

Universidad Nacional, Costa Rica  
Sede Regional Chorotega  
Campus Liberia

**“Modelación hidrológica e hidráulica para la evaluación de zonas con potencial de inundación en un tramo de la parte baja de la subcuenca del río Diríá, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.”**

Trabajo Final de Graduación – Modalidad Proyecto Final  
Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Hidrológica

**Sustentantes:**

César Josué Rugama Romero  
1-1755-0636

Marco Vinicio Chaves Vanegas  
5-0429-0468

**Supervisora:**

Geóg. Geissel Gutiérrez Marchena  
*Municipalidad de Santa Cruz*

**Equipo asesor:**

Tutor

MSc. Erick Orozco Orozco  
*Universidad Nacional, Costa Rica*

Asesores

MSc. William Gómez Solís  
*Universidad Nacional, Costa Rica*

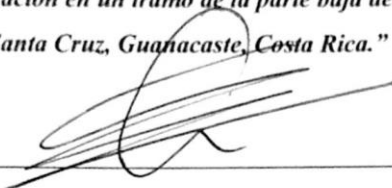
MSc. Medardo Moscoso Vidal  
*Universidad Nacional, Costa Rica*

Liberia, Guanacaste, Costa Rica.

06/02/2026

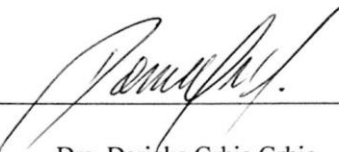
## Acta de jurado examinador

*El Trabajo Final de Graduación: "Modelación hidrológica e hidráulica para la evaluación de zonas con potencial de inundación en un tramo de la parte baja de la subcuenca del río Diría, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica."*



MGFP. Arnoldo Martínez Solís

Representante de Decanatura, Sede Regional Chorotega



Dra. Darinka Grbic Grbic

Representante de Dirección Académica Universidad Nacional, Campus Liberia



MSc. Erick Orozco Orozco

Tutor



MSc. William Gómez Solís

Asesor



MSc. Medardo Moscoso Vidal

Asesor

## Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios, cuya guía y fortaleza han sido mi constante sustento en cada reto de mi formación universitaria.

A mi familia y, en especial, a mi madre, Miriam Romero, quien, con su apoyo incondicional, amor y sacrificio, ha sido mi inspiración más grande, recordándome siempre el valor del esfuerzo y la dedicación.

A mi compañero Marco Chaves, quien ha sido fundamental en los desafíos que enfrentamos en este proceso.

Expreso mi gratitud al equipo asesor de este trabajo: el tutor MSc. Erick Orozco, y los asesores MSc. William Gómez, y MSc. Medardo Moscoso, y al profesor PhD. Rolando Madriz, quienes, con su conocimiento y orientación, han sido pilares fundamentales.

Agradezco a Geóg. Geissel Gutiérrez, nuestra supervisora, por el acompañamiento brindado.

A mis amigos y compañeros universitarios, que, con su ánimo y colaboración, han compartido conmigo alegrías y aprendizajes, haciendo de este camino una experiencia invaluable, brindando su apoyo incondicional en los momentos difíciles, ofreciéndome su tiempo y consejos sinceros cuando más lo necesité.

Finalmente, extendiendo mi agradecimiento a todas las personas que, de manera directa o indirecta, han contribuido con su conocimiento, experiencia y tiempo, permitiendo que este proyecto alcance su culminación.

*César Josué Rugama Romero*

A Dios, por darme salud y fortaleza para culminar mi etapa universitaria; a mi familia, por siempre estar presente y mostrarme su apoyo incondicional y, en especial, a mis padres, por ser mi motivación y mi mayor inspiración de trabajo, dedicación y esfuerzo.

Extendiendo un agradecimiento profundo a todo el cuerpo de académicos que formaron parte de esta etapa, especialmente al tutor MSc. Erick Orozco Orozco, asesores MSc. William Gómez Solís, MSc. Medardo Moscoso Vidal, y al académico PhD. Rolando Madriz Vargas, quienes mostraron su disposición y apoyo para desarrollar este trabajo.

Además, agradezco la confianza y acompañamiento brindado por nuestra supervisora, Geóg. Geissel Gutiérrez Marchena. A mi compañero César Rugama Romero, quien, con su dedicación y esfuerzo fue un pilar importante para culminar este trabajo.

Por último, agradecer a todos mis amigos y amigas que, de una u otra forma, contribuyeron a que la experiencia dentro la universidad fuese única e inolvidable.

*Marco Vinicio Chaves Vanegas*

## Dedicatoria

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, cuya presencia y guía me han acompañado en cada paso de mi formación personal y universitaria.

A mi madre, Miriam Romero, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante, que han sido mi mayor inspiración para superar cada obstáculo y continuar adelante con este proyecto.

A mi familia, en especial, a mi hermana Milena Rugama por creer en mí y brindarme siempre su respaldo.

A mis compañeros universitarios y amigos, especialmente a Rudy Zamora, Joxan Chacón y Marco Chaves, por ser parte del viaje de 5 años en esta carrera, compartiendo su amistad, apoyo y energía en los momentos más complicados. Este logro es también suyo, pues sin su ánimo y compañía, esta etapa no habría sido posible.

*César Josué Rugama Romero*

Dedico este proyecto a Dios por ser mi guía, refugio y fortaleza en mi vida, a mi familia por su confianza y apoyo, a mis padres por su presencia y amor incondicional en cada una de mis etapas académicas.

También, a mis colegas y amigos César Rugama, Joxan Chacón y Rudy Zamora, quienes con su tiempo, dedicación, paciencia y colaboración fueron parte importante durante los años de estudio en la universidad.

*Marco Vinicio Chaves Vanegas*

## Tabla de contenidos

Tabla de cuadros.....	ix
Tabla de figuras.....	x
Glosario y Abreviaturas .....	xii
Resumen Ejecutivo.....	xiii
Executive Summary .....	xiv
Capítulo 1. Introducción.....	2
1.1.    Introducción general a la temática .....	2
1.2.    Planteamiento del problema específico.....	5
1.3.    Justificación.....	7
1.4.    Objetivos .....	9
1.4.1.    Objetivo General .....	9
1.4.2.    Objetivos Específicos.....	9
1.5.    Alcances y limitaciones.....	10
1.5.1.    Alcances .....	10
1.5.2.    Limitaciones .....	10
1.6.    Desglose del reporte .....	11
Capítulo 2. Antecedentes.....	15
2.1.    Contexto general de las inundaciones .....	15
2.2.    Caracterización y descripción del sitio de estudio .....	17
2.2.1. Localización Geográfica .....	17
2.2.2. Aspectos Biofísicos.....	19
2.3.    Actividades socioeconómicas asociadas .....	23
2.3.1. Agricultura .....	23
2.3.2. Ganadería .....	24

2.3.3. Turismo .....	25
2.4. Antecedentes de revisión de literatura .....	26
Capítulo 3. Marco Teórico .....	29
3.1. Definición de conceptos claves relacionado a cuencas hidrográficas .....	29
3.1.1. Cuenca hidrográfica .....	29
3.1.2. Manejo integrado de cuencas hidrográficas .....	30
3.1.3. Características morfométricas .....	30
3.2. Características hidrometeorológicas .....	36
3.2.1. Clima y precipitación .....	36
3.2.2. Lluvia normal .....	37
3.2.3. Eventos hidrometeorológicos extremos .....	37
3.2.4. Inundaciones .....	37
3.3. Modelación hidrológica e hidráulica de cauces naturales .....	38
3.3.1. Modelos hidrológicos e hidráulicos .....	38
3.3.2. Sistemas de Información Geográfica (SIG) .....	38
3.3.3. Quantum GIS (QGIS) .....	39
3.3.4. HEC-HMS .....	39
3.3.5. Hidrograma Unitario .....	40
3.3.6. HEC-RAS .....	40
3.3.6. Numero de curva .....	41
3.3.7. Atlas Climatológico de Costa Rica .....	42
3.3.8. Polígonos de Thiessen .....	42
Capítulo 4. Estudios de prefactibilidad .....	44
4.1. Estudio de prefactibilidad técnico .....	44
4.2. Estudio de prefactibilidad financiero .....	45

4.3.	Estudio de prefactibilidad legal .....	47
4.3.	Estudio de prefactibilidad ambiental .....	48
4.5.	Estudio de prefactibilidad social y económico .....	49
4.5.1.	Estudio Social .....	49
4.5.2.	Estudio Económico .....	51
Capítulo 5. Metodología.....		56
5.1.	Tipo de investigación.....	56
5.2.	Población y muestra del estudio .....	56
5.2.1	Población.....	57
5.2.2.	Muestra .....	57
5.3.	Métodos y herramientas seleccionados .....	57
5.4.	Descripción general de la metodología propuesta .....	58
5.4.1.	Recopilación de datos .....	58
5.4.2.	Caracterización física de la subcuenca .....	59
5.4.3.	Modelación hidrológica e hidráulica .....	62
5.4.4.	Elaboración de material cartográfico .....	67
5.5.	Presupuesto y cronograma.....	67
Capítulo 6. Resultados y discusión .....		70
6.1.	Resultados.....	70
6.1.1.	Etapa 1: Recopilación de información sobre eventos hidrometeorológicos en la subcuenca.....	70
6.1.2.	Etapa 2: Caracterización morfométrica de la subcuenca. ....	71
6.1.3.	Etapa 3: Caracterización de tipos y uso de suelo. ....	72
6.1.4.	Etapa 4: Recopilación de datos hidrometeorológicos.....	77
6.1.5.	Etapa 5: Determinación de tormentas de diseño para elaboración del hietograma. ....	79

6.1.6. Etapa 6: Elaboración de hietogramas para obtención de caudales. ....	81
6.1.7. Etapa 7: Obtención de hidrograma unitario a partir de HEC-HMS.....	83
6.1.8. Etapa 8: Estudio topográfico del tramo del río en la comunidad.....	85
6.1.9. Etapa 9: Modelación hidráulica .....	86
6.2. Discusión .....	88
6.2.1. Hallazgos dentro del desarrollo del modelo hidrológico e hidráulico .....	88
6.2.2. Cumplimiento de los objetivos de la investigación .....	90
6.2.3. Efectividad del diseño metodológico propuesto .....	92
Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones.....	95
7.1. Conclusiones.....	95
7.1.1. Conclusiones obtenidas dentro del desarrollo del modelo hidrológico. ....	95
7.1.2. Conclusiones obtenidas dentro del desarrollo del modelo hidráulico. ....	96
7.2. Recomendaciones .....	96
Referencias Bibliográficas .....	98
Anexos.....	114
Anexo A.....	114
Anexo B.....	116
Anexo 1.....	117
Anexo 2.....	120
Anexo 3.....	121
Anexo 4.....	122
Anexo 5.....	123
Anexo 6.....	125

## Tabla de cuadros

<b>Cuadro 2.1:</b> Características climáticas generales de las subregiones donde se ubica la zona de estudio. ....	21
<b>Cuadro 2.2:</b> Estudios de interés relacionados a la temática de inundaciones en el cantón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. ....	26
<b>Cuadro 3.1:</b> Forma de la cuenca según el índice de compacidad.....	33
<b>Cuadro 4.1:</b> Requerimientos técnicos para el análisis hidrológico del proyecto.....	44
<b>Cuadro 4.2:</b> Equipo tecnológico, programas computacionales y aplicaciones requeridas para el desarrollo del proyecto. ....	45
<b>Cuadro 4.3:</b> Otros insumos necesarios para el desarrollo del proyecto. ....	45
<b>Cuadro 4.4:</b> Matriz de gobernanza legal correspondiente al proyecto.....	47
<b>Cuadro 4.5:</b> Actores sociales vinculados. ....	49
<b>Cuadro 4.6:</b> Costos estimados para cubrir gastos de inundaciones en la comunidad El Guabo...51	
<b>Cuadro 4.7:</b> Inversión del beneficio de emergencias por parte del IMAS.....	53
<b>Cuadro 5. 1:</b> Estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca del río Diríá.....	59
<b>Cuadro 5.2:</b> Información requerida para la delimitación de la subcuenca del río Diríá. ....	60
<b>Cuadro 5.3:</b> Descripción de las variables morfométricas y las fórmulas o herramientas utilizadas para cada cálculo. ....	60
<b>Cuadro 5.4:</b> Costo global del proyecto. ....	68
<b>Cuadro 5.5:</b> Cronograma de actividades del proyecto. ....	68
<b>Cuadro 6.1:</b> Lista de inundaciones en el cantón de Santa Cruz producto de eventos hidrometeorológicos.....	70
<b>Cuadro 6.2:</b> Parámetros morfométricos de la subcuenca río Diríá. ....	72
<b>Cuadro 6.3:</b> Resultados del número de curva según usos de suelo.....	77
<b>Cuadro 6.4:</b> Datos del máximo valor de PMD para cada uno de los años de registro de la estación Santa Cruz (74053) del IMN.....	79
<b>Cuadro 6.5:</b> Distribución de precipitación en 24 horas del 5/10/2017 ante la influencia de la tormenta Nate registrada en la estación Santa Cruz (74053) del IMN.....	81

## Tabla de figuras

<b>Figura 1. 1:</b> Diagrama para la declaración del problema relacionado a las inundaciones en la comunidad El Guabo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. ....	7
<b>Figura 2.1:</b> Inundación comunidad El Guabo ocurrido el 8 de noviembre del 2024.....	16
<b>Figura 2.2:</b> Margen del río en el que se ubica la comunidad El Guabo, Santa Cruz, Guanacaste. ....	17
<b>Figura 2.3:</b> Mapa satelital de la comunidad El Guabo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.....	18
<b>Figura 2.4:</b> Localización del área de estudio en la subcuenca del río Diríá, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. ....	19
<b>Figura 2.5:</b> Ilustración de las subregiones climáticas de Costa Rica. ....	21
<b>Figura 2.6:</b> Mapa de modelo de elevación digital (MED) de la subcuenca río Diríá hasta el punto de cierre en la confluencia con el río En medio. ....	23
<b>Figura 2.7:</b> Actividades agrícolas desarrolladas en la zona de Santa Cruz Guanacaste. ....	24
<b>Figura 2.8:</b> Actividad ganadera en el cantón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. ....	25
<b>Figura 2.9:</b> Actividades turísticas que se desarrollan en Santa Cruz, Guanacaste. ....	26
<b>Figura 3.1:</b> La cuenca hidrográfica como cuenca de drenaje dentro un sistema hidrológico.....	30
<b>Figura 3.2:</b> Visualización de la línea de perímetro de una cuenca hidrográfica. ....	32
<b>Figura 3.3:</b> Ancho y largo de una cuenca.....	34
<b>Figura 3.4:</b> Representación de la longitud del río principal en una cuenca. ....	35
<b>Figura 3.5:</b> Ejemplos de ejercicios en el campo de trabajo de QGIS.....	39
<b>Figura 3.6:</b> Modelación de caudales dentro de una cuenca hidrográfica. ....	40
<b>Figura 3.7:</b> Interfaz gráfica y componentes de trabajo del software HEC-RAS.....	41
<b>Figura 3.8:</b> Ejemplo gráfico de la metodología Polígonos de Thiessen.....	42
<b>Figura 4.1:</b> Distribución de financiamiento del proyecto.....	46
<b>Figura 5.1:</b> Diagrama de flujo de la metodología del proyecto.....	57
<b>Figura 5.2:</b> Ilustración de los componentes de la geometría en HEC – RAS. ....	66
<b>Figura 6.1:</b> Tipo de suelo en la subcuenca del río Diríá.....	74
<b>Figura 6.2:</b> Uso de suelo de la subcuenca río Diríá.....	76

<b>Figura 6.3:</b> Porcentajes de área de influencia de las estaciones meteorológicas en la subcuenca Río Diríá.....	78
<b>Figura 6.4:</b> Evaluación de periodo de retorno de los eventos de lluvias que alcanzaron valores máximos de PMD en los años de registro de la estación Santa Cruz.....	80
<b>Figura 6.5:</b> Hietograma del evento de precipitación registrado en la estación Quirimán el 4 y 5 de octubre de 2017. ....	82
<b>Figura 6.6:</b> Hietograma del evento de precipitación registrado en la estación Quirimán el 31 de agosto de 2015.....	83
<b>Figura 6.7:</b> Hidrograma de la Tormenta Nate en la subcuenca del río Diríá. ....	84
<b>Figura 6.8:</b> Hidrograma de una lluvia normal en la subcuenca del río Diríá. ....	85
<b>Figura 6.9:</b> Modelo de elevación digital de un tramo del río Diríá.....	86
<b>Figura 6.10:</b> Resultados de la modelación hidráulica en escenario de lluvia normal. ....	87
<b>Figura 6.11:</b> Resultados de la modelación hidráulica en escenario de la tormenta Nate. ....	87
<b>Figura 6.12:</b> Ajuste del diagrama de flujo propuesto para la metodología del proyecto. ....	93
<b>Figura 6.13:</b> Ajuste del diagrama de flujo propuesto para la metodología del proyecto. ....	93

## **Glosario y Abreviaturas**

**CFIA:** Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.

**CNE:** Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencia.

**EIA:** Evaluación de Impacto Ambiental.

**IGN:** Instituto Geográfico Nacional.

**IMAS:** Instituto Mixto de Ayuda Social.

**MED:** Modelo de Elevación Digital.

**PEN:** Programa Estado La Nación.

**SCS:** Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

**SETENA:** Secretaría Técnica Nacional Ambiental.

**SIG:** Sistemas de Información Geográficas.

**SNIT:** Sistema Nacional de Información Territorial.

**UNESCO:** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

**USGS:** Servicio Geológico de los Estados Unidos.

**ZCIT:** Zona de Convergencia Intertropical.

## Resumen Ejecutivo

Este trabajo final de graduación analiza las zonas con potencial de inundación en la subcuenca del río Diríá, específicamente en la comunidad El Guabo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. Su objetivo principal es generar insumos técnicos que contribuyan al fortalecimiento del plan de ordenamiento territorial del cantón, el cual se ha visto afectado por fenómenos hidrometeorológicos extremos que ocasionan eventos de inundación.

La investigación se desarrolló mediante la recopilación, procesamiento y análisis integrado de información teórica y empírica. En primer lugar, se obtuvo información geoespacial, meteorológica, topográfica y bibliográfica a partir de instituciones como el IMN, SNIT, IGN, CNE, y la Municipalidad de Santa Cruz. Estos datos fueron procesados utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), principalmente QGIS, y ArcGIS, para generar modelos de elevación digital, mapas temáticos y la caracterización física y morfométrica de la subcuenca.

Posteriormente, se realizó el análisis hidrológico mediante el software HEC-HMS, donde se modelaron tormentas de diseño, hietogramas y caudales a partir de registros de precipitación histórica y eventos extremos. Para el análisis hidráulico se utilizó HEC-RAS, incorporando información topográfica disponible en el SNIT para generar el modelo de elevación digital del terreno. Este proceso permitió simular el comportamiento del flujo en distintos escenarios, identificar áreas anegables, y estimar la capacidad hidráulica del cauce.

Los resultados muestran zonas claramente susceptibles a inundación, destacando que la Tormenta Tropical Nate fue el evento que generó el mayor impacto reciente en la comunidad. Asimismo, se identificó que la acumulación de sedimentos y falta de mantenimiento del dique influyen negativamente en la capacidad hidráulica del río.

Dentro de las conclusiones, se indica la importancia de mejorar el monitoreo en parámetros de precipitación y caudales dentro de la subcuenca, incentivar al gobierno local, de incluir las llanuras de inundación como sitios no habitables dentro del plan de ordenamiento territorial, realizar evaluación del dique construido en la comunidad, así como implementar alternativas para el manejo integrado en la subcuenca del río Diríá.

**Palabras claves:** *Inundaciones, río Diríá, modelo hidrológico, modelo hidráulico.*

## Executive Summary

This final graduation project analyzes areas with potential flooding in the Diría River sub-basin, specifically in the community of El Guabo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. Its main objective is to generate technical inputs that contribute to strengthening the territorial planning plan of the canton, which has been affected by extreme hydrometeorological phenomena that cause flooding events.

The research was developed through the collection, processing, and integrated analysis of theoretical and empirical information. First, geospatial, meteorological, topographic, and bibliographic information was obtained from institutions such as IMN, SNIT, IGN, CNE, and the Municipality of Santa Cruz. These data were processed using Geographic Information Systems (GIS) tools, mainly QGIS and ArcGIS, to generate digital elevation models, thematic maps, and the physical and morphometric characterization of the sub-basin.

Subsequently, hydrological analysis was carried out using HEC-HMS software, where design storms, hyetographs, and flows were modeled based on historical precipitation records and extreme events. For hydraulic analysis, HEC-RAS was used, incorporating topographic information available in SNIT to generate the digital terrain elevation model. This process made it possible to simulate flow behavior under different scenarios, identify flood-prone areas, and estimate the hydraulic capacity of the river channel.

The results show areas clearly susceptible to flooding, highlighting that Tropical Storm Nate was the event that generated the greatest recent impact on the community. Likewise, sediment accumulation and lack of maintenance of the levee were identified as negatively influencing the hydraulic capacity of the river.

Among the conclusions, the importance of improving monitoring of precipitation and flow parameters within the sub-basin is indicated, encouraging local government to include floodplains as non-habitable areas within the territorial planning plan, conducting an evaluation of the levee built in the community, and implementing alternatives for integrated management of the Diría River sub-basin.

**Keywords:** *Flooding, Diría River, hydrological model, hydraulic model.*

# Introducción

## Capítulo 1.

En este capítulo se brinda una perspectiva general del contenido de este proyecto de investigación, para ello, se presentan las secciones de planteamiento del problema, la justificación, y se exponen los objetivos propuestos para su desarrollo, los cuales permiten definir sus alcances y limitaciones.

## Capítulo 1. Introducción

### 1.1. Introducción general a la temática

A nivel mundial, las inundaciones se han convertido en uno de los grandes problemas de amenazas naturales, teniendo una gran recurrencia en los últimos tiempos, producto de la actividad antropogénica dentro de las cuencas hidrográficas y la variabilidad climática, lo cual afecta la dinámica del ciclo hidrológico (Arreguín et al., 2016). Esto se debe a que los procesos de escorrentía e infiltración son modificados, a medida que se presentan cambios en el uso del suelo y cobertura de la tierra, causado por el desarrollo urbano (Ochoa et al., 2020), y las afectaciones ocasionadas por la influencia del fenómeno de La Niña, el cual se considera una de las máximas expresiones de la variabilidad climática en la actualidad (Monso et al., 2005).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), define las inundaciones como “el desbordamiento de los límites normales de un arroyo u otro cuerpo de agua, o la acumulación de agua sobre áreas que normalmente no están sumergidas.” Estos fenómenos incluyen varios tipos, entre ellos, las inundaciones fluviales (producto del desbordamiento de ríos), inundaciones repentinas, inundaciones urbanas (causadas por fallas en el sistema de alcantarillado pluvial), inundaciones pluviales (originadas por altas precipitaciones sobre un sitio en específico del río y no por la influencia del agua proveniente de la cuenca alta), inundaciones costeras, e inundaciones por desbordamiento de lagos glaciales (IPCC, 2012; Arreguín et al., 2016).

Dentro de los tipos de inundaciones que tienen mayor presencia en los países latinoamericanos, especialmente en las zonas tropicales, son las que están asociadas a la presencia de fenómenos meteorológicos extremos, los cuales aportan lluvias significativas dentro del territorio continental, tales como tormentas tropicales y/o huracanes. Esto ocasiona que los suelos se saturen, superando su capacidad de infiltración, y el colapso de los drenajes artificiales de las urbanizaciones, generando altos valores de escorrentía superficial. Lo anterior ocasiona un exceso de agua en los cauces de los ríos, provocando el desbordamiento o bien una inundación puntual dentro de una urbanización, por la deficiente capacidad de drenaje del alcantarillado pluvial (Vergara et al., 2011; Comisión Nacional de Emergencia [CNE], 2014).

Dentro de las causas de los eventos de inundaciones provocadas por la acción antropogénica, se encuentran las modificaciones del escurrimiento superficial del agua, causadas

por el desarrollo urbanístico, construcción de infraestructura, compactación y cambios de la cobertura vegetal, deforestación, entre otros. Esto hace que las condiciones hidrológicas dentro de una cuenca hidrográfica sean modificadas, en temas de restricción de capacidad de infiltración del suelo, generación de sedimentos, laderas de los causes susceptibles a la erosión, y aumento en la escorrentía superficial. Dichos factores se agravan a medida que el crecimiento urbano dentro de las ciudades carece de planes de ordenamiento territorial y manejo integrado de cuencas hidrográficas (Aldalur, 2011; Restrepo, 2015; Arreguín et al., 2016).

Aunado a lo anterior, Celemín (2009) indica que los factores naturales que aumentan la recurrencia de los eventos de inundación, se encuentran la variabilidad climática, la cual modifica la dinámica del ciclo del agua producto del calentamiento global. Dichos factores tienen la capacidad de generar fenómenos extremos que cambian la frecuencia de lluvias torrenciales dentro de los territorios continentales. Esto aumenta la probabilidad de estar expuestos ante este tipo de fenómenos, siendo las áreas con intervención humana carentes de estrategias de mitigación las mayormente afectadas.

Entre los años 1970 y 2019, América Latina y el Caribe se vieron impactadas por aproximadamente 2309 desastres hidrometeorológicos, trayendo consigo consecuencias como 510 204 muertes, 297 millones de ciudadanos afectados, así como pérdidas económicas que rondan los US\$ 437 000 millones, esto evidencia la magnitud de las afectaciones. Con respecto a inundaciones, para Centroamérica y México, aproximadamente el 34% fueron desastres de este tipo; esto hace que sea uno de los eventos más frecuentes de estos lugares (Bello et al., 2020).

Además, Romano (2003) indica algunos eventos hidrometeorológicos que han impactado a la región Centroamérica; tal es el caso de los daños extensos provocados en El Salvador y Honduras por un ciclón en 1934, la destrucción de la ciudad de Belice en 1969, los daños severos ocasionados por el huracán Fifi en 1974 a Honduras, el impacto regional del huracán Mitch en 1998 que afectó Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua y, en menor medida, Costa Rica.

Solano et al., (2011), hace referencia a la temporada de ciclones tropicales muy activa en la costa del Mar Caribe, donde destacan eventos como Gladys en 1968, Camile, Francelia, Jenny y Martha en 1969, mismos que ocasionaron grandes afectaciones sociales, económicas, y de infraestructura en el territorio costarricense; específicamente Camile, Francelia y Martha.

Costa Rica cuenta con un alto porcentaje perteneciente a eventos de inundaciones, con un valor de 59.4% del total de fenómenos hidrometeorológicos que ocurren en la zona; el porcentaje restante es asociado a lluvias intensas, flujos y avalanchas de lodo, deslizamientos, vendavales y otros. Para los años 2002 al 2012 se registraron una totalidad de 5.614 eventos, donde se terminó con la vida de 30 personas, 3 personas desaparecidas, y 11 personas con afectación de salud. Por otro lado, están las pérdidas en infraestructura, donde se estima que 30 964 viviendas fueron afectadas. En el país, los daños que normalmente se cuantifican son pérdidas en ámbitos como la agricultura, salud e infraestructura (Cubero y Carvajal, 2014).

Los eventos hidrometeorológicos que dinamizan las inundaciones en Costa Rica dan origen en el segundo periodo de época lluviosa en el país, el cual desencadena eventos de lluvias extraordinarias en el país, influenciados por el fenómeno de La Niña, anomalías atmosféricas asociadas con la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), y los ciclones tropicales del mar Caribe y océano Pacífico. Dentro de estos eventos, se destacan los ciclones tropicales Joan (1988), César (1996) y Alma (2008), los cuales forman parte de la lista de eventos naturales que han causado destrucción y muertes a su paso (Quesada, 2017). A pesar de que la mayoría de los eventos hidrometeorológicos extremos que han azotado al país dan origen en el Mar Caribe, afectan al litoral del Pacífico por la circulación de los vientos y el movimiento de la ZCIT hacia el país (IMN, 2015).

En el caso del área de estudio en la subcuenca del río Diríá, Santa Cruz, Guanacaste, la problemática ha seguido esta misma tendencia. Esto se debe a que eventos como la Tormenta Tropical Nate en el año 2017, y la Tormenta Tropical Sara en el 2024, han ocasionado afectaciones a comunidades situadas en la parte baja de la subcuenca, trayendo afectaciones en el campo económico, social, y de calidad de vida de las personas. Por ello, surge la necesidad de desarrollar estudios centrados en el análisis e identificación de posibles zonas con potencial de inundación en esta subcuenca; en el caso del presente estudio, se considera la parte baja de la subcuenca en la comunidad El Guabo.

Los estudios basados en la identificación de zonas de inundación se desarrollan a partir del análisis hidrológico e hidráulico de cuencas hidrográficas, mediante modelos numéricos. Entre las cuales se encuentra HEC – RAS, el cual es un software utilizado para tratar temáticas como inundaciones, que son de interés para este estudio (Camargo, 2016). Entre las expectativas de este

estudio, está utilizar este software en la subcuenca del río Dirιά, específicamente en la comunidad El Guabo, para proceder a identificar las zonas que representan un potencial de inundación.

La finalidad de este proyecto final de graduación se centra en la realización de un análisis hidrológico e hidráulico en la subcuenca del río Dirιά, en el tramo aledaño a la comunidad El Guabo, ubicada en el distrito central de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. Esto se desarrollará a partir de un modelamiento con la herramienta HEC – HMS y HEC – RAS, teniendo como resultado final la identificación de zonas con potencial de inundación para el sitio de estudio.

## **1.2. Planteamiento del problema específico**

Costa Rica es un país que presenta considerables problemáticas de inundaciones a causa de factores como: variabilidad climática, intervención humana en las cuencas hidrográficas, y la ubicación de los asentamientos humanos asociada al crecimiento urbano, los cuales en su mayoría carecen de un plan de ordenamiento territorial.

En el caso de la variabilidad climática, una de sus principales manifestaciones en la actualidad consiste en la modificación e intensificación de la dinámica de las precipitaciones (Díaz, 2012). Además, la modificación en el uso de la tierra dentro de las cuencas hidrográficas genera modificaciones significativas en los procesos hidrológicos que se llevan a cabo en la misma, tales como: los procesos de escorrentía superficial, que incrementan a medida que se impermeabilizan los suelos (Masís y Vargas, 2014). Por otra parte, las llanuras de inundación en las partes bajas de las cuencas hidrográficas están cubiertas por asentamientos humanos, ocasionando cambios geomorfológicos irreversibles en los cauces y márgenes de los ríos que, ante eventos de inundación, son los más vulnerables y se exponen a la pérdida materiales e incluso vidas humanas (Baena et al., 2016).

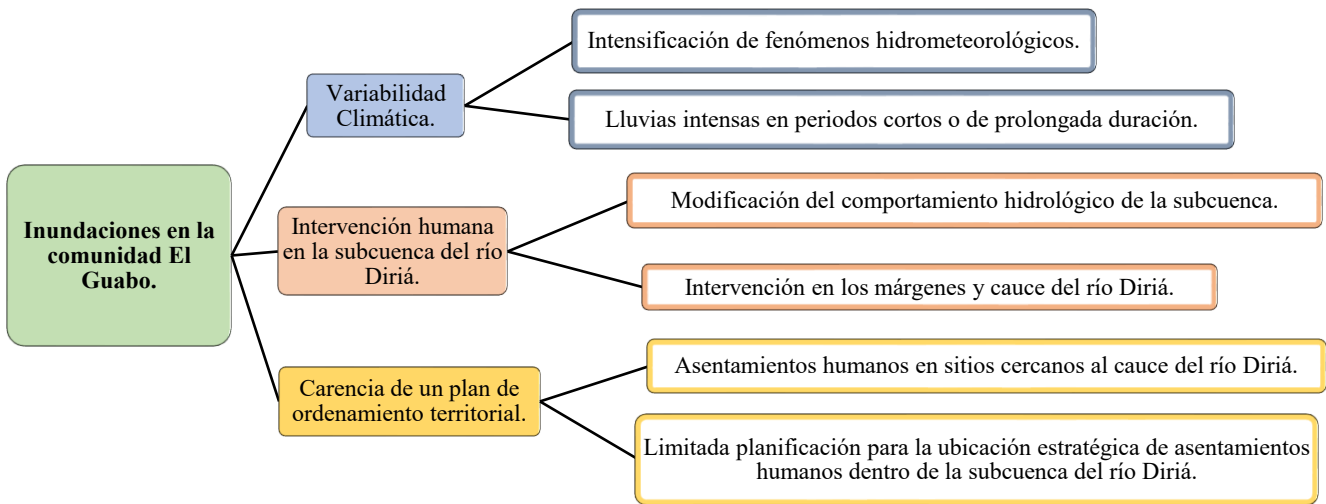
De acuerdo con lo anterior, el Programa Estado La Nación (PEN), en el año 2020, estimó que el área construida en Costa Rica entre los años 2016 y 2019 corresponde a un 28% en cantones que presentan condiciones no favorables para la construcción de infraestructuras. Además, el 78% de las construcciones registradas por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), no están dentro de un plan de ordenamiento territorial, lo cual contribuye a la vulnerabilidad de las comunidades al ser afectados por desastres naturales.

La ausencia de planes de ordenamiento territorial es un elemento dinamizador de afectaciones ocasionadas por desastres naturales, porque de acuerdo con Sánchez (2021), y el PEN (2021), el crecimiento urbano cuenta con carencias en lo que respecta a planificación, donde aproximadamente el 60% de los cantones de Costa Rica no cuentan con viabilidad ambiental en el ordenamiento de su territorio. El resto de las ciudades, algunas poseen planes reguladores antiguos que no cuentan con los estándares actuales para llevar a cabo una correcta planificación territorial. Al no contar con insumos técnicos para el ordenamiento territorial, esto causa deficiencias en el correcto manejo de la ubicación de construcciones de asentamientos humanos, aumentando la vulnerabilidad de las personas que forman parte de estas comunidades.

