



UNIVERSIDAD NACIONAL COSTA RICA  
SEDE REGIONAL CHOROTEGA  
CAMPUS LIBERIA

**“MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA LA  
VALORACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN UN TRAMO  
DEL RÍO LEPANTO EN LA PENÍNSULA DE NICOYA, COSTA  
RICA”**

Informe del proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciado en Ingeniería Hidrológica

Presentado por:

BRAINER CASTILLO SIRIAS

Lepanto, Puntarenas

Noviembre, 2020

## ACTA DE APROBACIÓN

La comisión examinadora aprobó el trabajo titulado

**“Modelación hidrológica e hidráulica para la valoración del riesgo de inundación en un tramo del río Lepanto en la península de Nicoya, Costa Rica”**

como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Hidrológica

*Miembros de la comisión*

MSc. Dorian Chavarría López: \_\_\_\_\_.

ME.d. Wagner Castro Castillo: \_\_\_\_\_.

Dr. Christian Golcher Benavides: \_\_\_\_\_.

MSc. José Rodrigo Rojas Morales: \_\_\_\_\_.

Ing. Rolando Madriz Vargas: \_\_\_\_\_.

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

## **Agradecimientos**

*En estos siguientes renglones, quiero exponer mi más sincero agradecimiento en primer lugar a Dios, quien me permitió culminar una etapa importante en mi vida. En segundo lugar, a mi madre, quien siempre fue el pilar fundamental en este proceso y la que día a día me apoyó y me dio todo su amor, comprensión y atención para poder concluirlo. Por último, pero no menos importante, agradecer al resto de mis familiares quienes de una u otra manera estuvieron pendientes de mí y me brindaron su amor y su ayuda.*

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Antecedentes .....	11
1.2 Problemática identificada.....	13
1.3 Justificación del proyecto .....	16
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 Objetivo general .....	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD.....	18
2.1 Estudio de prefactibilidad tecno social .....	18
2.1.1 Identificación de la población beneficiaria.....	18
2.1.2 Valoración socio-local del proyecto .....	19
2.1.3 Implicaciones socioeconómicas del proyecto.....	20
2.1.4 Ingeniería del proyecto .....	21
2.1.5 Principales tareas técnicas .....	22
2.1.6 Resumen de los costos de inversión de la ingeniería del proyecto.....	23
2.1.7 Identificación de riesgos.....	24
2.1.8 Conclusiones.....	24
2.2 Estudio de prefactibilidad legal y ambiental.....	25
2.2.1 Marco de gobernanza legal pertinente al proyecto .....	25
2.2.2 Implicaciones ambientales del proyecto.....	27
2.2.3 Conclusiones.....	28
2.3 Estudio de prefactibilidad económica-financiera.....	29
2.3.1 Determinación de los costos de inversión .....	29
2.3.2 Costos ahorrados .....	31
2.3.3 Flujo de caja .....	31

2.3.4 Conclusiones.....	32
2.4 Conclusión general .....	33
CAPÍTULO 3. ÁREA DE ESTUDIO .....	34
3.1 Descripción del distrito Lepanto.....	34
3.2 Descripción del contexto hidrográfico del distrito .....	35
3.3 Caracterización a la comunidad de Lepanto .....	36
3.4 Descripción del tramo seleccionado .....	37
CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO .....	39
4.1 Delimitación y caracterización de la cuenca hidrográfica .....	39
4.1.1 Delimitación de la cuenca .....	39
4.1.2 Características de forma .....	39
4.1.3 Características de relieve .....	42
4.1.4 Características del drenaje.....	43
4.2 Estimación de caudales pico por el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS).....	45
4.2.1 Determinación de las precipitaciones de diseño.....	45
4.2.2 Determinación del número de curva (CN) .....	50
4.2.3 Determinación del hidrograma adimensional del SCS.....	51
4.2 Modelación hidráulica en HEC RAS.....	52
4.2.1 Funcionamiento del HEC-RAS .....	52
4.2.2 Modelación en flujo permanente .....	53
4.6.2 Valores de rugosidad “n” de Manning .....	53
CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA.....	54
5.1 Delimitación y caracterización de la cuenca hidrográfica río Lepanto.....	54
5.1.1 Obtención del MED y delimitación de la cuenca.....	54
5.1.2 Determinación de la forma de la cuenca hidrográfica.....	55

5.1.3 Estimación del relieve de la cuenca hidrográfica .....	56
5.1.4 Caracterización del drenaje en la cuenca.....	56
5.2 Estimación de caudales pico e hidrogramas en la cuenca río Lepanto mediante el método del SCS .....	57
5.2.1 Determinación de las precipitaciones de diseño.....	57
4.2.2 Determinación del número de curva (CN) .....	62
4.2.3 Determinación del hidrograma unitario de la cuenca río Lepanto .....	63
5.3 Modelamiento hidráulico .....	64
<b>CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>67</b>
6.1 Características de la cuenca del río Lepanto.....	67
6.1.1 Características de la cuenca del río Lepanto según su forma .....	68
6.1.2 Características de la cuenca del río Lepanto según su relieve.....	69
6.1.3 Características de la cuenca del río Lepanto de acuerdo a su red de drenaje .....	71
6.2 Caudales pico e hidrogramas de la cuenca río Lepanto .....	72
6.2.1 Precipitaciones de diseño para la cuenca.....	72
6.2.2 Determinación de los caudales máximos y los hidrogramas.....	79
6.4 Modelamiento hidráulico .....	80
6.4.1 Análisis de la capacidad de transporte hidráulico del tramo .....	81
6.4.2 Secciones críticas.....	82
6.4.3 Mapas de inundación.....	84
6.4.4 Mapas de velocidad del flujo.....	86
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
7.1 Conclusiones.....	88
7.2 Recomendaciones .....	90
7.3 Recomendaciones adicionales .....	90
<b>CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 2.1** Identificación de las poblaciones beneficiarias con el proyecto.
- Tabla 2.2** Identificación de la población objetivo del proyecto.
- Tabla 2.3** Estimación de algunos costos económicos generados por efectos post-inundación en la PBD.
- Tabla 2.4** Insumos necesarios para el análisis hidrológico e hidráulico.
- Tabla 2.5** Equipo requerido para el análisis hidrológico e hidráulico.
- Tabla 2.6** Costos de inversión requeridos eventualmente en los insumos y equipamiento para el proyecto.
- Tabla 2.7** Matriz de gobernanza legal correspondiente al proyecto.
- Tabla 2.8** Determinación de los costos fijos del proyecto.
- Tabla 2.9** Determinación de los costos diferidos del proyecto.
- Tabla 2.10** Determinación del costo total de inversión del proyecto.
- Tabla 2.11** Determinación del flujo de caja del proyecto.
- Tabla 4.1** Clasificación del tamaño de una cuenca por su área.
- Tabla 4.2** Clase de valores de forma de Horton
- Tabla 4.3** Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad.
- Tabla 4.4** Clasificación del relieve de la cuenca según su pendiente media.
- Tabla 4.5** Rangos para la clasificación de las condiciones de humedad antecedente.
- Tabla 4.6** Grupos de suelos y sus características hidrológicas.
- Tabla 4.7** Valores “*n*” de Manning para flujo en canales abiertos.
- Tabla 5.1** Metodología para estimar parámetros de cuenca según su forma.
- Tabla 5.2** Ecuaciones para estimar parámetros de la red de drenaje.
- Tabla 5.3** Descripción de las estaciones pluviométricas consultadas.
- Tabla 5.4** Datos de precipitación máxima anual en 24 horas (mm) en cada estación.
- Tabla 5.5** Ajuste de las distribuciones teóricas con los datos de las estaciones.
- Tabla 5.6** Ecuaciones para las distribuciones teóricas utilizadas.

**Tabla 5.7** Determinación del número de curva de la cuenca del río Lepanto para un (CHA II).

**Tabla 5.8** Tiempos de respuesta y parámetros del hidrograma unitario estimados para la cuenca río Lepanto.

**Tabla 5.9** Valores “n” de Manning seleccionados en la modelación hidráulica del tramo.

**Tabla 6.1** Características de la cuenca según su forma.

**Tabla 6.2** Características de la cuenca según su relieve.

**Tabla 6.3** Características de la cuenca según su red de drenaje.

**Tabla 6.4** Completación de datos de precipitación máxima anual en 24 horas.

**Tabla 6.5** Distribución de frecuencia de las precipitaciones para las tres estaciones.

**Tabla 6.6** Estimación de caudales máximos en la cuenca del río Lepanto para los distintos periodos de retorno.

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.1** Fotografía que evidencia el asentamiento de viviendas en las márgenes del río en la comunidad de Lepanto.

