desarrollo del proyecto, ya

que de ella dependerá la exactitud de los análisis topográficos e hidrológicos. Un DEM de alta calidad permitirá obtener resultados más detallados y confiables.

- Es imprescindible garantizar que los datos y análisis se ajusten a los estándares de formato requeridos por los programas ArcGIS y HEC-RAS. En este sentido, se debe utilizar el huso horario de Estados Unidos para mantener la coherencia temporal en la modelización y el análisis de datos. Además, es necesario emplear la coma (",") como separador de miles, ya que estos programas están diseñados para interpretar los datos numéricos bajo este formato. Cumplir con estos requisitos garantizará un procesamiento correcto de la información y evitará errores en la ejecución de los modelos utilizados en el estudio.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, I., Waseem, M., Ashraf, A., Leta, M. K., Ahmad, S., & Wahab, H. (2023). Hydrological risk assessment for Mangla Dam: compound effects of instant flow and precipitation peaks under climate change, using HEC-RAS and HEC-GeoRAS. *SN Applied Sciences*, 5(12). <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05579-2>
- Anchía Leitón, D., & José. (2023). Caracterización de las inundaciones en Pandora Oeste, Limón, Costa Rica. *Revista Environment & Technology*, 3(2), 69–86. <https://doi.org/10.56205/ret.3-2.4>
- Arevalo Algarra, H. M., Perico Granados, N. R., Reyes Rodríguez, C. A., Vera, M. C., Monroy, J., & Perico Martínez, C. (2021). Sitios de inundaciones causadas por los ríos La Vega y Jordán, Tunja (Boyacá). *Tecnura*, 25(67), 86–101. <https://doi.org/10.14483/22487638.15248>
- Ariel Lapedes, D., Sytsma, A., Crompton, O., & Thompson, S. (2021). Rational Method Time of Concentration Can Underestimate Peak Discharge for Hillslopes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 147(10). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0001900](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001900)
- Arturo Ojeda de la Cruz, Clara Rosalía Álvarez Chávez, & David Carlos Orona Llano. (2020). DRENAJE PLUVIAL SOSTENIBLE. UNA ALTERNATIVA DE GESTIÓN DEL AGUA DE LLUVIA EN LA UNIVERSIDAD DE SONORA. *Contexto*, 14(20). <https://doi.org/10.29105/contexto14.20-4>
- Babel, L. V., & Karssenber, D. (2013). Hydrological models are mediating models Hydrological models are mediating models. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 10, 10535–10563. <https://doi.org/10.5194/hessd-10-10535-2013>
- Bimantoro, A. B., Cahyadi, T. A., Cahyadi, T. A., Rosadi, P. E., Nusanto, G., Ratminah, W. D., & Riyadi, A. (2024). RANCANGAN GEOMETRI SALURAN TERBUKA DENGAN VALIDASI PEMODELAN GENANGAN SOFTWARE HEC – RAS. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 6(1), 21–30. <https://doi.org/10.36986/impj.v6i1.105>
- Burgos Choez, B. D., Cartaya Ríos, S. J., & Mero del Valle, D. J. (2019). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 98. <https://doi.org/10.14350/ig.59767>
- Caicedo Toro, M. D., Cabrera Estupiñán, E., Zambrano Navarrete, X. A., Rodríguez Bravo, M. E., & Intriago Zambrano, P. E. (2021). Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2605>
- Castillo García, C. L., Abreu Franco, D. E., & Alvarez González, M. (2021). Evaluación de distintas fórmulas empíricas para el cálculo del tiempo de concentración en la cuenca urbana del río Bélico y Cubanicay, ciudad de Santa Clara. *Enfoque UTE*, 12(3), 51–64. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.729>
- Challa, A., Danda, S., Daya Sagar, B. S., Najman, L., Member, S., & Member, S. (2019). Watersheds for Semi-Supervised Classification. *IEEE Signal Processing Letters*, 26(5), 720–724. <https://doi.org/10.1109/LSP.2019.2905155i>
- Chiarito, E., Zimmermann, E., & Méndez Zacarías, S. (2018). Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección. *Cuadernos Del CURIHAM*, 24. <https://doi.org/10.35305/curiham.v24i0.126>

- Chow, V. (2004). Hidráulica de Canales Abiertos. *MacGraw Hill Latinoamericana*.
- Deaconu, A. M., & Deaconu, O. (2021). Heuristic and numerical geometrical methods for estimating the elevation and slope at points using level curves application for embankments. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(13).  
<https://doi.org/10.3390/app11136176>
- Díaz-Salas, A., Guevara-Pérez, E., & Rosales-Cueva, J. (2020). Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la granulometría en el río Santa, sector Recuay – Carhuaz, Áncash, Perú. *Revista Ingeniería UC*, *27*(3).  
<https://doi.org/10.54139/revinguc.v27i3.292>
- El costo humano de los desastres Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres CRED*. (2000).
- Florian-Vergara, C., Salas, H. D., & Builes-Jaramillo, A. (2021). Análisis de la precipitación y la evaporación en el Orinoco colombiano según los modelos climáticos regionales del experimento CORDEX-CORE. *Tecnológicas*, *24*(52).  
<https://doi.org/10.22430/22565337.2144>
- GAD SANTA ROSA. (2019). *PDOT SANTA ROSA 2019-2023*.
- Hernández Guerrero, J. A., & Oreano Hernández, D. S. (2021). Inundaciones por zonas funcionales en la subcuenca Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, México. *Revista Geográfica de América Central*, *1*(68), 241–267. <https://doi.org/10.15359/rgac.68-1.9>
- Janicka, E., Kanclerz, J., Agaj, T., & Gizińska, K. (2023). Comparison of Two Hydrological Models, the HEC-HMS and Nash Models, for Runoff Estimation in Michałowka River. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(10). <https://doi.org/10.3390/su15107959>
- Jonathan Zambrano Muñoz, M., & Macías Ramos, L. (2021). Las capacidades sociales en las familias de la zona urbana del cantón Chone frente a la vulnerabilidad física ante la amenaza de inundaciones The social capacities of families in the Chone canton's urban area in the face of physical vulnerability to the threat of flooding. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5512975>
- Montero Chirito, J. C., & Cabrera Carranza, C. F. (2022). Modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones para el cálculo del costo evitado Caso Sector El Piste, Ciudad de Calca, Cuzco. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, *25*(50), 419–431.  
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i50.24324>
- Peker, İ. B., 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 (Switzerland)*, *16*(3). <https://doi.org/10.3390/su16031226>
- Pérez-Ortiz, M. A., Montenegro-Murillo, D. D., & Vargas-Franco, V. (2022). Análisis de la influencia de la variabilidad climática en la precipitación de la cuenca del río Cali, Colombia. *DYNA*, *89*(221). <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.101607>
- Tamiru, H., & Dinka, M. O. (2021). Application of ANN and HEC-RAS model for flood inundation mapping in lower Baro Akobo River Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *36*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100855>
- Yarahmadi, M. B., Parsaie, A., Shafai-Bejestan, M., Heydari, M., & Badzanchin, M. (2023). Estimation of Manning Roughness Coefficient in Alluvial Rivers with Bed Forms Using