Por otro lado, la provincia de Guanacaste no está lejos de esta realidad; en el cantón de Santa Cruz, específicamente, se han visto afectaciones por la variabilidad climática, intervención antropogénica dentro de la subcuenca del río Diríá, y la conformación de comunidades cercanas al margen del río Diríá, lo que ha provocado eventos de inundaciones que han afectado diferentes poblados ubicados en esta subcuenca, entre ellos la comunidad El Guabo. Esto ha generado considerables pérdidas económicas y de infraestructura, tanto para los ciudadanos como para el gobierno local del cantón de Santa Cruz.

Lo anterior, vincula a la Municipalidad de Santa Cruz, por formar parte de estudios que permitan obtener insumos técnicos relacionados con la identificación de zonas con potencial de inundación dentro de la comunidad El Guabo, para el manejo de la distribución de asentamientos humanos dentro de este espacio en la subcuenca del río Diríá, con el fin de mitigar riesgos asociados a la exposición de inundaciones en sitios vulnerables.

**Figura 1.1:** Diagrama para la declaración del problema relacionado a las inundaciones en la comunidad El Guabo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia (2024).

### 1.3. Justificación

Realizar estudios que involucren la evaluación de zonas con potencial de inundación en las cuencas hidrográficas del país, se ha convertido en un elemento significativo y positivo para mitigar las afectaciones a comunidades provocadas por este tipo de situaciones. La variabilidad climática y el incremento del desarrollo urbano en sitios vulnerables, por ausencia o ineficacia de regulaciones en los gobiernos locales, han ocasionado que el comportamiento hidrológico e hidráulico dentro de las cuencas hidrográficas cambien considerablemente (Arroyo, 2011).

Por lo tanto, desarrollar este proyecto en la subcuenca del río Diríá permitirá evidenciar las zonas vulnerables a ser afectadas por eventos de inundación en la comunidad El Guabo, favoreciendo la correcta planificación en el uso de suelo que se desarrolle en el lugar. Para ello se consideran el plan de ordenamiento territorial, manejo integrado de la subcuenca y generación de insumo base para la toma de decisiones, como los principales elementos que este estudio buscaría fortalecer.

Con respecto al plan de ordenamiento territorial dentro de la subcuenca del río Diríá, obtener una visualización específica en el sector de la comunidad El Guabo, permitirá gestionar adecuadamente el uso del suelo en este tramo río Diríá, trayendo consigo beneficios como la

reducción de la vulnerabilidad de la comunidad y de poblaciones futuras, resguardando los bienes materiales, económicos y la salud integral de las personas. Además, se promueve el desarrollo espacial equilibrado, considerando las condiciones físicas que sean propicias según las actividades humanas con el fin de promover escenarios óptimos para que el desarrollo humano sea seguro, con el fin de disminuir los daños materiales, económicos y la pérdida de vidas humanas.

Por otro lado, las implicaciones de este proyecto en el manejo integrado de la subcuenca del río Diríá, recae en el fortalecimiento de planes que mejoren el enfoque en el cambio de uso de suelo, de tal forma que las modificaciones e intervenciones humanas dentro de la subcuenca se realicen bajo una línea de información que permita el desarrollo equilibrado y racional. También, permitiría proteger la integridad del recurso hídrico, la capacidad de respuesta del río ante los eventos hidrometeorológicos y la ubicación correcta de los asentamientos humanos.

A su vez, el producto que se pretende alcanzar con la ejecución de este proyecto se puede considerar como insumo base para la toma de decisiones por parte de la Municipalidad de Santa Cruz. Esto, por medio del desarrollo de modelaciones hidrológicas e hidráulicas de eventos de inundación para la comunidad El Guabo y otras zonas vulnerables que puedan presentar esta problemática, lo cual podría ser utilizado como un elemento de partida ante la toma de decisiones vinculado al ordenamiento territorial del cantón, para localizar espacios susceptibles a inundaciones y prevenir la edificación de viviendas en riesgo de ser afectadas por inundaciones. También, los resultados de este proyecto permitirían evaluar zonas donde se podría planificar, diseñar o mejorar alguna obra de retención hidráulica, que mejore la estabilización y el drenaje en este tramo del río Diríá.

A partir de lo desarrollado anteriormente, se comprende que el presente estudio generará información técnica que permita evaluar la condición hidrológica e hidráulica de un tramo de la subcuenca del río Diríá y su respuesta ante eventos de precipitación extremos, de tal forma que se considere como información base para la toma de decisiones en lo que respecta al ordenamiento territorial ejecutado por parte de la Municipalidad de Santa Cruz en la comunidad El Guabo, con el fin de mitigar los impactos que puedan generar las inundaciones a estos habitantes.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Elaborar un modelo hidrológico e hidráulico para la evaluación de zonas con potencial riesgo de inundación en un tramo de la parte baja de la subcuenca del río Diríá, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- 1- Recopilar datos geoespaciales y variables meteorológicas, mediante la revisión bibliográfica y consultas a entidades públicas y privadas, para la generación de insumos base de las características físicas e hidrológicas de la zona de estudio.
  
- 2- Realizar la delimitación espacial, con la caracterización morfométrica, mediante herramientas de SIG, para el estudio de la dinámica hidrológica de la subcuenca del río Diríá.
  
- 3- Desarrollar el análisis hidrológico e hidráulico a partir del software HEC-RAS, por medio de modelos numéricos que permitan la simulación del flujo de caudales, para modelar posibles escenarios de inundación.
  
- 4- Elaborar material cartográfico que indique los sitios con potencial riesgo de inundación dentro del tramo en estudio, para la generación de insumos técnicos que contribuyan a la toma de decisiones por parte de la Municipalidad de Santa Cruz.

## **1.5. Alcances y limitaciones**

En este apartado, se exponen los potenciales alcances del presente estudio, mismos que recaen en la generación de información técnica necesaria para el análisis de las problemáticas de inundación dentro de la subcuenca del río Diríá, especialmente en la comunidad El Guabo. A su vez, se indican las principales limitaciones que se presentaron durante el desarrollo de esta investigación.

### **1.5.1. Alcances**

- Caracterización física y climatológica de la subcuenca del río Diríá.
- Análisis hidrológico e hidráulico de la subcuenca que permitirá modelar el comportamiento del sitio de estudio ante eventos hidrometeorológicos extremos.
- Cartografía que represente los sitios con potencial de inundación que posee el área de estudio, a partir de los resultados del modelo hidrológico e hidráulico.
- Insumo base para planificar y determinar sitios estratégicos que permitan instalar instrumentos para recopilar datos hidrometeorológicos, con el fin de monitorear la dinámica de estos en la subcuenca.
- Información técnica de zonas con potencial riesgo de inundación para aportar al plan regulador de la Municipalidad de Santa Cruz.

### **1.5.2. Limitaciones**

- Los datos meteorológicos registrados por la estación más cercana y destinada para el estudio, realiza lecturas de precipitación no representativas para el modelo hidrológico.
- Falta de información referente a la topografía del área de estudio, tales como curvas de nivel en una escala precisa y representativa, tanto del cauce del río como de la comunidad en estudio.
- Limitaciones en tiempo, producto de procesos administrativos para desarrollar el estudio topográfico correspondiente en el área de estudio.
- Carencia de estudios técnicos que involucren la evaluación de las zonas con potencial de inundación para el área de estudio seleccionada, con el fin de contrastar los resultados obtenidos en esta investigación.

## **1.6. Desglose del reporte**

De acuerdo con Evans et al., (2014) se contemplaron y adaptaron 7 capítulos para el desarrollo de esta investigación, los cuales se describen a continuación:

### **Capítulo 1. Introducción**

En este capítulo, se menciona de manera preliminar el concepto y tipos de inundaciones, las causas antropogénicas y naturales que dan origen a las inundaciones, se brinda el contexto de eventos de inundaciones desde un ámbito general (Latinoamérica y Centroamérica) a lo específico centralizado en Costa Rica. Además, se indica la problemática en temas de inundaciones que se presentan en la subcuenca del río Diríá, en la comunidad El Guabo, Santa Cruz, Guanacaste, lo cual permite redactar la justificación para llevar a cabo estudios de esta naturaleza en dicha localidad y la importancia que esto representa en temas de seguridad pública dentro del cantón.

Por otro lado, se detalla el planteamiento de los objetivos, el mismo se compone de un objetivo general y cuatro objetivos específicos. Además, se exponen los alcances y limitaciones para finalizar con un resumen de cada capítulo.

### **Capítulo 2. Antecedentes**

El capítulo de antecedentes define la zona de estudio acompañada de mapas cartográficos que delimiten la subcuenca del río Diríá y la ubicación de la comunidad El Guabo, brindando generalidades en temas ambientales, sociales e hidrológicos que forman parte del área de estudio. También, se presentan los estudios que se han desarrollado a nivel nacional e internacional bajo la misma línea, con la finalidad de generar información necesaria para la consolidación de ideas en torno a la aplicación de metodologías que se logren ajustar al contexto con que se está trabajando en la investigación.

### **Capítulo 3. Marco Teórico**

Este capítulo abarca la definición de conceptos técnicos en los cuales se basa la investigación, de tal forma que le permita al lector conocer de manera integral conceptos específicos necesarios para el cumplimiento de los objetivos propuestos para este estudio que van desde la delimitación de la zona de estudio, análisis de variables meteorológicas y morfométricas

de la subcuenca e implementación de programas computacionales para la elaboración de modelos hidrológicos e hidráulicos.

#### **Capítulo 4. Estudio de prefactibilidad**

El capítulo cuatro abarca información correspondiente a la línea de estudios de prefactibilidad que se efectuarán en el proyecto, tales como:

- Estudio de prefactibilidad técnica: El estudio contempla los componentes técnicos que se requieren para el abordaje del presente estudio.
- Prefactibilidad legal: Aquí se expone el marco legal vigente en Costa Rica, que ampara el desarrollo de este proyecto.
- Prefactibilidad Ambiental: Estudio que permite valorar las implicaciones ambientales que el desarrollo de este proyecto generaría al medio ambiente.
- Prefactibilidad social y financiero: Este estudio contempla análisis de la percepción social que existe por parte del público de interés (stakeholders) con base en la puesta en marcha del proyecto. Además, en la prefactibilidad financiera se pretende mostrar las implicaciones económicas que están en torno al desarrollo de este estudio. Cada una de las prefactibilidades se lleva a cabo con la finalidad de determinar la viabilidad del proyecto.

#### **Capítulo 5. Metodología**

En este capítulo se hace una descripción de los materiales requeridos para abordar los objetivos de la investigación, sumado a las metodologías necesarias para su debido cumplimiento. Abarcando desde la descripción de la naturaleza de las variables a utilizarse en el estudio, formas de recopilar dichas variables, y la utilización de software para la puesta en marcha de los modelos hidrológicos e hidráulicos.

#### **Capítulo 6. Resultados y discusión**

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos en relación con los objetivos establecidos en la investigación, siguiendo la metodología propuesta para ejecutar el estudio. Además, se contrastan los hallazgos alcanzados con la literatura existente, y se exploran las implicaciones de los resultados obtenidos en este estudio con respecto a la temática en cuestión.

## **Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones**

En este apartado se exponen las lecciones aprendidas que se obtuvieron a lo largo del desarrollo del proyecto. Además, se brindan algunas recomendaciones que se consideran significativas para realizar en futuros proyectos bajo esta línea de investigación.

# Antecedentes

## Capítulo 2.

Este capítulo aborda antecedentes de inundaciones desde un contexto global hasta una escala local, enfocándose en la subcuenca del río Diríá, Santa Cruz, Guanacaste. Incluye tres apartados: contexto general de las inundaciones, caracterización del área de estudio y revisión de literatura, para proporcionar un contexto completo de la zona en estudio.

## Capítulo 2. Antecedentes

### 2.1. Contexto general de las inundaciones

A nivel mundial, en el siglo XXI, el aumento de desastres naturales se ha dado a niveles históricos, siendo las inundaciones las que suceden con más frecuencia, ocasionando desastres devastadores hacia la humanidad. Estas son catalogadas como fenómenos hidrológicos que se desencadenan por factores como, precipitaciones intensas, desborde de cuerpos de agua, falta de ordenamiento territorial, colapso de sistemas de drenaje y otros (Vera, 2023). Según menciona la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2023), en el periodo 2000-2019, las inundaciones causaron pérdidas económicas de aproximadamente 650 000 millones de dólares, afectaron a 1650 millones de personas y causaron más de 100 000 muertes. Esto hace que, al desarrollarse estos eventos, causen grandes afectaciones mundiales a las poblaciones que son impactadas.

Con respecto a América Latina, el desarrollo urbano ha traído consecuencias socioeconómicas, demográficas y ambientales importantes. La dinámica que presentan las ciudades latinoamericanas relacionadas al cambio climático ha ocasionado que sean más vulnerables a eventos hidrometeorológicos extremos. Costa Rica es un país donde áreas de protección del cauce de los ríos se han convertido en un atractivo para los procesos de crecimiento urbano ilegales, poniendo en peligro vidas humanas, la cubierta forestal y equilibrio ecológico, los suelos y las aguas subterráneas (Abhas, et al. 2012; Aragón, 2014; Fernández et al. 2017).

En el caso de Costa Rica, aproximadamente el 80% de desastres son provocados por fenómenos hidrometeorológicos causados por las condiciones atmosféricas, principalmente se dan eventos como las inundaciones. Estos fenómenos son catalogados como la segunda causa de muerte asociada a desastres naturales a nivel país, donde aproximadamente 129 personas han muerto a causa de inundaciones en el periodo de 1970 al 2020. Son los eventos naturales que mayormente afectan el país y, en general, a la región centroamericana, con una ocurrencia persistente, lo que genera daños tanto físicos como económicos recurrentes (Orozco et al., 2022).

En la provincia de Guanacaste, según menciona Orozco et al., (2022), los números de eventos hidrometeorológicos por cantón, según su análisis, rondan entre los 50 y 300 eventos aproximadamente, esto para el periodo comprendido entre los años 1970-2020. Para el caso del

distrito de Santa Cruz, este cuenta con una ocurrencia de eventos entre los 51 y 150, dato que no es menos importante.

Según se analiza en los mapas realizados por la Comisión Nacional de Emergencias (2006), entre las amenazas importantes existentes en el cantón de Santa Cruz están las inundaciones, localizadas principalmente en el distrito central, donde los cuerpos de agua involucrados son el río Diríá (**figura 2.1**) y En Medio para zona del casco central; el primero es el que se pretende evaluar en el presente proyecto de ingeniería.

**Figura 2.1:** Inundación comunidad El Guabo ocurrido el 8 de noviembre del 2024.



Fuente: Arroyo (2024).

## 2.2. Caracterización y descripción del sitio de estudio

### 2.2.1. Localización Geográfica

La comunidad El Guabo se ubica en la provincia de Guanacaste, cantón Santa Cruz, en la parte baja de la subcuenca del río Diríá, en las coordenadas 10.2641467 y 85.5892997, al margen derecho del río Diríá (**figura 2.2**). Esta comunidad forma parte del distrito de Santa Cruz, teniendo como límites al norte con la ruta 21, oeste con el río Diríá, sureste con el centro de Santa Cruz, y al este el barrio Buenos Aires (**Figura 2.3**).

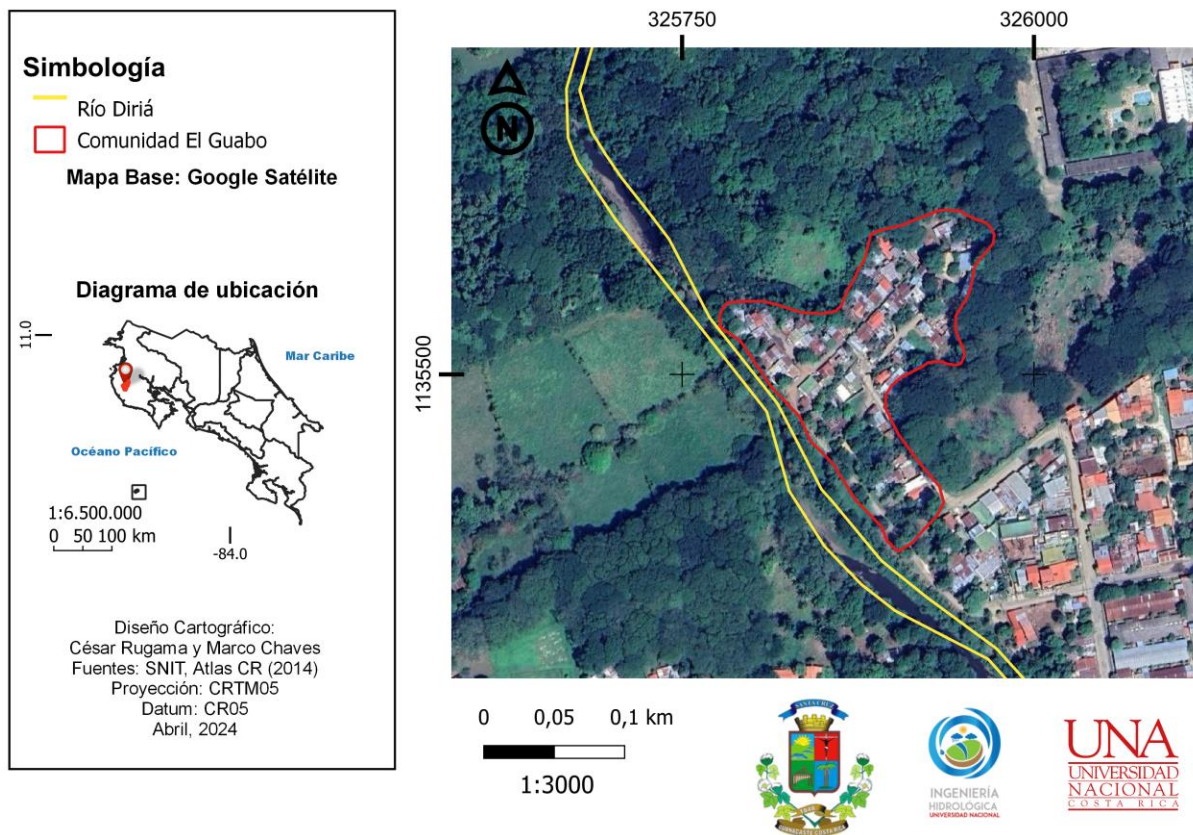
La subcuenca del río Diríá forma parte de la red hidrológica que drena al cantón de Santa Cruz, específicamente a la cabecera del cantón el distrito de Santa Cruz, y el distrito Veintisiete de Abril, tal y como se muestra en la **figura 2.4**.

**Figura 2.2:** Margen del río en el que se ubica la comunidad El Guabo, Santa Cruz, Guanacaste.



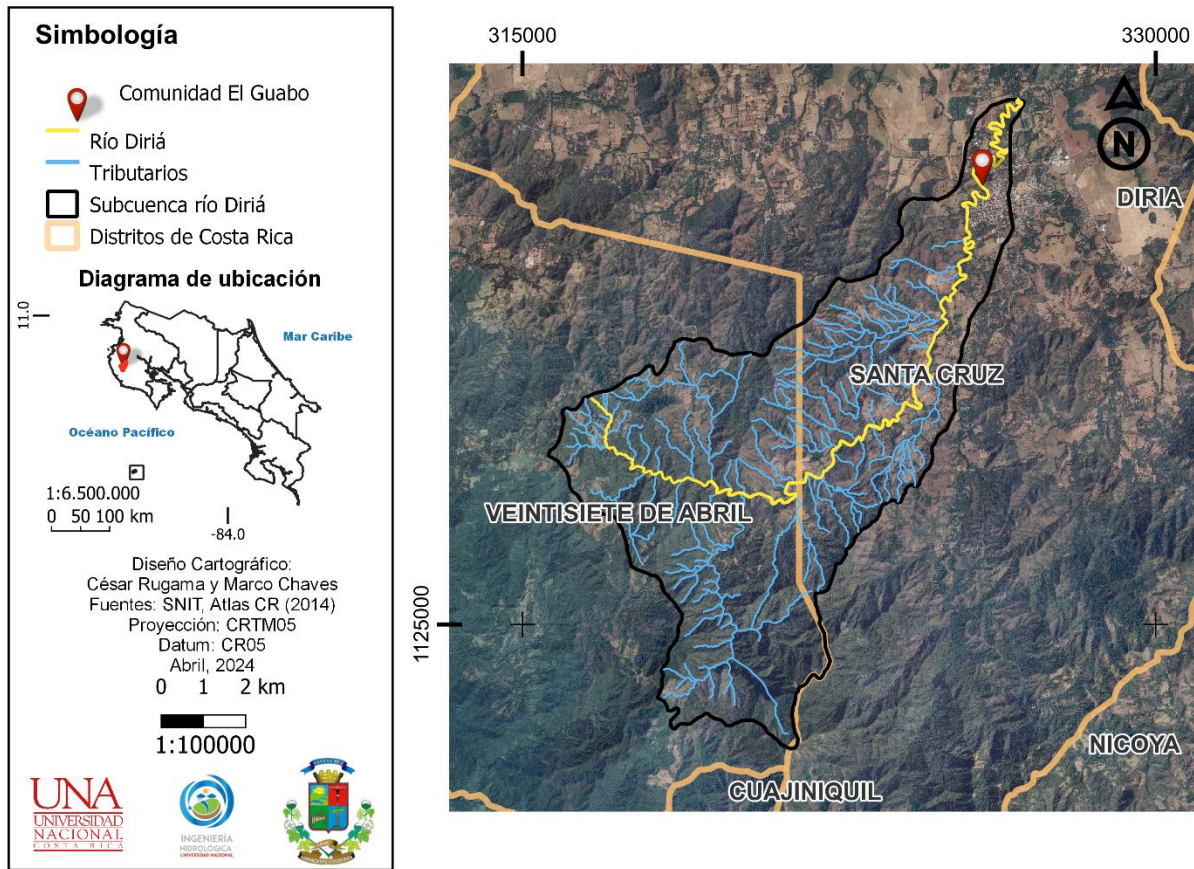
Fuente: Municipalidad de Santa Cruz (2024).

**Figura 2.3:** Mapa satelital de la comunidad El Guabo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia (2024).

**Figura 2.4:** Localización del área de estudio en la subcuenca del río Diríá, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia (2024).

### 2.2.2. Aspectos Biofísicos

Para el desarrollo de este apartado, se consideran los aspectos climatológicos que predominan en el sitio de estudio, considerando las regiones climáticas del país, para identificar la extensión y características de los periodos de época seca y lluviosa. Además, se dispone de información referente a las condiciones físicas que predominan en la subcuenca del río Diríá.

- **Clima de la Región**

De acuerdo con los criterios emitidos por Solano y Villalobos (2005), mediante un bosquejo de regionalización de Costa Rica impulsado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), es posible brindar las características climáticas que predominan en la provincia de Guanacaste,

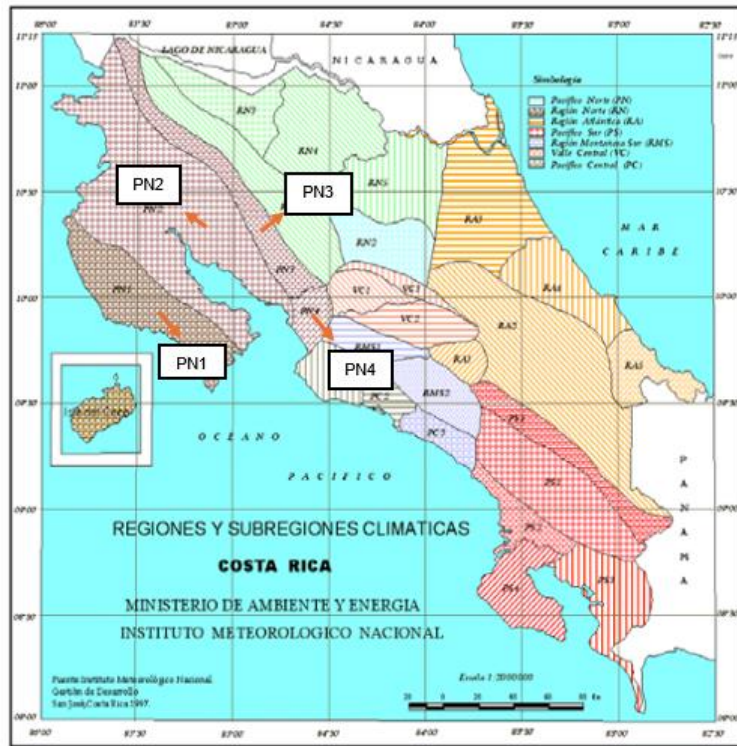
indicando que la misma se ubica en la Región Pacífico Norte, la cual pertenece al régimen de precipitaciones del Pacífico, con dos épocas bien definidas, una seca y una lluviosa.

Según lo expuesto por el IMN (2009), la época seca en la Región Pacífico Norte abarca los meses de diciembre a marzo, con un régimen de precipitación de un 4% del total anual; abril es un mes de transición, y las primeras lluvias se comienzan a experimentar en el mes de mayo para dar inicio al primer periodo de lluvias hasta agosto, representando un 50% de la precipitación anual de la región, a causa de la intensificación de los vientos del suroeste, generando tormentas locales y fuertes aguaceros. Este primer periodo de lluvias lo separa el veranillo del Pacífico o Canícula, al intensificarse los vientos alisios en los meses de julio y agosto.

Además, el IMN (2009) indica que el segundo periodo de la época lluviosa empieza desde septiembre hasta noviembre, presentando los valores más altos de precipitaciones de la región en los meses de septiembre a octubre, relacionados con eventos hidrometeorológicos que impactan al país, en este segundo periodo de lluvias precipita el 46% de la precipitación anual, siendo noviembre un mes de transición para la época seca.

Por otra parte, Solano y Villalobos (2005) muestran los grupos climáticos que alberga la Región Pacífico Norte, las cuales son: áreas de clima templado (meso-termal), y áreas de clima tropical con estación; estas se dividen en cuatro subregiones, Occidental de la Península de Nicoya (PN1), Subregión Central del Pacífico Norte (PN2), Base y faldas de las cordilleras de Guanacaste y Tilarán (PN3), y Cuenca Baja de los ríos Barranca y Grande Tárcoles (PN4), tal y como se muestra en la **figura 2.5**.

**Figura 2.5:** Ilustración de las subregiones climáticas de Costa Rica.



Fuente: Solano y Villalobos (2005).

De acuerdo con lo anterior, es posible señalar que la subcuenca del río Diríá se ubica dentro de las subregiones PN1 y PN2; por lo tanto, dicha zona se ve influenciada por las características climáticas que predominan en estas subregiones, las cuales se puntualizan en el **cuadro 2.1**.

**Cuadro 2.1:** Características climáticas generales de las subregiones donde se ubica la zona de estudio.

Subregión	T. media anual °C (Min – Máx)	Precipitación Media Anual (mm)	T. media anual (°C)	Promedio de días de lluvia	Duración Periodo Seco (meses)
PN1	23 – 30	2385	25 a 30	99	4
PN2	22 – 33	1800	28	97	5

Fuente: Solano y Villalobos (2005).

- ***Geología de la región***

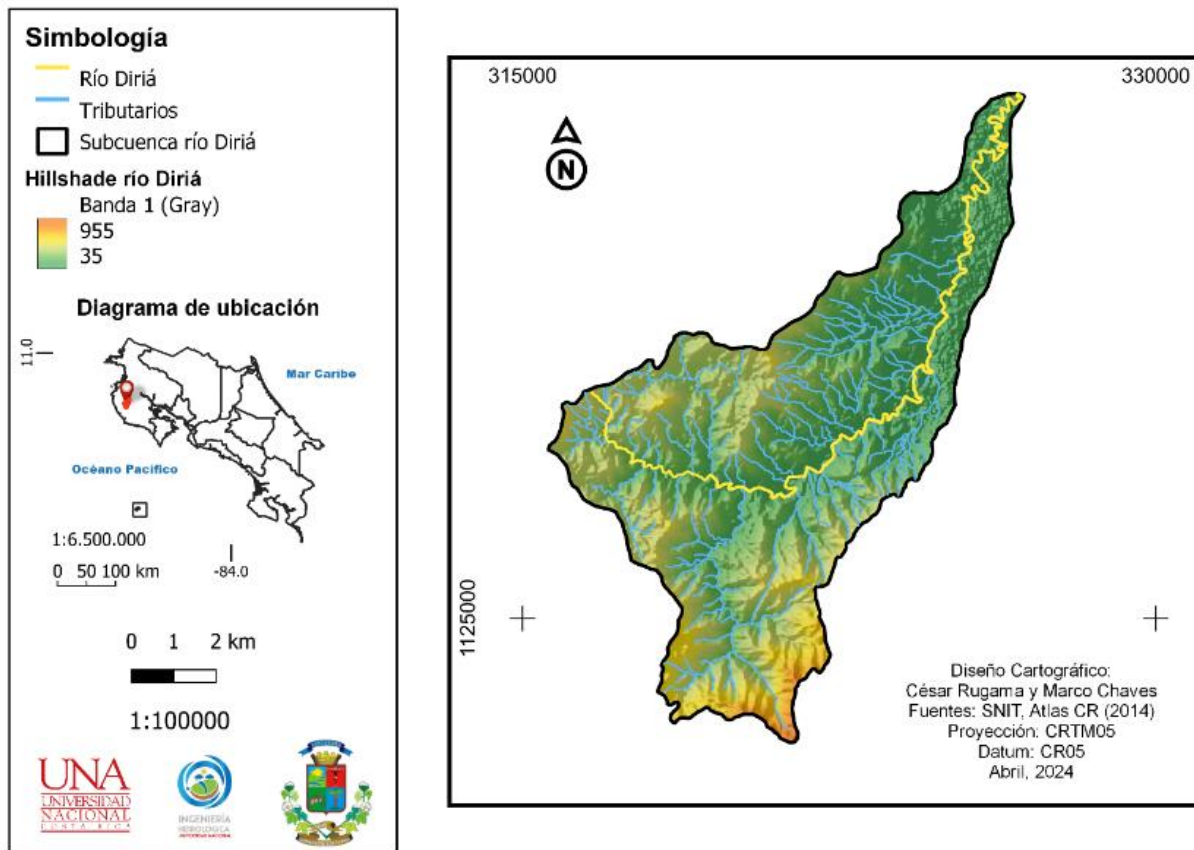
De acuerdo con Zúñiga (2006), en la zona de estudio prevalecen las siguientes unidades litoestratigráficas: Complejo de Nicoya el cual incorpora al basalto y las intrusiones de gabros, diabasas y dioritas. Además, los depósitos aluviales recientes.

Este tipo de basalto es clasificado como toleíticos, los cuales forman parte de un magmatismo pre-Campaniano; la edad aún no se confirma, sin embargo, existen estudios que sugieren edades que oscilan entre 60 y 88 millones de años. Por otra parte, los gabros son de coloración oscura, de textura porfirítica, y muy rica en minerales. Por último, los depósitos aluviales de la región están constituidos, en forma general, por una capa superior de arcilla rojiza situada debajo de capas de arena y gravas finas, con alternancia de materiales arcillosos (Zúñiga, 2006).

- ***Características de la subcuenca del río Diríá***

La subcuenca del río Diríá posee un área y perímetro aproximado de 66.42 km<sup>2</sup> y 47.36 km respectivamente, con una elevación que va desde la parte más baja, con un valor de 37 m.s.n.m hasta las partes montañosas, con altura máxima de 955 m.s.n.m, tal y como se representa en la **figura 2.6**.

**Figura 2.6:** Mapa de modelo de elevación digital (MED) de la subcuenca río Diríá hasta el punto de cierre en la confluencia con el río En medio.



Fuente: Elaboración propia (2024).

### 2.3. Actividades socioeconómicas asociadas

A continuación, se describen las principales actividades socioeconómicas que se desarrollan en el cantón de Santa Cruz, circundantes al área de estudio. Estas corresponden a las actividades de: agricultura, ganadería, turismo.

#### 2.3.1. Agricultura

De acuerdo con el Censo Agropecuario realizado por el (INEC, 2014), el cantón Santa Cruz tiene un total de 1959 fincas, con una extensión total de 76 059 hectáreas. El 38,1% de las fincas del territorio, que cubren una extensión de 38 346,2 hectáreas, se dedican a la actividad agrícola. Dentro de los cultivos que principalmente se desarrollan en la zona, se encuentra la caña de azúcar, con un total de 1580 hectáreas, de las cuales 294 son desarrolladas en el distrito central de Santa

Cruz. En la **figura 2.7** se pueden visualizar actividades referentes a cultivos que se llevan a cabo en la zona.

**Figura 2.7:** Actividades agrícolas desarrolladas en la zona de Santa Cruz Guanacaste.



Fuente: Vindas (06 de junio de 2014).

### 2.3.2. Ganadería

Otra de las principales actividades que se desarrollan en el cantón de Santa Cruz es la ganadería (**figura 2.8**), ya que el cantón cuenta con una totalidad de 883 fincas, con aproximadamente 29 141 animales. Entre las cuales se encuentra la producción de ganado porcino, vacuno, avicultura y especies menores (INEC, 2014).

**Figura 2.8:** Actividad ganadera en el cantón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Finca García Muñoz (16 de marzo de 2024).

### **2.3.3. Turismo**

Con base en el ámbito turístico, Morales (2011) indica que el cantón de Santa Cruz representa uno de los cantones a nivel nacional con un incremento en la influencia del fenómeno turístico, la cual se da de manera progresiva e intensa. Dicho desarrollo de la actividad turística ha tenido influencia directa en cada uno de los ámbitos de la vida de las comunidades que conforman este cantón. Aunque tradicionalmente, este sitio se desarrolla actividades como la agricultura y ganadería, el sector del turismo ha tomado fuerza a raíz del aprovechamiento de los recursos naturales, tales como las costas, patrimonios culturales y la riqueza rural, dinamizando recíprocamente las fuentes de empleo alternativas que se desarrollan dentro del cantón (**figura 2.9**).