**Figura 1.2** Inundación de la cancha de fútbol de la comunidad de Lepanto, durante el mes de octubre de 2018.

**Figura 1.3** Evolución histórica de las inundaciones en la comunidad de Lepanto.

**Figura 2.1** Flujograma de las principales asignaciones técnicas del Proyecto y sus posibles utilidades.

**Figura 3.1** Esquema de categorización de las zonas de influencia.

**Figura 3.2** Mapa del distrito de Lepanto en la península de Nicoya.

**Figura 3.3** Cuencas hidrográficas del distrito de Lepanto.

**Figura 3.4** Mapa de la comunidad de Lepanto y su distribución sectorial.

**Figura 3.5** Ubicación del tramo de estudio y la PBD.

**Figura 4.1** Efecto de la forma de la cuenca en los hidrogramas de salida.

**Figura 4.2** Representación de la madurez de la cuenca según curva hipsométrica.

**Figura 4.3** Orden de corrientes en una cuenca hidrográfica.

**Figura 4.4** Relleno de datos de precipitación mediante dos métodos estadísticos.

**Figura 4.5** Proceso de selección de una distribución teórica



**Figura 4.6** Diseño característico de las curvas IDF.

**Figura 4.7** Números de curva para una cuenca con condiciones de humedad media (CHA II).

**Figura 4.8** Esquema del hidrograma unitario adimensional del SCS.

**Figura 5.1** Diagrama del proceso de delimitación de la cuenca hidrográfica.

**Figura 5.2** Mapa de coberturas y uso del suelo en la cuenca río Lepanto.

**Figura 5.3** Modelo digital de elevación de terreno del tramo de estudio del río Lepanto.

**Figura 5.4** Datos geométricos del modelo hidráulico del tramo de estudio.

**Figura 5.5** Condiciones de rugosidad en una sección del tramo de río.

**Figura 6.1** Delimitación de la cuenca del río Lepanto y su modelo de elevación digital de terreno (DEM).

**Figura 6.2** Curva hipsométrica de la cuenca del río Lepanto.

**Figura 6.3** Determinación de pendientes de la cuenca del río Lepanto.

**Figura 6.4** Orden de corrientes en la cuenca del río Lepanto.

**Figura 6.5** Regresión lineal de la precipitación máxima anual en 24 horas entre las estaciones Melopen y Paquera.

**Figura 6.6** Distribución espacial de la precipitación máxima anual en 24 horas para periodos de retorno de 10 años en la cuenca del río Lepanto.

**Figura 6.7** Distribución espacial de la precipitación máxima anual en 24 horas para periodos de retorno de 50 años en la cuenca del río Lepanto.

**Figura 6.8** Diseño de las curvas IDF para la cuenca del río Lepanto en las dos primeras horas de duración de tormenta.

**Figura 6.9** Hietograma de precipitación para un periodo de retorno de 10 años.

**Figura 6.10** Hietograma de precipitación para un periodo de retorno de 50 años.

**Figura 6.11** Determinación de la precipitación efectiva para un periodo de retorno de 100 años.

**Figura 6.12** Hidrogramas de salida para los distintos periodos de retorno en la cuenca del río Lepanto.

**Figura 6.13** Capacidad de carga del tramo ante caudal máximo de 5 años.

**Figura 6.14** Capacidad de carga del tramo ante caudal máximo de 25 años.

**Figura 6.15** Sección “2454” ante caudal de 5 años de periodo de retorno.

**Figura 6.16** Sección “2229” ante caudal de 5 años de periodo de retorno.

**Figura 6.17** Sección “2454” ante caudal de 25 años de periodo de retorno.

**Figura 6.18** Sección “2229” ante caudal de 25 años de periodo de retorno.

**Figura 6.19** Sección “2454” ante caudal de 100 años de periodo de retorno.

**Figura 6.20** Sección “2229” ante caudal de 100 años de periodo de retorno.

**Figura 6.21** Inundación proyectada ante escenario de avenida máxima de 5 años.

**Figura 6.22** Inundación proyectada ante escenario de avenida máxima de 25 años.

**Figura 6.23** Inundación proyectada ante escenario de avenida máxima de 100 años.

**Figura 6.24** Velocidades de flujo proyectadas ante escenario de avenida máxima de 25 años.

**Figura 6.25** Velocidades de flujo proyectadas ante escenario de avenida máxima de 100 años.

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo 1** Reunión con el intendente municipal y el topógrafo del concejo.

**Anexo 2** Monitoreo del río Lepanto durante el mes de septiembre.

**Anexo 3** Estructuras de defensa desarrolladas por algunos pobladores de la comunidad.

**Anexo 4** Vista típica de un cauce de alivio con potencial compuerta.

**Anexo 5** Propuesta preliminar de cauce de alivio como medida de lucha contra inundaciones en la comunidad de Lepanto.

**Anexo 6** Algunas vistas del cauce de alivio propuesto como medida preliminar.

**Anexo 7** Reactivación del monitoreo pluviómetro en la comunidad de Lepanto (Parte baja de la cuenca del río Lepanto).

**Anexo 8** Crecida típica del río Lepanto durante el mes de octubre (tramo de estudio).

**Anexo 9** Aforo puntual al río Lepanto durante el mes de setiembre (método del flotador).

**Anexo 10** Componentes de la cotización realizada a la empresa consultora HIDROGEOTECNIA Ltda.

**Anexo 11** Labores del levantamiento topográfico en el tramo de estudio.

**Anexo 12** Periodo de retorno recomendado para el diseño de obras menores.

**Anexo 13** Erosión en las márgenes del tramo de estudio.

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

**APA<sup>1</sup>:** Asociación Americana de Psicología

**AyA:** Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

**ASADA:** Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales

**ADIL:** Asociación de Desarrollo Integral de Lepanto

**CN:** Número de Curva

**CNE:** Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias

**CAL:** Colegio Académico de Lepanto

**CMDL:** Consejo Municipal de Distrito de Lepanto

**EIA:** Evaluación de Impacto Ambiental

**ENOS:** El Niño-Oscilación del Sur

**HEC-HMS:** Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System

**HEC-RAS:** Hydrological Engineering Center – River Analysis System

**IDF:** Intensidad - Duración- Frecuencia

**INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica

**INDER:** Instituto de Desarrollo Rural

**ITCR:** Instituto Tecnológico de Costa Rica

**MED:** Modelo de Elevación Digita

**PBD:** Población Beneficiaria Directa

**QGIS:** Sistema de Información Geográfica (SIG) de software libre

**SCS:** Servicio de Conservación de Suelos

**SETENA:** Secretaría Técnica Nacional Ambiental

**SIG:** Sistemas de Información Geográfica

---

<sup>1</sup> En este documento se utiliza el formato y modelo de citación de acuerdo a las normas APA 6° Edición.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se habla sobre los aspectos generales que dieron origen a la propuesta del proyecto. El propósito de los siguientes apartados es, aterrizar en la problemática identificada, explorando sus diferentes antecedentes, así como en los argumentos que justifican la importancia que tiene este estudio a nivel general. Su composición estructural consta de un apartado de antecedentes, seguidamente de la delimitación de la problemática, su justificación y, por último, los objetivos.

### 1.1 Antecedentes

La invasión histórica por parte de los seres humanos a las llanuras de inundación de los ríos, es un fenómeno que ha modificado la dinámica fluvial de dichos sistemas. De acuerdo a (Baena, *et al.*, 2016), el hombre los ha considerado lugares privilegiados para la implantación de sus actividades, convirtiéndolos desde hace más de 2000 años, en los grandes ejes contemporáneos de articulación y desarrollo económico del territorio. Las llanuras de inundación, son las áreas próximas al cauce principal del río que resultan ocasionalmente inundadas. Las mismas cumplen funciones naturales de respuesta a las condiciones de flujo de los ríos que encuentran su máxima expresión durante los momentos de crecida cuando actúan como áreas de laminación y decantación sedimentaria (Vide, 2007).

Esta situación alcanza su máxima expresión a finales del siglo XX cuando, impulsados por un elevado grado de desarrollo tecnológico en el control de los fenómenos hidrológicos naturales (regulación de cuencas, diques y modificaciones del cauce) y ciertos eventos climáticos (sequías prolongadas), los países desarrollados se lanzan a un aprovechamiento integral de las mismas (intensificación agrícola, extensión de las zonas industriales y urbanas, implantación de infraestructuras, etc.). Las fuertes alteraciones a nivel geomorfológico y un comportamiento diferenciado en el riesgo potencial de inundación han sido los resultados de estos procesos antropogénicos (Baena, *et al.*, 2016).

Por otro lado, la variabilidad climática que se tiene a nivel mundial en los últimos años, ha incrementado la dificultad de predecir eventos meteorológicos con elevados índices de riesgo para ocasionar desastres naturales. Como lo ratifica (Sánchez, 2011) el cambio climático global en conjunto con El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), han traído consigo una serie de desajustes en los patrones de varios procesos naturales, principalmente en el ciclo

hidrológico. Como una manifestación de estas alteraciones, diversos fenómenos se han agudizado: sequías prolongadas, precipitaciones torrenciales, inundaciones y humedad excesiva en el medio ambiente.

La confluencia de estos dos fenómenos (invasión antrópica de llanuras de inundación y variabilidad climática), pueden ser altos precursores de la intensificación de una problemática longeva y sensible a escala global como son las inundaciones. Las inundaciones afectan numerosas ciudades, pueblos y comunidades, provocando generalmente pérdidas económicas enormes. Además, de la pérdida de vidas humanas, millares de cabezas de ganado, miles de hectáreas de producción agrícola, pérdida y daño de infraestructura, son necesarias en muchos casos, la construcción de obras de defensa, (Rodríguez, 2007).