Soft Computing Models. *Water Resources Management*, 37(9).  
<https://doi.org/10.1007/s11269-023-03514-z>

Zambrano Nájera, J., & Rey, D. M. (2022). Assessment of Storm Floods in a Small Tropical Andean Basins. *Frontiers in Climate*, 4. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.760894>

Zolghadr, M., Rafiee, M. R., Esmailmanesh, F., Fathi, A., Tripathi, R. P., Rathnayake, U., Gunakala, S. R., & Azamathulla, H. M. (2022). Computation of Time of Concentration Based on Two-Dimensional Hydraulic Simulation. *Water (Switzerland)*, 14(19).  
<https://doi.org/10.3390/w14193155>

## 8. ANEXOS

### 8.1 Coeficiente de escorrentía.

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas desarrolladas</b>							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
<i>Zonas verdes (jardines, parques, etc.)</i>							
<i>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
<i>Área de cultivos</i>							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<i>Pastizales</i>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Bosques</i>							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Tomado del libro de Hidrología Aplicado - Chow David

## 8.2 Coeficiente de rugosidad mediante formula

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

### 8.3 Coeficiente de rugosidad

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<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

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

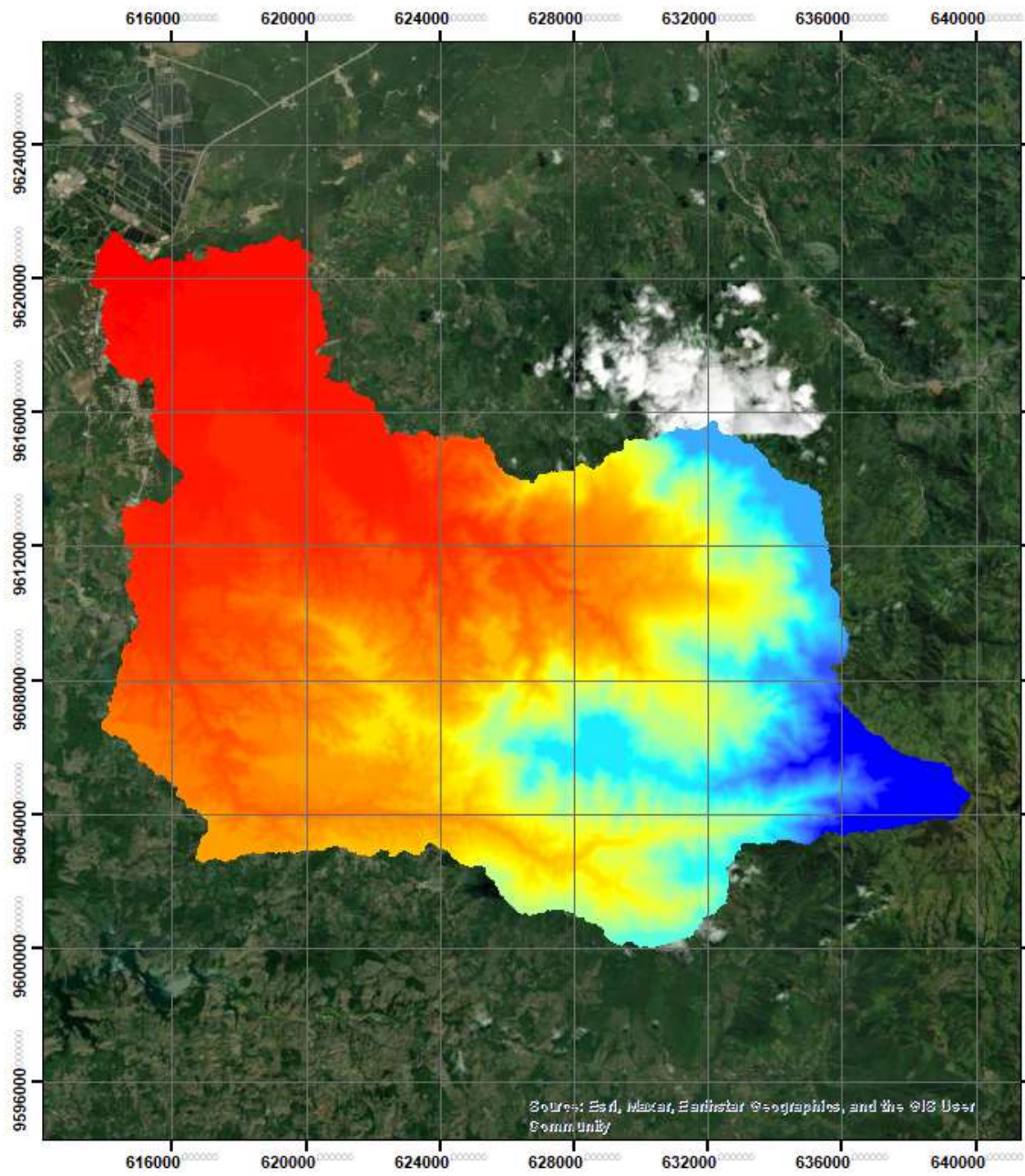
**Fuente:** Tomado del libro de Hidrología Aplicado - Chow David