**Figura 2.9:** Actividades turísticas que se desarrollan en Santa Cruz, Guanacaste.



Fuente: Fonseca (13 de febrero de 2024).

#### 2.4. Antecedentes de revisión de literatura

A continuación, el **cuadro 2.2**, se muestran los estudios relevantes desarrollados a nivel nacional, provincia, y cantón de Santa Cruz, enfocados en hidrología, inundaciones y temáticas de interés para este proyecto. Esto, con la finalidad de enriquecer los datos e información disponible referente a la temática a desarrollar en este estudio.

**Cuadro 2.2:** Estudios de interés relacionados a la temática de inundaciones en el cantón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

Nombre	Aporte	Enfoque	Autores	Año
Estudio de intensidades de lluvia en la cuenca del río Virilla.	Elaboración de hietogramas y cálculo de periodo de retorno de un evento.	Hidrológico.	Ing. Rafael Murillo Muñoz.	1994
Modelación hidrológica e hidráulica de la cuenca del río Caldera.	Diseño de hietogramas a partir de eventos de precipitación puntuales.	Hidrológico e hidráulico.	Dr. Hernán Solís Bolaños. Ing. Johnny Cuevas Marín.	1995

Relación entre las inundaciones en la cuenca del Tempisque el Fenómeno de La Niña y los rendimientos de arroz de secano.	Artículo del IMN. Gestión de Desarrollo.	Agrícola.	Ing. José Alberto Retana.	2005
Modelación Hidrodinámica y Morfológica del Río La Estrella, Limón.	Modelos hidráulicos de cauces de ríos.	Hidrodinámica y Morfológica.	Dra. Isabel Guzmán Arias. Lic. Fernando Watson Hernández. MSc. Karolina Villagra Mendoza. MSc. Ricardo Casasola Ramírez.	2017
Informe Estudio de zonas de amenazas por inundación usando sensores remotos, análisis hidrológico e hidráulico para mejorar la cuantificación y gestión del riesgo en la Cuenca del Río Zapote.	Informe para el CNE sobre inundaciones.	Hidrológico e hidráulico.	Escuela de Ingeniería de Biosistemas, UCR.	2019
Informe Estudio de Zonas de Amenazas por Inundación usando Sensores Remotos, Análisis Hidrológico e Hidráulico para Mejorar la Cuantificación y Gestión del Riesgo en la Cuenca de Aguas Claras.	Informe para el CNE sobre inundaciones.	Hidrológico e hidráulico.	Escuela de Ingeniería de Biosistemas, UCR.	2019
Propuesta metodológica para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos, aplicación de caso ASADA Barrio Limón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.	Características físicas de la subcuenca río Diríá.	Hidrológico.	Ing. Sheirys Ortega Noguera.	2022
Informe Servicio de consultoría en Diagnóstico del Recurso Hídrico para la Preparación del Plan Cantonal de Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas de la Municipalidad de Santa Cruz.	Estudios hidrológicos de red de drenaje.	Hidrológico.	Geospatial Innovations Geoinn S. A.	2023

Fuente: Elaboración propia (2024).

# Marco Teórico

## Capítulo 3.

En este capítulo, se presenta la base conceptual que sustenta el desarrollo de esta investigación. Los diferentes tópicos se abordarán en cuatro apartados: generalidades de las cuencas hidrográficas, características hidrometeorológicas, características morfométricas, modelación hidrológica e hidráulica de cauces naturales.

## Capítulo 3. Marco Teórico

### 3.1. Definición de conceptos claves relacionado a cuencas hidrográficas

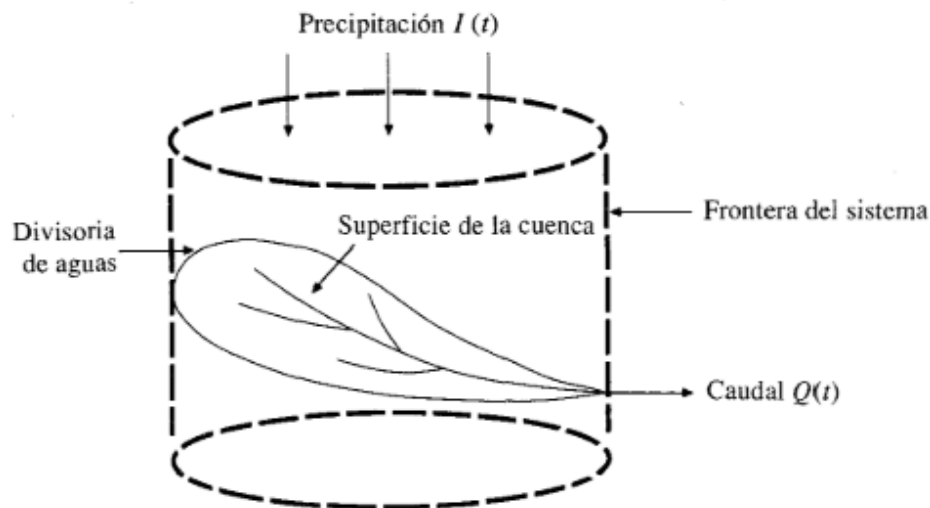
A continuación, se describen generalidades de las cuencas hidrográficas, donde se desarrollarán los siguientes conceptos: cuenca hidrográfica, características morfométricas, las cuales involucran parámetros de relieve, forma de la cuenca, y su red hidrográfica. Además, conceptos claves dentro del modelo hidrológico e hidráulico.

#### 3.1.1. Cuenca hidrográfica

De acuerdo con Cotler et al., (2013) las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por las partes más altas de las montañas (parteaguas), donde se concentran todos los escurrimientos de los cauces presentes en el sistema, que confluyen y desembocan en un punto común, llamado también punto de salida de la cuenca; los cuales pueden ser lagos o lagunas, (cuencas endorreicas), y mares u océano (cuencas exorreicas). Además, el autor expone que en estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo; ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes).

Además, Villón (2022) establece, bajo un criterio hidrológico, que la cuenca hidrográfica es el área de terreno donde se unen todas las aguas caídas por precipitación para formar un solo curso de agua; donde cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido. Tal y como se muestra en la **figura 3.1**.

**Figura 3.1:** La cuenca hidrográfica como cuenca de drenaje dentro un sistema hidrológico.



Fuente: Chow et al., (1994).

### 3.1.2. Manejo integrado de cuencas hidrográficas

De acuerdo con Ferrer y Torrero (2013), este concepto combina dos tipos de acciones: por un lado, aquellas que buscan aprovechar los recursos naturales disponibles en la cuenca para apoyar el desarrollo económico, y por otro, las que se enfocan en conservarlos y protegerlos para asegurar la sostenibilidad ambiental. Esta visión permite involucrar de manera integral el análisis de los fenómenos de inundaciones, ya que el modo en que se utilizan y se manejan los recursos dentro de una cuenca influye directamente en su comportamiento hidrológico. Un crecimiento urbano inadecuada dentro de la cuenca puede aumentar la escorrentía y la probabilidad de desbordamientos, mientras que prácticas de manejo y conservación, como la protección del suelo y la restauración de la cobertura vegetal, ayudan a reducir el riesgo de inundaciones. En este sentido, el manejo integrado permite entender que las inundaciones no solo dependen de la lluvia o del cauce del río, sino también de cómo se administra y se cuida la cuenca en su conjunto.

### 3.1.3. Características morfométricas

Las características morfométricas de una cuenca hidrográfica hacen referencia a las medidas y propiedades geométricas que describen la red de drenaje, las pendientes, y la forma de la cuenca a partir de cálculos numéricos. Cabe recalcar que estas mediciones se realizan utilizando cartografía digital o física que cuente con la suficiente información hidrológica y topográfica, esto

con la finalidad de obtener una mayor precisión en los resultados de cada uno de los parámetros a calcular (Lux, 2016).

En la actualidad, esta caracterización es realizada a partir de SIG; el proceso puede ser realizado de forma manual, calculando cada uno de los parámetros, o de forma automática. Lo que se busca al realizar este tipo de sistemas es obtener una mayor eficiencia en la visualización y procesamiento de la cuantificación de todos los atributos topográficos de una cuenca (Del Águila y Mejía, 2021).

A continuación, se describen los siguientes parámetros morfométricos: área, perímetro, longitud de drenaje total, factor forma, índice de compacidad, densidad de drenaje, tiempo de concentración y la pendiente media de la cuenca. Estos son necesarios para caracterizar las propiedades geométricas de la cuenca en estudio.

**a) Parámetros de forma**

- *Área*

De acuerdo con lo expresado por (Gómez, 2020), este concepto hace referencia a la superficie limitada por la proyección horizontal del parteaguas o la parte más alta de las montañas que rodean la cuenca; puede obtenerse mediante herramientas en SIG y se reporta en km<sup>2</sup> para cuencas con superficies grandes y en ha (hectáreas) para superficies pequeñas.

- *Perímetro*

Este concepto hace referencia a la medición de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica, a lo largo de la divisoria de aguas topográficas, normalmente se expresa en km (Gaspari et al, 2012). Tal y como se ilustra en la **figura 3.2**.

**Figura 3.2:** Visualización de la línea de perímetro de una cuenca hidrográfica.



Fuente: Villón (2017).

- **Índice de compacidad (Ic) o Coeficiente de Gravelius (Cg)**

Este índice se define como “la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas o divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia” (Cardona, 2016, p. 4). Ya que “relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca” (Cruz et al, p. 28). Dicho índice se obtiene aplicando la **fórmula 3.1**.

$$Ic = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Fórmula 3.1}$$

Donde:

Ic = Índice de compacidad.

P = Perímetro de la cuenca en km.

A = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

Los valores que proporciona este índice brindan información correspondiente a la forma de la cuenca (**cuadro 3.1**), siendo fundamental para identificar la susceptibilidad que posee la cuenca ante eventos de precipitaciones significativas.

**Cuadro 3.1:** Forma de la cuenca según el índice de compacidad.

Clase de Forma	Índice de Compacidad	Forma de la cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval – redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval – Redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 o más de 2	Oval – Oblonga a rectangular – oblonga

Fuente: Cardona (2016).

- **Factor Forma**

Este factor indica cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial en la cuenca hidrográfica; el mismo relaciona el ancho promedio de la cuenca con respecto a su longitud. Cuando este valor es similar a 1, significa que la cuenca tiene una forma redondeada; si el valor es menor, la cuenca presenta una forma alargada, lo cual significa que es menos susceptible a sufrir impactos hidrológicos debido a la distribución de la lluvia en la misma y a las crecientes que pueden generar, las cuales presentan menor magnitud, en comparación a la de forma redonda (Gaspari et al., 2012).

El factor forma se calcula a partir de la **fórmula 3.2**:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad \text{Fórmula 3.2}$$

Donde:

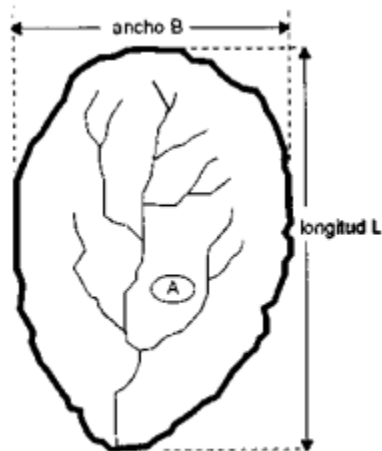
A = Área en km<sup>2</sup>.

L = Longitud de la cuenca en km.

Esta fórmula se obtiene a partir de la relación existente de la cuenca con una forma rectangular, de tal forma que sea posible determinar su ancho y longitud (**figura 3. 3**) y establecer la siguiente relación.

$$F = \frac{B * L}{L * L} = \frac{A}{L^2}$$

**Figura 3.3:** Ancho y largo de una cuenca.



Fuente: Villón (2022).

#### **b) Parámetros de relieve**

- ***Altitud***

Dolores y Gabriel (2018) describen a la altitud mínima como la cota sobre la cual la cuenca desagua y determina su parte final de la red de drenaje. En cambio, la altura máxima como la cota en la cual se encuentra la divisoria de la cuenca. En ambas, sus unidades se presentan en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) estos se muestran en la **figura 2. 6** en el capítulo 2 del presente escrito, la cual representa las altitudes de la subcuenca río Diríá, siendo la más baja 35 m.s.n.m, y la máxima 955 m.s.n.m.

- ***Pendiente media del cauce principal (J)***

De acuerdo con Ibáñez et al., (2010) la pendiente media del cauce es un parámetro que hace referencia a la relación que existe entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud. Para calcular este parámetro aplica la **fórmula 3.3**.

$$J = \frac{DA}{L} \quad \text{Fórmula 3.3}$$

Dónde:

DA = Desnivel altitudinal (m)

L = Longitud del cauce principal (m)

c) **Parámetros de la red hidrográfica**

- ***Longitud del cauce principal (L)***

Relacionado con lo expuesto por Gaspari et al., (2012), la longitud del cauce principal hace referencia a la longitud del río principal de la cuenca; este abarca desde su punto más distante hasta su desembocadura o punto de cierre. Tal y como se ilustra en la **figura 3.4**.

**Figura 3.4:** Representación de la longitud del río principal en una cuenca.



Fuente: Villón (2022).

- ***Densidad de drenaje (D<sub>d</sub>)***

De acuerdo con Villón (2022), este parámetro, valora la longitud de las corrientes perennes o intermitentes, por unidad de área. El mismo indica la posible naturaleza de los suelos y el grado de cobertura vegetal en la cuenca. Los valores altos indican zonas con poca cobertura vegetal, suelos vulnerables a ser erosionados, y poca cobertura vegetal; valores bajos indican la presencia de suelos duros, poco erosionables, muy permeables y alta densidad vegetal. Además, Ibáñez et al., (2010) menciona que una mayor densidad de drenaje indica una mayor estructuración de la red fluvial, generando un mayor potencial de erosión dentro de la cuenca. Dicho parámetro se calcula aplicando la **fórmula 3.4**.

$$Dd = \frac{L}{A} \quad \text{Fórmula 3.4}$$

Donde:

$D_d$  = Densidad de drenaje.

L = Longitud total de las corrientes perennes o intermitentes (km).

A = Área total de la cuenca ( $\text{km}^2$ ).

- ***Tiempo de concentración***

El tiempo de concentración, de respuesta o equilibrio, es un valor que determina el tiempo sugerido para que el agua generada por un evento de precipitación alcance un estado estacionario, donde todo el sistema de drenaje de la cuenca contribuya eficazmente a la generación de caudales en el sitio de desagüe o cierre (Vélez y Botero, 2011).

Para el cálculo de tiempo de concentración, existen diversas fórmulas que se ajustan al tamaño del área, tipo de terreno y morfología (Chaves y Ordoñez, 2017). En este estudio, se utiliza la **fórmula 3. 5** la cual corresponde al método de Kirpich, de acuerdo con las metodologías propuestas por Villón (2022) para determinar el tiempo de concentración en cuencas hidrográficas.

$$T_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad \text{Fórmula 3.5}$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración (min).

L = Longitud del cauce principal (m).

H = Diferencia de elevación (m).

### **3.2. Características hidrometeorológicas**

En este apartado se abarcarán los conceptos relacionados a temas hidrometeorológicos, tales como: clima y precipitación, eventos hidrometeorológicos extremos e inundaciones.

#### **3.2.1. Clima y precipitación**

De acuerdo con Andrades y Múñez (2012), a partir de su interpretación de lo expuesto por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el clima se define como las condiciones

meteorológicas medidas para el mes o año, calculadas sobre un periodo de tiempo de 30 años. Por su parte, el IMN (2022) lo define como la síntesis de condiciones meteorológicas en un lugar específico, obtenida a partir de estadísticas a largo plazo de los elementos meteorológicos presentes en un determinado lugar.

Por otra parte, la precipitación se considera como un fenómeno meteorológico ocasionado por procesos de condensación o congelación dentro de masas de aire, dando lugar a la formación de gotas de agua o cristales de hielo. A medida que estos se unifican y alcancen un mayor tamaño caerán a la superficie, dando lugar a la precipitación (Andrades y Muñoz, 2012).

### **3.2.2. Lluvia normal**

De acuerdo con Khalaf (2017), la precipitación normal es el valor promedio de la precipitación en una fecha, mes o año determinado, mediante registros históricos de al menos 30 años. Es decir, se considera como un registro de lluvia esperado, habitual o típico para una región y un periodo en específico; siendo necesaria para evaluar si la precipitación en cuestión está dentro de lo recurrente, por encima (exceso) o debajo (déficit).

### **3.2.3. Eventos hidrometeorológicos extremos**

Según lo mencionado por Alanís (2011), los eventos hidrometeorológicos extremos pertenecen a un fenómeno de suceso insólito dentro de su distribución estadística del clima de un determinado lugar.

Por otra parte, Retana (2012) indica que este tipo de eventos extremos deben ser entendidos en tres direcciones: el fenómeno de variabilidad climática que se presenta, su intensidad y su consecuencia. De tal forma, no todos los fenómenos meteorológicos de variabilidad climática producen un evento extremo; para ello, tiene que estar acompañada de un impacto negativo en el sistema. Es decir, si un sistema (cuenca) es vulnerable a inundaciones, y con valores de precipitaciones normales es afectada con impactos negativos ocasionados por una inundación, dicho acontecimiento ya se considera un evento hidrometeorológico extremo.

### **3.2.4. Inundaciones**

El concepto de inundaciones hace referencia a "... la incursión o desborde del agua sobre zonas o áreas que en condiciones normales son o se encuentran secas. Pero, por el efecto del desborde temporal de un río, lago u otro; se inundan o son anegados" (CNE, 2010, p. 13). También,

las inundaciones se pueden considerar como un “desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua” (UNESCO, 2012, p. 127).

### **3.3. Modelación hidrológica e hidráulica de cauces naturales**

En este apartado se describirán los conceptos y herramientas computacionales relacionados con la modelación hidrológica e hidráulica, donde las dos ramas de la ciencia se complementan para analizar el comportamiento del flujo en cauces naturales según las distintas condiciones hidrometeorológicas a las que se exponen. Entre los conceptos y herramientas a describir están: modelos hidrológicos, modelos hidráulicos, Quantum GIS (QGIS), HEC-HMS y HEC-RAS.

#### **3.3.1. Modelos hidrológicos e hidráulicos**

De acuerdo con lo expuesto por Salazar et al. (2018), a continuación, se describen los conceptos de modelo hidrológico e hidráulico:

Los modelos hidrológicos cumplen la función de realizar simulaciones que representan los procesos de lluvia y esorrentía en una cuenca de manera simplificada, simulando el hietograma que se produce en los puntos de estudio de la red fluvial a consecuencia de un evento hidrometeorológico, como las precipitaciones de alta intensidad. Entre los componentes a considerar para realizar una correcta simulación están el modelo de la cuenca, el modelo meteorológico (datos de precipitación), especificaciones de control (lapso y fecha de ejecución) y datos de entrada del modelo (tiempo de concentración, número de curva, retención máxima, etc.).

Los modelos hidráulicos son herramientas que combinan las matemáticas y la computación, con la finalidad de ser empleadas para simular el flujo de un canal principal y la llanura de inundación de un río bajo diferentes condiciones hidrometeorológicas. Algunas de las variables que se deben de tomar en cuenta para la correcta programación del modelo son las dimensiones del eje del río, secciones transversales, separación entre secciones, puntos de control y coeficiente de Manning. Entre sus funciones se encuentra el diseño de obras (puentes, represas, diques, etc.), la evaluación del riesgo a inundaciones, investigación científica y otros.

#### **3.3.2. Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

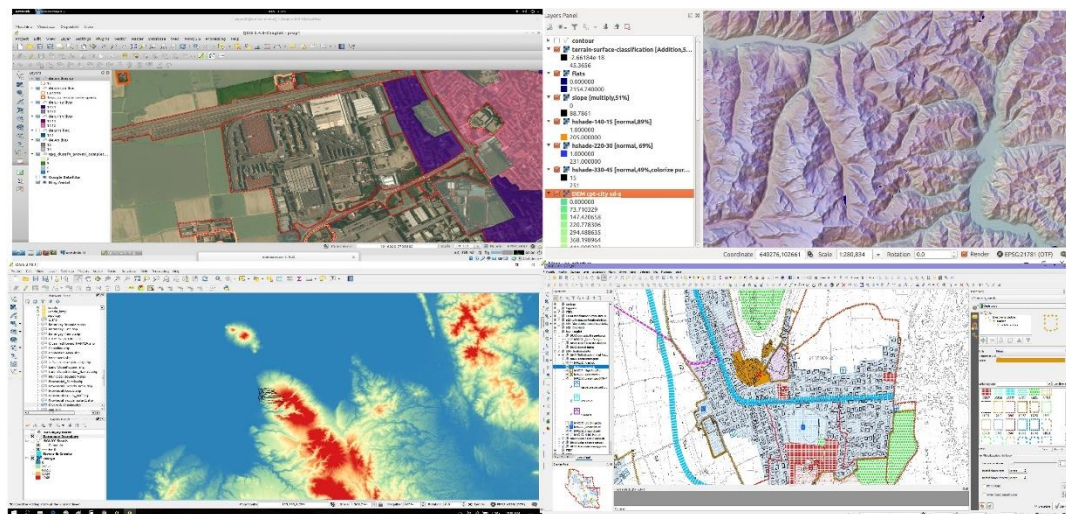
Es una herramienta de procesamiento de datos geográficos que es utilizada en el campo de la geografía orientada a la tecnología informática. Es ampliamente utilizada en los campos de la ingeniería, ciencias naturales y sociales, ya que ofrecen métodos precisos, eficientes y

reproducibles para visualizar datos geográficos. Estos sistemas ayudan a comprender y responder, una amplia gama de problemas en campos como la hidrología, gestión ambiental, planificación de recursos, desarrollo urbano y otros (Novo et al., 2022).

### 3.3.3. Quantum GIS (QGIS)

El software de Quantum GIS es una herramienta que se utiliza para la construcción de un sistema de información geográfico; consta de un conjunto de elementos con los cuales se pueden crear datos, mapas, modelos, aplicaciones y realizar consultas de datos geoespaciales (información geográfica). Además, posee una gran aplicabilidad en distintos campos, ya que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos a través de sus funciones básicas y poder plasmarlos gráficamente en mapas con una ubicación geográfica y especificaciones solicitadas, obteniendo resultados (**figura 3.5**) como usos de suelos, modelos de elevación digital, análisis morfométricos y otros (Observatorios Metropolitanos, 2013; Medina y Gaspari, 2021).

**Figura 3.5:** Ejemplos de ejercicios en el campo de trabajo de QGIS.



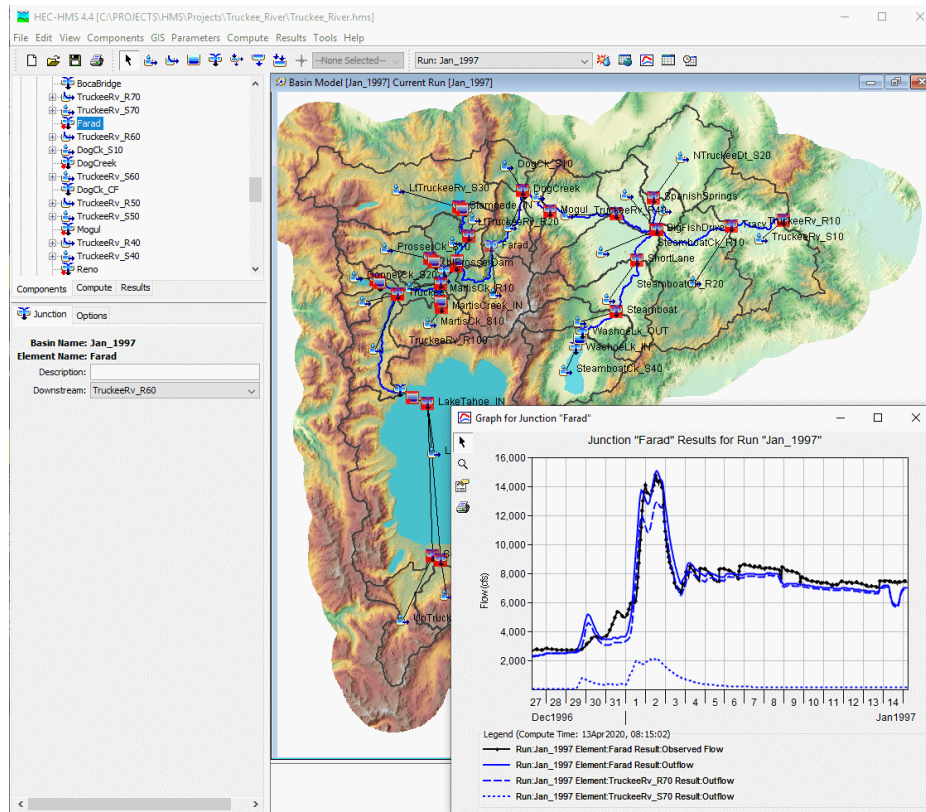
Fuente: QGIS (2024).

### 3.3.4. HEC-HMS

El software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers-USACE), es catalogado de tipo conceptual, usando una base física y empírica, el cual ofrece una representación espacial distribuida a partir de la división de una cuenca en unidades menores. Es utilizado para la modelación hidrológica en cuencas, abarcando procesos fundamentales, tales como: el análisis de

datos meteorológicos y simulación de precipitación-escorrentía (**figura 3.6**). Este programa trabaja bajo cuatro módulos básicos que definen el conjunto de entrada de datos y simulación de la cuenca: Datos de entrada, modelo de cuenca, modelo de precipitación y el módulo de control (Pascual y Díaz, 2016; Elizondo, 2018).

**Figura 3.6:** Modelación de caudales dentro de una cuenca hidrográfica.



Fuente: HEC (2024).

### 3.3.5. Hidrograma Unitario

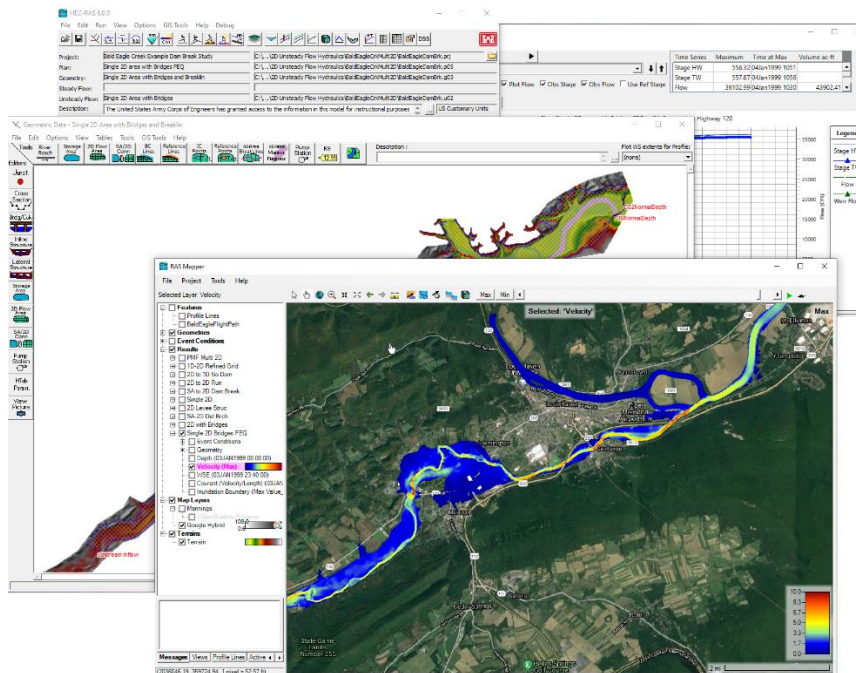
De acuerdo con Villón (2022) el hidrograma unitario de una cuenca hace referencia al hidrograma de escurrimiento directo, causado por una precipitación con altura en exceso, unitaria (mm, cm, pulg, etc.) repartida uniforme u homogéneamente sobre toda la superficie de la cuenca, con intensidad constante, durante un periodo de tiempo específico.

### 3.3.6. HEC-RAS

Es un sistema integrado de software, diseñado para uso interactivo en un entorno de red multitarea y multiusuario. El sistema está compuesto de una interfaz gráfica de usuario,

componentes de análisis hidráulico-separados, capacidades de almacenamiento y gestión de datos, gráficos, e instalaciones de informes (**Figura 3.7**). Está diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales de flujo de agua para una red completa de canales naturales y construidos en un plano horizontal, considerando la topografía del terreno. Además, de simular según diferentes escenarios, variando los datos de precipitación, caudales y condiciones de operación de estructuras hidráulicas (Gary, 1996).

**Figura 3.7:** Interfaz gráfica y componentes de trabajo del software HEC-RAS.



Fuente: HEC (2024).

### 3.3.6. Numero de curva

El número de curva hace referencia a un modelo conceptual de pérdidas de precipitación, con la finalidad de realizar el cálculo de la escorrentía generada por una tormenta. Este modelo fue generado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS). Ha sido utilizado como insumo para modelaciones hidrológicas, gracias a su simplicidad, tanto en uso como en la obtención de datos físicos (López, 2001). Este modelo toma en cuenta las características del suelo en cuanto a su uso y su tipo, lo cual se puede observar en el cuadro del **anexo 3**.

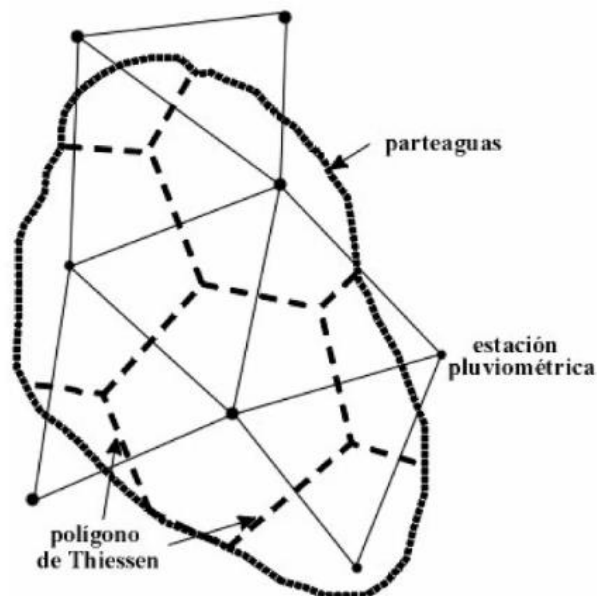
### 3.3.7. Atlas Climatológico de Costa Rica

Como menciona Ortiz (2015), es una base de datos que fue desarrollada para aquellos profesionales con conocimientos en SIG, que requieren hacer análisis espaciales en Costa Rica o generar sus propios mapas temáticos. En ella se pueden encontrar datos geoespaciales de elevación, geología, zonas de vida, ríos, cobertura vegetal de diferentes años, zonas bióticas, sismos, temperatura, precipitación, suelos y red de caminos. Su uso en este proyecto es de relevancia, dada las capas que este facilita, como las provincias, cantones, distritos, cuencas y ríos, con el fin de ser implementadas para la caracterización de la subcuenca.

### 3.3.8. Polígonos de Thiessen

Es considerado uno de los métodos más populares para la obtención de precipitación media sobre un área y conocer la influencia que posee la estación meteorológica sobre la misma. En el caso de la precipitación media, el método consiste en ponderar el valor de precipitación de cada una de las estaciones meteorológicas a utilizar, tomando como referencia el área de influencia (**figura 3.8**). Entre sus desventajas se encuentra que no toma en cuenta la influencia de la topografía en el régimen de precipitación (Sánchez, 2017).

**Figura 3.8:** Ejemplo gráfico de la metodología Polígonos de Thiessen.



Fuente: Villón (2004).

# Estudios de Prefactibilidad

## Capítulo 4.

En este capítulo se desarrollan los puntos pertinentes para el estudio de prefactibilidad del proyecto, siguiendo la metodología propuesta por Sapag et al., (2014). Se realizará un estudio técnico, legal, ambiental, social y económico-financiero para determinar la viabilidad del proyecto.

## Capítulo 4. Estudios de prefactibilidad

El presente capítulo desarrolla los estudios de prefactibilidad necesarios para sustentar la viabilidad técnica, legal, ambiental, social y financiera del proyecto. Estos análisis permiten evaluar, desde una perspectiva integral, las condiciones mínimas requeridas para la ejecución del estudio en la subcuenca del río Diríá.

Cada una de las prefactibilidades aporta elementos fundamentales para determinar si el proyecto puede desarrollarse de manera adecuada tomando en cuenta lo estipulado en el marco normativo vigente del país, con los recursos disponibles y bajo criterios de sostenibilidad ambiental y aceptación social. Asimismo, estos estudios ofrecen una base objetiva para la toma de decisiones institucionales y para garantizar que las acciones planteadas respondan a las necesidades reales de la comunidad y del gobierno local.

### 4.1. Estudio de prefactibilidad técnico

El desarrollo de este apartado considera los insumos técnicos necesarios para la realización del proyecto, esto incluye la cuantificación de recursos, tales como: mano de obra, materiales, servicios básicos, equipo tecnológico, programas computacionales, entre otros. Además, se evaluarán los costos de operación del proyecto.

Lo anterior se realiza con el objetivo de generar información para la toma de decisiones informadas, relacionadas con la ejecución del proyecto en temáticas asociadas a la rentabilidad financiera. Para ello, se dispone el **cuadro 4.1**, **cuadro 4.2** y **cuadro 4.3**, donde se detallan los recursos necesarios para ejecutar esta investigación.

**Cuadro 4.1:** Requerimientos técnicos para el análisis hidrológico del proyecto.

Insumo	Cantidad
Datos meteorológicos (IMN)	28
Datos meteorológicos (AyA)	576
Capas de curvas de nivel IGN 1:25K (Sistema Nacional de Información Territorial [SNIT])	1
Atlas Digital de Costa Rica	1

Fuente: Elaboración propia (2024).