En Costa Rica, la confluencia de estos dos fenómenos ha ocasionado en la última década, una amplia lista de emergencias, debido al afloramiento de inundaciones que han supuesto severas implicaciones sociales y económicas a lo largo y ancho del país. El déficit de ordenamiento territorial es una constante en las siete provincias, tanto en los sectores urbanos y rurales, es por ello, que en la mayoría de los poblados se puede observar ampliamente el irrespeto antrópico a los espacios de inundación de los ríos, debido a la construcción de viviendas, actividades agrícolas y otras de índole social (CNE, 2014)

Un claro ejemplo en los últimos años, han sido las recurrentes emergencias ocurridas en la península de Nicoya. Las alteraciones atmosféricas antes descritas, han intensificado algunos aspectos meteorológicos como la frecuencia e intensidad de las lluvias en esta región que, aunado a la amplia ocupación de los espacios de libertad fluvial, las inundaciones han presentado una mayor magnitud de sus efectos (Rodríguez, 2020)<sup>2</sup>. Dentro de la península de Nicoya, el distrito de Lepanto, es uno de los más afectados según los registros de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). En este distrito, es común observar viviendas en las márgenes del río, además de registrar precipitaciones diarias máximas de hasta 245 mm.

En el distrito, se encuentran importantes cuencas hidrográficas, cuyos ríos principales son generalmente caudalosos en épocas de lluvia, cuyo riesgo a inundar los asentamientos

---

<sup>2</sup> Francisco Rodríguez Johnson, es el actual Intendente Municipal del Distrito de Lepanto.

humanos en sus partes bajas se multiplica, especialmente en el mes de octubre (Rodríguez, 2020). Entre sus principales cuencas se encuentran, la cuenca del río Blanco, la cuenca del río San Pedro y la cuenca del río Lepanto. En esta última, se presentan anualmente inundaciones concentradas en sus partes bajas, que han ido en aumento durante las últimas dos décadas (figura 1.3). Este fenómeno particularmente ha sido precedido por la mencionada confluencia de la invasión de llanuras de inundación y la variabilidad climática.

En los últimos años, el desarrollo tecnológico ha impulsado la optimización de las herramientas utilizadas para predecir fenómenos como son las inundaciones. Los modelos hidrológicos e hidráulicos permiten simular el comportamiento de un sistema real, como es el caso de una cuenca hidrográfica y obtener mediante la operación del mismo, las respuestas o salidas a un determinado evento como puede ser una precipitación máxima (Fatorelli y Fernández, 2011).

El cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos ha diseñado herramientas potentes para la modelación en el campo de la hidrología y la hidráulica, tal es el caso de los modelos HEC-HMS y HEC-RAS. Con el HEC-HMS, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de una precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos, mientras que con el HEC-RAS se podrá evaluar, la capacidad de transporte del canal sea este natural o artificial y por ende, predecir inundaciones (Béjar, 2004). Es por ello, que en la actualidad estos modelos hidrológicos e hidráulicos, junto con otros, son indispensables en el quehacer del hidrólogo, especialmente en el estudio de fenómenos que son de gran cotidianidad a nivel global como las inundaciones (Dannenberger, 2016).

## **1.2 Problemática identificada**

La problemática se delimita hasta una comunidad ubicada en la parte baja de la cuenca hidrográfica del río Lepanto. Antes de continuar con el apartado. Esta comunidad en la última década, ha sufrido los efectos, de las inundaciones severas debido a los desbordes del río. Una particularidad de esta localidad es la alta invasión antrópica de las llanuras de inundación (figura 1.1).



**Figura 1.1** Fotografía que evidencia el asentamiento de viviendas en las márgenes del río en la comunidad de Lepanto. Elaboración propia, 2020.

En la comunidad de Lepanto, se identificó un tramo de río de aproximadamente 400 metros, que asienta en su margen izquierda infraestructura de alto valor social, cultural y económico para los pobladores. En este tramo, se encuentra la cancha de fútbol, el colegio académico, actividades productivas como son: una pulpería, una soda, y el campo ferial de la asociación de desarrollo integral, además de siete viviendas actualmente habitadas.

Este tramo se inunda con alta recurrencia, e impacta la dinámica normal de las diferentes actividades (figura 1.2). Zamora (2020)<sup>3</sup> afirma que, anualmente se registran desbordes de magnitud variable, sin embargo, el mes de octubre, da la certeza de que, como mínimo haya una inundación de alta intensidad que ocasione efectos negativos a la comunidad.

---

<sup>3</sup> Rodrigo Zamora Murillo, es el actual presidente de la Asociación de Desarrollo Integral de la comunidad de Lepanto (ADIL).



**Figura 1.2** Inundación de la cancha de fútbol de la comunidad de Lepanto, durante el mes de octubre de 2018. Brindada por Hernán Aguilar<sup>4</sup>.

Además de esta situación, se acarrea con los gastos económicos asumidos por el concejo municipal del distrito de Lepanto atribuidos al tratar de prevenir anualmente el desborde del río. Las medidas ejecutadas han sido, el dragado del cauce del río y la conformación de diques con el mismo material, sin embargo, fueron medidas ineficaces debido a la escasez de estudios técnicos. (Zamora, 2020), afirma que también se han producido otro tipo intervenciones al río como es la rectificación de diferentes tramos.

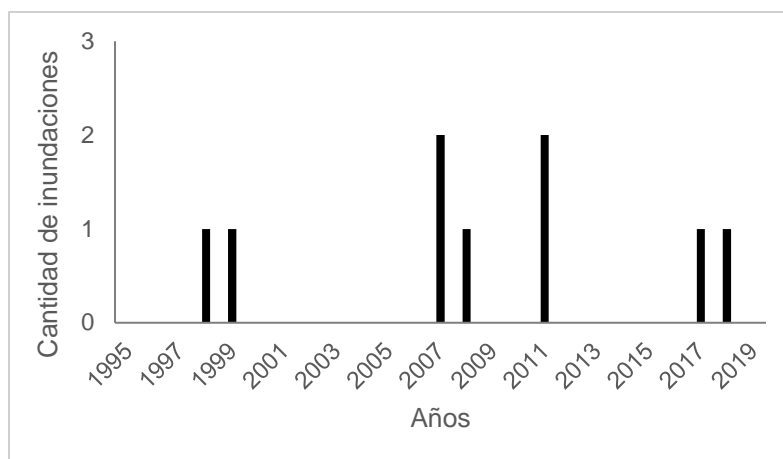
La carencia de estudios técnicos profundos con respecto al comportamiento del río (En 2017 la CNE<sup>5</sup>, realizó una valoración de riesgo de inundación del río Lepanto, cuyo objetivo fue brindar un diagnóstico preliminar, y en una de sus recomendaciones ratificó la necesidad de desarrollar un estudio hidrológico.), además, el afloramiento de inversiones en ampliación y construcción de infraestructura en el tramo de estudio y en toda la margen del recorrido del río por la comunidad y el aumento de inundaciones durante los últimos años en la comunidad (figura 1.3), definen una problemática que debe ser atendida lo más pronto posible.

---

<sup>4</sup> Habitante de la localidad de Lepanto y expresidente de la ADIL.

<sup>5</sup> El estudio fue elaborado por un geólogo de la CNE, por medio de visitas de campo se realizaron valoraciones iniciales del riesgo de inundación en muchos sectores de la comunidad de Lepanto.





**Figura 1.3** Evolución histórica de las inundaciones en la comunidad de Lepanto. Elaboración propia utilizando los datos del informe DesInventar 2020<sup>6</sup>.

### 1.3 Justificación del proyecto

La justificación e importancia que tiene la ejecución del proyecto se resume en los siguientes cinco argumentos:

- El proyecto rellenaría el vacío de información técnica actual del Concejo Municipal de Distrito, sobre el comportamiento hidrológico e hidráulico del río Lepanto.
- Los resultados del proyecto, agilizarían la puesta en marcha de estrategias eficaces de mitigación de la vulnerabilidad a las inundaciones en el tramo y en otros sectores del recorrido del río por la comunidad, como son las obras de infraestructura hidráulica de defensa.
- En relación al argumento anterior, el proyecto ayudaría a disminuir los gastos financieros que asume el Concejo Municipal, la Comisión Nacional de Atención y Prevención de Emergencias (CNE), y pobladores afectados, en procesos de prevención y mitigación ineficaces, además, de los procesos de rehabilitación y de atención de emergencias, respectivamente.
- Al mismo tiempo, se busca con el proyecto disminuir los periodos de interrupción que sufre la población por las inundaciones, en aspectos como su dinámica social, económica y cultural.

<sup>6</sup> Una base de datos que se encuentra enlazada a los registros de la CNE y contiene históricos de desastres naturales en Costa Rica.

- Por último, el proyecto posee un objetivo implícito que es, la replicación del mismo en las demás localidades del distrito que sufren la misma problemática.

Por lo tanto, en el próximo apartado se exponen los objetivos planteados, y que son la ruta de este estudio.

## **1.4 Objetivos**

Los objetivos se dividen en el objetivo general, y cuatro objetivos específicos, y se muestran a continuación.

### **1.4.1 Objetivo general**

Realizar modelaciones hidrológicas e hidráulicas que permitan determinar el riesgo que tiene un tramo del río Lepanto a los posibles escenarios de inundación.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Delimitar la cuenca hidrográfica y estimar su capacidad de respuesta ante eventos extremos de lluvia mediante una caracterización fisiográfica.
- Estimar los caudales pico de diferentes periodos de retorno para la cuenca hidrográfica a partir de eventos máximos de lluvia.
- Realizar la simulación hidráulica de los caudales pico para evaluar la vulnerabilidad del tramo a inundarse.