<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





## **8.4. Delimitación de la cuenca del rio Santa Rosa**



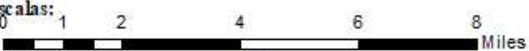


## MODELO DE ELEVACIÓN DE LA CUENCA DEL RIO SANTA ROSA



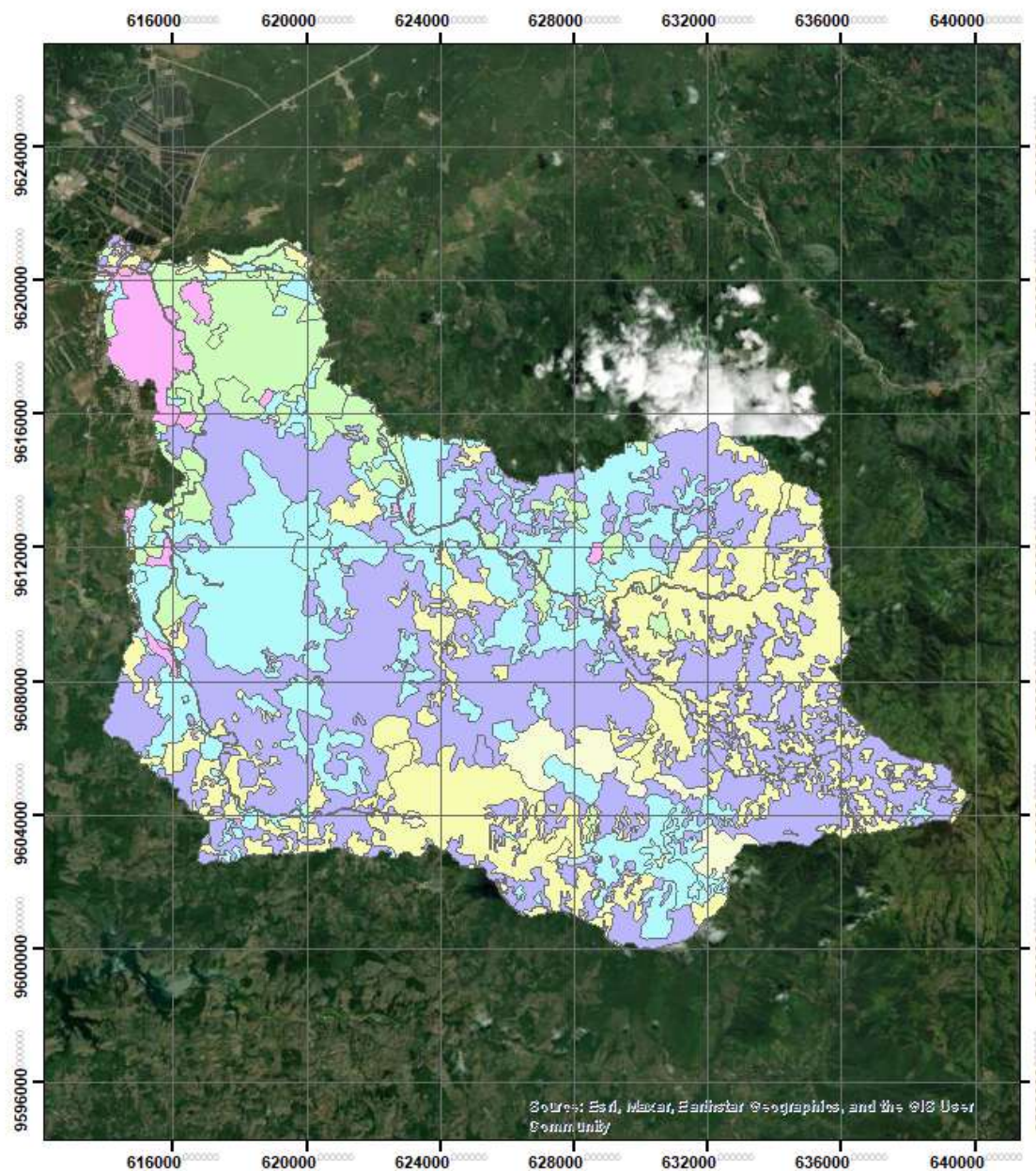
**Leyenda**

-  Río Santa Rosa
-  Zona de Estudio
-  Cantón Santa Rosa

	<b>Universidad Técnica de Machala</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>	
<b>Tema de tesis:</b> Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el barrio Quito, cantón Santa Rosa		
<b>Elaborado por:</b> Gina Yuliana Romero Abarca.		
<b>Ubicación:</b> Santa Rosa - El Oro - Ecuador		
<b>Escala:</b> 1:150000		
<b>Fecha:</b> Febrero-2025		
<b>Barra de escalas:</b> 		







## MAPA DE USO DEL SUELO DE LA CUENCA DEL RIO SANTA ROSA

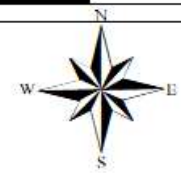
**Leyenda**

**USO DEL SUELO**

**uso**

- ACUICOLA
- AGRICOLA
- AGROPECUARIO MIXTO
- AGUA
- ANTROPICO
- CONSERVACION Y PRODUCCION
- CONSERVACION Y PROTECCION
- NUBOSIDAD
- PECUARIO
- PROTECCION O PRODUCCION