**Cuadro 4.2:** Equipo tecnológico, programas computacionales y aplicaciones requeridas para el desarrollo del proyecto.

<b>Insumo</b>	<b>Cantidad</b>
Computadora	2
QGIS	2
ArcGIS	2
HEC - RAS	2
HEC - HMS	2
GPS	2
Microsoft Excel	2

Fuente: Elaboración propia (2024).

**Cuadro 4.3:** Otros insumos necesarios para el desarrollo del proyecto.

<b>Insumo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Servicio de electricidad	10	Mes
Servicio de agua potable	10	Mes
Servicio de cable e internet	10	Mes
Servicio telefónico	10	Mes
Giras (Transporte y alimentación)	12	-
Asesoramiento externo Universidad Nacional, Costa Rica	4	Hora/mes
Asesoramiento externo Municipalidad de Santa Cruz	6	Hora/mes
Ingeniero Hidrológico	2	Persona

Fuente: Elaboración propia (2024).

#### **4.2. Estudio de prefactibilidad financiero**

Este apartado tiene como propósito ordenar y sistematizar las implicaciones económicas que se proporcionaron en etapas anteriores, la cual abarca el estudio de prefactibilidad técnica de este proyecto para determinar su rentabilidad (Sapag et al., 2014). También, indicar la respectiva contribución que realiza cada una de las partes involucradas en el proyecto.

En cuanto a los costos directos contemplados, se asocian al equipo computacional, datos meteorológicos, estudio topográfico, paquete office y los softwares QGIS, HEC-HMS y HEC-

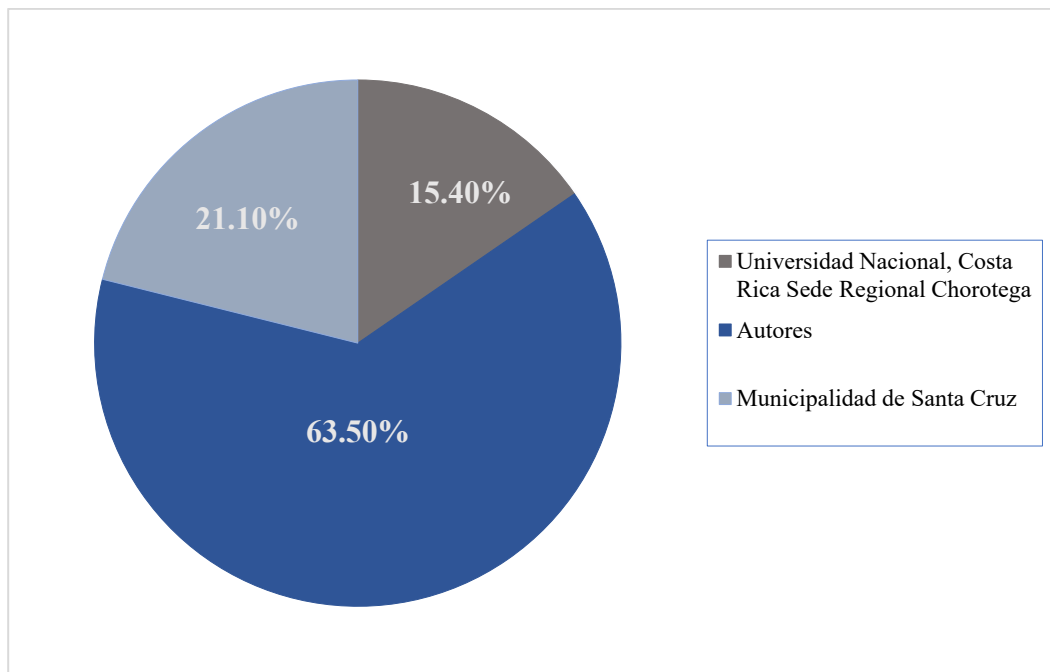
RAS. Además, el costo de los honorarios por los servicios brindados como ingenieros para la ejecución de este proyecto y el asesoramiento externo de dos profesionales, para fortalecer la toma de decisiones dentro del proceso investigativo. Los costos directos estimados para este estudio alcanzan un valor de ₡6 426 438.

Por otra parte, los costos indirectos están asociados a los servicios de electricidad, agua potable, cable e internet, servicio telefónico y la póliza estudiantil. Además, los costos indirectos asociados a las giras, donde se contemplan los costos de transporte, alimentación, visitas de campo, equipo de protección personal y el kit de primeros auxilios. Obteniendo como monto total de costos indirectos de ₡1 023 650.

Por último, se consideran otros costos asociados a imprevistos, que corresponden a un 5% del costo total, y el impuesto sobre el valor agregado (IVA) de un 13%, lo cual suma un total de ₡8 791 104.

Estos costos están distribuidos en las personas e instituciones involucradas en el desarrollo de la investigación, entre ellos se encuentra el aporte de los estudiantes, la Municipalidad de Santa Cruz y la Universidad Nacional, Costa Rica. La distribución de costos se visualiza en la **figura 4.1**.

**Figura 4.1:** Distribución de financiamiento del proyecto.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Con base en la **figura 4.1**, los aportes realizados por Municipalidad de Santa Cruz, la Universidad Nacional, Costa Rica, y los autores, permiten que los costos asociados al desarrollo del presente estudio sean cubiertos. Por lo tanto, este proyecto cuenta con el financiamiento requerido para su cumplimiento.

### 4.3. Estudio de prefactibilidad legal

En este apartado se pretenden mostrar las disposiciones legales vigentes en Costa Rica que sustentan la puesta en marcha de esta investigación. Para ello, se dispone del **cuadro 4.4** donde se integra el marco legal relacionada con la evaluación de zonas de inundación, con la finalidad de constatar la viabilidad legal con la que cuenta el presente estudio.

**Cuadro 4.4:** Matriz de gobernanza legal correspondiente al proyecto.

Marco Legal	Descripción con relación al proyecto
<b>Constitución Política de Costa Rica (1949)</b>	<b>Artículo 50:</b> Indica que toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Por lo tanto, identificar zonas vulnerables a inundaciones mejora la planificación de asentamientos humanos para evitar su disposición en las llanuras de inundación que posee la subcuenca.
<b>Ley de planificación Urbana N°4240 (1968)</b>	<b>Artículo 25:</b> En este artículo se consideran las zonas especiales dentro del Reglamento de Zonificación, que divide las zonas urbanas. En la categoría de zonas especiales, se indican las áreas demarcadas como inundables y peligrosas para el desarrollo urbano. Con los resultados de esta investigación, se pretenden identificar zonas inundables, lo que favorecerá la planificación de asentamientos urbanos de la zona en estudio.
<b>Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N°8488 (2005)</b>	<b>Artículo 5:</b> En este artículo se indica que la gestión del riesgo es un eje transversal de la labor del Estado Costarricense; para ello, la gestión del riesgo articula los instrumentos, programas y recursos públicos en acciones ordinarias y extraordinarias, institucionales y sectoriales, orientadas a evitar la ocurrencia de los desastres y la atención de las emergencias en todas sus fases.
<b>Ley Orgánica del Ambiente N°7554 (1995)</b>	<b>Artículo 15:</b> El Estado y sus instituciones promoverán permanentemente la realización de estudios e investigaciones sobre el ambiente.  <b>Artículo 30:</b> En este artículo se establecen criterios para el ordenamiento territorial, tales como: características de los ecosistemas, la capacidad de uso de suelo, el equilibrio que debe existir entre asentamientos humanos y sus condiciones ambientales.  Lo anterior se relaciona con las variaciones que puede experimentar el comportamiento hidrológico de una cuenca hidrográfica, por la modificación del uso del suelo, cauces erosionados, variación en la dinámica de la escorrentía, etc. Construyendo escenarios para las inundaciones.
<b>Ley Forestal N°7575 (1996)</b>	<b>Artículo 33:</b> Establece las áreas de protección en zonas urbanas y rurales de cauces naturales, considerando a su vez aspectos topográficos como terrenos planos o quebrados. Esto permite el desarrollo de proyectos donde sea posible identificar zonas

---

	de inundación dentro de una cuenca, ya que la ocupación de las áreas de protección incrementa el riesgo de las comunidades.
<b>Ley de Creación del Instituto Meteorológico Nacional N°5222 (1973)</b>	<b>Artículo 3:</b> El IMN actúa como organismo técnico especializado encargado de brindar servicio meteorológico a Costa Rica mediante el estudio, análisis y correlación de los distintos estados del tiempo. Esta institución posee gran relevancia en la ejecución del proyecto, ya que forma parte del sistema de estaciones meteorológicas que monitorea las variables climáticas de la zona de estudio.
<b>Resolución N° 1462 – 2018 – SETENA</b>	<b>Artículo 5:</b> En este artículo se indican las actividades, obras o proyectos que no requieren una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). En el punto 12 se incluyen “Estudios o actividades necesarias para obtener información en la elaboración de herramientas o instrumentos de evaluación de impacto ambiental” (Secretaría Técnica Nacional Ambiental [SETENA], 2018, p.8). Por lo tanto, un proyecto como el que se pretende realizar no requiere una EIA.

---

Fuente: Elaboración propia (2024).

Relacionado con el marco legal expuesto en el **cuadro 4. 4** que involucra la ejecución del presente estudio, se logra evidenciar que no existe regulaciones legales que impidan su desarrollo, sino que existen normativas que impulsan y fortalecen su implementación. Por ende, el estudio cumple con los requerimientos de viabilidad legal.

#### **4.3. Estudio de prefactibilidad ambiental**

El estudio ambiental se desarrolla con el objetivo de analizar, construir y validar la viabilidad ambiental del proyecto en su fase de planificación; a su vez, brinda información que garantice la protección del ambiente, alineado al desarrollo sostenible, ya que para justificar el progreso que representaría la ejecución del proyecto, este debe ir de la mano con la conservación ambiental (Corzo y Chirinos, 2019).

En Costa Rica, se realizan estudios de EIA para la ejecución de proyectos para diversos fines mediante SETENA, siempre y cuando estén incluidos en el listado de actividades de los anexos 1 del Reglamento sobre Procedimientos de la Evaluación de Impacto Ambiental o que la SETENA lo determine, con el fin de indicar las posibles afectaciones al medio ambiente que ocasionaría la aprobación de proyectos en el territorio nacional (Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental N° 43898, 2022).

En la Resolución N° 1462-2018-SETENA, expuesta por MINAE y SETENA (2018), en el artículo 5, se mencionan las actividades que no requieren permisos o estudios de impacto ambiental. Dentro de estas se encuentran los estudios o actividades consideradas necesarias para

obtener información en la elaboración de herramientas o instrumentos de evaluación de impacto ambiental, atributos en los cuales se sitúa el presente estudio.

Además, en el Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental N° 43898 (2022), se indica que las actividades que se localizan en el anexo 2 de dicho reglamento no requieren EIA por su bajo impacto ambiental, ya que son actividades o proyectos que no sobrepasan los umbrales establecidos en áreas de construcción, movimiento de terreno, ubicación fuera de zonas ambientalmente frágiles, etc., acciones que no se contemplan para el cumplimiento de este estudio.

Por lo tanto, las actividades requeridas para el desarrollo de este proyecto no necesitan un estudio de EIA, ya que los fines de este difieren de los criterios emitidos por la SETENA para llevar a cabo un EIA, constatando que este estudio cuenta con la viabilidad ambiental.

#### **4.5. Estudio de prefactibilidad social y económico**

A continuación, se mostrará el estudio de prefactibilidad social y económica desarrollado para la ejecución del presente estudio.

##### **4.5.1. Estudio Social**

En este apartado se realiza la respectiva evaluación en aspectos sociales referentes a la ejecución del presente proyecto. Para ello, en el **cuadro 4.5** se identifican los actores sociales vinculados directa e indirectamente por múltiples circunstancias en la realización de las actividades relacionadas con la temática de eventos de inundaciones en la subcuenca del río Diríá.

**Cuadro 4.5:** Actores sociales vinculados.

<b>Actores sociales</b>	<b>Vinculación con el proyecto</b>
Municipalidad de Santa Cruz	Directa
Comité Municipal de Emergencias de Santa Cruz	Directa
Comunidad local El Guabo	Directa
Universidad Nacional, Costa Rica – Sede Regional Chorotega	Directa
Comisión Nacional de Emergencias	Indirecta

Fuente: Elaboración propia (2024).

Entre los aspectos que aportan a la factibilidad social se encuentran los beneficios directos que tiene el actor social de la Municipalidad de Santa Cruz y la Universidad Nacional, ya que la ejecución de un proyecto de este tipo contribuye en los diagnósticos locales en la cuenca del río Diríá por parte de la Municipalidad de Santa Cruz, y la Universidad Nacional, en la participación académica en la generación de información base estandarizada para la toma de decisiones, lo cual contribuye al cumplimiento de las acciones estratégicas emitidas por la CNE (2023) en su estrategia de manejo de inundaciones.

Además, un estudio especializado en hidrología e hidráulica que permita modelar el comportamiento de la subcuenca del río Diríá, en el tramo de la comunidad El Guabo, ante eventos de inundación, tiene entre sus productos, localizar zonas con potencial riesgo de inundación. Esto permite una planificación anticipada de eventos de inundación, inversión asertiva en infraestructura destinada a mitigar los impactos de inundación en la comunidad, desarrollo de programas para el Manejo Integrado de la subcuenca, identificación de las zonas de protección del río que han sido invadidas y la planificación estratégica, para reforestar zonas vulnerables a la erosión.

A partir de lo anterior, los efectos directos e indirectos de conocer la dinámica que presentan las inundaciones en el sitio de estudio favorecen en el desarrollo de información necesaria tanto para los habitantes de la comunidad El Guabo y al Comité Municipal de Emergencias Santa Cruz.

Por otro lado, el CNE (2006), en conjunto con otras entidades nacionales han realizado esfuerzos por elaborar material cartográfico con información asociada a amenazas y peligros naturales, donde evalúan la vulnerabilidad de sitios ante eventos como las inundaciones. El cantón de Santa Cruz posee un mapa de este tipo a una escala 1:50 000, esta entidad aclara que es un producto preliminar, no exhaustivo que representa una aproximación al inventario asociado a estas problemáticas.

Además, indica que este material no debe ser sustituto de material técnico especializado como el que se pretende realizar en este estudio. Esto quiere decir que, el desarrollo de este tipo de proyectos es permite evaluar zonas a un nivel mayor de detalle y podría ser utilizado por una entidad como la CNE de insumo ante la toma de decisiones que abordan en la zona de la subcuenca del río Diríá.

#### 4.5.2. Estudio Económico

El estudio de prefactibilidad económica permite visualizar un factor elemental desde el punto de vista social, que implica los costos ahorrados tanto para los habitantes de la comunidad El Guabo, por pérdidas materiales en sus hogares, como las instituciones públicas encargadas de atender emergencias de inundación, en gastos administrativos, operacionales y de reconstrucción. Esto genera información que permite visualizar el impacto positivo que tendría la realización de este proyecto bajo un enfoque de reducción de las pérdidas económicas que representan las inundaciones.

Para lograr identificar los costos asociados a los eventos de inundaciones que se analizan en el presente estudio, se plantean las siguientes interrogantes: i) ¿Cuál es el costo social evitado por la comunidad de El Guabo en caso de que ocurra una inundación? ii) ¿Cuánto invierten las instituciones en remediar los efectos producidos por las inundaciones en la zona? Para responder la primera interrogante se realizará una encuesta dirigida a los habitantes de la comunidad El Guabo; dicho instrumento se encuentra en el **anexo 1**. Los resultados de la aplicación del instrumento se presentan en el **cuadro 4.6**.

**Cuadro 4.6:** Costos estimados para cubrir gastos de inundaciones en la comunidad El Guabo.

Personas encuestadas	Consecuencias asociadas a los eventos de inundación	Estimación total de pérdidas económicas
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daño de electrodomésticos (refrigeradora, cocina y lavadora).</li> <li>• Afectación parcial de la vivienda (pintura, puertas, ventanas, techos, etc.).</li> <li>• Pérdida de menaje (sillones, mesa de comedor, sillas y muebles).</li> <li>• Pérdida de ropa.</li> <li>• Acumulación de basura y desechos sólidos dentro de la vivienda.</li> <li>• Pérdida de alimentos.</li> <li>• Heridas y/o lesiones en el cuerpo (daños en los pies por exponerse a mucha humedad y aguas contaminadas).</li> <li>• Dificultades en el acceso al agua potable y electricidad.</li> <li>• Pérdida de materiales de trabajo (taller de aire acondicionado doméstico)</li> <li>• Daño al sistema eléctrico de la vivienda.</li> <li>• Deterioro de productos comerciales (como la madera de un aserradero ubicado en la comunidad).</li> <li>• Daño en las tapias de las viviendas.</li> <li>• Afectación al motor de vehículo.</li> </ul>	<p>₡ 2 575 000</p>

Fuente: Elaboración propia (2024).

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de la encuesta permiten realizar una valoración general aproximada de los costos económicos que la comunidad debe afrontar al momento de ser afectados por una inundación. Para ello, se identificaron 25 casas potencialmente vulnerables por su cercanía al margen del río, sus condiciones topográficas y los antecedentes de inundaciones en las que se han visto afectadas. Por lo tanto, se estima, con base en el monto total (**cuadro 4.6**), un gasto de ¢ 2 575 000 por casa de habitación, que, al dimensionarlo a las 25 casas, representa un gasto económico de ¢ 64 375 000 por cada evento de inundación en la comunidad.

Para responder al segundo cuestionamiento, se realizaron consultas acerca de la inversión que realiza la Municipalidad de Santa Cruz desde el Comité Municipal de Emergencias para la atención de emergencias relacionadas con temas de inundación. Sin embargo, no tienen un monto establecido para tal atención, ya que desde la CNE se aprueba el monto solicitado por la municipalidad establecido en su plan de inversión. No obstante, el Comité Municipal de Emergencias no dispone de información que indique montos asociados a la remediación de efectos producidos por inundaciones, porque la atención a las emergencias se da una vez que estas se presenta la emergencia, activando los protocolos correspondientes en la habilitación de albergues, transporte, alimentación, etc. Estos costos que varían de acuerdo con la cantidad de familias afectadas y la cantidad de días que dure la emergencia.

Para lograr estimar un valor asociado a la atención de emergencias por inundaciones, se indagaron emergencias a nivel nacional que hayan sido registradas, junto a los costos asociados a su atención o mitigación. Para ello, se dispone del **cuadro 4. 7**, donde se muestra la inversión en beneficios de emergencia por parte del Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS), en una publicación emitida el 3 de agosto del 2021, para la atención de las familias afectadas por fenómenos naturales, entre ellos inundaciones, las cuales son acciones que se hacen con el fin de subsanar asuntos como la alimentación, vestido, artículos del hogar, etc.

**Cuadro 4.7:** Inversión del beneficio de emergencias por parte del IMAS.

Sitios involucrados	Número de familias atendidas	Inversión
Sarapiquí	149	₡ 54 700 000
Huetar Norte	267	₡ 93 200 000
Huetar Caribe	180	₡ 47 000 000
Cartago	35	₡ 14 000 000
	<b>Total</b>	₡ 208 900 000

Fuente: Elaboración propia, a partir de IMAS (2021)

Es preciso mencionar que los datos mencionados anteriormente forman parte del segundo semestre del 2021, ya que para el primer semestre de ese año el IMAS dio cobertura a 11 466 personas bajo el rubro de beneficio de emergencia, con una ejecución presupuestaria de ₡ 806 763 044.00.

Además, Pomareda (2023) expone las respuestas emitidas el geógrafo e investigador de la UCR, Adolfo Quesada Ramón, en el periódico “Seminario Universidad”, destacando la cifra de dinero que el país invierte cada año para reconstruir y rehabilitar infraestructura dañada por desastres, valores que rondan los ₡ 718 480 000.00. Los datos se obtuvieron de los reportes de impactos económicos de la CNE y de lo integrado por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) por sector económico.

Adolfo Quesada Ramón indica la importancia de construir un enfoque preventivo, antes que el reactivo, donde se actúa sobre la emergencia sin una prevención anticipativa. Concluyendo que construir un enfoque de gestión de riesgo preventivo a nivel país, permitiría reducir costos por la atención de emergencias, los cuales pueden ser utilizados en otras áreas como salud, educación, vivienda, infraestructura, etc., o bien, invertirse en acciones de mitigación que protejan al país frente a estos gastos futuros ocasionados por desastres naturales.

De acuerdo con la información propuesta en la prefactibilidad social y económica, se puede concluir que el presente proyecto cumple con lo requerido para ser factible para el sector social al que involucra y también factible económicamente, porque contempla una visión anticipativa para la mitigación de emergencias ocasionadas por inundaciones dentro del cantón. Esto, de una forma u otra, permite reducir los costos económicos que representa para la comunidad atender estos

eventos, así como para la Municipalidad de Santa Cruz e instituciones gubernamentales asociadas a la atención de emergencias ocasionadas por desastres naturales.

# Metodología

## Capítulo 5.

En este capítulo, se describen las estrategias y métodos aplicados para alcanzar los objetivos del proyecto. Se consideran aspectos como el tipo y el enfoque de la investigación, las variables relacionadas con la caracterización física de la subcuenca, la modelación hidrológica e hidráulica, así como el análisis de las zonas vulnerables a inundaciones en el área de estudio.

## **Capítulo 5. Metodología**

### **5.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación que se realizará en este proyecto corresponde a una investigación aplicada, la cual se caracteriza por hacer uso inmediato del conocimiento existente (Vargas, 2009). También, por aplicar o utilizar conocimientos adquiridos a problemas concretos, en circunstancias y características específicas (Behar, 2008). Además, este tipo de investigación se distingue por la manera de analizar la realidad social y sus descubrimientos se aplican en la creación, desarrollo o mejora de estrategias y actuaciones concretas de acción social (Cívicos y Hernández, 2007).

Lo anterior se relaciona con los objetivos planteados para la ejecución de este estudio, ya que permite utilizar los conocimientos adquiridos en temas relacionados con la parte técnica, manejo de programas computacionales para modelar las condiciones hidrológicas e hidráulicas, registros de eventos de inundaciones y variables meteorológicas, con el fin de desarrollar estrategias que permitan mitigar las afectaciones ocasionadas por las inundaciones en el sitio de estudio del proyecto.

Por otra parte, el enfoque de la investigación es mixto, ya que considera componentes cualitativos y cuantitativos, los cuales permiten que "... el investigador pueda acercarse a su objeto de estudio y obtener el conocimiento requerido de la realidad social según sus necesidades y expectativas... (Del Canto y Silva, 2013, p. 26)". El primero se abarcó en el capítulo IV en la prefactibilidad social, la cual permitió un acercamiento hacia la población localizada en el sector de estudio con el fin de conocer las experiencias que han tenido ante fenómenos de inundación, las afectaciones que implicaron estar expuestos a este tipo de eventos y su percepción acerca del desarrollo de este proyecto. En cuanto al componente cuantitativo, abarca las variables expuestas en el capítulo III, requeridas para desarrollar el estudio hidrológico e hidráulico.

### **5.2. Población y muestra del estudio**

A continuación, se describen los detalles referentes a la población y muestra de la comunidad El Guabo ubicada en la margen del río Diríá, Santa Cruz, Guanacaste.

### 5.2.1 Población

Con respecto a la población se seleccionó la zona de El Guabo donde el número de habitantes es de aproximadamente 280 personas, las cuales habitan en las zonas aledañas a la ribera del río Diríá, donde hay 94 viviendas que se encuentran en el área de estudio.

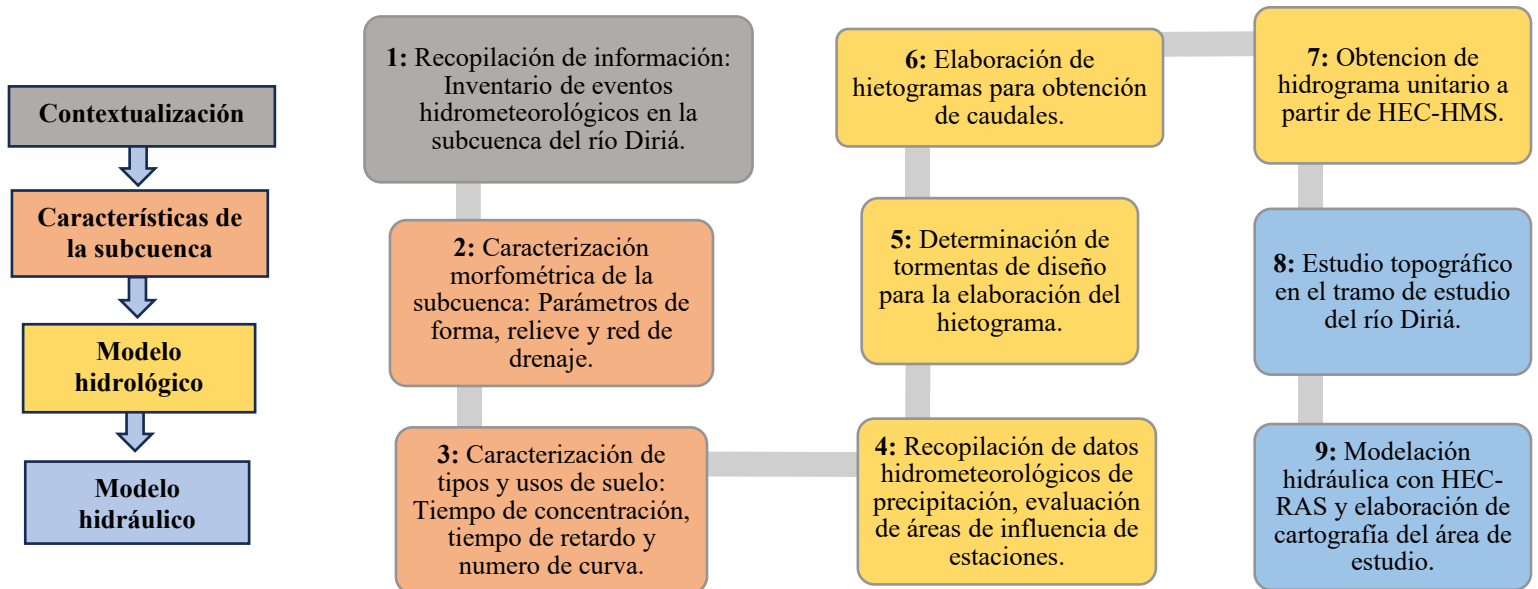
### 5.2.2. Muestra

Para la realización de la selección de la muestra del estudio, se utilizará la metodología aplicada por López y Carmen (2022), en la cual se considera un muestreo de tipo no probabilístico, ya que se realizará el estudio en la margen derecha, por ser la más propensa a verse afectada por eventos de inundaciones. Además, se aplicará un muestreo por conveniencia, en el que se seleccionan la vivienda que, a criterio de los investigadores, tengan una mayor vulnerabilidad ante este tipo de eventos.

### 5.3. Métodos y herramientas seleccionados

La propuesta metodológica para llevar a cabo este proyecto está compuesta por 9 etapas las cuales se indican en la **figura 5.1**, las cuales están basados en las actividades principales que se requieren para cumplir con los objetivos descritos en el capítulo I, y que contribuyen directamente a la ejecución del proyecto.

**Figura 5.1:** Diagrama de flujo de la metodología del proyecto.



Fuente: Elaboración propia (2024).

#### **5.4. Descripción general de la metodología propuesta**

En esta sección se describen cada una de las implicaciones que representan el desarrollo de cada una de las etapas descritas en la **figura 5.1** y su vinculación con cada uno de los objetivos específicos propuestos para el desarrollo de la presente investigación. Por lo tanto, esta sección se divide en los cuatro ejes principales descritos en los objetivos: recopilación de datos, caracterización física de la subcuenca, modelación hidrológica e hidráulica, y la elaboración de material cartográfico de las zonas con potencial de inundación.

##### **5.4.1. Recopilación de datos**

Inicialmente se realizará un inventario de los eventos de inundaciones puntuales que han impactado la subcuenca del río Diríá, considerando hacer uso de la información disponible que pueda brindar directamente la CNE. Además, se realizarán búsquedas complementarias en sitios web de medios informativos y publicaciones en redes sociales, que logren demostrar los hechos de las inundaciones que ha experimentado el área de estudio (zonas afectadas, fenómenos meteorológicos, fechas de incidencia, etc.) con la finalidad de ubicar cronológicamente los eventos que causaron mayores afectaciones en el cantón de Santa Cruz que impliquen al río Diríá.

Seguidamente se identificarán las estaciones hidrometeorológicas que se encuentran dentro y alrededor de la subcuenca del río Diríá (**Cuadro 5. 1**). A partir de ello, se realizará el estudio de las zonas de influencia que posee cada una de ellas en la subcuenca y se verificará la disponibilidad de datos en las estaciones que presenten mayor influencia, con el fin de realizar una solicitud formal a cada ente operador para utilizar los datos hidrometeorológicos disponibles, específicamente datos de precipitación de 24 horas. Además, se debe de procurar que la serie de datos a solicitada incluya eventos presentes en el inventario de inundaciones con un periodo de 20 a 30 años de información.

**Cuadro 5. 1:** Estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca del río Diríá.

Numero	Estación	Longitud (CRTM05)	Latitud (CRTM05)	Altitud m.s.n.m	Institución
74018	Cartagena	352298	1148619	63	SENARA
74203	San Francisco de Asís	309192	1135988	-	SENARA
74200	Playa Potrero	308313	1155647	-	SENARA
72169	Matapalo	302185	1145633	-	SENARA
74017	Talolinga	337536	1142988	10	SENARA
74005	Puerto Humo	352136	1141448	10	SENARA
74003	Santa Cruz	326911	1136031	54	IMN
72118	Florida	308211	1122850	40	SENARA
74006	La Guinea	339041	1152569	40	IMN
72122	Santa Rosa (Santa Cruz)	305026	1141678	25	SENARA
72149	Hacienda Pinilla	298657	1135084	29	IMN
180102	Quiriman	335579	1119227	221	AyA
74053	UCR Santa Cruz	325641	1137758	41	IMN

Fuente: Elaboración propia (2024).

Los datos de precipitación se analizaron a partir del método de polígonos de Thiessen, con el fin de identificar cuál es el área de influencia de cada una de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro y cerca de la subcuenca en estudio. Disponer de este tipo de información servirá de insumo para el estudio hidrológico del río Diríá, el cuál es necesarios para la ejecución del modelo hidráulico a partir del programa HEC-RAS.

#### **5.4.2. Caracterización física de la subcuenca**

En esta sección se describen los procedimientos a ejecutar para la caracterización de la subcuenca del río Diríá, para ello se describen los apartados de: delimitación de la subcuenca, caracterización morfométrica, uso de suelo, tipo y grupo hidrológico de suelo, y la topografía en la sección del cauce de la zona de estudio.

##### **a) Delimitación de la subcuenca**

Para delimitar la zona en estudio se realizará mediante el software QGIS, utilizando la información disponible en el SNIT, Atlas Digital de Costa Rica y el complemento “Quick Map Services”, los cuales permitirán obtener los recursos descritos en el **cuadro 5.2**, los cuales se aprovecharán para ser procesados mediante QGIS para observar los límites del área de la subcuenca y generar un polígono representativo de ella.

**Cuadro 5.2:** Información requerida para la delimitación de la subcuenca del río Diríá.

Fuentes de información	Recursos	Resultado del procesamiento en QGIS
SNIT	Curvas de nivel 1: 25 000. Drenajes y cauces 1: 25 000.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mejorar la calidad de imágenes satelitales.</li> <li>✓ Modelos de Elevación Digital.</li> <li>✓ Ubicación del río Diríá, unidad hidrológica a la que pertenece y sus afluentes.</li> <li>✓ Delimitar la subcuenca</li> </ul>
Atlas digital de Costa Rica	Delimitación de provincias, cantones y distritos de Costa Rica. Delimitación de las cuencas hidrográficas del país.	
Quick Map Services	Imágenes satelitales de la zona de estudio.	

Fuente: Elaboración propia (2024).

### b) Caracterización Morfométrica

Para la caracterización morfométrica de la subcuenca del río Diríá, se tomarán en cuenta las variables de forma, relieve y red de drenaje. Estas se describen detalladamente en el **cuadro 5.3**, y se indica cuál es el software o la ecuación que se utilizará para el respectivo cálculo de cada una de las variables.

**Cuadro 5.3:** Descripción de las variables morfométricas y las fórmulas o herramientas utilizadas para cada cálculo.

Tipo	Variable	Fórmula o herramienta
<b>Forma</b>	Área	Calculadora de QGIS
	Perímetro	Calculadora de QGIS
	Índice de compacidad	Fórmula 3.1
	Factor forma	Fórmula 3.2
<b>Relieve</b>	Altitud	Modelo de elevación digital a partir de QGIS
	Pendiente media del cauce principal	Fórmula 3.3
<b>Red de drenaje</b>	Longitud del cauce principal	Calculadora de QGIS
	Densidad de drenaje	Fórmula 3.4
	Tiempo de concentración	Fórmula 3.6

Fuente: Elaboración propia (2024).

### **c) Uso de suelo**

Se realizará una identificación de los usos de suelo que predominan en la actualidad en la subcuenca del río Diríá, mediante herramientas de geoprocursos disponibles en QGIS e imágenes satelitales disponibles en el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) correspondientes al satélite Landsat 8. Con el fin de generar polígonos dentro de la subcuenca que representen las áreas según el uso de suelo, se utilizará la categorización indicada en el **anexo 2** relacionada con la metodología del número de curva SCS.

Se utilizarán imágenes satelitales provenientes de Google Satélite, las cuales se procesarán con la herramienta “convertir mapa a capa ráster” para mejorar la resolución a un metro por cada píxel y lograr identificar los diferentes usos de suelo que se desarrollan dentro de la subcuenca en la actualidad.

### **d) Tipo y grupo hidrológico de suelo**

Para identificar los tipos de suelo que predominan en la subcuenca del río Diríá, se utilizará como referencia el estudio realizado por Bogantes et al. (2002), el cual llevó a cabo una zonificación geotécnica a nivel nacional, indicando los diferentes tipos de suelo y sus características geotécnicas representadas en capas de SIG. Esto permite que sean utilizadas en QGIS y, de esta forma, visualizar el área de interés, obteniendo el tipo de suelo en el que se localiza la subcuenca, junto a sus respectivos nombres y características.