Debido a lo anterior, en el próximo capítulo se realiza el estudio de prefactibilidad del proyecto, que pretende evaluar la viabilidad de ejecución del mismo valorando diferentes perspectivas.

## **CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD**

De acuerdo a (Sapag, *et al.*, 2014), la evaluación de proyectos puede entenderse como un instrumento que provee información a quien debe tomar decisiones de inversión, considerando variables, de tipo político, estratégico o ético, entre otras. Además, se tiene que tomar en cuenta el tipo de proyectos y sus objetivos de estudio además de la finalidad de la inversión.

En este capítulo se muestran los diferentes estudios de prefactibilidad desarrollados para evaluar el proyecto en cuestión, aplicando la metodología que sugiere (Sapag, *et al.*, 2014) para evaluar proyectos de ingeniería. Este autor, propone evaluar la viabilidad del proyecto valorando nueve perspectivas: comercial, técnica, organizacional, legal, ambiental, financiera-económica, vial, ética y social.

Sin embargo, se evaluaron solamente cinco de estas perspectivas, esto debido a la tipología del proyecto, los objetivos del mismo y la finalidad de su inversión. Las perspectivas seleccionadas para el análisis fueron: técnica, social, legal, ambiental y económica-financiera.

Además, se realiza una integración de dichas perspectivas, debido a la relación de algunos datos. Por tanto, se presentan a continuación, tres estudios de prefactibilidad: estudio de prefactibilidad tecno-social, de legalidad ambiental y económico-financiero.

### **2.1 Estudio de prefactibilidad tecno social**

En esta sección se despliegan las principales implicaciones tecno sociales que involucra la ejecución del estudio hidrológico e hidráulico en el río Lepanto. El enfoque de este estudio engloba un amplio panorama que incluye desde la población beneficiada hasta la valoración socio local del proyecto. Por otro lado, se muestra la ingeniería del proyecto, los insumos, materiales y equipo requeridos por el mismo y las diversas implicaciones económicas del aspecto social y técnico.

#### **2.1.1 Identificación de la población beneficiaria**

La población beneficiaria del proyecto se subdivide en población beneficiaria directa e indirecta, en la tabla 2.1 se enlistan las poblaciones identificadas por cada subdivisión.

#### **Tabla 2.1**

*Identificación de las poblaciones beneficiarias con el proyecto.*

<b>Población beneficiada</b>	
<b>Directamente (PBD)</b>	<b>Indirectamente (PBI)</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Usuarios de la cancha de fútbol.</li><li>▪ Estudiantes del CAL.</li><li>▪ Docentes y funcionarios del CAL.</li><li>▪ Viviendas y sus habitantes</li><li>▪ Grupo social de adultos mayores.</li><li>▪ Comité local de deportes.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Resto de la comunidad.</li><li>▪ Asociación de desarrollo integral.</li><li>▪ Locales comerciales de la comunidad</li></ul>

*Nota.* En la figura 3.5 se puede observar la localización geográfica de la PBI. Elaboración propia, 2020

En la tabla 2.2, se muestra una estimación del número de personas dentro de la PBD:

**Tabla 2.2**

*Identificación de la población objetivo del proyecto.*

<b>Cantidad estimada de personas en la PBD</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>250</b> usuarios de la cancha de fútbol.</li><li>▪ <b>254</b> estudiantes del colegio académico.</li><li>▪ <b>16</b> Docentes y funcionarios del colegio.</li><li>▪ <b>7</b> viviendas situadas en el tramo de estudio.</li><li>▪ <b>28</b> personas afectadas residentes en estas viviendas.</li><li>▪ <b>15</b> personas del grupo social de adultos mayores.</li><li>▪ Comité de deportes de Lepanto.</li></ul>

*Nota.* Se realizó el respectivo levantamiento de datos mediante entrevistas a los distintos representantes de cada conjunto. Elaboración propia, 2020

### 2.1.2 Valoración socio-local del proyecto

Para efectos de evaluar la percepción social de los beneficiarios directos e indirectos sobre la ejecución del proyecto, se aplicaron dos encuestas, la primera se dirigió a las familias que poseen propiedad dentro del área de la población de beneficio directo. La otra encuesta, se realiza a los distintos grupos sociales que poseen algún dominio dentro de dicha área también,

como son el colegio, el comité de deportes, grupo de adultos mayores y la asociación de desarrollo.

En primer lugar, los resultados de una de las encuestas aplicadas, mostraron que las 7 viviendas ubicadas en la PBD han sufrido al menos una afectación directa debido a las inundaciones en los últimos 10 años. Por otro lado, también el 100% de este grupo muestra un elevado interés en la ejecución de actividades de prevención ante este tipo de eventos hidrológicos.

Por su parte, en la encuesta aplicada a los restantes grupos sociales, también se evaluó el interés de que se ejecuten este tipo de proyectos en la comunidad. Se seleccionaron en este caso, a los líderes, presidentes y directores de las distintas organizaciones ubicadas en la PBD (*usuarios de la plaza de deportes, comité de deportes, CAL y grupo de adultos mayores de la comunidad*). Los resultados tuvieron la misma tendencia de interés, donde el 100 % de los evaluados muestran interés en disminuir el riesgo de las inundaciones por medio de proyectos de prevención y mitigación.

### 2.1.3 Implicaciones socioeconómicas del proyecto

En este apartado se elabora una estimación que utiliza como referencia, el posible escenario producto a una inundación en la PBD, en las entrevistas se consultó sobre las principales actividades de rehabilitación que implican cargas financieras. Posteriormente, se estimaron los posibles costos derivados de estas actividades. Se tiene que resaltar, que no se tomó en cuenta las inversiones hechas por el Concejo Municipal y la CNE, en la atención de la emergencia. Por lo tanto, el costo de la tabla 2.3 eventualmente puede ser mayor.

**Tabla 2.3**

*Estimación de algunos costos económicos generados por efectos post-inundación en la PBD.*

Sector	Reinversión	Unidades	Costo unitario (€)	Costo total /familia (€)	Costo total en población objetivo (7 viviendas) (€)
Viviendas	Refrigerador	1	399.900,00	399.900,00	2.799.300,00
	Colchón	2	45.995,00	91.990,00	643.930,00
	Lavadora	1	176.000,00	176.000,00	1.232.000,00

	Reparaciones y otros	1	175.000,00	175.000,00	1.225.000,00
Comité de deportes	Recuperación césped	1	3.000.000,00	3.000.000,00	3.000.000,00
	Inhabilitación de instalaciones por un mes	2	250.000,00	500.000,00	500.000,00
Colegio Académico	Sillas	50	10.000,00	500.000,00	500.000,00
	Pupitres	35	12.000,00	420.000,00	420.000,00
	Reparaciones y otros	1	250.000,00	250.000,00	250.000,00
			<b>Total</b>	<b>5.512.890,00</b>	<b>10.570.230,00</b>

*Nota.* El costo total en colones presentado en esta tabla, se puede transformar a dólares, obteniendo una cifra de **\$17.211,40** Según el precio del dólar a la fecha de este estudio (noviembre-2020). Elaboración propia con datos de entrevistas a la PBD y el valor promedio en el mercado de algunos artículos.

Lo anterior permite hacer hincapié en los costos estimados que implican la ejecución del proyecto, en este rubro destacan las inversiones puntuales en insumos, equipos y otros gastos involucrados en la ingeniería del proyecto. A continuación, se exponen los componentes de la ingeniería del proyecto y sus respectivas implicaciones económicas.

#### 2.1.4 Ingeniería del proyecto

Para la ejecución del estudio hidrológico e hidráulico en la localidad de Lepanto, es necesario disponer de diversos insumos y equipos, además de una planificación del proceso de elaboración de sus principales tareas. Cabe resaltar que debido a la naturaleza de este proyecto no se contempla el desarrollo de obras de infraestructura, es por ello que en las tablas 2.4 y 2.5, se muestran los diversos insumos y equipos requeridos para el proceso de elaboración y cumplimiento de los objetivos del proyecto.

**Tabla 2.4**

*Insumos necesarios para el análisis hidrológico e hidráulico.*

Insumo	Cantidad	Unidades
Precipitación máxima en 24 horas	3	Estaciones
ATLAS digital de Costa Rica	1	Base de datos
Levantamiento topográfico del tramo	1	Servicio de topografía

Fuente: Elaboración propia, 2020.