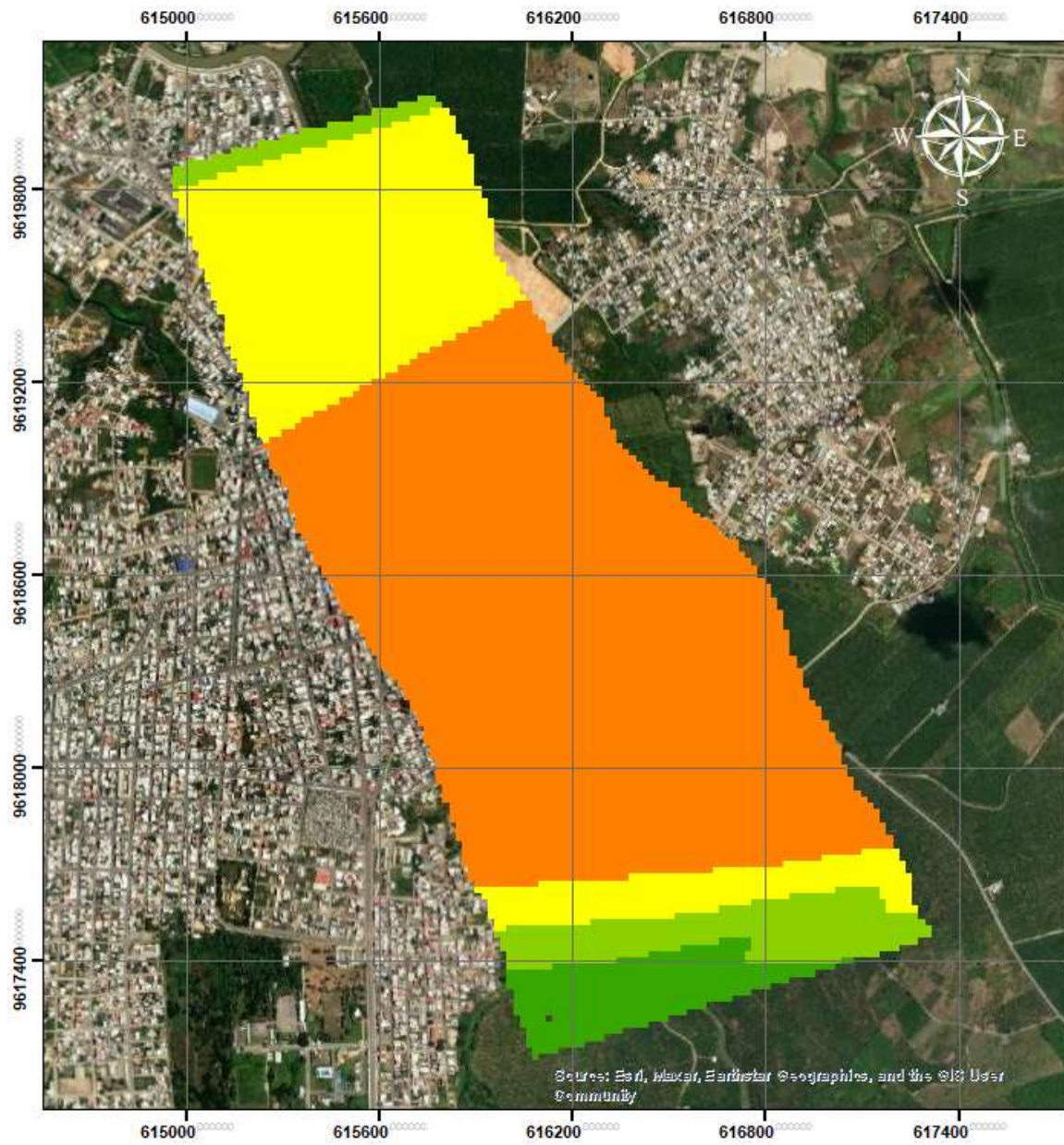
	<b>Universidad Técnica de Machala</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>	
<b>Tema de tesis:</b> Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el barrio Quito, cantón Santa Rosa		
<b>Elaborado por:</b> Gina Yuliana Romero Abarca.		
<b>Ubicación:</b> Santa Rosa - El Oro - Ecuador		
<b>Escala:</b> 1:150 000		
<b>Fecha:</b> Febrero-2025		
<b>Barra de escalas:</b> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="width: 100px; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <span style="position: absolute; left: 0; bottom: -5px;">0</span> <span style="position: absolute; left: 20%; bottom: -5px;">1</span> <span style="position: absolute; left: 40%; bottom: -5px;">2</span> <span style="position: absolute; left: 60%; bottom: -5px;">4</span> <span style="position: absolute; left: 80%; bottom: -5px;">6</span> <span style="position: absolute; left: 100%; bottom: -5px;">8</span> </div> <span style="margin-left: 5px;">Miles</span> </div>		



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

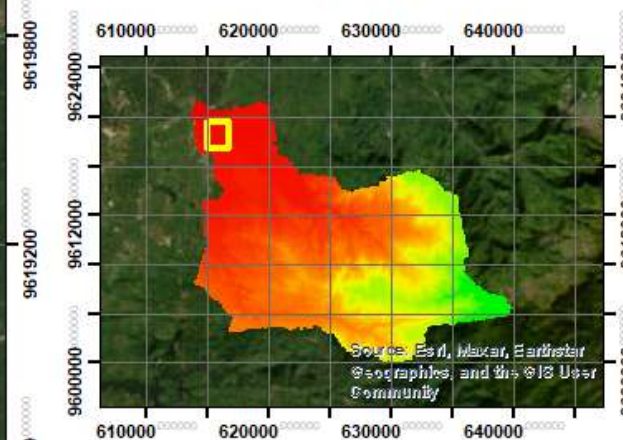
## **8.5. Mapas de riesgo a inundaciones del Barrio Quito**





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

### UBICACIÓN



### Legenda

Niveles de vulnerabilidad a inundación  
Periodo de retorno 2 años

- 0m - 1.50m (muy bajo)
- 3.51m - 4.60m (bajo)
- 3.51m - 4.60m (medio)
- 3.51m - 4.60m (alto)
- > 4.61 m (muy alto)



Universidad Técnica de Machala  
Facultad de Ingeniería Civil  
Carrera de Ingeniería Civil



Tema de tesis: Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el barrio Quito, cantón Santa Rosa

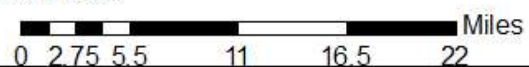
Elaborado por: Gina Yuliana Romero Abarca.