Una vez que se defina los tipos de suelo, será posible determinar el grupo hidrológico al que pertenece, para ello Villón (2022) realiza una descripción de características de los siguientes grupos hidrológicos de suelo, estos se muestran en el **anexo 3**.

### **e) Topografía de la sección del cauce en estudio**

Se realizará un MED general del cauce del río que abarca gran parte de la zona media y baja de la subcuenca. Para ello se utilizarán como recurso principal las curvas de nivel a una escala 1:10 000 proporcionadas por el SNIT, con el fin de brindar una perspectiva general del modelo hidráulico del río. Además, se utilizarán puntos de calibración, tomando como referencia las hojas cartográficas 1:50 000, donde se indican puntos de altitud distribuidos en la zona de Santa Cruz.

### 5.4.3. Modelación hidrológica e hidráulica

En este apartado se detallan los componentes necesarios para la ejecución de los programas computacionales HEC-HMS y HEC-RAS, con el fin de generar la modelación hidrológica e hidráulica del área en estudio.

#### a) HEC – HMS

A partir del software HEC-HMS se pretende realizar un procesamiento de los datos de precipitación obtenidos para la cuenca en estudio, a partir de las estaciones meteorológicas. Se pretende evaluar la transformación de la lluvia en escorrentía superficial drenada en el cauce del río mediante los hidrogramas de salida que ofrece el software, teniendo como resultados la variabilidad que presentan los caudales durante el tiempo en una simulación de eventos de precipitaciones. Esto permite obtener caudales máximos y su respectivo tiempo de aparición durante el evento. Entre los parámetros necesarios para el desarrollo de este modelo están el número de curva, tiempo de concentración, el tiempo de retardo, las precipitaciones dentro de la subcuenca y la generación de hietogramas para la modelación de eventos de precipitación, teniendo como resultado los hidrogramas representativos del área de estudio.

- *Número de curva*

Se utiliza la metodología propuesta por el SCS, donde se considera la cobertura y usos de suelo existentes en la subcuenca de estudio, tomando en cuenta áreas con y sin cultivo, bosques, caminos y otros. Estas se clasifican según su tipo y grupo hidrológico, descritos en el **anexo 2**, los cuales están relacionados suelos como arenas o gravas (grupo A), arenas limosas (grupo B), arenas arcillosas (grupo C) y arcillas o superficie rocosas (grupo D). A partir de ello, se establece un valor entre 0 y 100, de acuerdo los porcentajes de uso de suelo y el tipo según al grupo hidrológico al que pertenece, el cual se encuentra en el **anexo 3**. Dicho valor es necesario para ser utilizado como dato de entrada en el software.

- *Tiempo de concentración y tiempo de retardo*

Para determinar el valor de tiempo de concentración se aplicará la **fórmula 3.5** descrita en el capítulo III, la cual corresponde al método de Kirpich. Para aplicar dicha fórmula se requiere conocer características importantes de la zona en estudio, tales como la longitud del cauce principal

y pendiente media del cauce; ambas variables se obtienen mediante las herramientas disponibles en el software QGIS. Al aplicar la fórmula, se obtiene el tiempo de concentración de la subcuenca en minutos. Además, el tiempo de retardo (Lag time) es una variable que se obtiene al multiplicar el tiempo de concentración por 0.6, dicho parámetro forma parte de los valores importantes para la utilización de HEC – HMS.

- ***Polígonos de Thiessen***

La metodología de polígonos de Thiessen consiste en subdividir el área de la subcuenca en polígonos, de tal forma que cada uno de ellos representen el área de influencia de cada una de las estaciones meteorológicas determinadas para el estudio. La influencia de las estaciones al área de estudio se determinará a partir de la porción que represente el área del polígono generado con respecto al área total del sitio de estudio.

Los polígonos de Thiessen se obtendrán mediante el software QGIS, utilizando la herramienta “Polígonos de Voronoi”, y los valores de las áreas de cada polígono se obtendrán utilizando la calculadora de campos del mismo software. Una vez que ya se hayan obtenido las áreas de los polígonos, será posible determinar valores de precipitación media en la subcuenca en estudio, de acuerdo con lo propuesto por Villón (2022) en la **fórmula 5. 1**.

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i \quad \text{Fórmula 5. 1}$$

Dónde

$P_{med}$  = Precipitación media.

$A_T$  = Área total de la cuenca.

$A_i$  = Área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación  $i$ .

$P_i$  = Precipitación de la estación  $i$ .

$n$  = Número de estaciones tomadas en cuenta.

- ***Hietograma***

Ante la elaboración del hietograma lo que se pretende es identificar eventos hidrometeorológicos importantes desarrollados en la subcuenca del río Dirιά, donde se hayan desencadenado inundaciones. A partir de ello se solicitan los datos a las estaciones meteorológicas de los eventos con fechas exactas para obtener la precipitación distribuida en 24 horas. A partir de ello se utilizará Microsoft Excel para la elaboración del respectivo gráfico de la precipitación en milímetros con respecto al tiempo en minutos.

- ***Hidrograma***

A partir del hietograma elaborado se utiliza HEC-HMS para procesar los datos de cada tormenta. A partir de esto, se obtienen caudales que se podrían generar con las precipitaciones que fueron registradas en estos eventos hidrometeorológicos. Estos caudales se muestran en unidades de metros cúbicos por segundo, siendo de gran relevancia, ya que constituyen los datos de entrada para la modelación hidráulica en HEC-RAS.

**b) HEC – RAS**

A partir de este software, se pretende es llevar a cabo la modelación hidráulica relacionada al comportamiento de los caudales en el cauce del río Dirιά, los cuales se obtendrán del hidrograma generado por el HEC – HMS. Esto permitirá visualizar las zonas inundables en el tramo en estudio. Entre los elementos necesarios para llevar a cabo la ejecución de la modelación se encuentran el MED, el hidrograma y el coeficiente de Manning.

- ***MED del cauce del río Dirιά***

Se llevará a cabo la elaboración del MED a partir del software QGIS, utilizando la herramienta denominada “Interpolación TIN”, la cual utiliza como principal recurso el levantamiento topográfico de curvas de nivel en el área de estudio, detalladas en la sección 5.4.2 en el apartado “e” de topografía de la sección del cauce en estudio. Estos dos insumos deben ser recuperados en formato “tiff” para el debido procesamiento en el programa HEC-RAS.

- **Procedimiento para incorporar las variables de geometría en HEC – RAS.**

Se utilizará como base el MED del cauce del río Dirιά, para determinar el área de estudio dentro del software y, de esta forma, añadir las variables que se requieren para ejecutar el modelo hidráulico, las cuales se describen a continuación.

➤ *Malla computacional*

Inicialmente se delimitó el perímetro a estudiar utilizando como referencia el MED, donde indicando al programa genere la malla computacional teniendo un tamaño de 10 metros por lado de cada una de las celdas o pixeles.

➤ *Condiciones de frontera (boundary conditions)*

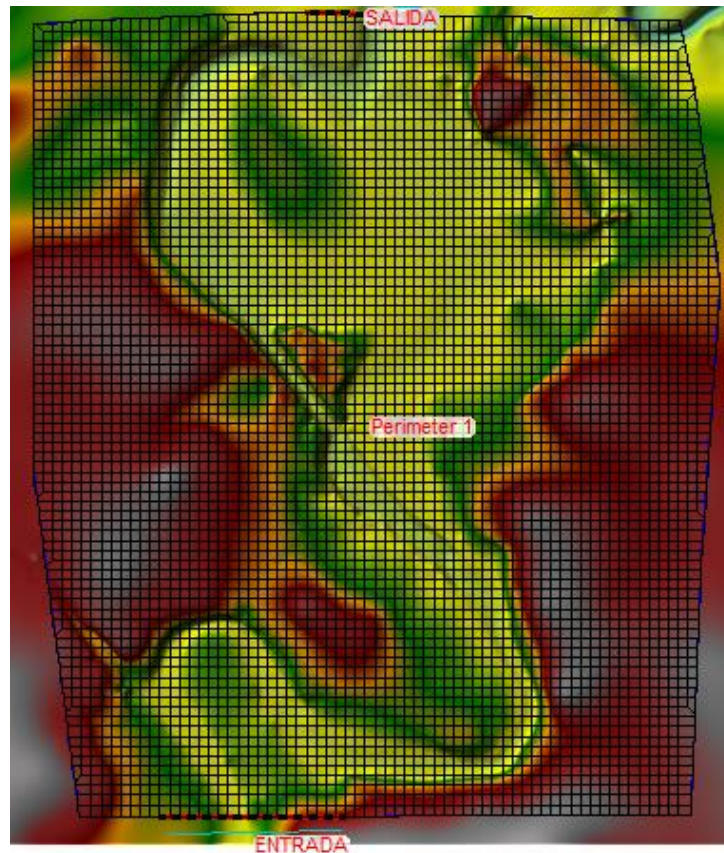
A partir de este parámetro se definieron los límites de entrada y salida del flujo de agua en la malla computacional del modelo. Para ello, se estableció una entrada y salida; en el caso de la entrada, se utilizó un hidrograma para indicar los caudales que debían ingresar al modelo, aplicando intervalos de 5 minutos para los diseños de tormenta Nate y una condición de nivel.

➤ *Análisis de flujo no permanente (unsteady flow)*

Este es un análisis dinámico donde se incorpora el hidrograma de lluvia normal y tormenta Nate al modelo, utilizando intervalos de tiempo de 5 min para el diseño de los caudales.

Cada una de las variables que se citaron anteriormente se ilustran en la **figura 5.2**, utilizando como ejemplo un MED con las configuraciones necesarias para el ejecutar el modelo.

**Figura 5.2:** Ilustración de los componentes de la geometría en HEC – RAS.



Fuente: Elaboración propia (2024).

- ***Coefficiente de Manning***

Con respecto a la asignación del coeficiente de Manning, se utilizará la metodología propuesta por Cowan (1956) desarrollada por la USGS (1989), donde él desarrolla una ecuación que permiten la identificación del coeficiente por medio de una interacción en los parámetros que describen las características del cauce, la misma se muestra a continuación en la **fórmula 5.2**:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m \quad \text{Fórmula 5.2}$$

Dónde

$n_b$  = un valor base de  $n$  para un cauce recto, uniforme y liso en función del material del fondo

$n_1$  = factor de corrección para implementar el efecto de las irregularidades superficiales

$n_2$  = un valor que añade las variaciones de forma y tamaño de la sección del cauce

$n_3$  = un valor que implementa el efecto de obstrucciones

$n_4$  = un valor que incorpora el efecto de presencia de vegetación

$m$  = un factor corrector que implementa la sinuosidad del cauce

A partir de esta metodología se le asignará el valor respectivo asociado a la rugosidad del cauce según sean las secciones del cuerpo de agua que se evaluarán, lo que permitirá una mayor exactitud en cuando al comportamiento de los caudales a lo largo del río Diríá.

- ***Caudales para la elaboración del modelo***

En relación con los caudales, estos constituyen un dato de entrada con gran relevancia, ya que estos determinan el volumen de agua que se desplaza a lo largo del río Diríá. Para su estimación, se extraerán a partir de eventos hidrometeorológicos puntuales identificados en los boletines del IMN, CNE, periódicos, redes sociales, entre otros. De esta manera, se definirán los valores puntuales de precipitación máxima diaria registrados en cada uno de los eventos asociados a inundaciones en la comunidad. Aunado a lo anterior, se procesarán los datos con el programa HEC-HMS y de esta forma se obtendrán los valores de caudales máximos para desarrollar la respectiva modelación en el cauce del río Diríá.

#### **5.4.4. Elaboración de material cartográfico**

Con respecto a la elaboración del material cartográfico, este se confeccionará cuando los resultados de la modelación sean los esperados. A partir de la exportación de los resultados obtenidos en HEC-RAS hacia el programa QGIS, se procede a la elaboración de la cartografía digital, mostrando las zonas que presentan potencial de inundación mediante de resultados visuales, permitiendo identificar, a partir de imágenes satelitales, la dimensión de las zonas inundables ante el desarrollo de un evento de inundación. Se elaborará un mapa general de la subcuenca donde se visualicen las zonas de inundación, y también se confeccionará uno del tramo en estudio que está ubicado en la urbanización El Guabo.

#### **5.5. Presupuesto y cronograma**

En este apartado se pretende realizar una descripción de los costos globales del proyecto (**cuadro 5.4**), asociados a las actividades pertinentes al desarrollo del estudio. Además, se indicarán las actividades a realizar y el cronograma de fechas asociado a esto (**cuadro 5.5**).

**Cuadro 5.4:** Costo global del proyecto.

<b>Costos totales</b>	
Costo Directo	¢6 426 438
Costo Indirecto	¢1 023 650
Otros costos	¢1 341 015
<b>Total</b>	<b>¢8 791 104</b>

Fuente: Elaboración propia (2024).

**Cuadro 5.5:** Cronograma de actividades del proyecto.

<b>Nombre de la tarea</b>	<b>Fecha de inicio</b>	<b>Fecha final</b>
Contacto inicial con la Municipalidad de Santa Cruz (Presencial).	2024-03-22	2024-03-22
Gira de reconocimiento de la subcuenca río Diríá.	2024-04-05	2024-04-05
Redacción de capítulo 1: Sección introductoria.	2024-04-08	2024-04-14
Revisión bibliográfica.	2024-04-09	2024-04-11
Gira de campo a la comunidad El Guabo, Santa Cruz.	2024-04-10	2024-04-10
Redacción de capítulo 2: Antecedentes.	2024-04-15	2024-04-21
Redacción de capítulo 3: Marco teórico.	2024-04-22	2024-04-28
Redacción de capítulo 4: Estudios de prefactibilidad.	2024-04-29	2024-05-05
Redacción de capítulo 5: Metodología.	2024-05-06	2024-05-19
Redacción de informe integrado (I avance).	2024-05-20	2024-05-27
Gira de campo: Aplicación de encuestas.	2024-05-30	2024-05-30
Defensa oral ante tribunal evaluador.	2024-06-17	2024-06-21
Entrega del informe integrado final.	2024-07-06	2024-07-31

Fuente: Elaboración propia (2024)

# Resultados y discusión

## Capítulo 6.

En este capítulo, se presentan y analizan los resultados obtenidos en relación con los objetivos establecidos en la investigación, siguiendo la metodología descrita en capítulo 5. Además, se contrastan estos hallazgos con la literatura existente y se exploran las implicaciones de los resultados obtenidos en este estudio respecto a la temática en cuestión.

## Capítulo 6. Resultados y discusión

### 6.1. Resultados

A continuación, se expondrán los resultados obtenidos del estudio, de acuerdo con las nueve etapas descritas en el capítulo 5, específicamente en la **figura 5.1**.

#### 6.1.1. Etapa 1: Recopilación de información sobre eventos hidrometeorológicos en la subcuenca.

En el **cuadro 6.1** se presenta un resumen de los eventos de inundación que se han registrado en el cantón de Santa Cruz como resultado de los eventos hidrometeorológicos extremos que han afectado a dicho cantón desde 1996 hasta la fecha en que se llevó a cabo esta investigación.

**Cuadro 6.1:** Lista de inundaciones en el cantón de Santa Cruz producto de eventos hidrometeorológicos.

Fecha	Evento	Descripción	Fuente
Octubre/1996	Tormenta Tropical Lili	Afectación en la Región Chorotega, Huetar Norte y Pacífico Central.	CNE (2017)
Noviembre/1996	Tormenta Tropical Marco	Reportes de la CNE y la Cruz Roja de Santa Cruz de Guanacaste, los problemas en esa región fueron causados por los desbordamientos del río Diríá, que obligó la evacuación de familias de El Guabo y Santa Cecilia; el río Seco y el Enmedio.	La Nación (1996)
Octubre/1998	Huracán Mitch	Intensas lluvias en el Pacífico Norte provocaron el desbordamiento de ríos en Santa Cruz, Carrillo, Nandayure y Nicoya. Dejando como saldo a 757 personas damnificadas en el cantón de Santa Cruz, distribuidas en los distritos de Santa Cruz, Tempate, 27 de abril y Bolsón.	La Nación (1998) y Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CPAL] (1999)
Setiembre/2002	Tormenta Tropical Bonnie	El paso de la tormenta ocasionó incidentes de inundaciones en cantones de Bagaces y Santa Cruz.	La Nación (2022)
Mayo/2008	Tormenta Alma	Fue el primer sistema ciclónico de la temporada 2008 en el Pacífico Oriental. Dentro de los cantones que tuvieron afectaciones por inundaciones se encuentra el cantón de Santa Cruz.	La Nación (2017) e IMN (2008)
Setiembre/2008	Sistema de baja presión del Pacífico	Más de 300 casas afectadas por inundaciones en el cantón de Santa Cruz, Santa Cecilia, Limonal, El Guabo, Camarenos y Tucurrique. Que a su vez produjo contaminación de pozos de agua para consumo.	La Nación (2008) e IMN (2008)

Octubre/2012	Huracán Rafael	Se reportaron inundaciones y afectaciones de viviendas en el cantón de Santa Cruz en diversas comunidades, entre ellas El Guabo.	CRHoy (2012) e IMN (2012)
Octubre/2017	Tormenta Nate	La tormenta Nate dejó escuelas, ebáis y casas inundadas en Guanacaste, así como cultivos destruidos y llanuras convertidas en lagos. Fue un fenómeno que se formó en las primeras semanas de octubre y que mayor cantidad de lluvias dejó en el mes.	Cruz y Arroyo (2017) e IMN (2017)
Octubre/2018	Onda Tropical #39	Lluvias intensas ocasionan inundaciones en el cantón de Santa Cruz ocasionados por este sistema de baja presión que afectó al país. Se reporta más de 300 personas damnificadas por las lluvias ocasionadas por el impacto de esta onda tropical.	La Nación (2018) e IMN (2018)
Agosto/2020	Huracán Marco	Este fenómeno ocasionó efectos indirectos en Costa Rica, entre ellas las precipitaciones intensas generadas el huracán provocaron el desbordamiento de ríos y por ende eventos de inundación en el cantón de Santa Cruz y alrededores.	La Nación (2020) e IMN (2020)
Noviembre/2020	Huracán Eta	El efecto indirecto del huracán en el territorio nacional ocasionó evento de inundación en varios cantones de Guanacaste, incluyendo Santa Cruz.	Esquivel (2020) e IMN (2020)
Octubre/2023	Sistema de baja presión	Rescate de 32 personas por crecida de río Diríá en las cercanías del Parque Nacional Diríá, Santa Cruz.	Galeano (2023) e IMN (2023)
Noviembre/2024	Onda Tropical #45	En la primera semana en Santa Cruz ha caído el 75% de la lluvia de todo el mes, el 8 de noviembre el río Diríá y río En medio se desbordaron afectando comunidades como Barrio Los Camarenos, Barrio Estocolmo, Barrio Limón, entre otros, incluyendo El Guabo.	Solano (2024), Jiménez y Lynch (2024) e IMN (2024)

Fuente: Elaboración propia (2024).

### 6.1.2. Etapa 2: Caracterización morfométrica de la subcuenca.

En el **cuadro 6.2** se disponen cada uno de los parámetros descritos en el capítulo 3 para brindar las características morfométricas de la subcuenca del río Diríá.

**Cuadro 6.2:** Parámetros morfométricos de la subcuenca río Diríá.

Variables	Unidades	Valor
<b>Forma</b>		
Área	Km <sup>2</sup>	66.4
Perímetro	Km	47.4
Longitud de la cuenca	Km	16.2
Índice de compacidad	-	1.63
Factor Forma	Km/Km <sup>2</sup>	0.25
<b>Relieve</b>		
Elevación mínima	m.s.n.m	35
Elevación máxima	m.s.n.m	955
Pendiente media del cauce principal	-	0.020
<b>Red hidrográfica</b>		
Longitud del cauce principal	Km	27.3
Longitud de drenaje total	Km	154
Densidad de drenaje	Km <sup>-1</sup>	2.33
Pendiente media del cauce principal	-	0.020

Fuente: Elaboración propia (2024).

### 6.1.3. Etapa 3: Caracterización de tipos y uso de suelo.

#### a) Tiempo de concentración

De acuerdo con la metodología propuesta en esta investigación, se utilizará el método Kirpich para calcular el tiempo de concentración de la subcuenca del río Diríá. Para ello, se utilizará la **fórmula 3.5** descrita en el **capítulo 3**. Se tomarán como referencia los valores de los parámetros de longitud del cauce principal y la pendiente media del mismo, disponibles en el **cuadro 6.2**.

$$T_c = 0.0195 \left( \frac{27300^3}{955 \text{ m} - 35 \text{ m}} \right)^{0.385}$$

$$T_c = 187.38 \text{ min}$$

$$T_c = 3.1 \text{ h}$$

Dicho valor, bajo su significado teórico, indica que se necesitan 3.1 h para que una gota de agua que cae en el punto más lejano y alto de la subcuenca llegue hasta el punto de cierre en la parte baja, o bien, que toda el agua de lluvia receptada por la subcuenca llegue a su punto de cierre (Villón, 2022).

### **b) Tiempo de retardo (Lag Time)**

A partir del valor de tiempo de concentración es posible calcular este parámetro, al multiplicarlo por 0.6, tal y como se muestra a continuación.

$$\text{Lag Time} = 187.38 \text{ min} * 0.6$$

$$\text{Lag Time} = 112.43 \text{ min}$$

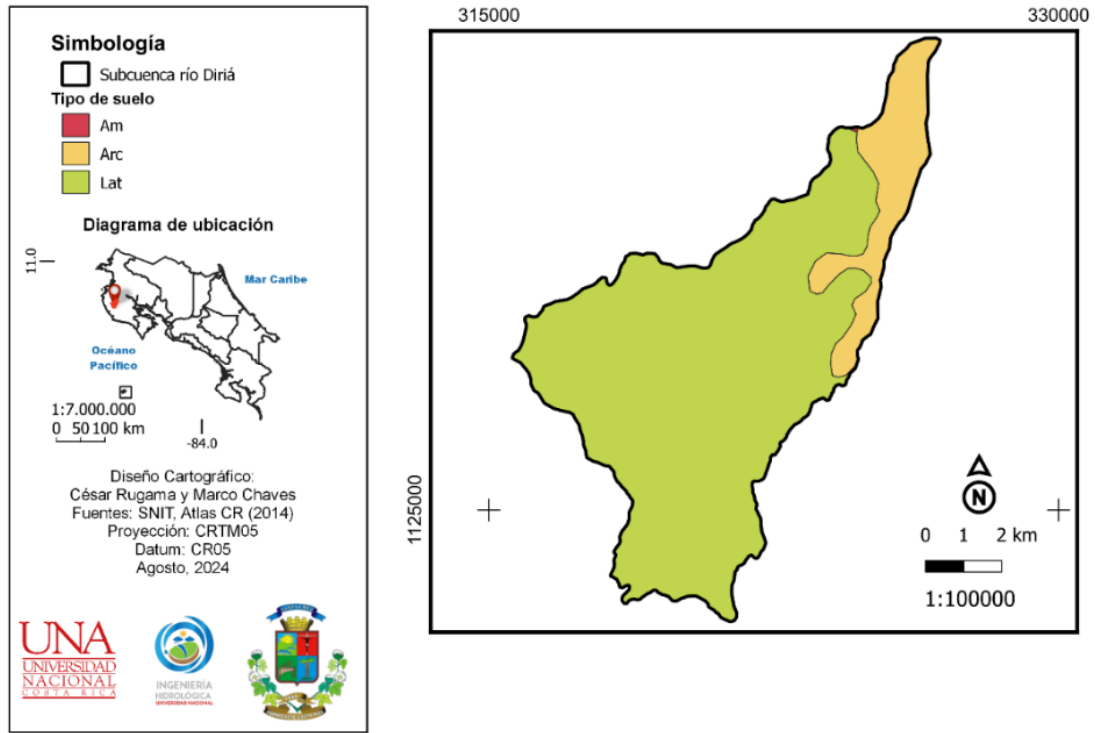
El software HEC-HMS utiliza este parámetro en minutos, el cual es incorporado dentro del programa al momento de generar hidrogramas, ya que es un valor que genera el modelo para dimensionar la transformación de la precipitación neta dentro de la región de estudio en caudales (Duque et al., 2019).

### **c) Número de curva**

Para determinar el número de curva se requieren variables obtenidas del registro del uso y tipo de suelo existentes en la subcuenca. Para ello, se requiere identificar los usos de suelo que predominan en el área de estudio y su distribución porcentual. De igual manera, el tipo de suelo permite identificar la naturaleza del suelo y, a su vez, al grupo hidrológico al que pertenece. A continuación, se detalla cada uno de los resultados en torno a la obtención del número de curva.

- *Tipo de suelo*

**Figura 6.1:** Tipo de suelo en la subcuenca del río Diríá.



Fuente: Elaboración propia (2024).

De acuerdo con la información mostrada en la **figura 6.1** existe una importante predominancia del tipo de suelo “Arc” y “Lat”. Con respecto al suelo de tipo “Arc”, Bogantes et al. (2002) indican características importantes, como presentar un estrato de arcilla color negro con un alto potencial de expansión en su superficie y un espesor de al menos de 60 cm de arcilla gris con alta capacidad de expansión. En ambos tipos de arcilla predomina el contenido de montmorillonita (vertisol), la cual le brinda al suelo una consistencia pegajosa en condiciones húmedas y agrietadas en condiciones secas, lo que hace que este tipo de suelo solo pueda presentarse en regiones como la Vertiente del Pacífico, con una estacionalidad definida y topografías muy planas, condiciones que ofrecen poco drenaje, incrementando condiciones húmedas en la época lluviosa, y favoreciendo el secado y agrietamiento en la época seca, factores que contribuyen a su desarrollo.

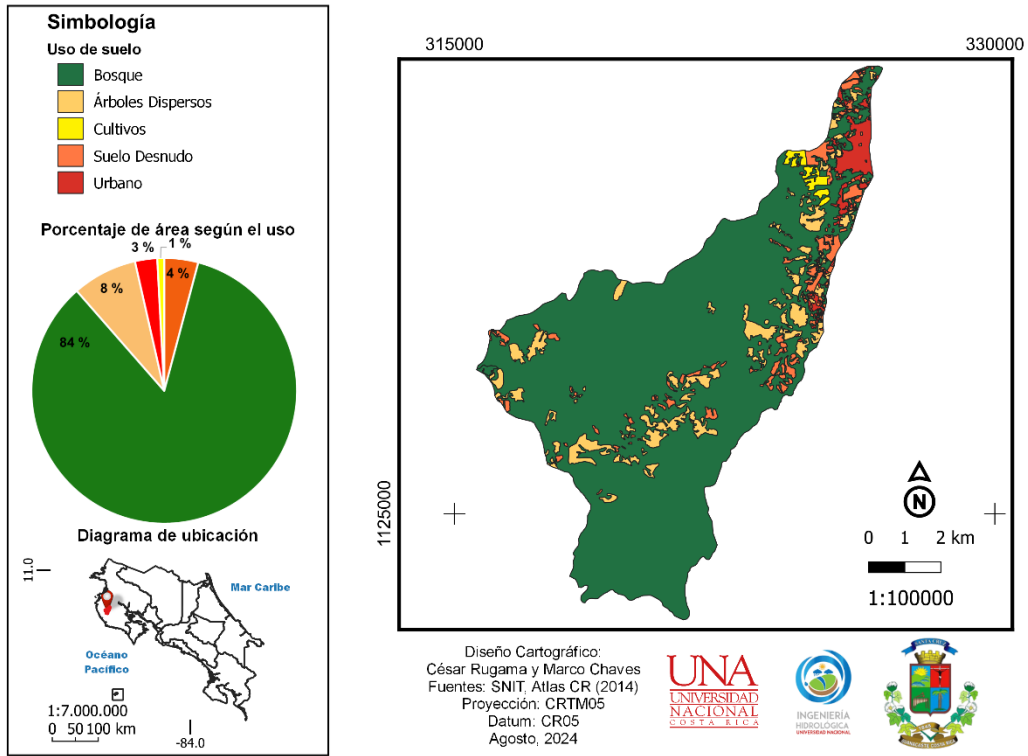
En cuanto a los suelos de tipo “Lat”, Bogantes et al. (2002) hacen referencia a suelos residuales rojizos, los cuales se encuentran extendidos a lo largo y ancho del país, y pueden desarrollarse prácticamente a partir de cualquier roca madre y en cualquier clima. Su coloración característica proviene de los óxidos de hierro. En su composición mineralógica predominan los minerales arcillosos caoliníticos, son arcillas limosas de alta plasticidad, con límites líquidos superiores al 70%.

Además, existe en menor proporción el tipo de suelo “Am” (suelos residuales de color pardo - amarillento), los cuales pertenecen al orden de los entisoles. Se caracterizan por estar permanentemente húmedos durante todo el año, lo que les confiere dicha coloración. Son suelos con menor contenido de arcilla y pueden ser pedregosos, sobre todo en zonas de relieve ondulado (Bogantes et al., 2002).

De acuerdo con las características del tipo de suelo que se mencionaron anteriormente, el grupo hidrológico definido para el desarrollo de este estudio corresponde al grupo C (**anexo 1**), debido a las propiedades arcillosas con un potencial de escorrentía moderadamente alto que predominan en los tipos de suelo de mayor influencia en la zona de estudio (Gualdrón et al., 2023).

- *Uso de suelo*

**Figura 6.2:** Uso de suelo de la subcuenca río Diríá.



Fuente: Elaboración propia (2024).

El uso de suelo se realizó empleando una escala 1:10 000, utilizando cinco categorías: urbano, suelo desnudo, pastos y árboles, cultivos y bosque (**figura 6.2**), conociendo el área total de la subcuenca se estimaron los porcentajes de área que representan cada uso, 84% corresponde a sitio de bosque, 8% pastos y árboles, categoría que indica áreas dentro de la subcuenca donde prevalecen pastos con árboles dispersos o poco densos, 4% de suelo desnudo, 3% de uso urbano y 1% de cultivos.

- *Cálculo del número de curva*

**Cuadro 6.3:** Resultados del número de curva según usos de suelo.

Uso	Área (%)	Fracción	Área (Km <sup>2</sup> )	Grupos C	Número de Curva según el uso
Urbano	3	0.03	1.99	91	2.73
Suelo Desnudo	4	0.04	2.66	91	3.64
Pastos y árboles	8	0.08	5.31	79	6.32
Cultivos	1	0.01	0.66	85	0.85
Bosque	84	0.84	55.79	77	64.68
<b>Total</b>	100		66.42		<b>78.22</b>

Fuente: Elaboración propia (2024).

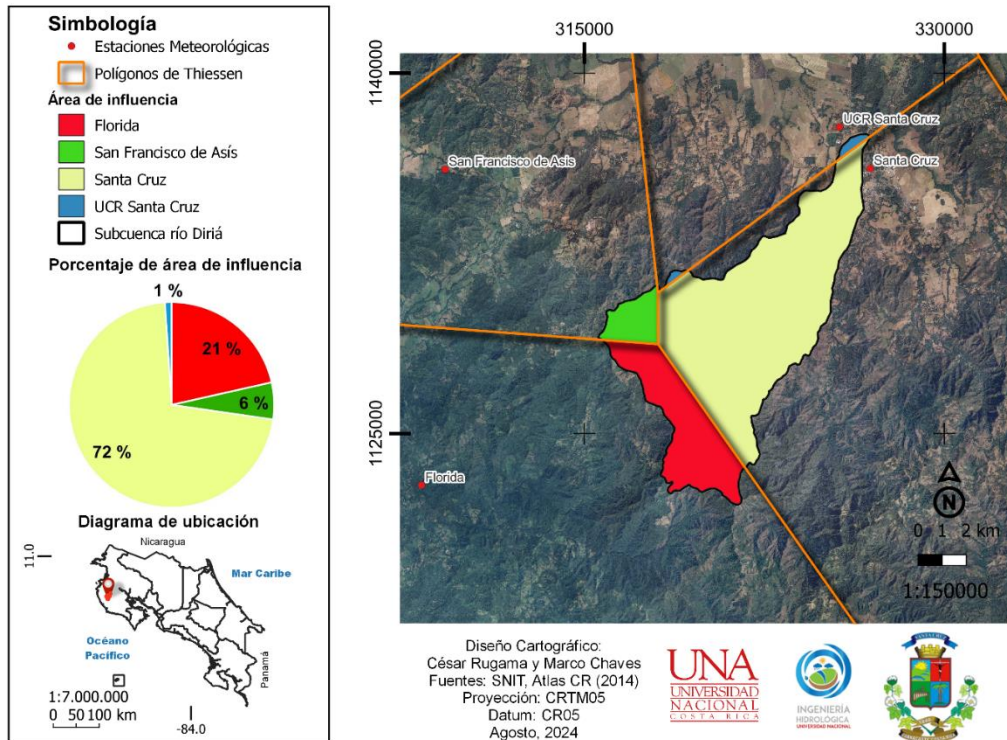
Este valor permite estimar la capacidad de escorrentía que generaría la subcuenca del río Diríá. De acuerdo con el Centro de Ingeniería Hidrológica (2024), de los Estados Unidos (HEC por sus siglas en inglés), los valores menores a 30 se consideran suelos permeables con altas tasas de infiltración, mientras los valores cercanos a 100 se caracterizan por ser suelos con bajas tasas de infiltración. En el caso del valor de 78.22 (**cuadro 6.3**) se considera que la cuenca presenta una infiltración baja a moderada, lo que implica una alta generación de escorrentía superficial durante eventos de precipitación (López, 2001).

#### 6.1.4. Etapa 4: Recopilación de datos hidrometeorológicos.

Las estaciones descritas en el **cuadro 5.1** fueron cargadas con sus respectivas coordenadas a Qgis, con el fin de identificar su ubicación dentro de la zona de estudio, seguidamente se generaron los polígonos de Thiessen para determinar la zona de influencia de cada una de las estaciones.