**Tabla 2.5**

*Equipo requerido para el análisis hidrológico e hidráulico.*

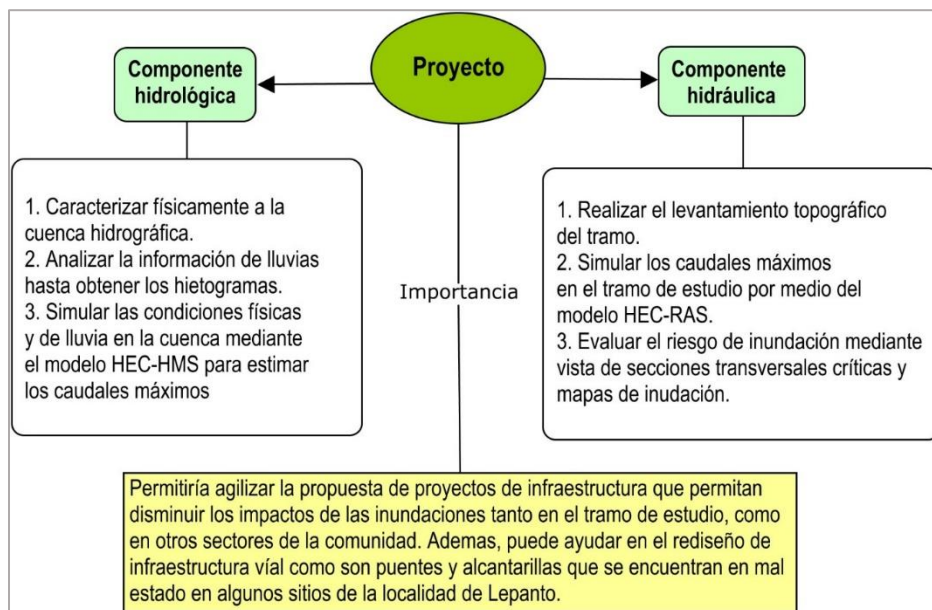
Insumo	Cantidad
Transporte (giras de campo)	3
GPS de alta precisión	1
Computadora	1
Software HEC-hms	1
Software HEC-ras	1

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Es importante mencionar, que la totalidad de los insumos requeridos se encuentran disponibles para realizar el proyecto en el sitio. En este caso, la información de precipitación máxima en 24 horas, es la de mayor valor porque de ella se derivan los resultados más importantes del proyecto, como son los caudales máximos y su probabilidad de ocurrencia en diferentes años.

### 2.1.5 Principales tareas técnicas

En la figura 2.1 se muestra el diagrama del proceso de elaboración de los objetivos del proyecto.



**Figura 2.1** Flujograma de las principales asignaciones técnicas del Proyecto y sus posibles utilidades.

Elaboración propia, 2020.

### 2.1.6 Resumen de los costos de inversión de la ingeniería del proyecto

En la tabla 2.6 se presenta el resumen de los costos de inversión que requiere la ejecución del proyecto. Para ello se realizaron las respectivas cotizaciones en el mercado durante el mes de mayo en anexos se adjuntan algunas imágenes de estas cotizaciones.

**Tabla 2.6**

*Costos de inversión requeridos eventualmente en los insumos y equipamiento para el proyecto*

Insumos y equipos	Costo total (₡)
Precipitación máx. en 24 horas (3 estaciones/10 años)	300.000,00
ATLAS digital de Costa Rica	12.000,00
Levantamiento topográfico	500.000,00
Transporte (giras)	45.000,00
GPS	70.000,00
Computadora	450.000,00
Software HEC HMS	0,00
Software HEC RAS	0,00
Honorarios profesionales (donados)	1.801.400,00
<b>TOTAL</b>	<b>3.178.400,00</b>

*Nota.* Los honorarios profesionales se fijaron utilizando el índice salarial del último semestre del 2019 en Costa Rica según el TSE. Asumiendo que el salario base de un profesional en gestión y planificación de proyectos es de ₡900.700,00 colones. Elaboración propia, 2020.

En la tabla anterior, se observa el presupuesto global para los rubros de insumo y equipamiento necesario para la ejecución del proyecto, en el apartado correspondiente al estudio económico-financiero se detallan dichos presupuestos. Como ejercicio comparativo, se cotizó el precio que en la actualidad se tendría que asumir para que alguna empresa de consultoría ejecutara el proyecto.

La empresa costarricense de consultoría HIDROGEOTECNIA Ltda. indicó que el precio para el estudio con los mismos alcances que el proyecto en análisis es de \$7500 dólares (₡4.606.059,12), con un tiempo estimado de ejecución de dos meses.



A partir de los datos anteriores, se tiene una diferencia de ¢1.420.000,00 entre el precio de la empresa consultora y el presupuesto estimado del proyecto en evaluación.

#### 2.1.7 Identificación de riesgos

En la tarea de identificar los riesgos potenciales del proyecto, resalta uno en específico, que involucra estrechamente a la perspectiva técnica. Se trata del levantamiento topográfico, el cual es una actividad vital para obtener el insumo principal del análisis hidráulico que complementa al análisis hidrológico.

El riesgo potencial, es que en la actualidad no se cuenta con el levantamiento topográfico del tramo del río Lepanto que se pretende estudiar, por tanto, es una actividad que se debe realizar en paralelo con los otros procedimientos metodológicos propuestos. Por lo tanto, el levantamiento topográfico se deberá desarrollar en épocas donde hay presencia de lluvias y a su vez las crecidas normales del río, que pueden llegar a complicar o en el peor de los casos imposibilitar realizar dicha labor.

Sin embargo, al ser un tramo relativamente corto, las labores se pueden realizar en un periodo de tiempo muy corto, además, se cuenta con la disponibilidad inmediata del equipo necesario para realizar el levantamiento, por esto, se tiene un monitoreo frecuente de las condiciones del río y en específico las del tramo a estudiar.

#### 2.1.8 Conclusiones

Del anterior estudio que analizó las perspectivas social y técnica de una manera integrada, se pueden destacar algunas conclusiones que se relacionan estrechamente con la viabilidad del proyecto. A continuación, se describen las principales conclusiones del estudio tecno-social:

Desde la perspectiva social el proyecto presenta una clara viabilidad, debido a los grandes beneficios que el mismo aportará a la comunidad al corto, mediano y largo plazo, es por estos que el mismo cuenta con el interés de la totalidad de sus beneficiarios directos. Por otro lado, las estimaciones realizadas sobre las implicaciones socioeconómicas del proyecto revelan la importancia y la urgencia de contar con este tipo de proyectos en la comunidad de Lepanto.

La viabilidad técnica es un poco más turbia debido al riesgo que presenta el no poder desarrollar uno de los componentes del proyecto; como es el análisis hidráulico. Como se mencionó, no se cuenta en la actualidad con el levantamiento topográfico del cauce del río

Lepanto en el tramo a estudiar, representando un riesgo alto debido a la época del año que se planteó realizar dicha actividad, puesto que coincide con la presencia de lluvias y las respectivas crecidas del río.

No obstante, al ser un tramo relativamente corto, el mismo se puede realizar en el momento en que haya un parón de las precipitaciones y por ende en el régimen de crecidas del río, además se cuenta con total disponibilidad del equipo topográfico necesario para esta labor. Por lo tanto, se ratifica que desde la perspectiva técnica el proyecto también presenta viabilidad.

## **2.2 Estudio de prefactibilidad legal y ambiental**

Para que el proyecto se lleve a cabo es muy importante tener un conocimiento profundo del marco regulatorio legal que engloba la ejecución del mismo, esto permite determinar si la actividad es permitida o prohibida legalmente (Sapag, *et al.*, 2014). A continuación, se muestra la información legal de mayor relevancia en relación con la aplicación del estudio hidrológico e hidráulico en la comunidad de Lepanto, Puntarenas.

A su vez, se realiza la integración con la perspectiva ambiental, debido principalmente a que la naturaleza del proyecto no involucra ninguna alteración al ambiente, sino que surge como una alternativa para atenuar y predecir posibles impactos al ambiente provocados por inundaciones. Por lo tanto, se trató de recopilar los principales alineamientos legales que ratifican la importancia de impulsar este tipo de proyectos y los beneficios ambientales involucrados.

### **2.2.1 Marco de gobernanza legal pertinente al proyecto**

El marco legal del proyecto se resume en la matriz presentada en la tabla 2.5. Dicha matriz se diseña utilizando la pirámide de jerarquías según Hans Kelsen, donde el primer escalón de jerarquía legal es lo que estipula la Constitución Política, seguido de Tratados y Convenios Internacionales, leyes, decretos, reglamentos y normas.

#### **Tabla 2.7**

*Matriz de gobernanza legal correspondiente al proyecto.*

<b>Normativa</b>	<b>Artículo</b>	<b>Relación con el proyecto</b>
------------------	-----------------	---------------------------------

Constitución Política de la República de Costa Rica.	50	Expone el derecho que tienen las personas a un ambiente seguro.
Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488.	14	Destaca una de las principales competencias CNE, como es la promoción de investigaciones, estudios y proyectos que busquen mitigar y prevenir desastres naturales.
Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488.	14	La CNE también fomenta la vigilancia y el manejo de situaciones de riesgo, mediante el estudio o la implantación de medidas de observación, vigilancia y alerta, que permitan prever, reducir y evitar el impacto y daños de los posibles sucesos de desastre.
Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488.	25	Se expresa la responsabilidad del Estado costarricense en prevenir los desastres; por ello, todas las instituciones estarán obligadas a considerar en sus programas los conceptos de riesgo y desastre e incluir las medidas de gestión ordinaria que les sean propias y oportunas para evitar su manifestación, promoviendo una cultura que tienda a reducirlos.
Ley Orgánica del Ambiente N° 7554.	1	El artículo firma que esta ley procurará dotar, a los costarricenses y al Estado, de los instrumentos necesarios para conseguir un ambiente sano y ecológicamente equilibrado
Ley Orgánica del Ambiente N° 7554.	30	Se valoran algunos criterios para el ordenamiento territorial (OT) como son el efecto de los fenómenos naturales y humanos sobre el ambiente y las proyecciones de los mismos, en esta última se pueden ubicar los estudios hidrológicos e hidráulicos, cuyo carácter predictivo los hace indicadores clave para un eficiente OT
Ley Orgánica del Ambiente N° 7554.	51	En este artículo se manifiesta que se deben impulsar acciones que propicien el equilibrio de todos los componentes del ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica
Ley Orgánica del Ambiente N° 7554.	52	En este artículo en particular, se mencionan las acciones recomendadas para propiciar el equilibrio hidrológico, manifestando de manera implícita que los estudios hidrológicos son vitales en ese sentido
Ley de Aguas N° 276.	89	Afirma que los dueños de predios lindantes con cauces públicos tienen libertad de poner defensas contra las aguas en sus respectivas márgenes por medio de plantaciones, estacadas o revestimientos, siempre que lo juzguen conveniente.