Ubicación: Santa Rosa - El Oro - Ecuador

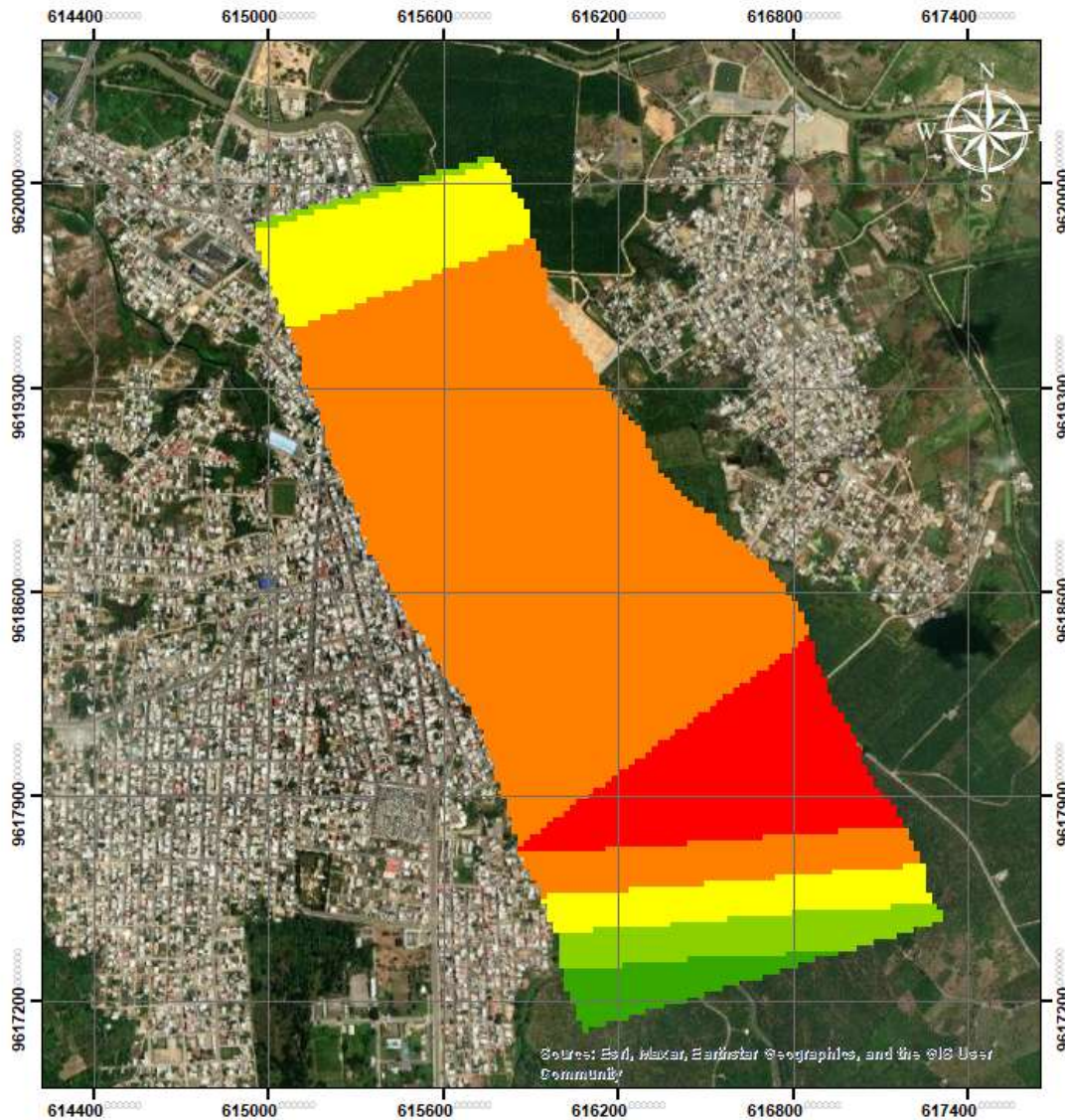
Escala: 1:15 0000

Fecha: Febrero-2025

Barra de escalas:

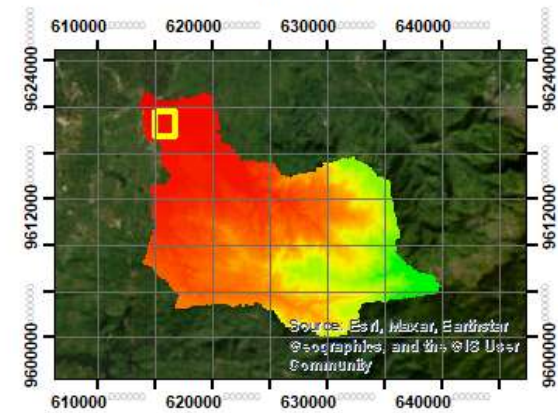






## MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS

### UBICACIÓN



### Leyenda

Niveles de vulnerabilidad a inundación  
Periodo de retorno 5 años

- 0m - 1.50m (muy baja)
- 3.51m - 4.50m (baja)
- 3.51m - 4.60m (media)
- 3.51m - 4.60m (alta)
- > 4.61 m (muy alta)



Universidad Técnica de Machala  
Facultad de Ingeniería Civil  
Carrera de Ingeniería Civil



Tema de tesis: Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el barrio Quito, cantón Santa Rosa