## a) Polígonos de Thiessen

**Figura 6.3:** Porcentajes de área de influencia de las estaciones meteorológicas en la subcuenca Río Diríá.



Fuente: Elaboración propia (2024).

De acuerdo con la **figura 6.3** la estación Santa Cruz es la que presenta una mayor influencia en la zona de estudio corresponde con un porcentaje del 72% del total del área de la subcuenca, esta estación corresponde a una de las estaciones administradas por el IMN, la cual cuenta con datos desde 1995 hasta el año de ejecución del proyecto.

## b) Obtención de datos meteorológicos

**Cuadro 6.4:** Datos del máximo valor de PMD para cada uno de los años de registro de la estación Santa Cruz (74053) del IMN.

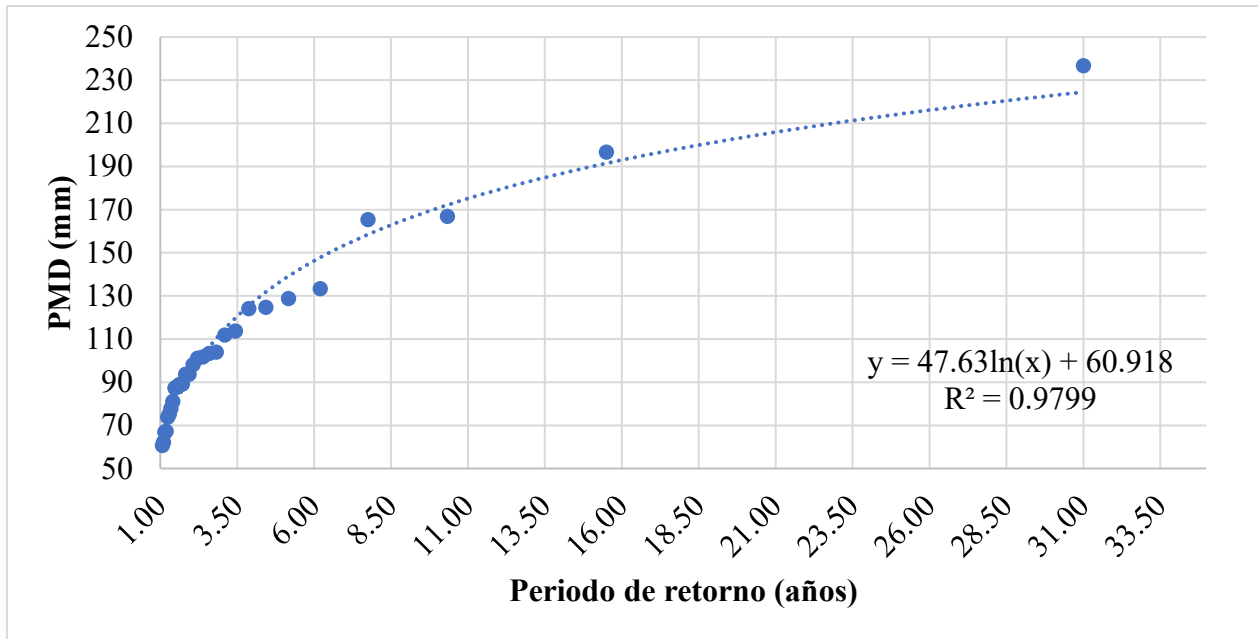
Año	PMD (mm)	Año	PMD (mm)
1995	124.1	2010	101.1
1996	165.4	2011	93.7
1997	103.3	2012	124.7
1998	75.3	2013	60.7
1999	98.1	2014	89.1
2000	88.1	2015	66.9
2001	196.6	2016	77.8
2002	62.2	2017	236.7
2003	81.1	2018	133.4
2004	73.8	2019	93.7
2005	101.7	2020	128.8
2006	113.7	2021	67.2
2007	103.9	2022	111.8
2008	87.2	2023	89
2009	53.4	2024	166.8

Fuente: Elaboración propia, a partir del IMN (2024).

### 6.1.5. Etapa 5: Determinación de tormentas de diseño para elaboración del hietograma.

En la **figura 6.4** se muestra los resultados obtenidos del análisis de periodo de retorno aplicado a los datos de PMD anual del registro mostrado en el **cuadro 6.4**, con el fin determinar la magnitud de los eventos y su frecuencia de ocurrencia dentro de la subcuenca en estudio.

**Figura 6.4:** Evaluación de periodo de retorno de los eventos de lluvias que alcanzaron valores máximos de PMD en los años de registro de la estación Santa Cruz.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Para definir las fechas a las cuales corresponden los eventos de PMD registrados en el **cuadro 6.4**, se utilizó como base el **cuadro 6.1** con el fin de relacionar la incidencia de estas precipitaciones con emergencias de inundaciones dentro de la subcuenca del río Diríá. Al evaluar los periodos de retorno de cada uno de los eventos de precipitación, se logra identificar en la **figura 6.4** que la tormenta Nate ocasionó una lluvia acumulada de 236.7mm (**cuadro 6.5**) dando como resultado un evento de un periodo de retorno de 30 años. En cambio, los valores de PMD entre 50 mm a 70 mm representan lluvias normales, ya que alcanzan valores de un periodo de retorno, lo que indica una mayor probabilidad de ocurrencia de estos eventos.

**Cuadro 6.5:** Distribución de precipitación en 24 horas del 5/10/2017 ante la influencia de la tormenta Nate registrada en la estación Santa Cruz (74053) del IMN.

Tiempo (hora)	Precipitación (mm)	Tiempo (hora)	Precipitación (mm)
1	0	13	4.1
2	0	14	26
3	0.3	15	11.3
4	9	16	4.2
5	0.2	17	0.7
6	4.5	18	4.5
7	3.8	19	5.4
8	6.3	20	3.8
9	31.5	21	12.7
10	29.9	22	7.7
11	32	23	10.7
12	21.6	24	6.5
13	4.1		
<b>Total</b>			<b>236.7</b>

Fuente: Elaboración propia, a partir del IMN (2024).

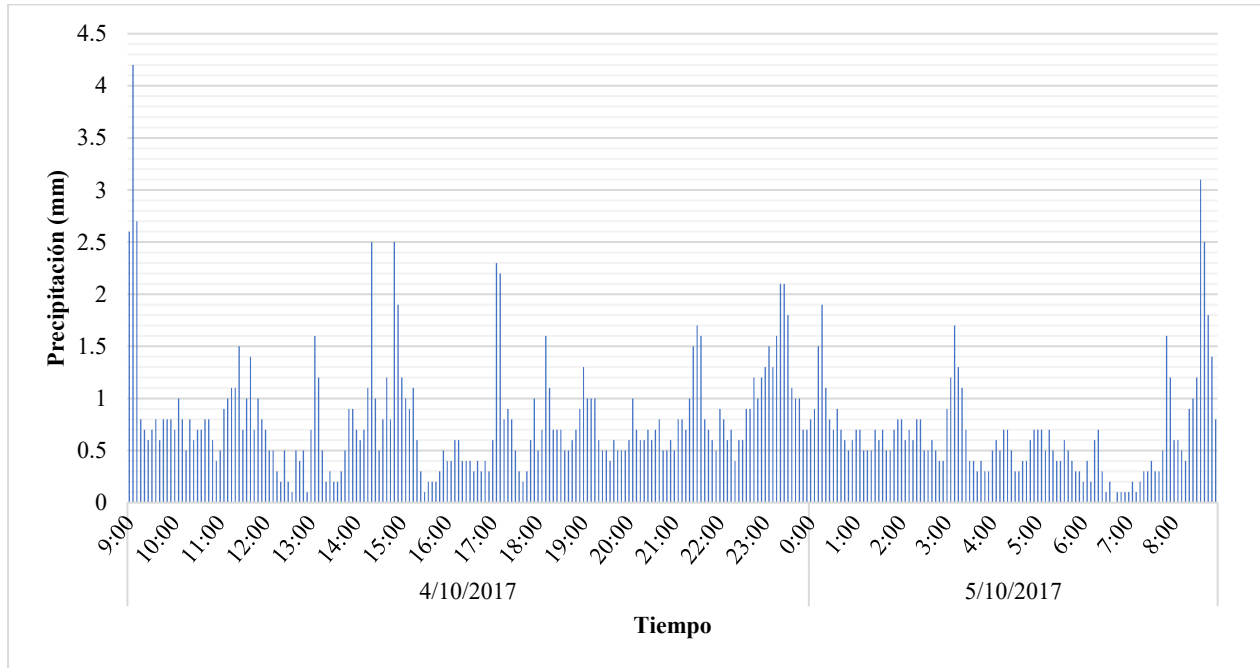
### 6.1.6. Etapa 6: Elaboración de hietogramas para obtención de caudales.

Tal y como se muestra en el **cuadro 6. 5**, la estación Santa Cruz únicamente realiza lecturas horarias de precipitación, esto hace que el hietograma posea un registro más corto de datos para la generación del hidrograma que genere el software HEC-HMS, por ello se opta por buscar otra estación aledaña a la subcuenca del río Diríá que realice lecturas de precipitación en periodos de minutos. Durante esta búsqueda se hizo uso de la página web de la UCR (2024) que muestra el inventario de estaciones meteorológicas a nivel nacional, observando que la estación meteorológica Quiriman (180102) administrada por AyA realiza lectura de precipitaciones cada 5 minutos, por ello se realizó la solicitud de datos para obtener el hietograma del día 4 y 5 de octubre del 2017.

Una vez que se obtuvo la información se realizó la determinación de la PMD para el evento registrado, realizando sumatorias por cada bloque de 24 h hasta identificar el periodo en el que se registró la mayor cantidad de precipitación. Lo anterior se determinó en el tiempo transcurrido

desde las 9:00 am del 4 de octubre hasta las 9:00 am del 5 de octubre (**anexo 4**), obteniendo de esta forma una PMD de 217.3 mm. Dicha distribución se muestra en la **figura 6.5**.

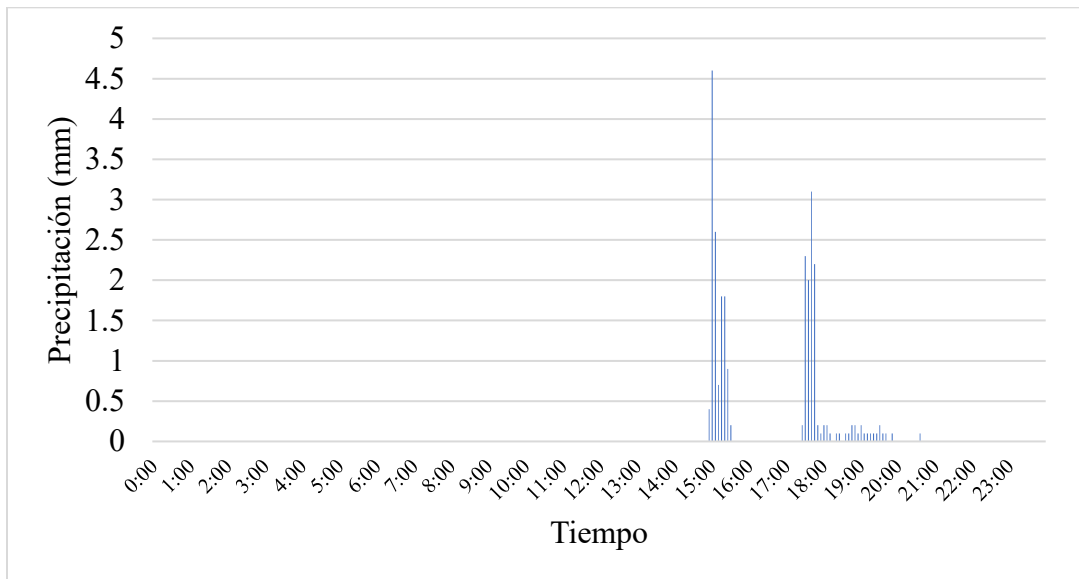
**Figura 6.5:** Hietograma del evento de precipitación registrado en la estación Quiriman el 4 y 5 de octubre de 2017.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Además, el escenario propuesto para una lluvia normal se determinó utilizando la **figura 6.4**, la misma permite establecer valores de PMD menores a 50 mm como lluvias normales debido a su bajo valor de periodo de retorno. Para ello, se utilizará un evento ocurrido el día 31 de agosto del 2015 (**anexo 5**), el cual registró una PMD de 25.8 mm en la estación Quiriman (**figura 6.6**).

**Figura 6.6:** Hietograma del evento de precipitación registrado en la estación Quiriman el 31 de agosto de 2015.



Fuente: Elaboración propia (2024).

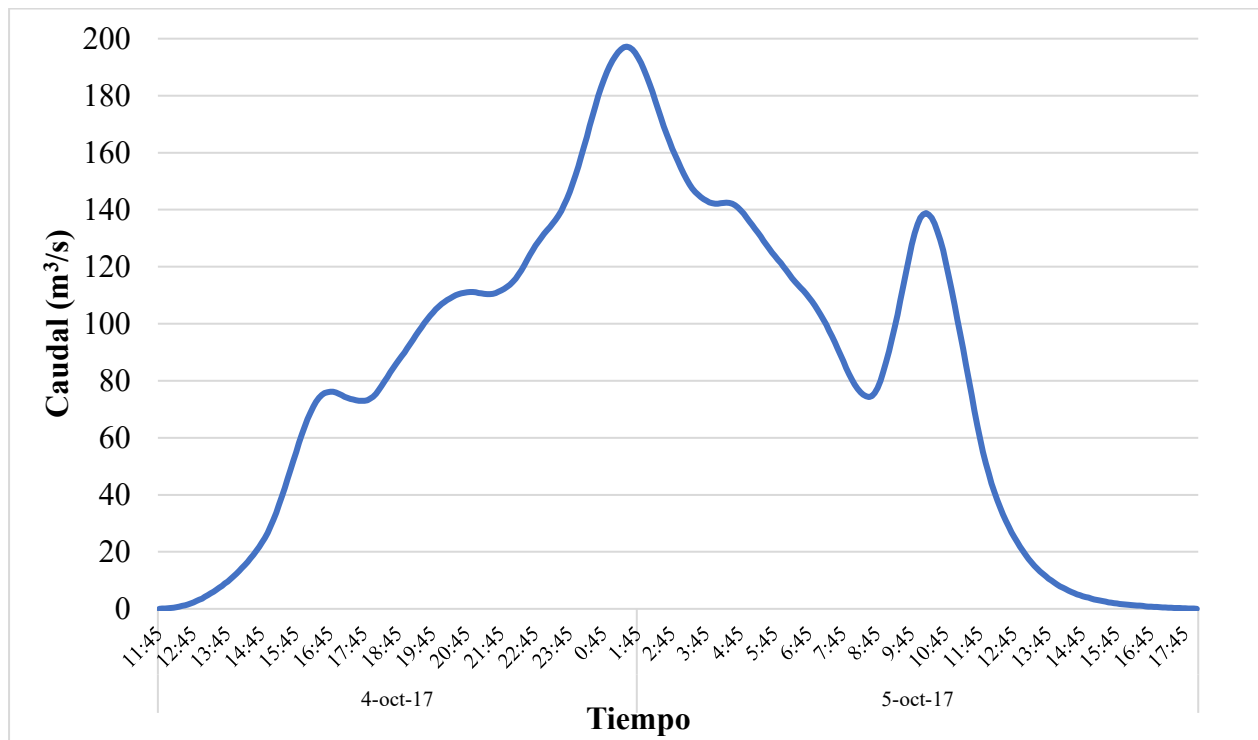
#### 6.1.7. Etapa 7: Obtención de hidrograma unitario a partir de HEC-HMS

Las variables hidrológicas previamente determinadas en las etapas descritas anteriormente permitieron la generación de los hidrogramas del modelo hidrológico, con el fin de determinar los caudales de diseño que se requieren en el modelo hidráulico. Para ello, se mostrarán los resultados del modelo hidrológico mediante hidrogramas de la tormenta Nate y la lluvia normal.

##### a) Escenario tormenta Nate

El hietograma mostrado en la **figura 6.5** se utilizó como lluvia de diseño para generar el hidrograma de la tormenta Nate (**figura 6.7**), con el fin de obtener un caudal modelo equivalente al experimentado durante la influencia de dicho fenómeno meteorológico en la subcuenca del río Diríá. Este hidrograma indica que el caudal máximo alcanzado fue de 197.2 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 6.7:** Hidrograma de la Tormenta Nate en la subcuenca del río Diríá.

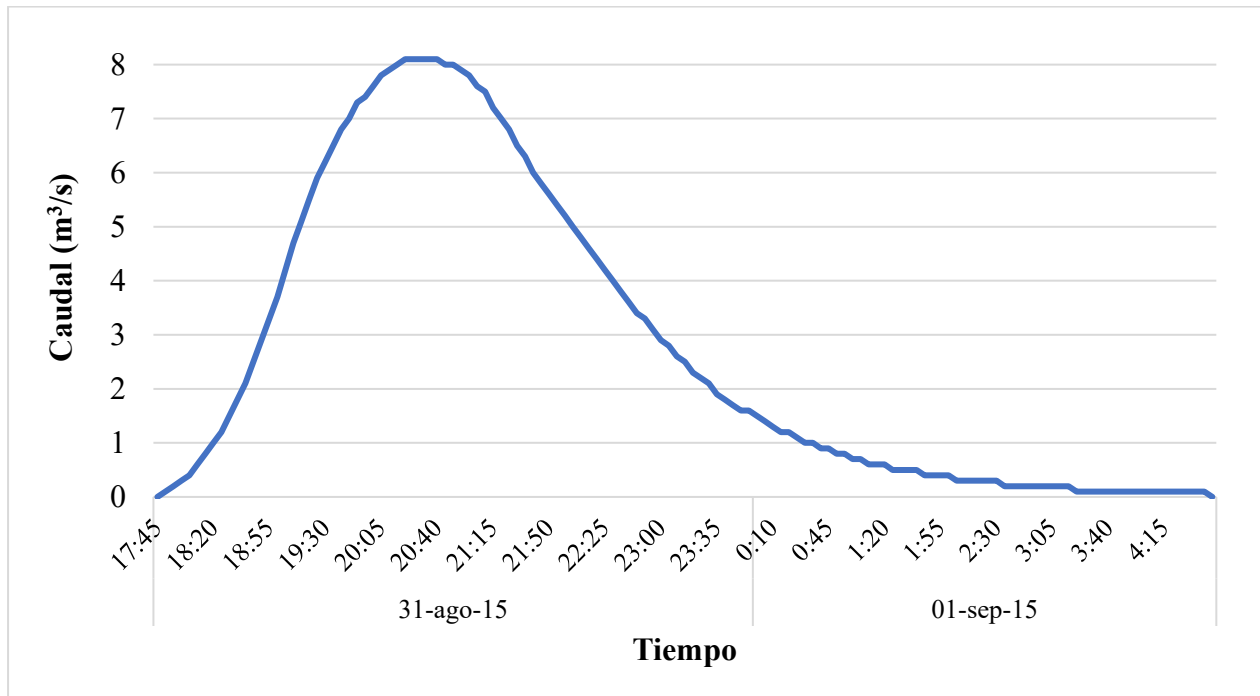


Fuente: Elaboración propia (2024).

### b) Escenario lluvia normal

Para el escenario de lluvia normal, se utilizó el hietograma mostrado en la **figura 6.6** como lluvia de diseño para generar el hidrograma correspondiente a este evento, que de acuerdo con el modelo hidrológico construido para la subcuenca del río Diríá alcanzó un caudal máximo de 8.1 m<sup>3</sup>/s (**figura 6.8**).

**Figura 6.8:** Hidrograma de una lluvia normal en la subcuenca del río Diríá.

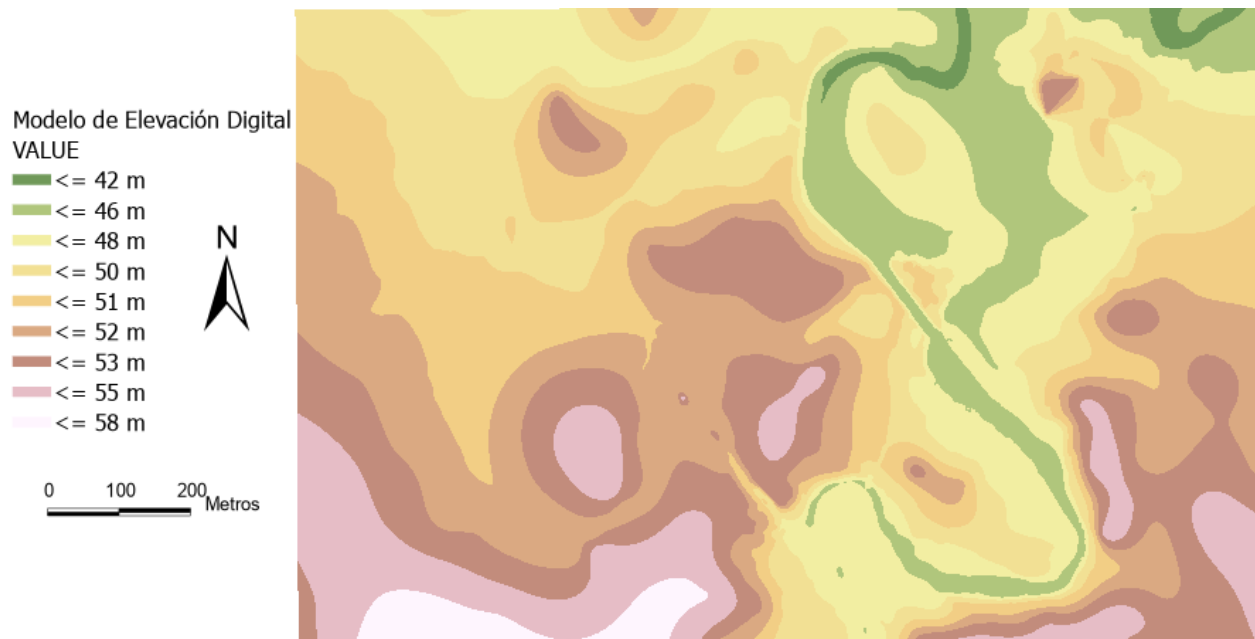


Fuente: Elaboración propia (2024).

### 6.1.8. Etapa 8: Estudio topográfico del tramo del río en la comunidad

Con respecto a los datos topográficos, se utilizaron las curvas de nivel (1:1000) y puntos de altitud (hojas cartográficas 1:50 000) provenientes del SNIT. A partir de estos, se generó el MED, el cual se calibró por medio de visitas de campo y complementando las dos capas mencionadas. El resultado final se puede apreciar en la **figura 6.9**, donde los valores rondan los 42 a 57 metros sobre el nivel del mar. El tramo que se trabajó en el MED es de aproximadamente 1.5 km, el cual incluye el sitio de interés que es la comunidad El Guabo.

**Figura 6.9:** Modelo de elevación digital de un tramo del río Diríá.

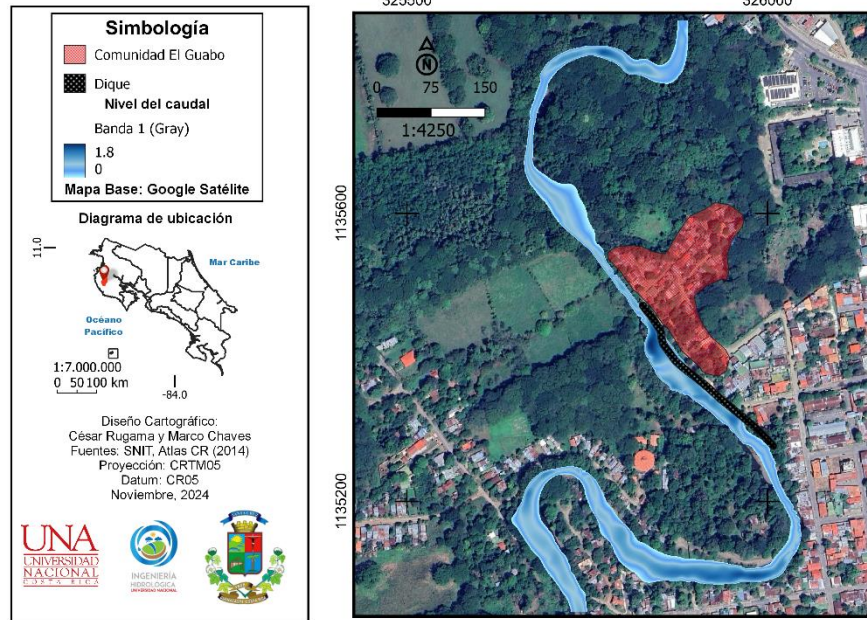


Fuente: Elaboración propia (2024).

### 6.1.9. Etapa 9: Modelación hidráulica

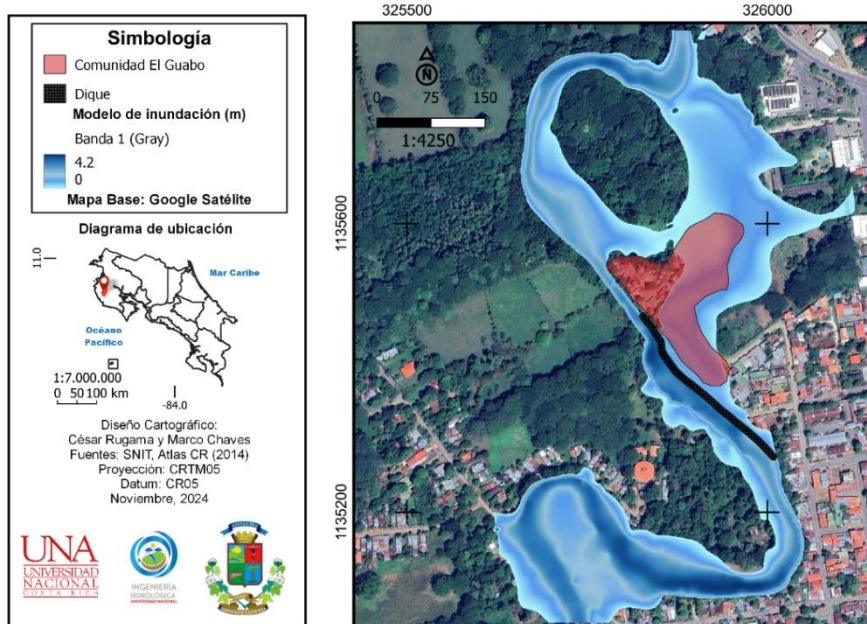
En cuanto al modelo hidráulico, como se ha mencionado anteriormente se plantearon los dos escenarios con la finalidad de tener una mayor precisión en cuanto a los resultados de las áreas inundables del sitio en estudio. Como se puede observar en la **figura 6. 10**, en el escenario de lluvia normal, el comportamiento del caudal no genera peligrosidad en los márgenes del río Diríá, en cambio, en el escenario de tormenta Nate (**figura 6. 11**), el río genera áreas de inundación, principalmente en el sector de la comunidad El Guabo.

**Figura 6. 10:** Resultados de la modelación hidráulica en escenario de lluvia normal.



Fuente: Elaboración propia (2024).

**Figura 6. 11:** Resultados de la modelación hidráulica en escenario de la tormenta Nate.



Fuente: Elaboración propia (2024).

## 6.2. Discusión

A continuación, se realizará la descripción de los principales hallazgos identificados en los resultados de las nueve etapas de la metodología propuesta para la investigación.

### 6.2.1. Hallazgos dentro del desarrollo del modelo hidrológico e hidráulico

- *La parte baja de la subcuenca presenta un alto potencial de ser afectada por eventos de inundación:* A pesar de que la subcuenca cuenta con el 84% de cobertura boscosa en las partes altas, sus características morfológicas y la predominancia de arcillas en el suelo, hace que ante la presencia de fenómenos que generen lluvias intensas y de prolongada duración, exista una alta saturación en el suelo. El suelo puede actuar con un alto potencial de escurrimiento en estas condiciones de humedad provocando que los cuerpos de agua tributarios drenen altos caudales al río principal, lo cual repercute en la parte baja de la subcuenca. Además, la concentración de la zona urbana en la parte baja e incluso a cercanías del margen del río, aumentan el riesgo de ser afectados por los caudales que eventualmente pueda drenar el río Diríá (Villón, 2022), (Gualdrón et al., 2023).
- *La tormenta tropical Nate fue el fenómeno meteorológico que aportó la mayor precipitación en un día en 30 años de registro en la subcuenca del río Diríá:* Una vez realizada la triangulación de datos recopilados con la información disponible en el **cuadro 6. 1**, la encuesta aplicada a la comunidad, entrevistas a la presidenta de la CME de la Municipalidad de Santa Cruz y los datos registrados en la estación Santa Cruz. Los testimonios de los incidentes de inundación ocasionados por este evento en la comunidad El Guabo y la atención que ofreció la CME, se complementan con las mediciones registradas por la estación Santa Cruz, la cual indica un valor de PMD de 236.7 mm (**cuadro 6. 4**) para el día 5 de octubre del 2017, que a su vez representó un evento con un periodo de retorno de 30 años (**figura 6. 4**).

Además, la precipitación ocurrida el 8 de noviembre del 2024 desató inundaciones significativas dentro de la comunidad en estudio, el IMN reportó una PMD de 104.8 mm en la estación Santa Cruz, los cuales fueron suficientes para provocar afectaciones a las personas residentes de la comunidad. Sin embargo, el valor extremo de PMD alcanzado en el 2024 corresponde a 166.8 mm alcanzados el 14 de noviembre, confirmando a su vez que hasta el cierre de la recopilación de datos hidrometeorológicos

para el proyecto la tormenta tropical Nate prevalece como el evento principal para realizar un modelo hidrológico para la subcuenca en estudio.

- *Los registros históricos de precipitación de la estación Santa Cruz indican periodos de retornos bajos asociados a eventos hidrometeorológicos con gran potencial de ocasionar inundaciones:* Con los datos que se obtuvieron de la estación Santa Cruz mediante el IMN (**cuadro 6. 4**), se logró identificar los periodos de retorno asociados a los valores de PMD alcanzados en cada año de registro desde 1995 al 2024 (**figura 6. 4**), siendo las lluvias con mayor probabilidad de ocurrencia aquellas que oscilan entre los valores de 50 mm a 60 mm, mismas alcanzaron periodos de retorno de 1 año, 93.7 mm 2 años, 103.9 mm 3 años, 124.7 mm 5 años, 165.4 mm 10 años, 196.6 mm 15 años y 236.7 mm 30 años. La tormenta Alma (**cuadro 6. 1**) desencadenó lluvias que ocasionaron inundaciones y un registro de PMD de 87.2 mm (1.5 años de periodo de retorno), esto quiere decir que la subcuenca del río Diríá ha estado susceptible a recibir fenómenos que representan una gran amenaza para las comunidades vulnerables a una mayor frecuencia, aumentando el riesgo de ser impactados por inundaciones a corto plazo.
- *La estación Santa Cruz proporcionó datos representativos para evaluar eventos de precipitaciones en la subcuenca, mas no para el desarrollo del modelo hidrológico del proyecto:* Los registros de PMD de la estación Santa Cruz para la Tormenta Tropical Nate (**cuadro 6. 4**) se realizaron de forma horaria, lo cual hace que el hietograma de lluvia posea pocos datos para ser un modelo de lluvia significativo para este evento. Por ello, se utilizaron los datos de la estación Quirimán para generar los hietogramas (**figura 6. 7 y 6. 8**), los cuales fueron registrados en lapsos de tiempos de 5 minutos, favoreciendo la elaboración de hietogramas bajo modelos de lluvias a una mejor distribución en el tiempo.
- *Se necesita ampliar la red de estaciones meteorológicas en la subcuenca:* A pesar de que existen estaciones con gran influencia en la parte baja de la subcuenca, se necesita abarcar la parte alta y media con estaciones meteorológicas capaces de registrar precipitaciones en lapsos de 5 a 10 minutos, con el objetivo de calibrar un modelo hidrológico más representativo para la subcuenca.

- *La comunidad está situada en una llanura de inundación del río:* Las visitas a campo, las respuestas de las personas de la comunidad y la revisión de imágenes satelitales que se desarrollaron durante la investigación, indican que el sitio donde está asentada la comunidad forma parte de las llanuras de inundación naturales del río, el cual, al ser sometido a eventos de lluvias extremas, tenderá a buscar alivio en este sitio a la carga del caudal que se está transportando en el río.
- *La capacidad hidráulica natural del río se reduce posterior al dique:* En las **figuras 6.10** se evidencia el comportamiento del cauce del río posterior al dique, el mismo cambia su forma continua de meandros y se reduce el ancho el cauce, factores determinantes para la dinámica hidráulica que presenta el río ante las crecidas de los caudales producto de las lluvias extremas, ya que al reducir su capacidad de transporte en este sitio genera que nivel del agua previo a esta reducción incrementa a tal punto de rebasar el nivel del dique, lo cual representa un elemento crucial para que se desencadenen las inundaciones en la comunidad.

### **6.2.2. Cumplimiento de los objetivos de la investigación**

En el presente apartado se expondrán de forma enumerada los objetivos específicos de esta investigación, con el fin de determinar el cumplimiento de cada uno de ellos, o bien indicar en cuales se han aplicado planes de contingencia para mejorar el alcance del objetivo.

- *Objetivo específico 1:* Este objetivo consiste en recopilar datos geoespaciales y variables meteorológicas para lograr definir las características físicas e hidrológicas de la zona en estudio, lo cual fue posible llevar a cabo, ya que los datos geoespaciales se lograron obtener del Atlas de Costa Rica (Ortiz, 2016), donde se adquirieron capas con información necesaria identificar el cantón de Santa Cruz y sus distritos, delimitar la subcuenca del río Diríá, determinar el cuerpo de agua principal y conocer sus afluentes. También, información topográfica del SNIT, necesaria para trazar la línea perimetral de la subcuenca desde las zonas con mayor nivel topográfico hasta niveles menores. Además, se utilizaron imágenes satelitales provenientes de las ortofotos disponibles en el SNIT y Google Satélite, mismas que se utilizaron para diseñar el uso de suelo que predomina en la actualidad en la subcuenca.