Ley de Creación del Instituto Meteorológico Nacional	3	En él se muestra una de las competencias del IMN que se relacionan directamente con la ejecución del proyecto; Suministrar la información y dar asesoría para la preparación de estudios que otras instituciones puedan realizar para lograr el mejor uso del agua para la producción hidroeléctrica, el riego, el consumo humano o cualquier otro uso de provecho para el hombre.
Código Municipal N° 7794.	17	Se menciona que el alcalde municipal deberá presentar los proyectos de presupuesto, ordinario y extraordinario, de la municipalidad, en forma coherente con el Plan de desarrollo municipal, ante el Concejo Municipal para su discusión y aprobación. El proyecto en evaluación pretende reforzar las actividades de desarrollo local y municipal.
Resolución N°1462-2018-SETENA	4	En este artículo se definen cuáles son las actividades, proyectos y algún procedimiento que presente un bajo impacto ambiental para efectos de una posible evaluación de Impacto Ambiental ante la SETENA.
Resolución N°1462-2018-SETENA	5	En él se definen las actividades, obras o proyectos que no requieren de una Evaluación de Impacto Ambiental, se incluyen de manera implícita a los estudios hidrológicos e hidráulicos dentro de esta clasificación

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

### 2.2.2 Implicaciones ambientales del proyecto.

En la Ley Orgánica del Ambiente N° 7554 de Costa Rica se define al ambiente como:

*“El sistema constituido por los diferentes elementos naturales que lo integran y sus interacciones e interrelaciones con el ser humano”.*

Con certeza se puede afirmar que el proyecto en cuestión, que propone realizar un estudio hidrológico e hidráulico en la comunidad de Lepanto, en un tramo con inundaciones de alta probabilidad de ocurrencia, es una medida que promueve un bienestar ambiental, debido que este tipo de estudio tiene como fin predecir el comportamiento del río ante eventuales crecidas que generan las habituales inundaciones. Esta información permite agilizar las estrategias necesarias para prevenir o mitigar este fenómeno.

Las inundaciones, son fenómenos que dependiendo de su magnitud afectan de distintas maneras a múltiples aspectos ambientales. En la comunidad de Lepanto, específicamente en el tramo de estudio, las inundaciones registradas impactaron diferentes aspectos ambientales

del sector, según pobladores entrevistados, aspectos como el suelo, el paisaje, la dinámica cultural y social son los de mayores impactos producto de dicho fenómeno.

Por su parte, la Secretaria Técnica Nacional Ambiental (SETENA) es el ente encargado de estudiar y evaluar los posibles impactos que generará cualquier proyecto al ambiente, sin embargo, como se expone en la matriz de la tabla 2.7, en el artículo 5 de la Resolución N°1462-2018-SETENA se excluye de realizar una Evaluación de Impacto Ambiental a estudios como el que se propone generar con el proyecto, esto debido a que este es una actividad de bajo impacto ambiental, careciente de infraestructura y alguna otra actividad que pueda alterar el medio ambiente.

Por el contrario, y utilizando como referencia el marco de gobernanza legal del proyecto (tabla 2.7), los estudios hidrológicos e hidráulicos son actividades recomendadas para promover el equilibrio ambiental, la seguridad de las personas, tal y como se interpreta en el artículo 50 de la constitución Política de la República de Costa Rica. Por lo tanto, las implicaciones ambientales que rodean al proyecto son positivas, y en su defecto promovidas legalmente a nivel nacional desde la perspectiva de protección y equilibrio del medio ambiente.

### 2.2.3 Conclusiones

Del anterior análisis, la perspectiva legal y ambiental arroja algunas conclusiones importantes, que se describen a continuación.

Según el marco legal que involucra la propuesta de ejecución del estudio hidrológico e hidráulico en el río Lepanto, no existe ninguna normativa que prohíba o que impida ejecutar acciones como las que requiere el proyecto. Por el contrario, en algunos artículos de la Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488, sugieren este tipo de proyectos en la búsqueda de prevenir y mitigar desastres naturales como las inundaciones.

El proyecto tiene una relación poco estrecha en temas de impacto ambiental, debido a la escasez de obras de infraestructura y actividades que puedan generar alteraciones al ecosistema. Es por ello, que en la Resolución N°1462-2018-SETENA se excluye a los estudios hidrológicos e hidráulicos de presentar estudios de Evaluación de Impacto

Ambiental (EIA) ante la SETENA quien es el principal órgano regulador de los alcances ambientales de los proyectos en Costa Rica.

Por lo tanto, se concluye que desde la perspectiva de legalidad ambiental el proyecto es viable, porque no se encuentran impedimentos en ambos criterios, al contrario, son proyectos altamente recomendados en miras de prevención y mitigación de riesgos.

### **2.3 Estudio de prefactibilidad económica-financiera**

El estudio económico financiero conforma una de las principales etapas de los proyectos, en el que figura de manera sistemática y ordenada la información de carácter monetario, en resultado a la investigación y análisis efectuado en los estudios anteriores, (en este caso el estudio tecno social) y que será de gran utilidad en la evaluación de la rentabilidad económica del proyecto (Sapag, et al., 2014).

#### **2.3.1 Determinación de los costos de inversión**

En este apartado se estima el total de los costos necesarios para la ejecución del proyecto. Dichos costos, son los que tendría que asumir el Concejo Municipal de Distrito de Lepanto, sin embargo, al ser una práctica académica los insumos y los honorarios profesionales son donados. Por tanto, este ejercicio sirve para estimar los posibles costos para proyectos similares que requiera el CMDL. Los Costos de inversión, se clasifican en costos fijos, diferidos o intangibles y capital de trabajo. Este último debido a que el proyecto es un servicio profesional puntual no se evalúa el desfase entre la etapa de inversión o egresos, y la etapa de ingresos debido a que con el proyecto no se esperan ingresos financieros.

- **Costos fijos**

Los costos fijos corresponden al precio en el mercado de los principales activos que requiere el proyecto, los mismos se muestran en la tabla 2.8.

**Tabla 2.8**

*Determinación de los costos fijos del proyecto*

<b>Costo de inversión</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
Datos de precip. máx. en 24 horas	25	12.000,00	300.000,00
ATLAS digital de Costa Rica	1	12.000,00	12.000,00
Levantamiento topográfico	1	500.000,00	500.000,00

Transporte (giras)	3	15.000,00	45.000,00
GPS	1	70.000,00	70.000,00
Computadora	1	500.000,00	500.000,00
Software HEC HMS	1	0	0
Software HEC RAS	1	0	0
<b>Servicios profesionales (donados)</b>	2	900.700,00	1.801.400,00
<b>Imprevistos</b>	<b>3%</b>	96.852,00	96.852,00
<b>TOTAL</b>			<b>3.268.752,00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020.

- **Costos diferidos o intangibles**

Los costos diferidos son todos aquellos que están constituidos por la adquisición de servicios o derechos que son indispensables para la ejecución del proyecto. Los mismos que se muestran en la tabla 2.9.

**Tabla 2.9**

*Determinación de los costos diferidos del proyecto*

Costo de inversión	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Contratación de servicio de internet	2	18.500,00	37.000,00
Factura del servicio telefónico	2	12.000,00	24.000,00
Colaboradores en las giras de campo	3	10.000,00	30.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>91.000,00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El precio de los costos diferidos presentados en la tabla anterior, contempla en las dos primeras filas que la cantidad equivale a los meses necesarios de contratación de los servicios. Por su parte, la tercera fila valora la contratación de mínimo un colaborador con estatus de trabajador no calificado para coadyuvar en las distintas actividades, eventualmente son tres giras de campo.

- **Inversión total**

El monto de inversión total requerido para la ejecución del estudio hidrológico e hidráulico en la Comunidad de Lepanto, Puntarenas; se resume a continuación en la tabla 2.10:

**Tabla 2.10**

### *Determinación del costo total de inversión del proyecto*

COSTOS FIJOS	3.228.400,00
COSTOS VARIABLES	91.000,00
IMPREVISTOS (3%)	96.852,00
<b>INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO (¢)</b>	<b>3.416.252,00</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

#### 2.3.2 Costos ahorrados

Dentro del análisis tecno social, se muestra la tabla 2.3, la cual, equivale a todos aquellos activos que ha tenido que adquirir la comunidad beneficiaria del presente proyecto en los últimos años a raíz de la rehabilitación post-inundación. Dicha tabla, representa la estimación de los costos ahorrados.