Elaborado por: Gina Yuliana Romero Abarca

Ubicación: Santa Rosa - El Oro - Ecuador

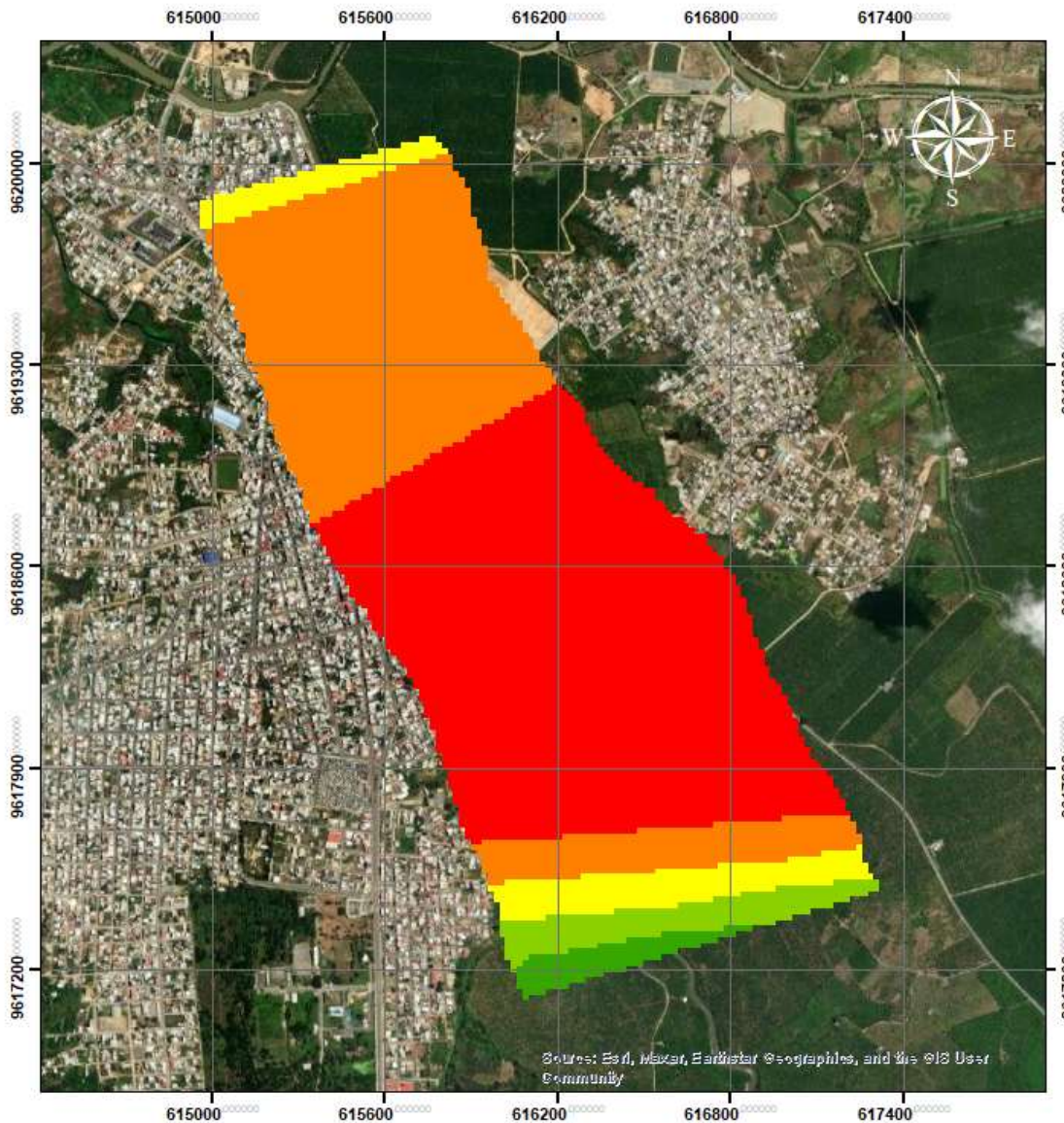
Escala: 1:20000

Fecha: Febrero-2025

Barra de escalas:

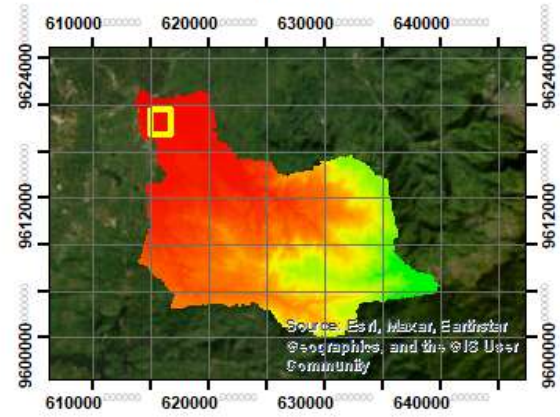






**MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS**

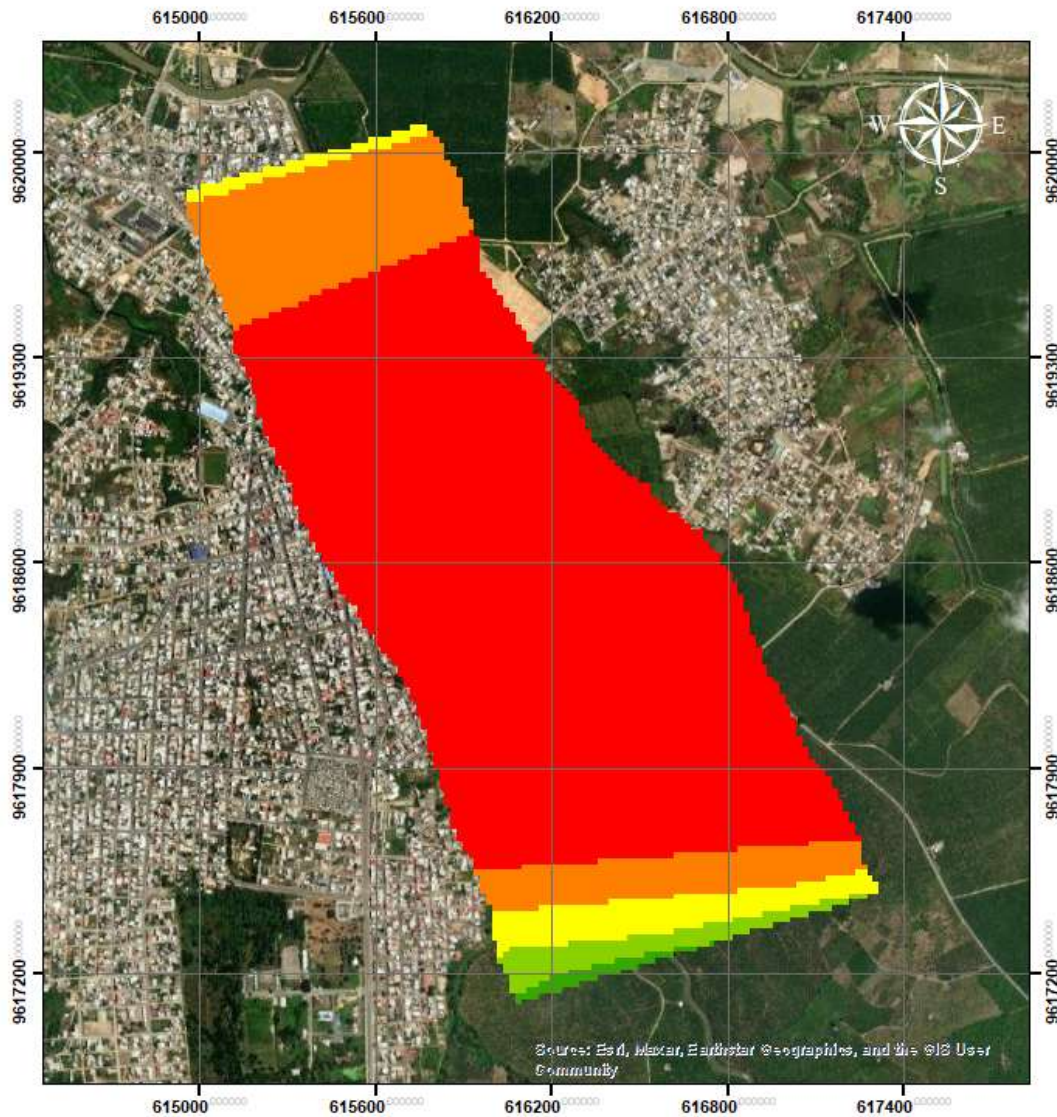
**UBICACIÓN**



- Legenda**  
Niveles de vulnerabilidad a inundación  
Periodo de retorno 10 años
- 0m - 1.50m (muy bajo)
  - 3.51m - 4.60m (bajo)
  - 1.51m - 2.60m (medio)
  - > 4.61 m (muy alto)