Por último, el inventario de estaciones meteorológicas a nivel nacional propuesto por la UCR, para identificar las estaciones meteorológicas que se encontraban cercanas al sitio de estudio. Una vez que se lograron definir dichas estaciones, se realizaron los procesos formales para adquirir las series históricas y registros de PMD necesarias para desarrollar el modelo hidrológico del proyecto.

- *Objetivo específico 2:* Para el cumplimiento de este objetivo se requería parte importante del primer objetivo, al cumplirse, dio lugar a que se lograra concluir el objetivo específico 2, el mismo consiste en la delimitación espacial de la subcuenca y determinar sus características morfométricas, dichas variables se lograron obtener mediante el procesamiento de las capas en el software QGIS e información obtenida en literatura para calcular los parámetros morfométricos de la subcuenca del río Diríá.
- *Objetivo específico 3:* La recopilación de datos permitieron obtener las variables necesarias para cumplir a cabalidad en lo esperado para el modelo hidrológico, sin exceptuar la condición que provocó utilizar una estación externa a zona de influencia proporcionada en los polígonos de Thiessen. En cuanto al modelo hidráulico, se presentaron inconvenientes para lograr obtener datos topográficos precisos y robustos para generar un MED representativo de la zona de estudio que permitiera modelar las condiciones hidráulicas del río, sus márgenes y la comunidad El Guabo. La información que se logra obtener por parte del departamento de topografía y catastro de la Municipalidad de Santa Cruz consiste en un levantamiento topográfico realizado para el diseño del dique en el año 2014 en la comunidad El Guabo.

Dentro de dicho insumo se logran identificar las limitantes para ser utilizadas dentro del modelo hidráulico del proyecto:

- La información cubre el segmento del río y las líneas del cauce situadas en el lugar de estudio, más no ofrece un retiro en el margen derecho del río para ampliar el MED hasta las casas de la comunidad, lo cual limita determinar el alcance de las posibles inundaciones que eventualmente podría arrojar el modelo.
- Al momento de georreferenciar la información, se observan discordancias entre el levantamiento topográfico y las condiciones actuales que se visualizan en el cauce del río, ya que en sí la información carece de una coordenada para ser georreferenciado.

- Los puntos de elevación no se tomaron de manera absoluta, al contrario, fueron relativos al sitio del levantamiento.

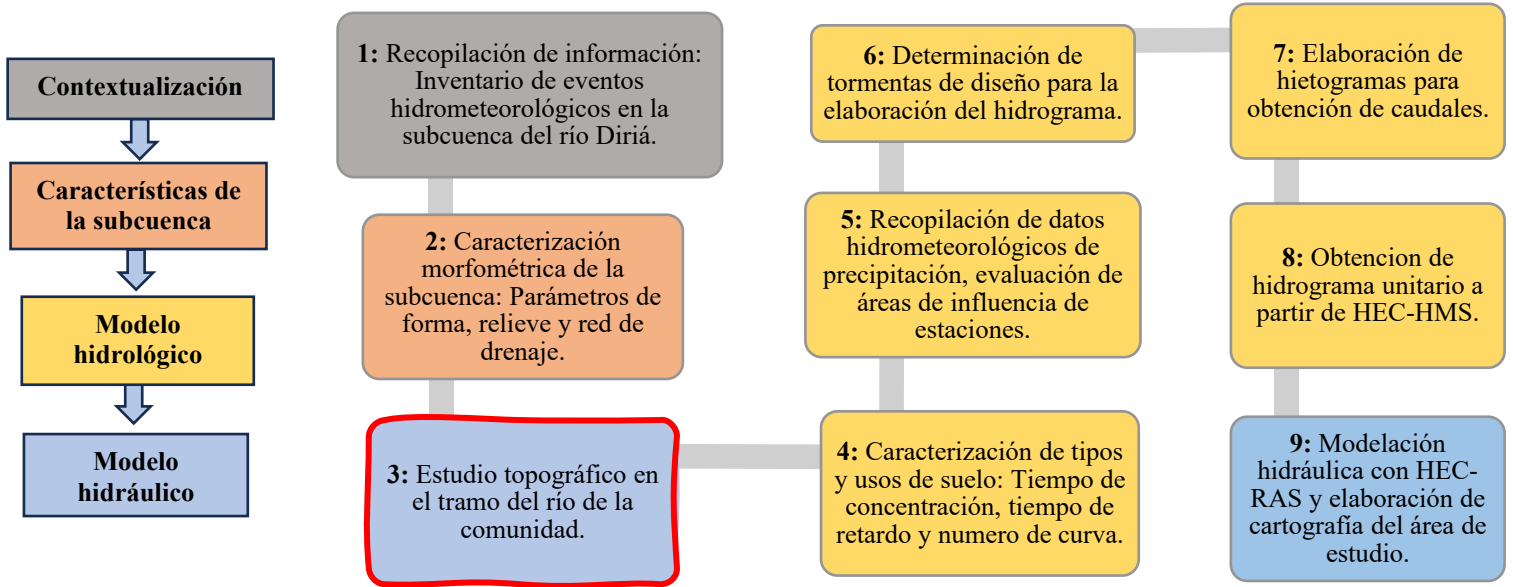
Como plan de contingencia para completar de forma preliminar lo propuesto en este objetivo, se optó por utilizar información existente en la base de datos disponibles en el SNIT, específicamente las hojas cartográficas 1:25 000 del IGN, para extraer los puntos de elevación del sitio, generar curvas de nivel con información de estos, mediante el uso de sistemas de información geográfica como ArcMap, con el fin de generar un MED representativo al área de estudio y elaborar la modelación hidráulica del cauce y sus márgenes.

*Objetivo específico 4:* Mediante la herramienta HEC-RAS, el MED elaborado para el sitio y el hidrograma de la tormenta Nate, fue posible obtener una modelación hidráulica significativa para la comunidad El Guabo, ya que los sitios identificados en campo con mayor vulnerabilidad en el sitio el modelo los determina con sitios de potencial de inundación ante eventos extremos de precipitación. Además, las afectaciones por inundaciones que ocurrieron el 8 de noviembre del 2024 (**figura 6. 1**) permitieron observar el comportamiento que tomó el agua cuando sobre pasó el dique en la comunidad (**anexo 6**), esto permitió comparar y calibrar los resultados obtenidos del modelo de inundación.

### **6.2.3. Efectividad del diseño metodológico propuesto**

La metodología propuesta consiste en el cumplimiento de 9 etapas para obtener los objetivos planteados, el hecho de segmentar la metodología bajo etapas permitió un orden y correlación entre los resultados de cada una de ellas. Sin embargo, se considera que el estudio y búsqueda de material topográfico del área de trabajo forme parte de las primeras etapas de la investigación, esto con el fin de agilizar los procesos de solicitud con la determinada entidad pública o privada con la que se está desarrollando el proyecto, o bien contemplar un posible financiamiento que permita obtener dichos datos. Por lo cual, en la **figura 6. 12** se ofrece un ajuste de la metodología propuesta para el desarrollo de esta investigación, el mismo se visualiza en relleno de color naranja.

**Figura 6. 12:** Ajuste del diagrama de flujo propuesto para la metodología del proyecto.



Fuente: Elaboración propia (2024).

# Conclusiones y recomendaciones

## Capítulo 7.

En este capítulo se exponen las lecciones aprendidas que se obtuvieron a lo largo del desarrollo del proyecto. Además, se brindan algunas recomendaciones que se consideran significativas realizar para futuros proyectos bajo esta línea de investigación.

## **Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones**

### **7.1. Conclusiones**

A continuación, se expondrán las conclusiones obtenidas al culminar este estudio, las mismas se abordarán tomando como referencia lo obtenido durante el proceso de elaboración del modelo hidrológico e hidráulico.

#### **7.1.1. Conclusiones obtenidas dentro del desarrollo del modelo hidrológico.**

- A pesar de que la caracterización morfométrica de la subcuenca del río Diríá, indican que la misma presenta una baja probabilidad de generar caudales significativos, el tipo y uso de suelo, más la ubicación de las zonas urbanas en los márgenes del cauce, los convierten en elementos cruciales para desencadenar las problemáticas de inundación que se desarrollan en esta subcuenca.
- Los datos obtenidos de la revisión bibliográfica, los registros de precipitación de la estación Santa Cruz y las respuestas que se obtuvieron al aplicar la encuesta dirigida a la comunidad El Guabo, determinaron que la tormenta tropical Nate ha sido el evento de lluvia que desató inundaciones significativas, ya que alcanzó el valor más alto de PMD en 30 años de registro de la estación meteorológica, lo cual da lugar a que sea utilizada como punto de referencia para modelar escenarios extremos de precipitación dentro de la subcuenca.
- Los resultados que se obtuvieron del análisis del periodo de retorno de los eventos de precipitación registrados en la estación Santa Cruz y la comparación de fechas de la revisión bibliográfica de los eventos de inundación, indican que la subcuenca presenta una alta probabilidad de que ocurran lluvias que generan incidentes de inundaciones en el río Diríá, lo cual se agrava debido a la carencia de un ordenamiento territorial dentro de los márgenes del río Diríá incrementando significativamente la vulnerabilidad de las comunidades asentadas en estos sitios.
- La estación Santa Cruz tuvo el mayor porcentaje de influencia en la subcuenca del río Diríá, sin embargo, el registro horario de los datos de precipitación implicaron la utilización de los datos de la estación Quirimán para generar los hietogramas con una mayor cantidad de datos de las tormentas de diseño. Lo anterior permitió generar hidrogramas sustentados con un registro de precipitación robusto para modelar los caudales del río bajo las condiciones de lluvia de los hietogramas.

### **7.1.2. Conclusiones obtenidas dentro del desarrollo del modelo hidráulico.**

- Al ejecutar el modelo hidráulico se evidenció que el caudal de diseño obtenido del modelo hidrológico de la tormenta Nate, presentan una alta peligrosidad para la comunidad El Guabo. Además, es posible observar que la estructura del dique es superada bajo condiciones similares de precipitación, lo cual representa una potencial amenaza de inundación dentro de la comunidad.
- Al carecer de un estudio topográfico detallado in situ del cauce del río Dirιά y la comunidad en estudio, limita el alcance esperado para el modelo hidráulico. Sin embargo, el material utilizado como plan de contingencia permitió generar resultados atinados a las condiciones observadas en campo y a la información disponible en el SNIT, estos pueden ser utilizados como resultados preliminares con miras a ser mejorados cuando se obtenga datos topográficos con mayor precisión al sitio de estudio.
- Se identificó que uno de los puntos críticos en la modelación se encuentra en el tramo donde está el dique, ya que posterior a esta estructura presenta una disminución significativa del ancho del cauce, lo cual afecta la dinámica de los caudales de gran magnitud, porque al llegar un sitio que no posee las capacidades hidráulicas de drenaje levanta el nivel del agua, sobre pasando la altura del dique hasta llegar a la comunidad. Además, esta reducción del cauce hace que la movilidad del sedimento sea lenta en ese sitio, ocasionado depósitos considerables en esta zona, generando una reducción de la altura del dique y por ende acortando su capacidad de trabajo.

### **7.2. Recomendaciones**

- Que el presente estudio se utilice como punto de partida para elaborar investigaciones orientadas a evaluar zonas de inundación dentro de la subcuenca del río Dirιά, con el fin de determinar puntos críticos y potencial a ser impactados por estos eventos, para ser incorporados dentro del plan de ordenamiento territorial de la comunidad de Santa Cruz.
- Que los datos generados en los caudales de diseño se logren tomar en cuenta dentro de los estudios preliminares para modelar y construir estructuras hidráulicas, como diques para la implementación de alternativas de mitigación de inundaciones de las comunidades que cuentan con antecedentes relacionadas a este tipo de problemáticas.

- Proponer la instrumentalización de la subcuenca del río Diríá para evaluar las condiciones climáticas de la misma, utilizar como referencia el área de influencia de la estación Santa Cruz como punto de partida de las potenciales zonas para su implementación, estas pueden ubicarse en la parte alta, media y baja de la subcuenca. Además, tomar en cuenta que los dispositivos a implementar tengan la capacidad de registrar datos de precipitación en una escala temporal de al menos 5 a 10 minutos, con el propósito de generar hietogramas con suficientes datos de las tormentas que se desarrollan dentro de la subcuenca para generar los hidrogramas respectivos.
- Realizar un levantamiento topográfico con un nivel de detalle mínimo de 0.50 m de distancia entre las curvas de nivel, esto para lograr una mejor lectura del terreno en la zona de estudio, ya que el mismo presenta características planas en su forma de relieve. A partir de ello, se obtendrán los datos necesarios para ajustar el modelo hidráulico generado en la presente investigación, con el fin de mejorar su precisión en cuanto al comportamiento que tendrían los caudales de diseño en el área de inundación y en el cauce mismo cuando supere los niveles habituales.
- Implementar estudios de evaluación hidráulica de estructuras, como el dique, donde se pueda conocer el estado actual de los materiales, erosión externa e interna, estabilidad del talud, asentamientos, etc. Con la finalidad de indicar si está en buenas condiciones y, si no, realizar las mejoras necesarias a partir de planes de reparación para recuperar la funcionalidad de la estructura.
- Realizar actividades de mantenimiento para remover el sedimento acumulado en la pared superficial del dique, con el fin de procurar de que cada año, en la época lluviosa, cuente con las características óptimas de altura de trabajo para drenar los caudales que ocasiona el río.
- Además, analizar la viabilidad de ampliación del cauce que se encuentra posterior al dique, para buscar mejoras en la capacidad hidráulica del río en este tramo.

## Referencias Bibliográficas

- Abhas, K., Bloch, R. y Lamond, J. (2012). Una guía para la gestión integrada del riesgo de inundaciones urbanas para el siglo XXI. [https://reliefweb.int/report/world/cities-and-flooding-guide-integrated-urban-flood-risk-management-21st-century?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjw5v2wBhBrEiwAXDDoJXeJs9Gg7i7VtU4rOk\\_75\\_TrOiRbgCCXoWcfMfGpTW0oV-NnAZB6GRoCWcoQAvD\\_BwE](https://reliefweb.int/report/world/cities-and-flooding-guide-integrated-urban-flood-risk-management-21st-century?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw5v2wBhBrEiwAXDDoJXeJs9Gg7i7VtU4rOk_75_TrOiRbgCCXoWcfMfGpTW0oV-NnAZB6GRoCWcoQAvD_BwE)
- Alanís, G. (2011). Los fenómenos meteorológicos extremos. Efecto de las bajas temperaturas en la vegetación arbórea del área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*, (14)2, 115 – 120. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40218433002.pdf>
- Aldalur, N. (2011). Inundaciones y anegamientos en Ingeniero White. Aplicación de las tecnologías de la información geográfica para la planificación y gestión de la hidrología urbana. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-42652011000100008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-42652011000100008&script=sci_arttext)
- Andrades, M. y Muñoz, C. (2012). Fundamentos de climatología. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/267903.pdf>
- Aragón, F. (2014). Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina. Lima: Soluciones Prácticas. [http://201.130.16.43/bitstream/handle/20.500.11762/19850/InundacionesCuencasUrbanasLATAM%28Aragon\\_2014%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://201.130.16.43/bitstream/handle/20.500.11762/19850/InundacionesCuencasUrbanasLATAM%28Aragon_2014%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arreguín, F., López, M. y Marengo, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencias del Agua*, (5), 5 – 13. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n5/2007-2422-tca-7-05-00005.pdf>
- Arroyo, N. (2011). Costa Rica: Análisis de la incidencia espacial de inundaciones y deslizamientos por provincias y cantones, años 2000 – 2006. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47), pp. 97 – 126. <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451745770004.pdf>
- Baena, R., Guerrero, I., García, B. y Posada, J. (2016). Ocupación antrópica y riesgos de inundación en la llanura del río Guadalquivir (Sector Palma del río Sevilla, España). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 72, 149 – 167. DOI: 10.21138/bage.2335

- Behar, D. (2008). Metodología de la investigación. [http://187.191.86.244/rceis/wpcontent/uploads/2015/07/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n DANIEL-S.-BEHAR-RIVERO.pdf](http://187.191.86.244/rceis/wpcontent/uploads/2015/07/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n-DANIEL-S.-BEHAR-RIVERO.pdf)
- Bello, O., Bustamante, A. y Pizarro, P. 2020. Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/108), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/26f2977e-45ae-4fe0-9864-e52c63189100/content>
- Bogantes, R., Laporte, G., Quesada, C. y Vásquez, A. (2002). Zonificación geotécnica general de Costa Rica considerando elementos edáficos y climáticos.
- Camargo, W. (2016). Modelación Hidrológica e Hidráulica de eventos de inundación en el río Bogotá (sector Tocanzi-Chia) usando HEC-RAS. [https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_vicinves/index.php/RA/article/download/3267/1897](https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_vicinves/index.php/RA/article/download/3267/1897)
- Cardona, B. (2016). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Celerín, P. (2009). Elaboración de cartografía de riesgo de inundaciones y propuesta de mejora de conservación en la cuenca y reserva MAB de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, Argentina. Tesis para optar al grado de Maestría en Conservación y Gestión del Medio Natural. Universidad Internacional de Andalucía, España. [https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/84/0060\\_Celemin.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/84/0060_Celemin.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Centro de Ingeniería Hidrológica (Estados Unidos). (2024). Manual de referencias hidráulicas HEC-RAS: Número de Curva. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest/overview-of-optional-capabilities/modeling-precipitation-and-infiltration/curve-number>

- Chaves, L. y Ordoñez, Y. (2017). Estimación de los tiempos de concentración en las corrientes: Aguas Claras, Arrayanales, Carnicería, El Vado, Pichagua y río Las Piedras en el municipio de Papayán. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080>
- Chow, V., Maidment, D. y Ways, L. (1994). Hidrología Aplicada. <https://es.scribd.com/document/447733434/Hidrologia-Aplicada-Ven-Te-Chow-pdf>
- Cívicos, A. y Hernández, M. (2007). Algunas reflexiones y aportaciones en torno a los enfoques teóricos y prácticos de la investigación en Trabajo Social. *Acciones e investigaciones Sociales*, (23), 25 – 55. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2264596>
- CNE (2023). Estrategia de Manejo de Inundaciones. [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/biblioteca/estrategia/Estrategia%20de%20Manejo%20de%20Inundaciones.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/biblioteca/estrategia/Estrategia%20de%20Manejo%20de%20Inundaciones.pdf)
- CNE. (2006). Mapa de amenazas y peligros naturales de cantón de Santa Cruz. [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/mapas\\_amenazas/mapas\\_de\\_ameaza/guanacaste/Santa%20Cruz.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenazas/mapas_de_ameaza/guanacaste/Santa%20Cruz.pdf)
- CNE. (2010). Deslizamientos, inundaciones y sismos. [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/informacion\\_educativa/recomendaciones\\_consejos/documentos/Folleto\\_Deslizamientos.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomendaciones_consejos/documentos/Folleto_Deslizamientos.pdf)
- CNE. (2014). Gestión Municipal del Riesgo de Desastres: Normas y elementos básicos para su inclusión en el ordenamiento territorial – Énfasis en Prevención, Control y Regulación Territorial. [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/biblioteca/gestion%20\\_municipal/Gestion%20Municipal%20del%20Riesgo%20Ordenamiento%20Territorial.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/biblioteca/gestion%20_municipal/Gestion%20Municipal%20del%20Riesgo%20Ordenamiento%20Territorial.pdf)
- CNE. (2017). Histórico de desastres en Costa Rica: febrero de 1723 – abril de 2017 (2ª ed.). Centro de Documentación e Información (CEDO).
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (1999). Costa Rica: Evaluación de los daños causados por el huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo

económico y social y el medio ambiente (LC/MEX/L.373). Naciones Unidas.  
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/71ee6328-4dee-485b-8c2f-fa9257617860/content>

Constitución Política de la República de Costa Rica. (7 de noviembre de 1949).  
[https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=871](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=871)

Corzo, L. y Chirinos, J. (2019). La viabilidad ambiental: Una mirada desde los proyectos socio integradores. *Pol. Con.*, (4)37, p. 108 – 132. DOI: 10.23857/pc.v4i9.1102

Cotler, H., Galindo, A., Gonzáles, I., Pineda, R. y Ríos, E. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión.  
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001596.pdf>

CRHoy. (19 de octubre del 2012). Cientos de guanacastecos permanecen en albergues tras fuertes aguaceros. CRHoy. <https://archivo.crhoy.com/cientos-de-guanacastecos-permanecen-en-albergues-tras-fuertes-aguaceros/nacionales/>

Cruz, B., Gaspari, F., Rodríguez, A., Carillo, F. y Téllez, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia*, (23)64, 26 – 24. <https://www.redalyc.org/pdf/674/67441039004.pdf>

Cruz, R y Arroyo, C. (6 de octubre del 2017). Tormenta Nate convirtió llanuras en lagos y calles en ríos en Santa Cruz. La Voz de Guanacaste. <https://vozdeguanacaste.com/tormenta-nate-convirtio-llanuras-en-lagos-y-calles-en-rios-en-santa-cruz/#:~:text=Nate%20logr%C3%B3%20desaparecer%20potreros%2C%20llanuras,pasado%20jueves%205%20de%20octubre>

Cubero, C. y Carvajal, J.P. 2014. Distribución espacial de las inundaciones en Costa Rica, 10 años de sus efectos. *Revista En Torno a la Prevención* 13: 15-20.  
<https://catalogosiidca.csuca.org/Record/CR.UNA01000304273>

Del Águila, S. y Mejía, A. (2021). Caracterización morfométrica de dos cuencas del Perú utilizando sistemas de información geográfica.  
<https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/2235/2313>

- Del Canto, E. y Silva, A. (2013). Metodología Cuantitativa: Abordaje desde la complementariedad en ciencias sociales. *Revistas de Ciencias Sociales*, (3)141, 25 – 34.  
<https://www.redalyc.org/pdf/153/15329875002.pdf>
- Díaz, G. (2012). El Cambio Climático. *Ciencia y Sociedad*, (37)2, 227 – 240.  
<https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>
- Dolores, D. y Gabriel, J. (2018). Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón.  
[https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/17350/INTA\\_CRCatamarca-LaRioja\\_EEALaRioja\\_Garay\\_DD\\_Delimitacion\\_hidrografica\\_caracterizacion\\_morfometrica\\_Azulon.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/17350/INTA_CRCatamarca-LaRioja_EEALaRioja_Garay_DD_Delimitacion_hidrografica_caracterizacion_morfometrica_Azulon.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Duque, P., Patiño, D. y López, X. (2019). Evaluación del sistema de Modelamiento Hidrológico HEC – HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información Tecnológica*, Vol (30), 351 – 362.  
<https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v30n6/0718-0764-infotec-30-06-00351.pdf>
- Elizondo, G. (2018) Ajuste del número de curva mediante optimización en HEC-HMS en la microcuenca La Vega, el Valle del Cauca, Colombia.  
[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11243/ajuste\\_numero\\_curva\\_mediante\\_optimizacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11243/ajuste_numero_curva_mediante_optimizacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Escuela de Ingeniería de Biosistemas, UCR. (2019). Informe Estudio de Zonas de Amenazas por Inundación usando Sensores Remotos, Análisis Hidrológico e Hidráulico para Mejorar la Cuantificación y Gestión del Riesgo en la Cuenca de Aguas Claras.  
[https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/biblioteca/informes/Analisis%20Hidrologico%20e%20Hidraulico%20Cuantificacion%20y%20Gestion%20del%20Riesgo%20en%20la%20Cuenca%20de%20Aguas%20Claras.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/biblioteca/informes/Analisis%20Hidrologico%20e%20Hidraulico%20Cuantificacion%20y%20Gestion%20del%20Riesgo%20en%20la%20Cuenca%20de%20Aguas%20Claras.pdf)
- Escuela de Ingeniería de Biosistemas, UCR. (2019). Informe Estudio de zonas de amenazas por inundación usando sensores remotos, análisis hidrológico e hidráulico para mejorar la cuantificación y gestión del riesgo en la Cuenca del Río Zapote.

[https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/biblioteca/informes/Analisis%20hidrologico%20e%20hidraulico%20Cuenca%20del%20Rio%20Zapote.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/biblioteca/informes/Analisis%20hidrologico%20e%20hidraulico%20Cuenca%20del%20Rio%20Zapote.pdf)

Esquivel, N. (4 de noviembre del 2020). Impacto Eta en Guanacaste: lluvias de dos meses cayeron en tres días. La Voz de Guanacaste. <https://vozdeguanacaste.com/impacto-eta-en-guanacaste-lluvias-de-dos-meses-cayeron-en-tres-dias/>

Fernández, M., Méndez, I. y Muñoz, R. (2017). Exposición a inundaciones en Moravia, San José, Costa Rica. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/reflexiones/v98n1/1659-2859-reflexiones-98-01-1.pdf>

Ferrer, V. y Torrero, M. (2013). Manejo integrado de cuencas hídricas: Cuenca del río Gualjaina, Chubut, Argentina. *Science Direct*. (48)143, 615 - 643. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0041863318300255>

Finca García Muñoz. (16 de marzo de 2024). En la difícil era de las harinas secas y cuando la rusticidad y adaptabilidad del cerdo es vital para producir de manera rentable. <https://www.instagram.com/p/C4k6YZjqK7W/?hl=it>

Fonseca, O. (13 de febrero de 2024). Qué ver en Santa Cruz de Guanacaste: 7 Aventuras Imperdibles. <https://blog.hoteleus.com/que-ver-en-santa-cruz-de-guanacaste-7-aventuras/>

Galeano, A. (5 de octubre del 2017). “Después de que lloremos por la sequía se nos vino toda esta agua”. La Teja. <https://www.lateja.cr/sucesos/despues-de-que-lloramos-por-la-sequia-se-nos-vino/2N5H5ZALTNDEVOJ72ZYN6ZSELY/story/>

Gary, B. (1996). HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Versión 1.0. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/tr/ADA311952>

Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Senisterra, G., Denegri, G. A., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. [https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/6041/11746\\_6041.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/6041/11746_6041.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Gómez, A. (2020). Caracterización de una cuenca: principios y métodos. <https://www.riego.mx/files/webinars/webinar04.pdf>
- Gualdrón, D., Villate, J. y Rodríguez, A. (2023) Cálculo y aplicación del método del número de curva del soil conservation services (SCS) para la cuenca alta del río Suárez usando sistemas de información geográfica. <https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/download/347/277/6995?inline=1>
- Guzmán, I., Watson, F., Villagra, K y Casasola, R. (2017). Modelación Hidrodinámica y Morfológica del Río La Estrella, Limón. [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/biblioteca/informes/Modelacion%20Hidrodinamica%20y%20Morfologica%20del%20Rio%20La%20Estrella,%20Limon.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/biblioteca/informes/Modelacion%20Hidrodinamica%20y%20Morfologica%20del%20Rio%20La%20Estrella,%20Limon.pdf)
- HEC [Hydrologic Engineering Center's]. (2024). HEC-HMS. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- HEC [Hydrologic Engineering Center's]. (2024). HEC-RAS. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- Ibáñez, S., Moreno, H. y Gisbert, J. (2010). Morfología de las cuencas hidrográficas. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%c3%ada%20de%20una%20cuenca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IMAS. (martes 3 de agosto de 2021). Primeras 674 familias afectadas por inundaciones recibieron ¢209 millones de subsidio de emergencia del IMAS. Gobierno de Costa Rica. <https://normas-apa.org/referencias/citar-pagina-web/>
- IMN (2023). Boletín Meteorológico Mensual: noviembre del 2023. Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/552310/NOVIEMBRE>
- IMN (2024). Avisos meteorológicos. [https://www.imn.ac.cr/avisos-meteorologicos/-/asset\\_publisher/Xx7ByS9pazx5/content/aviso-meteorologico-imn-081124-condiciones-lluviosas-este-viernes](https://www.imn.ac.cr/avisos-meteorologicos/-/asset_publisher/Xx7ByS9pazx5/content/aviso-meteorologico-imn-081124-condiciones-lluviosas-este-viernes)
- IMN. (2008). Boletín Meteorológico Mensual: mayo del 2008. Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/14627/MAYO>

IMN. (2008). Boletín Meteorológico Mensual: octubre del 2008. Instituto Meteorológico Nacional.  
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/14627/OCTUBRE>

IMN. (2009) Pacífico Norte Clima.  
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/PacificoNorte.pdf/4a0e8960-8c51-4390-8a8d-73d9d825d59b>

IMN. (2012). Boletín Meteorológico Mensual: octubre del 2012. Instituto Meteorológico Nacional.  
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/14635/OCTUBRE>

IMN. (2015). Los huracanes y sus efectos en Costa Rica.  
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31306/9-LOS+HURACANES+Y+LOS+EFECTOS+EN+COSTA+RICA/dce06c47-915f-4517-a001-30cbf6f890d9#:~:text=En%20los%20%C3%BAltimos%20a%C3%B1os%20los,da%C3%B1os%20a%20la%20infraestructura%20nacional.>

IMN. (2017). Boletín Meteorológico Mensual: octubre del 2017. Instituto Meteorológico Nacional.  
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/437028/OCTUBRE>

IMN. (2018). Boletín Meteorológico Mensual: octubre del 2018. Instituto Meteorológico Nacional.  
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/454290/OCTUBRE>

IMN. (2020). Boletín Meteorológico Mensual: agosto del 2020. Instituto Meteorológico Nacional.  
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/490190/AGOSTO>

IMN. (2020). Boletín Meteorológico Mensual: noviembre del 2020. Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/490190/NOVIEMBRE>

IMN. (2020). Glosario Meteorológico.  
<http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/glosariometeorologico/>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC). (2014). Censo Nacional Agropecuario 2014. San José. Costa Rica.  
[https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/reagropeccenagro2014-tiii-008\\_0\\_3.pdf](https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/reagropeccenagro2014-tiii-008_0_3.pdf)

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

Jiménez, L. y Lynch, D. (6 de noviembre 2024). Ríos desbordados provocan nuevas inundaciones en Guanacaste. *Teletica.com*. [https://www.teletica.com/sucesos/rios-desbordados-provocan-nuevas-inundaciones-en-guanacaste\\_370576](https://www.teletica.com/sucesos/rios-desbordados-provocan-nuevas-inundaciones-en-guanacaste_370576)

Khalaf, R. (2017). Chapter two: Precipitation. [https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5\\_2018\\_12\\_25!02\\_39\\_15\\_PM.pdf](https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5_2018_12_25!02_39_15_PM.pdf)

La Nación. (2 de julio del 2022). Tormenta Tropical Bonnie: Fenómeno salió de Costa Rica hacia el Lago de Nicaragua. La Nación. <https://www.nacion.com/sucesos/desastres/tormenta-tropical-bonnie-15-cantones-en-alerta/MM4QTZ47KZFBLCDXUCFOUYIZSI/story/>

La Nación. (21 de noviembre de 1996). Emergencia en Vertiente del Pacífico. <https://www.nacion.com/archivo/emergencia-en-vertiente-del-pacifico/75F4NIJP3NBDFICEEGPIC5MFAE/story/>

La Nación. (24 de agosto del 2020). Afectación por tormenta Marco dejó en tres días en Santa Cruz más del doble de la lluvia que cae en todo el mes. La Nación. <https://www.nacion.com/sucesos/seguridad/afectacion-por-tormenta-marco-dejo-en-tres-dias-en/QAKQ5CCPYFE7BM6IH5DDBRCXWI/story/>

La Nación. (29 de enero 2017). Especial 70 años de tragedias: Huracán Alma, 2008. <https://www.nacion.com/revista-dominical/especial-70-anos-de-tragedias-huracan-alma-2008/NI3OILLXEZFBJLOAUJU42LLEL4/story/#:~:text=Alma%20se%20desat%C3%B3%20en%20la,que%20no%20se%20pudo%20transitar.>

La Nación. (5 de octubre del 2018). Video: Lluvias azotan a vecinos de Santa Cruz [Video]. La Nación. <https://www.nacion.com/videos/el-pais/video-lluvias-golpean-a-pobladores-de-santa-cruz/H5CUCMLEZBGA3PA4BITDYR65RY/story/>

La Nación. (7 de septiembre del 2008). Más de 300 casas afectadas por inundaciones en Santa Cruz. <https://www.nacion.com/sucesos/mas-de-300-casas-afectadas-por-inundaciones-en-santa-cruz/5M6YQ5YNCBEDXGYBP4OX74YSHE/story/>

Ley de Creación del Instituto Meteorológico Nacional N°5222. (26 de junio de 1973). [https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param2=NRTC&nValor1=1&nValor2=7796](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param2=NRTC&nValor1=1&nValor2=7796)

Ley de Planificación Urbana N°4240. (15 de noviembre de 1968) [https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=35669&nValor3=80861&strTipM=TC](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=35669&nValor3=80861&strTipM=TC)

Ley Forestal N°7575 (13 de febrero de 1996). [https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=TC](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=TC)

Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N°8488. (22 de noviembre de 2005). [https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=56178](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=56178)

Ley Orgánica del Ambiente N°7554 (4 de octubre de 1995). [https://www.pgrweb.go.cr/SCIJ/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=27738&nValor3=93505&strTipM=TC](https://www.pgrweb.go.cr/SCIJ/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=27738&nValor3=93505&strTipM=TC)

López , A. (2001). Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método del número de curva del Soil Conservation Service. <https://repositori.udl.cat/bitstream/10459.1/46546/1/004300.pdf>

López, M. y Carmen, E. (2022). Análisis hidrológico e hidráulico para la evaluación de riesgo de inundación fluvial por desborde del río Huallaga en el sector de Huayopampa, distrito de Amarilis, provincia de Huánuco 2021. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/7329/TIC00278L87.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

López, R. (2001). Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método Número de Curva de Soil Conservation Service.