#### 2.3.3 Flujo de caja

El proyecto tiene como finalidad su ejecución en un periodo de dos (2) meses, donde, en este lapso de tiempo, se incurriría en la solicitud del aporte financiero al Concejo Municipal del Distrito de Lepanto, el cual, se estima por un monto de: tres millones cuatrocientos dieciséis mil doscientos cincuenta y dos colones (¢3,416,252) para que el mismo pueda ser realizable.

Cabe destacar que, el proyecto no tiene definido un horizonte de evaluación; y por ello, indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) no han sido calculados y únicamente se procede a mostrar el Flujo de Caja proyectado a los dos meses de ejecución.

**Tabla 2.11**

### *Determinación del flujo de caja del proyecto*

Rubro	Periodo de evaluación		
	MES 0	MES 1	MES 2
Saldo Inicial de Caja	0		
<u>Ingresos (+)</u>	3416252	3416252	<u>1553052</u>
<b>Total Ingresos (=)</b>	3416252	3416252	<b>1553052</b>
Egresos de consumo (-)			
Internet		18500	18500



<u>Teléfono</u>		<u>12000</u>	<u>12000</u>
<b>Total egresos de consumo</b>		<b>30500</b>	<b>30500</b>
Egresos operativos (-)			
ATLAS digital de Costa Rica		12000	
Compra de datos climáticos		300000	
Computadora		500000	
Giras		30000	15000
GPS		70000	
Imprevistos			96852
Colaboradores		20000	10000
Honorarios profesionales		900700	900700
<u>Levantamiento topográfico</u>			<u>500000</u>
<b><u>Total egresos operativos</u></b>		<b><u>1832700</u></b>	<b><u>1522552</u></b>
<b>Total Egresos</b>		<b>1863200</b>	<b>1553052</b>
<b>Saldo Final de Caja</b>	<b>-3416252</b>	<b>1553052</b>	<b>0</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

De este modo, para el “Mes Cero” o “Periodo Cero” se contempla el lapso de tiempo donde el presupuesto del proyecto es solicitado para poder iniciar la obra. Posteriormente, de este monto será deducibles los costos fijos y costos diferidos contemplados en los apartados anteriores.

Por otra parte, se debe destacar que, al finalizar el segundo mes, el periodo de realización estará en su etapa final, donde el presupuesto solicitado será finalmente invertido en las actividades conclusivas. Demostrando así que, todos los ingresos destinados a la realización del presente proyecto en estudio; han sido debidamente invertidos, dando como *Saldo Final de Caja* un monto de cero colones.

#### 2.3.4 Conclusiones

Las conclusiones del estudio económico financiero se enmarcan a continuación:

De acuerdo a la determinación de la inversión total de **¢3.416.252,00** a la que incurriría el Concejo Municipal del Distrito de Lepanto para ejecutar el proyecto propuesto, se concluye que en comparación con los servicios que brindan las empresas de consultoría especialistas en estudios hidrológicos e hidráulicos en el país, la institución ahorraría aproximadamente

un 25.8% valorando los ¢ 4.606.059,12 que facturaría la empresa HIDROGEOTECNIA Ltda; por el mismo estudio en la comunidad, cuya cotización se muestra en anexos.

Por otro lado, al no determinar los indicadores de rentabilidad como TIR, VAN, costo-beneficio; no se puede afirmar la rentabilidad que tendría el proyecto. Sin embargo, de acuerdo a las estimaciones realizadas de los costos que la población puede ahorrarse al mediano y largo plazo con la ejecución del proyecto como primera fase para recomendar las medidas más eficaces de prevención y mitigación de inundaciones claramente es de sumo interés para la institución y el bienestar de las personas. De acuerdo a la vice intendenta del Concejo Municipal del Distrito de Lepanto, se cuentan con fondos en la institución destinados al departamento municipal de gestión del riesgo que sobrepasan en gran proporción el coste total del proyecto. Por lo tanto, se puede concluir que desde esta perspectiva económica financiera el proyecto es viable.

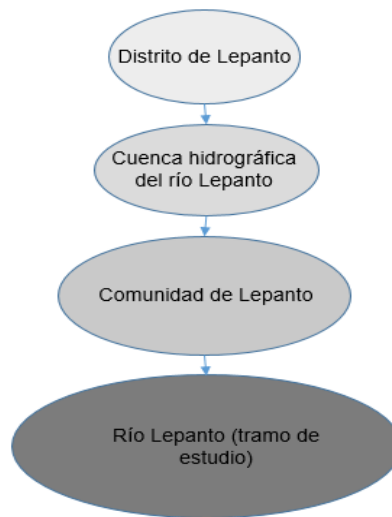
#### **2.4 Conclusión general**

Realizando el balance general de la posible viabilidad de las distintas perspectivas evaluadas, se concluye de manera general, que el proyecto es viable valorando las perspectivas tecno social, legal-ambiental y económico-financiera.

## CAPÍTULO 3. ÁREA DE ESTUDIO

Este capítulo, tiene el propósito de esclarecer el escenario del proyecto de acuerdo a su ubicación e influencia territorial, además, de aterrizar sobre el punto focal del mismo. Cabe resaltar, la particularidad que posee este estudio, esto debido a que las diferentes unidades territoriales y el río, tienen el mismo nombre, Lepanto.

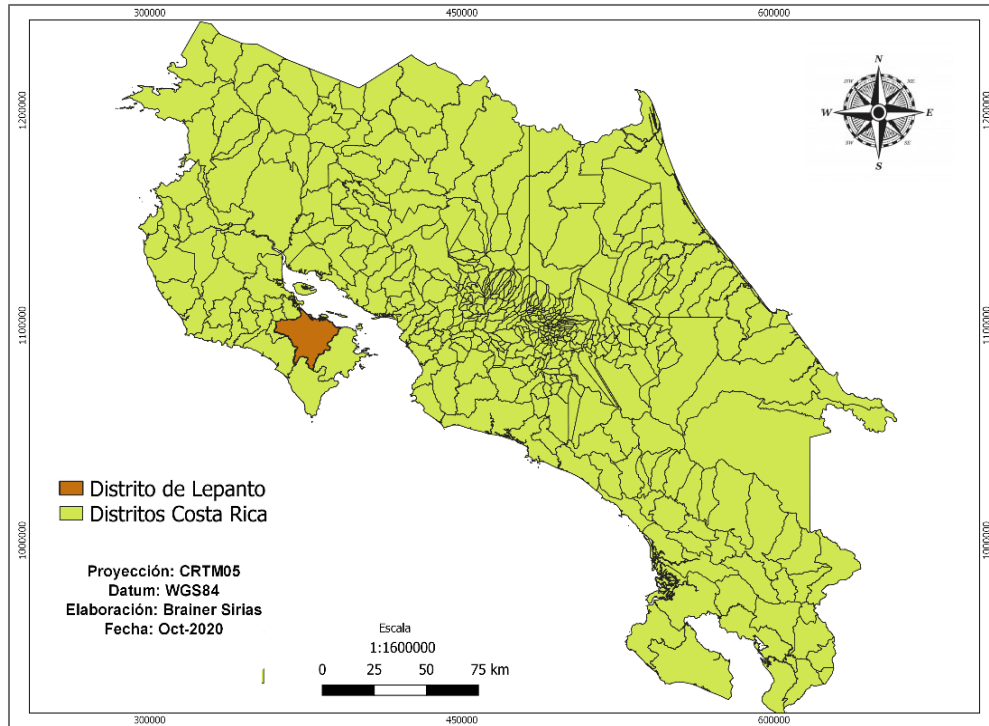
Por lo tanto, a continuación, se describirán las principales características generales de cada uno de estos sistemas: Distrito, cuenca, comunidad y tramo de estudio.



*Figura 3.1.* Esquema de categorización de las zonas de influencia. Elaboración propia, 2020.

### 3.1 Descripción del distrito Lepanto

Lepanto es el distrito cuatro del cantón de Puntarenas, localizado en el extremo sur de la península de Nicoya. Junto con Paquera y Cóbano, constituye uno de los tres distritos peninsulares de Puntarenas. Mide 420,46 km<sup>2</sup> y tiene una población estimada de 9.502 habitantes de acuerdo al censo del INEC en 2011, siendo por lo tanto el más poblado de los tres distritos citados (Inder, 2014).