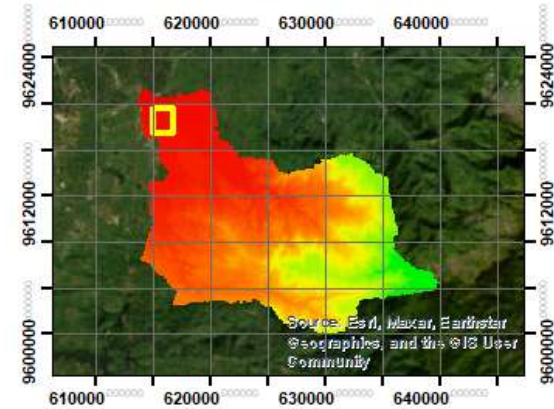
<div style="display: inline-block; text-align: center;"> <p><b>Universidad Técnica de Machala</b> Facultad de Ingeniería Civil Carrera de Ingeniería Civil</p> </div>
<b>Tema de tesis:</b> Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el barrio Quño, cantón Santa Rosa
<b>Elaborado por:</b> Gina Yuliana Romero Abarca
<b>Ubicación:</b> Santa Rosa - El Oro - Ecuador
<b>Escala:</b> 1:20000
<b>Fecha:</b> Febrero-2025
<b>Barra de escalas:</b>





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

### UBICACIÓN



Universidad Técnica de Machala  
Facultad de Ingeniería Civil  
Carrera de Ingeniería Civil



Tema de tesis: Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el barrio Quito, cantón Santa Rosa

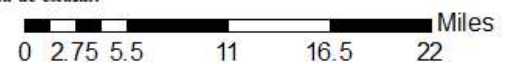
Elaborado por: Gina Yuliana Romero Abarca.

Ubicación: Santa Rosa - El Oro - Ecuador

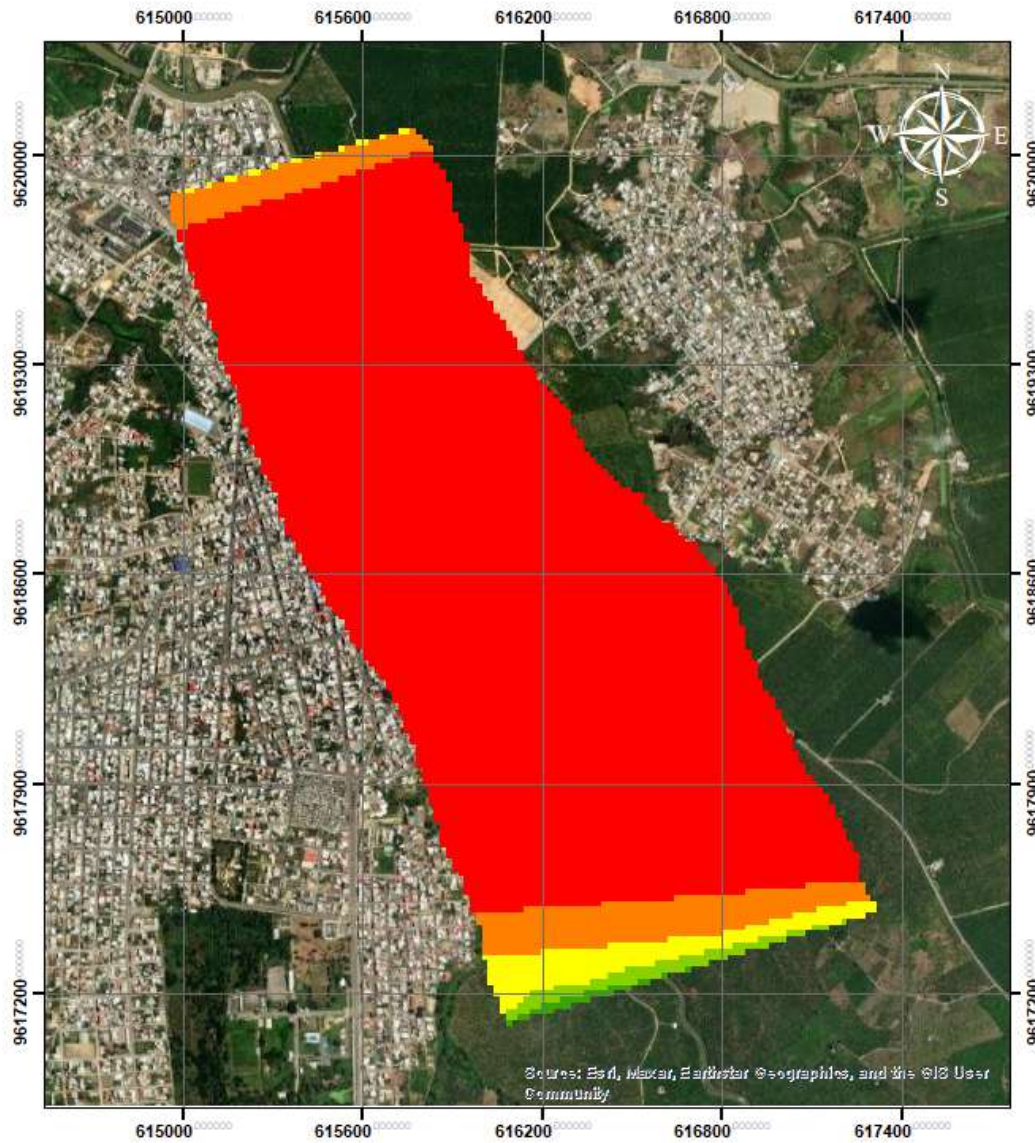
Escala: 1:20000

Fecha: Febrero-2025

Barra de escalas:

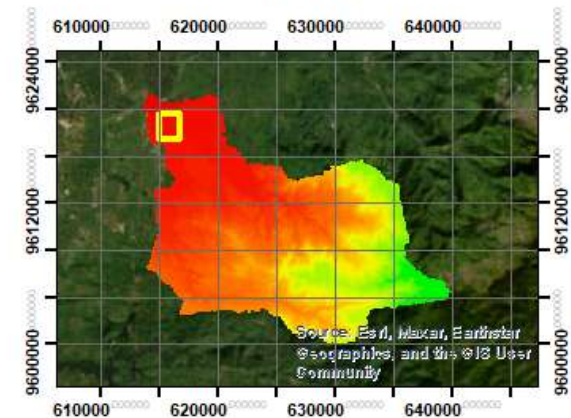






## MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS

### UBICACIÓN



#### Legenda

Niveles de vulnerabilidad a inundación  
Periodo de retorno 50 años

- 0m - 1.50m (muy bajo)
- 3.51m - 4.60m (bajo)
- 3.51m - 4.60m (medio)
- 3.51m - 4.60m (alto)
- > 4.61 m (muy alto)