<https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/a06247e7-e188-49fb-960e-b33e0e4b3d35/content>

Lux, B. (2016). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

Masís, R. y Vargas, H. (2014). Incremento de áreas impermeables por cambios de usos de la tierra en la microcuenca del río Burío. *Rev. Reflexiones*, (1)93, 33 – 46. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/reflexiones/v93n1/a03v93n1.pdf>

Matamoros, F. y Zeledón, D. (2024). Propuesta de sistema de alerta temprana ante inundaciones para reducir el impacto socioambiental originado por el río Las Palmas en el barrio El Bambú, Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica. <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/27615/TFG-%20Matamoros%20%2c%20Fernando%20y%20Zeled%C3%B3n%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Medina, F. y Gaspari, F. (2021). GeoQ: Herramienta geoespacial para la zonificación de la escorrentía en QGIS®. *Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal*, 9(2). <https://ojs2.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/view/1289/1089>

MINAE y SETENA. (2018). Acuerdo de la comisión plenaria Modificación al artículo 7 de la resolución No. 2373 – 2016 – SETENA. <https://www.setena.go.cr/Downloads/documentos/Normativa/RES-1462-2018.pdf>

Monso, P., Stolz, W. y Fallas, J. (2005). El régimen de la precipitación en Costa Rica. [https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/15025/144\\_7-8.pdf](https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/15025/144_7-8.pdf)

Morales, L. (2011). Desarrollo humano y desarrollo turístico: el caso del cantón de Santa Cruz de Guanacaste. <https://www.redalyc.org/pdf/446/44615611005.pdf>

- Novo, A., Garrido, H. y Arias, P. (2022). "Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la educación superior: aplicaciones prácticas de la geomática con el software Quantum GIS". <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9982364>
- Observatorios Metropolitanos. (2013). Manual operativo para la utilización del sistema de información geográfica Quantum GIS 1.8. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60632710/Manual-QGIS>
- Ochoa, B., Buytaert, W., De Bièvre, B., Célleri, R., Crespo, P., Villacís, M., Llerena, C., Acosta, L., Villazón, M., Guallpa, M., Gill, R., Fuentes, P., Olaya, D., Viñas, P., Rojas, G. y Arias, S. (2020). Impacto del uso del suelo sobre la respuesta hidrológica de las cuencas andinas. <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2020/08/Impactos-del-uso-del-suelo-sobre-la-respuesta-hidrol%C3%B3gica-de-cuencas-andinas.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2023). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: alianzas y cooperación por el agua. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386807>
- Orozco, R., Brenes, A. y Sura, R. (2022). Inventario histórico de desastres naturales en Costa Rica en el periodo 1970-2020. <https://www.revistareder.com/ojs/index.php/reder/article/view/85>
- Ortiz, E. (2015). Atlas Digital de Costa Rica a disposición del público. Tecnológico de Costa Rica. [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga\\_tec/article/view/2330/2119](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/2330/2119)
- Ortiz, O. (2016). Atlas de Costa Rica 2014. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6749?show=full>
- Pascual, J. y Díaz, M. (2016). Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS. [http://eprints.imdea-agua.org:13000/711/1/Cuadernos%20de%20Geom%C3%A1tica%20\\_b.pdf](http://eprints.imdea-agua.org:13000/711/1/Cuadernos%20de%20Geom%C3%A1tica%20_b.pdf)
- Pomareda, F. (23 de junio de 2023). País podría reducir a la mitad monto que invierte en reconstruir infraestructura por desastres, si realiza gestión de riesgo. Seminario

Universidad.<https://semanariouniversidad.com/pais/pais-podria-reducir-a-la-mitad-monto-que-invierte-en-reconstruir-infraestructura-por-desastres-si-realizara-gestion-de-riesgo/>

Programa Estado de la Nación, 2020. Capítulo Armonía con la Naturaleza. Programa Estado de la Nación, Consejo Nacional de Rectores. San José, Costa Rica. <https://repositorio.conare.ac.cr/rest/bitstreams/fa0487de-5dbb-401d-9ecd-f83a747b9e6b/retrieve>

Programa Estado de la Nación, 2021. Capítulo Armonía con la Naturaleza. Programa Estado de la Nación, Consejo Nacional de Rectores. San José, Costa Rica. <https://repositorio.conare.ac.cr/rest/bitstreams/3afa816a-dfcb-4052-aadd-6bbc24b0c255/retrieve>

QGIS. (2024). Capturas de pantalla de ejercicios en el campo de trabajo de QGIS. <https://www.QGIS.org/es/site/about/screenshots.html>

Quesada, A. (2017). Geomorfología Fluvial e Inundaciones en la Cuenca Alta del Río General, Costa Rica. *Escuela de Ciencias Geográficas*, (40), 278 – 288. <https://pdfs.semanticscholar.org/73b2/a7c75a60c6c9cfe12b4c54b2277bdd110fcd.pdf>

Quispe Ajata, K. (2021). Cartografía de riesgo de inundaciones con el software IBER. Caso: Uno Santa Cruz – Bolivia. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/30627/PG-2682.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental N° 43898. (2022). [https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=99253&nValor3=135644&strTipM=TC](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=99253&nValor3=135644&strTipM=TC)

Restrepo, J. (2015). El impacto de la deforestación en la erosión de la cuenca del río Magdalena (1980-2010). *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* (151)39, 250 – 267. <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v39n151/v39n151a10.pdf>

Retana, J. (2012). Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la adaptación al cambio climático. *Revista de ciencias ambientales*, (44), 5 – 16. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/7713>

- Salazar, C., Hallack, M., Mungaray, A., Lomelí, M., López, A. y Salcedo, A. (2018). Modelación hidrológica e hidráulica de un río intraurbano en una cuenca transfronteriza con el apoyo del análisis regional de frecuencias. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v9n4/2007-2422-tca-9-04-48.pdf>
- Sánchez, L. 2021. Ordenamiento territorial y crecimiento urbano: desafíos e impactos para las ciudades intermedias y la zona marino-costera. Ponencia presentada como investigación base para el Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2021 (no. 27), Capítulo 4: Armonía con la naturaleza. San José. [https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/8243/Sanchez\\_L\\_Ordenamiento\\_territorial\\_crecimiento\\_urbano\\_desafios\\_impactos\\_IEN\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/8243/Sanchez_L_Ordenamiento_territorial_crecimiento_urbano_desafios_impactos_IEN_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sánchez, N. (2017). Cálculo de la Precipitación Media sobre la Península de la Guajira usando el Método de Thiessen. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16671/SanchezForeroNeeckYeins2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sapag, N., Sapag, R. y Sapag, J. (2014). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1243/1/Sapag-proyectos%206ta%20edici%C3%B3n.pdf>
- Solano, F., Alfaro, E. y Quesada A. (2011). Impacto de los Ciclones Tropicales del Atlántico en América Central, Temporada de 1968 – 1969. *Diálogos, Revista Electrónica de Historia*, (12)1, 78 – 100. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/dreh/v12n1/a04v12n1.pdf>
- Solano, H. (10 de noviembre 2024). Santa Cruz de Guanacaste ya superó el 75% de lo que llueve en todo noviembre. *La Nación*. <https://www.nacion.com/sucesos/desastres/santa-cruz-de-guanacaste-ya-supero-el-75-de-lo-que/KXB5GGBMUZGBNKNEMA6ZKOEUFQ/story/>
- Solano, J. y Villalobos, R. (2005). Regiones y Subregiones climáticas de Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
- UCR (2024) Inventario de estaciones meteorológicas a nivel nacional. <https://experience.arcgis.com/experience/d7cc0fc11b484e168ab922423059576c/page/Apl>

icaci%C3%B3n-mapas-ubicaci%C3%B3n-de-estaciones-meteorol%C3%B3gicas/?views=Inventario-de-estaciones-meteorol%C3%B3gicas-a-nivel-nacional

UNESCO. (2012). Glosario Hidrológico Internacional. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862/PDF/221862qaa.pdf.multi>

USGS. (1989). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. <https://pubs.usgs.gov/wsp/2339/report.pdf>

Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, (33)1, 155 – 165. <https://www.revistas.ucr.ac.cr/index.php/educacion/article/viewFile/538/589>

Vélez, J. y Botero, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*, (78)165, 58 – 71. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49622372006.pdf>

Vera, M. (2023). Estrategias de prevención y reducción de daños ante las inundaciones en centros poblados: estudio de caso Ciudad de Dios. [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6997/1/TL\\_VeraVilchezMaria.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6997/1/TL_VeraVilchezMaria.pdf)

Vergara, M., Ellis, E., Cruz, J., Alarcón, L., y Galván, U. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y Cultura*, (36), 45 – 69. <https://www.redalyc.org/pdf/267/26721226003.pdf>

Villarroya, J., Farias, H. y Amarilla, M. Estimación del parámetro hidrológico del número de curva NC: Automatización del cálculo mediante SIG y nuevas fuentes de información cartográfica. Caso del área urbana de Pozo Hondo. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/codinoa-2013/trabajos/tierra/27-prieto.pdf>

Villón, M. (2004). Hidrología (1.a ed.). Cartago: Editorial Tecnológico de Costa Rica, 2004.

Villón, M. (2017). Manual de cálculos hidrológicos e hidráulicos en cuencas hidrográficas. <https://grupo-jms.blogspot.com/2017/05/manual-de-calculos-hidrologicos-e.html>

Villón, M. (2022). Hidrología (2.a ed.). Cartago: Editorial Tecnológico de Costa Rica, 2022.

Vindas, M. (06 de junio de 2014). Finca experimental de Santa Cruz impulsa investigación en Guanacaste. Universidad de Costa Rica. <https://vinv.ucr.ac.cr/es/noticias/finca-experimental-de-santa-cruz-impulsa-investigacion-en-guanacaste>

Zúñiga, H. (2006). Caracterización Hidrogeológica del Acuífero Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/3a07f6b5-8413-40e7-b5ad-dfe03d8f4869/content>

## Anexos

En este apartado se muestran todos los anexos del material necesario para el desarrollo del proyecto en las distintas secciones de este, estos se pueden observar a continuación:

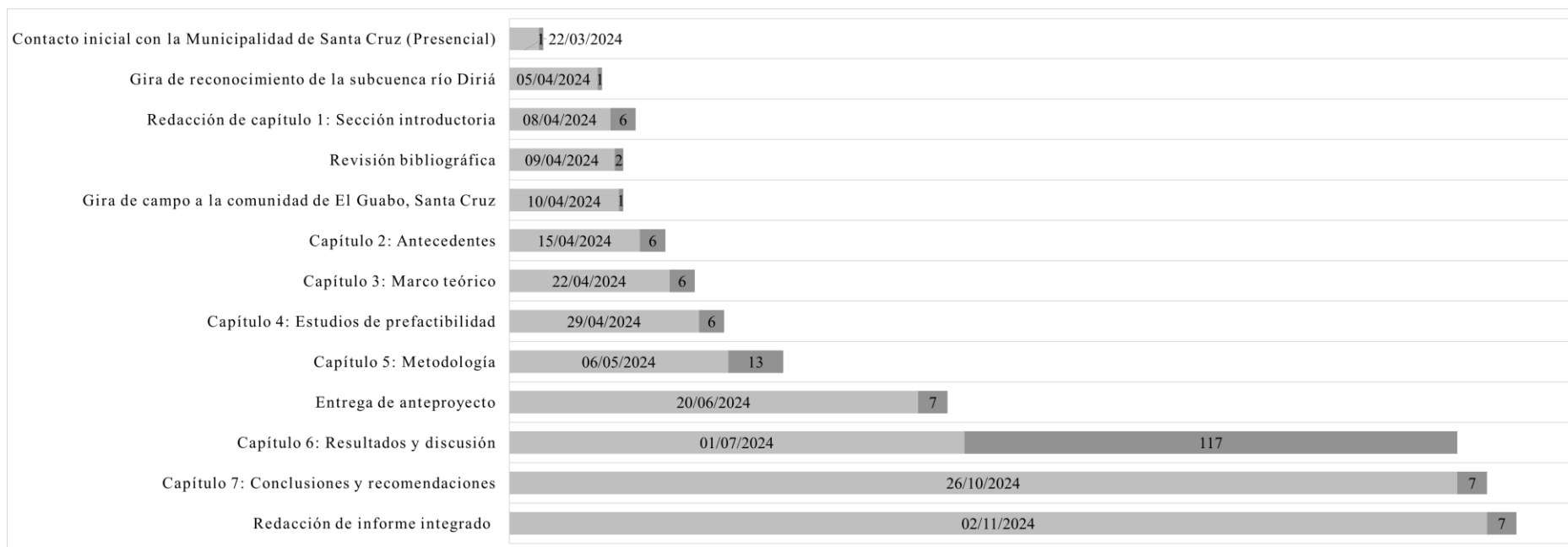
### Anexo A

Rubro	Costo Unitario	Cantidad	Precio Total	Observaciones
<b><u>Costos Directos</u></b>				
<b>1. Equipo Técnico</b>				
<b>Equipo Computacional</b>	₡ 500 000	2	₡ 100 000	Se requieren de equipos con buena capacidad de procesar las actividades que involucran el manejo de los programas propuestos para el estudio.
<b>Datos meteorológicos</b>	₡ 0	4	₡ 0	Datos proporcionados por el IMN y SENARA.
<b>Datos topográficos</b>	₡ 0	2	₡ 0	Curvas de nivel 1:1000 y puntos de elevación 1:50 000 proporcionados por el SNIT.
<b>Paquete Office</b>	₡ 36 999	2	₡ 73 998	Licencia institucional otorgada por la Universidad Nacional, Costa Rica.
<b>Software QGIS</b>	₡ 0	2	₡ 0	Licencia Libre.
<b>Software HEC - HMS</b>	₡ 0	2	₡ 0	Licencia Libre.
<b>Software HEC - RAS</b>	₡ 0	2	₡ 0	Licencia Libre.
<b>2. Servicios</b>				
<b>Honorarios</b>	₡ 3 990	896	₡ 3 575 040	Honorarios de ambos ingenieros con jornada laboral de 8 horas por día, 2 días/semana durante 7 meses. Tomando como base el salario mínimo mensual en CFIA.
<b>Asesoramiento Externo – Universidad Nacional, Costa Rica</b>	₡ 32 000	40	₡ 1 280 000	Se incluye el monto total de una hora de asesoramiento externo por cada semana en 10 meses, por parte del tutor otorgado por la Universidad Nacional, Costa Rica.
<b>Asesoramiento Externo – Municipalidad de Santa Cruz</b>	₡ 8 290	60	₡ 497 400	Se incluye el monto total de una hora y media de asesoramiento externo por cada semana en 10 meses, por parte de la supervisora de la Municipalidad de Santa Cruz.
<b>Total, Costos Directos</b>			₡ 6 426 438	
<b><u>Costos Indirectos</u></b>				
<b>1. Gastos Administrativos</b>				

<b>Servicio de electricidad</b>	€ 24 000	10	€ 240 000	Servicio para dos personas, proporcionado mensualmente por el ICE.
<b>Servicio de agua potable</b>	€ 8 000	10	€ 80 000	Servicio para dos personas, proporcionado mensualmente por el AyA.
<b>Servicio de cable e internet</b>	€ 37 900	10	€ 379 000	Servicio para dos personas, proporcionado mensualmente por el Tigo.
<b>Servicio telefónico</b>	€ 22 000	10	€ 220 000	Servicio para dos personas, proporcionado mensualmente por el ICE.
<b>2. Seguros</b>				
<b>Pólizas</b>	€ 8 925, 00	2	€ 17 850	Cubre por un monto de € 6 000 000 por la inscripción de la Universidad Nacional, Costa Rica en el Instituto Nacional de Seguros.
<b>3. Giras</b>				
<b>Transporte</b>	€ 8 000	4	€ 32 000	Combustible para vehículo propio
<b>Alimentación</b>	€ 7 500	4	€ 30 000	Incluye almuerzo y merienda.
<b>Visitas de campo</b>	€ 5 000	2	€ 10 000	Combustible para vehículo otorgado por la Municipalidad de Santa Cruz.
<b>Equipo de Protección Personal</b>	€ 8 500	1	€ 8 500	Incluye bloqueador solar
<b>Kit de primeros auxilios</b>	€ 6 300	1	€ 6 300	Incluye acetaminofén, alcohol en gel, curitas, espadrapo, etc.
<b>Total, Costos Indirectos</b>			€ 1 023 650	
<b>Sub Total</b>			<b><u>€ 7 450 088</u></b>	
<b><u>Otros Costos</u></b>				
			€ 372 504	
<b>Imprevistos</b>		5%		
			€ 968 511	
<b>IVA</b>		13%		
<b>Costo Total</b>			<b><u>€ 8 791 104</u></b>	

## Anexo B

Diagrama de Gantt y el cronograma de cada una de las actividades referentes a la realización del proyecto.



NOMBRE DE LA TAREA	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	DURACIÓN EN DÍAS
Contacto inicial con la Municipalidad de Santa Cruz (Presencial)	2024-03-22	2024-03-22	1
Gira de reconocimiento de la subcuenca río Diríá	2024-04-05	2024-04-05	1
Redacción de capítulo 1: Sección introductoria	2024-04-08	2024-04-14	6
Revisión bibliográfica	2024-04-09	2024-04-11	2
Gira de campo a la comunidad de El Guabo, Santa Cruz	2024-04-10	2024-04-10	1
Capítulo 2: Antecedentes	2024-04-15	2024-04-21	6
Capítulo 3: Marco teórico	2024-04-22	2024-04-28	6
Capítulo 4: Estudios de prefactibilidad	2024-04-29	2024-05-05	6
Capítulo 5: Metodología	2024-05-06	2024-05-19	13
Entrega de anteproyecto	2024-06-20	2024-06-27	7
Capítulo 6: Resultados y discusión	2024-07-01	2024-10-26	117
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones	2024-10-26	2024-11-02	7
Redacción de informe integrado	2024-11-02	2024-11-09	7

## **Anexo 1**

Instrumento para la realización de la encuesta para la comunidad El Guabo.

### **I. Datos generales de las personas encuestadas**

1. Nombre: \_\_\_\_\_

2. Edad

Menos de 18 años

18 – 30 años

31 – 45 años

46 – 60 años

más de 60 años

3. Género

Masculino

Femenino

Prefiero no decirlo

4. Ocupación

Empleado/a

Desempleado/a

Estudiante

Autónomo

Jubilado/a

Otro: \_\_\_\_\_

5. ¿Reside en la comunidad El Guabo?

Si  No

6. Cantidad total de personas que conforman su núcleo familiar

Cantidad: \_\_\_\_\_

Cantidad según sexo: Masculino: \_\_\_\_\_ Femenino: \_\_\_\_\_

No indica: \_\_\_\_\_

7. Tiempo de residencia en la comunidad El Guabo.

Menos de 1 año

De 1 a 5 años

De 6 a 10 años

Más de 10 años

Permanente

## II. Preguntas relacionadas con el riesgo de inundación en la comunidad.

1. ¿Ha tenido usted o su familia afectaciones por alguna inundación? (Debe mencionar una opción).

Sí  No  No sabe

*Si la respuesta es afirmativa responda la siguiente pregunta, si es negativa finalice esta encuesta.*

2. ¿Con qué frecuencia han ocurrido?

Una vez

Dos a tres veces

Más de tres veces

3. ¿Recuerda fechas o fenómenos de huracanes o tormentas tropicales que hayan ocasionado eventos de inundación en la comunidad?

Fecha: \_\_\_\_\_

Fenómeno: \_\_\_\_\_

4. ¿Podría decir que tipo de afectaciones experimentó ante el evento de inundación? (Puede mencionar varias opciones)

Perdida de alimentos

Perdida de animales productivos o domésticos

Daños en electrodomésticos

Dificultades en el acceso de agua potable y electricidad

Afectación parcial o total de la vivienda

Perdida de menaje

Acumulación de basura o desechos sólidos

Heridas y/o lesiones en el cuerpo

Muertes

Pérdida de cosechas

Otras ¿cuáles? \_\_\_\_\_

5. ¿Puede asociar un monto (colones) por las afectaciones marcadas?

\_\_\_\_\_

6. ¿Cuáles de las siguientes causas pueden incidir en las inundaciones de su comunidad?

(Puede marcar varias opciones).

Intervención humana (construir en zonas no aptas)

Causas naturales (tormentas, huracanes entre otros)

La no adopción de medidas por parte de la población

La no adopción de medidas por parte de las instituciones (obras de contención dentro del cauce)

Otras ¿Cuáles?

---

7. ¿Cree que es necesario implementar proyectos que busquen mitigar las afectaciones por inundaciones en la comunidad El Guabo?

Si  No

¿Por qué?: \_\_\_\_\_

## Anexo 2

Valores de escurrimientos asociados al uso de suelo y el tipo según lo cataloga la SCS para el respectivo cálculo del número de curva.

			Números de escurrimiento			
			A	B	C	D
<b>Sin cultivo</b>	Surcos rectos	-	77	86	91	94
<b>Cultivo en surco</b>	Surcos rectos	>1	72	81	88	91
	Surcos rectos	<1	67	78	85	89
	Contorneo	>1	70	79	84	88
	Contorneo	<1	65	75	82	86
	Terrazas	>1	66	74	80	82
	Terrazas	<1	62	71	78	81
<b>Cereales</b>	Surcos rectos	>1	65	76	84	88
	Surcos rectos	<1	63	75	83	87
	Contorneo	>1	63	74	82	85
	Contorneo	<1	61	73	81	84
	Terrazas	>1	61	72	79	82
	Terrazas	<1	59	70	78	81
<b>Leguminosas o praderas rotación con</b>	Surcos rectos	>1	66	77	85	89
	Surcos rectos	<1	58	72	81	85
	Contorneo	>1	64	75	83	85
	Contorneo	<1	55	69	78	83
	Terrazas	>1	63	73	80	83
	Terrazas	<1	51	67	76	80
<b>Pastizales</b>		>1	68	79	86	89
		<1	39	61	74	80
	Contorno	>1	47	67	81	88
	Contorno	<1	6	35	70	79
<b>Pradera permanente</b>		<1	30	58	71	78

<b>Bosques naturales Muy malo</b>	56	75	86	91
<b>Ralo</b>	46	68	78	84
<b>Normal</b>	36	60	70	77
<b>Espeso</b>	26	52	62	69
<b>Muy espeso</b>	15	44	54	61
<b>Caminos De terracería</b>	72	82	87	89
<b>Con superficie dura</b>	74	84	90	92

Fuente: Elaboración propia, a partir de Villarroya et al. (2013).

### Anexo 3

Clasificación hidrológica de los suelos estipulada por la SCS.

Grupo de suelo	Rangos de Infiltración (mm/h)	Características
<b>A</b>	7,62 – 11,43	Suelos con altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aun cuando se encuentran enteramente mojados. Tipos de suelo que predominan: arenas o gravas profundas. Estos suelos presentan una alta tasa de transmisión del agua.
<b>B</b>	3,81 – 7,62	Presentan tasas de infiltración moderadas (moderado bajo potencial de escurrimiento) cuando están cuidadosamente mojados. Está conformado mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos presentan una tasa moderada de transmisión del agua.
<b>C</b>	1,27 – 3,81	Suelos que presentan bajas tasas de infiltración (moderado alto potencial de escurrimiento) cuando están completamente mojados. Está constituido por suelos con textura que va de moderadamente fina a fina. Presentan una baja tasa de transmisión del agua.
<b>D</b>	0 – 1,27	Suelos que poseen alto potencial de escurrimiento (tasas de infiltración muy bajas) cuando están completamente mojados. Están conformados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Villón (2022).

## Anexo 4

Datos de precipitación de la estación Quiriman (180102) para determinar el valor de PMD de los días 4 y 5 de octubre del 2017.

Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)
09:00	2.6	13:00	0.7	17:00	0.6	21:00	0.5	01:00	0.7	05:00	0.7
09:05	4.2	13:05	1.6	17:05	2.3	21:05	0.8	01:05	0.7	05:05	0.7
09:10	2.7	13:10	1.2	17:10	2.2	21:10	0.8	01:10	0.5	05:10	0.5
09:15	0.8	13:15	0.5	17:15	0.8	21:15	0.7	01:15	0.5	05:15	0.7
09:20	0.7	13:20	0.2	17:20	0.9	21:20	1	01:20	0.5	05:20	0.5
09:25	0.6	13:25	0.3	17:25	0.8	21:25	1.5	01:25	0.7	05:25	0.4
09:30	0.7	13:30	0.2	17:30	0.5	21:30	1.7	01:30	0.6	05:30	0.4
09:35	0.8	13:35	0.2	17:35	0.3	21:35	1.6	01:35	0.7	05:35	0.6
09:40	0.6	13:40	0.3	17:40	0.2	21:40	0.8	01:40	0.5	05:40	0.5
09:45	0.8	13:45	0.5	17:45	0.3	21:45	0.7	01:45	0.5	05:45	0.4
09:50	0.8	13:50	0.9	17:50	0.6	21:50	0.6	01:50	0.7	05:50	0.3
09:55	0.8	13:55	0.9	17:55	1	21:55	0.5	01:55	0.8	05:55	0.3
10:00	0.7	14:00	0.7	18:00	0.5	22:00	0.9	02:00	0.8	06:00	0.2
10:05	1	14:05	0.6	18:05	0.7	22:05	0.8	02:05	0.6	06:05	0.4
10:10	0.8	14:10	0.7	18:10	1.6	22:10	0.6	02:10	0.7	06:10	0.2
10:15	0.5	14:15	1.1	18:15	1.1	22:15	0.7	02:15	0.6	06:15	0.6
10:20	0.8	14:20	2.5	18:20	0.7	22:20	0.4	02:20	0.8	06:20	0.7
10:25	0.6	14:25	1	18:25	0.7	22:25	0.6	02:25	0.8	06:25	0.3
10:30	0.7	14:30	0.5	18:30	0.7	22:30	0.6	02:30	0.5	06:30	0.1
10:35	0.7	14:35	0.8	18:35	0.5	22:35	0.9	02:35	0.5	06:35	0.2
10:40	0.8	14:40	1.2	18:40	0.5	22:40	0.9	02:40	0.6	06:40	0
10:45	0.8	14:45	0.8	18:45	0.6	22:45	1.2	02:45	0.5	06:45	0.1
10:50	0.6	14:50	2.5	18:50	0.7	22:50	1	02:50	0.4	06:50	0.1
10:55	0.4	14:55	1.9	18:55	0.9	22:55	1.2	02:55	0.4	06:55	0.1
11:00	0.5	15:00	1.2	19:00	1.3	23:00	1.3	03:00	0.9	07:00	0.1
11:05	0.9	15:05	1	19:05	1	23:05	1.5	03:05	1.2	07:05	0.2
11:10	1	15:10	0.9	19:10	1	23:10	1.3	03:10	1.7	07:10	0.1
11:15	1.1	15:15	1.1	19:15	1	23:15	1.6	03:15	1.3	07:15	0.2
11:20	1.1	15:20	0.6	19:20	0.6	23:20	2.1	03:20	1.1	07:20	0.3
11:25	1.5	15:25	0.3	19:25	0.5	23:25	2.1	03:25	0.7	07:25	0.3
11:30	0.7	15:30	0.1	19:30	0.5	23:30	1.8	03:30	0.4	07:30	0.4
11:35	1	15:35	0.2	19:35	0.4	23:35	1.1	03:35	0.4	07:35	0.3
11:40	1.4	15:40	0.2	19:40	0.6	23:40	1	03:40	0.3	07:40	0.3
11:45	0.7	15:45	0.2	19:45	0.5	23:45	1	03:45	0.4	07:45	0.5
11:50	1	15:50	0.3	19:50	0.5	23:50	0.7	03:50	0.3	07:50	1.6
11:55	0.8	15:55	0.5	19:55	0.5	23:55	0.7	03:55	0.3	07:55	1.2

12:00	0.7	16:00	0.4	20:00	0.6	00:00	0.8	04:00	0.5	08:00	0.6
12:05	0.5	16:05	0.4	20:05	1	00:05	0.9	04:05	0.6	08:05	0.6
12:10	0.5	16:10	0.6	20:10	0.7	00:10	1.5	04:10	0.5	08:10	0.5
12:15	0.3	16:15	0.6	20:15	0.6	00:15	1.9	04:15	0.7	08:15	0.4
12:20	0.2	16:20	0.4	20:20	0.6	00:20	1.1	04:20	0.7	08:20	0.9
12:25	0.5	16:25	0.4	20:25	0.7	00:25	0.8	04:25	0.5	08:25	1
12:30	0.2	16:30	0.4	20:30	0.6	00:30	0.7	04:30	0.3	08:30	1.2
12:35	0.1	16:35	0.3	20:35	0.7	00:35	0.9	04:35	0.3	08:35	3.1
12:40	0.5	16:40	0.4	20:40	0.8	00:40	0.7	04:40	0.4	08:40	2.5
12:45	0.4	16:45	0.3	20:45	0.5	00:45	0.6	04:45	0.4	08:45	1.8
12:50	0.5	16:50	0.4	20:50	0.5	00:50	0.5	04:50	0.6	08:50	1.4
12:55	0.1	16:55	0.3	20:55	0.6	00:55	0.6	04:55	0.7	08:55	0.8

Fuente: Elaboración propia, a partir de AyA (2024).

## Anexo 5

Datos del hietograma de la PMD registrada en la estación Quiriman el 31 de agosto del 2015.

Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)
00:00	0	04:00	0	08:00	0	12:00	0	16:00	0	20:00	0
00:05	0	04:05	0	08:05	0	12:05	0	16:05	0	20:05	0
00:10	0	04:10	0	08:10	0	12:10	0	16:10	0	20:10	0
00:15	0	04:15	0	08:15	0	12:15	0	16:15	0	20:15	0
00:20	0	04:20	0	08:20	0	12:20	0	16:20	0	20:20	0
00:25	0	04:25	0	08:25	0	12:25	0	16:25	0	20:25	0
00:30	0	04:30	0	08:30	0	12:30	0	16:30	0	20:30	0
00:35	0	04:35	0	08:35	0	12:35	0	16:35	0	20:35	0.1
00:40	0	04:40	0	08:40	0	12:40	0	16:40	0	20:40	0
00:45	0	04:45	0	08:45	0	12:45	0	16:45	0	20:45	0
00:50	0	04:50	0	08:50	0	12:50	0	16:50	0	20:50	0
00:55	0	04:55	0	08:55	0	12:55	0	16:55	0	20:55	0
01:00	0	05:00	0	09:00	0	13:00	0	17:00	0	21:00	0
01:05	0	05:05	0	09:05	0	13:05	0	17:05	0	21:05	0
01:10	0	05:10	0	09:10	0	13:10	0	17:10	0	21:10	0
01:15	0	05:15	0	09:15	0	13:15	0	17:15	0	21:15	0
01:20	0	05:20	0	09:20	0	13:20	0	17:20	0	21:20	0
01:25	0	05:25	0	09:25	0	13:25	0	17:25	0.2	21:25	0
01:30	0	05:30	0	09:30	0	13:30	0	17:30	2.3	21:30	0
01:35	0	05:35	0	09:35	0	13:35	0	17:35	2	21:35	0
01:40	0	05:40	0	09:40	0	13:40	0	17:40	3.1	21:40	0
01:45	0	05:45	0	09:45	0	13:45	0	17:45	2.2	21:45	0
01:50	0	05:50	0	09:50	0	13:50	0	17:50	0.2	21:50	0

01:55	0	05:55	0	09:55	0	13:55	0	17:55	0.1	21:55	0
02:00	0	06:00	0	10:00	0	14:00	0	18:00	0.2	22:00	0
02:05	0	06:05	0	10:05	0	14:05	0	18:05	0.2	22:05	0
02:10	0	06:10	0	10:10	0	14:10	0	18:10	0.1	22:10	0
02:15	0	06:15	0	10:15	0	14:15	0	18:15	0	22:15	0
02:20	0	06:20	0	10:20	0	14:20	0	18:20	0.1	22:20	0
02:25	0	06:25	0	10:25	0	14:25	0	18:25	0.1	22:25	0
02:30	0	06:30	0	10:30	0	14:30	0	18:30	0	22:30	0
02:35	0	06:35	0	10:35	0	14:35	0	18:35	0.1	22:35	0
02:40	0	06:40	0	10:40	0	14:40	0	18:40	0.1	22:40	0
02:45	0	06:45	0	10:45	0	14:45	0	18:45	0.2	22:45	0
02:50	0	06:50	0	10:50	0	14:50	0	18:50	0.2	22:50	0
02:55	0	06:55	0	10:55	0	14:55	0.4	18:55	0.1	22:55	0
03:00	0	07:00	0	11:00	0	15:00	4.6	19:00	0.2	23:00	0
03:05	0	07:05	0	11:05	0	15:05	2.6	19:05	0.1	23:05	0
03:10	0	07:10	0	11:10	0	15:10	0.7	19:10	0.1	23:10	0
03:15	0	07:15	0	11:15	0	15:15	1.8	19:15	0.1	23:15	0
03:20	0	07:20	0	11:20	0	15:20	1.8	19:20	0.1	23:20	0
03:25	0	07:25	0	11:25	0	15:25	0.9	19:25	0.1	23:25	0
03:30	0	07:30	0	11:30	0	15:30	0.2	19:30	0.2	23:30	0
03:35	0	07:35	0	11:35	0	15:35	0	19:35	0.1	23:35	0
03:40	0	07:40	0	11:40	0	15:40	0	19:40	0.1	23:40	0
03:45	0	07:45	0	11:45	0	15:45	0	19:45	0	23:45	0
03:50	0	07:50	0	11:50	0	15:50	0	19:50	0.1	23:50	0
03:55	0	07:55	0	11:55	0	15:55	0	19:55	0	23:55	0

Fuente: Elaboración propia, a partir de AyA (2024).

## Anexo 6

Fotografías aéreas de la inundación del 8 de noviembre del 2024.



Fuente: Elaboración propia, a partir de Arroyo (2024).

*Nota: La imagen superior izquierda permite observar el nivel del caudal al ingresar a la calle principal de la comunidad, se aprecia que el nivel del agua había sobrepasado el nivel del dique en horas de la noche anegando las casas que se encuentran en los sitios más bajos (imagen superior derecha) el curso del agua continuó hasta encontrar el cauce principal del río (imagen inferior).*