Universidad Técnica de Machala  
Facultad de Ingeniería Civil  
Carrera de Ingeniería Civil



Tema de tesis: Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el barrio Quito, cantón Santa Rosa

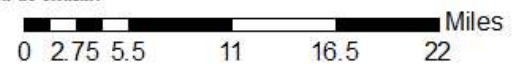
Elaborado por: Gina Yuliana Romero Abarca

Ubicación: Santa Rosa - El Oro - Ecuador

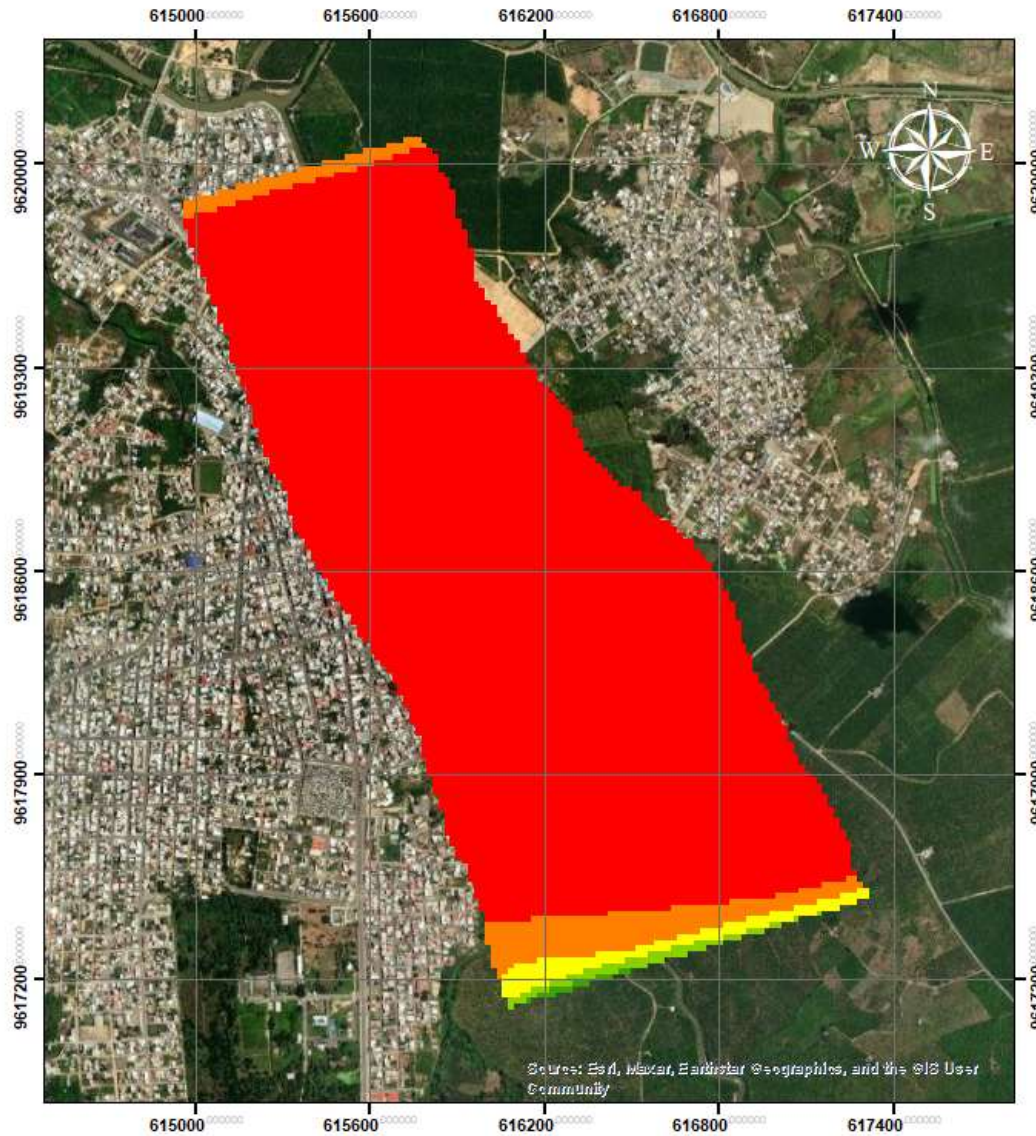
Escala: 1:20000

Fecha: Febrero-2025

Barra de escalas:

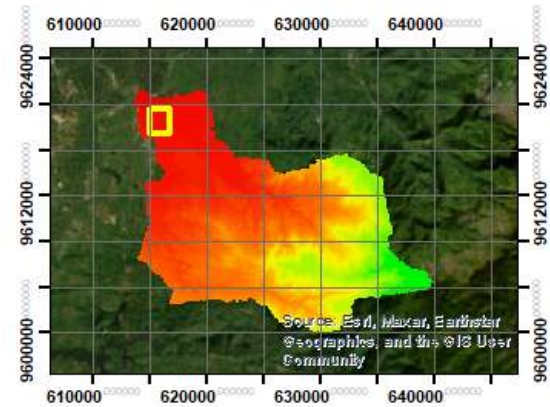






**MAPA DE VULNERABILIDAD A INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS**

**UBICACIÓN**



- Legenda**  
Niveles de vulnerabilidad a inundación  
Periodo de retorno 100 años
- 0m - 1.51m (muy bajo)
  - 1.51m - 3.31m (bajo)
  - 3.31m - 4.60m (medio)
  - 4.60m - 6.89m (alto)
  - > 6.89m (muy alto)

<div style="display: inline-block; text-align: center;"> <p><b>Universidad Técnica de Machala</b> Facultad de Ingeniería Civil Carrera de Ingeniería Civil</p> </div>
<b>Tema de tesis:</b> Evaluación hidrológica de vulnerabilidad a inundaciones en el barrio Quito, cantón Santa Rosa
<b>Elaborado por:</b> Gina Yuliana Romero Abarca
<b>Ubicación:</b> Santa Rosa - El Oro - Ecuador
<b>Escala:</b> 1:20000
<b>Fecha:</b> Febrero-2025
<b>Barra de escalas:</b>