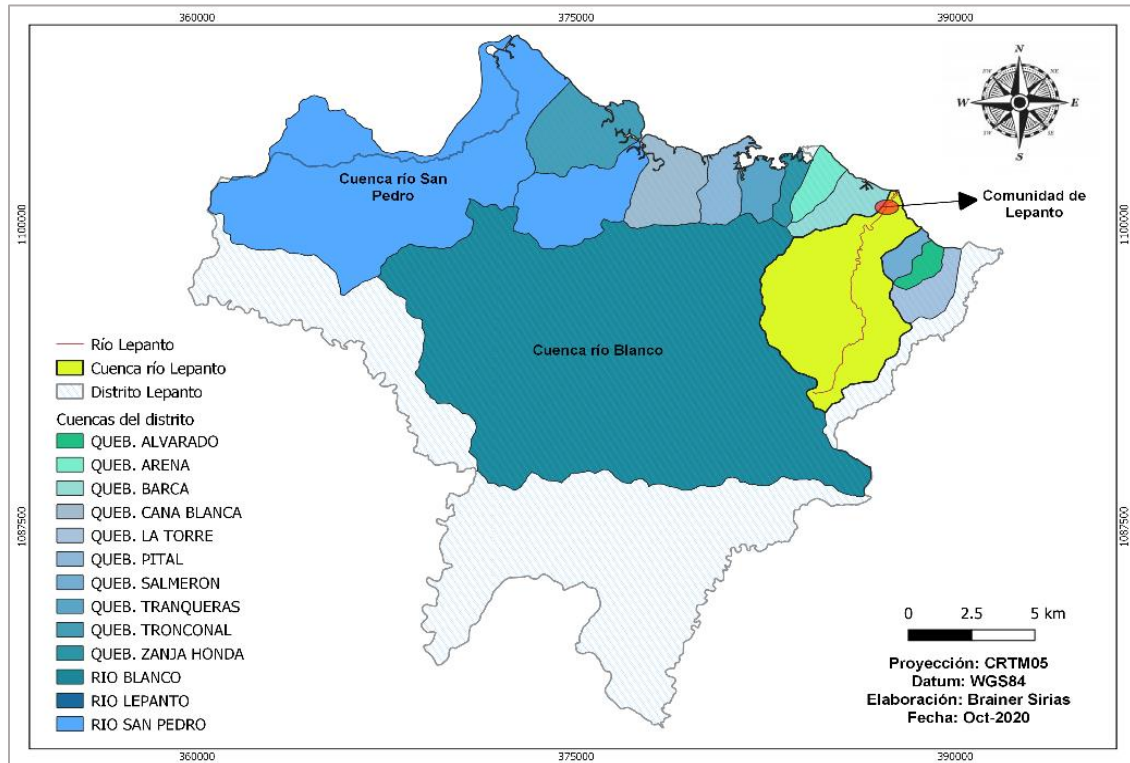
**Figura 3.2.** Mapa del distrito de Lepanto en la península de Nicoya. Elaboración propia, utilizando el Atlas de Costa Rica.

### 3.2 Descripción del contexto hidrográfico del distrito

El distrito de Lepanto posee entre sus límites, importantes cuencas hidrográficas. La cuenca del río Lepanto es una de las 11 unidades hidrológicas (ITCR, 2014), esta, asienta entre sus límites a tres comunidades; en su parte alta se localiza la comunidad de Montaña Grande, en la parte media El bajillo oscuro, y en la parte baja la comunidad de Lepanto.

Su río principal, nace en la Reserva Biológica Karen Mogensen y tiene una longitud aproximada de 13 km y su variación altitudinal va de los 610 metros hasta los 0 metros sobre el nivel del mar (ITCR, 2014). La clasificación de zonas de vida según Holdridge, determina que en la cuenca se recrean dos condiciones, bosque húmedo tropical en sus zonas más altas, y bosque húmedo Premontano en toda la parte baja (Inder, 2014).

El régimen pluviométrico anual de la cuenca del río Lepanto, en promedio fluctúa entre el rango de los 1500 a 2000 mm (Inder, 2014). En el apartado 6.1 (Delimitación y caracterización de la cuenca hidrográfica) se muestran las principales características físicas de la cuenca hidrográfica del río Lepanto, necesarias para la estimación preliminar de su comportamiento hidrológico.



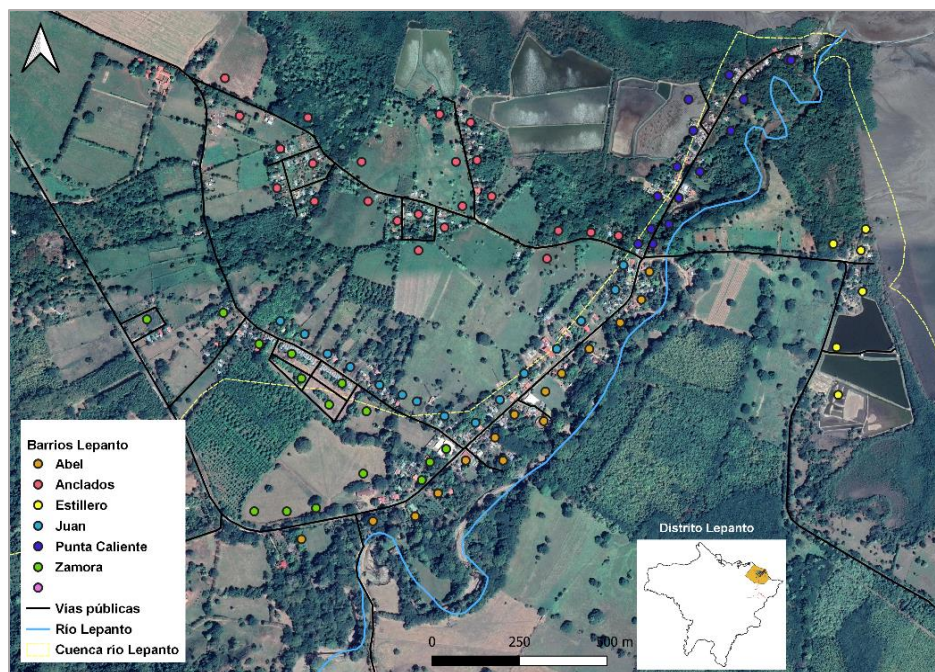
**Figura 3.3.** Cuencas hidrográficas del distrito de Lepanto. Elaboración propia con datos del Atlas de Costa Rica.

### 3.3 Caracterización a la comunidad de Lepanto

La comunidad de Lepanto es una de las 52 localidades que conforman al distrito (ITCR, 2014), posee una población estimada de 3300 habitantes de acuerdo al informe técnico de la ASADA de Lepanto elaborado en 2016. La dinámica productiva de la comunidad es diversa, el comercio, la pesca artesanal, la apicultura, la agricultura y la ganadería son las de mayor predominio (Zamora, 2020).

La ASADA dividió a la comunidad en seis barrios para facilidad en sus labores operativas, dichos barrios son los siguientes: Barrio Abel, barrio Anclados, barrio Estillero, barrio Juan, barrio Punta Caliente, barrio Zamora. De estos seis sectores, los que tienen una influencia directa con la dinámica del río son, barrio Abel y barrio Punta Caliente. Debido a que sus conglomerados se asientan en la margen izquierda del río.

Por otro lado, la comunidad posee infraestructura vital para el desarrollo de las principales actividades sociales y culturales, tales como el centro de salud, el colegio académico, la plaza de deportes y el campo ferial de la asociación de desarrollo integral, dicha infraestructura se encuentra ubicada en los barrios Abel y Punta Caliente

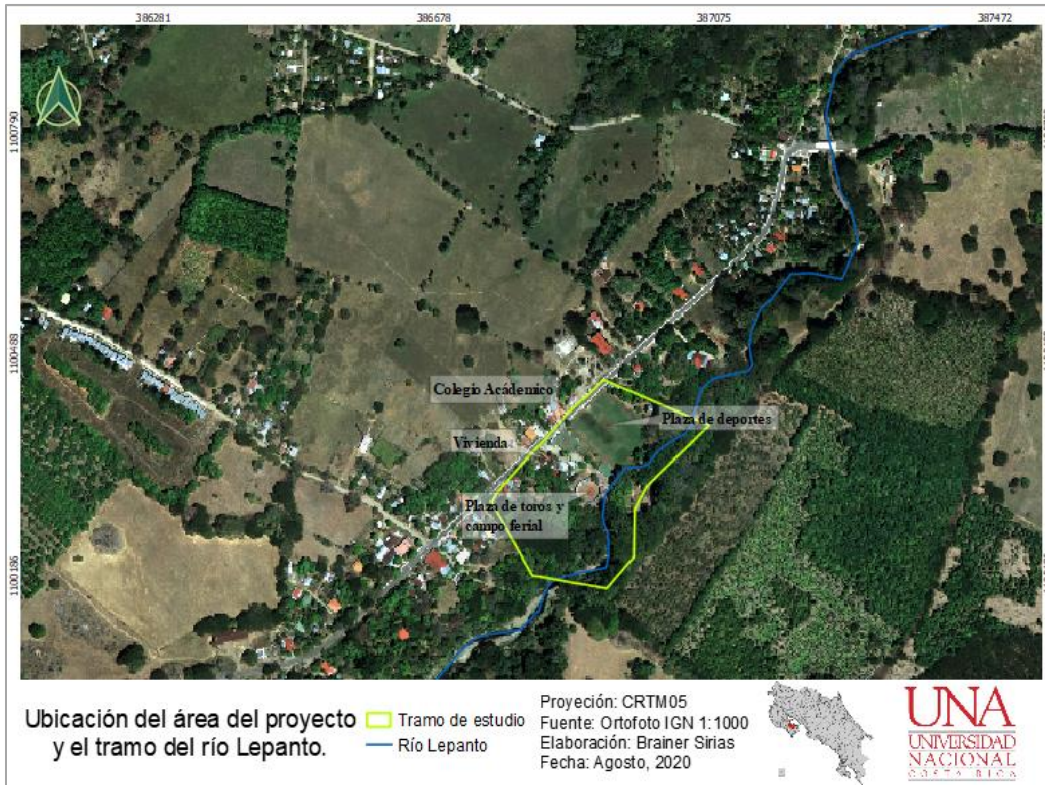


*Figura 3.4.* Mapa de la comunidad de Lepanto y su distribución sectorial. Elaboración propia, 2020.

### 3.4 Descripción del tramo seleccionado

El tramo del río Lepanto en el cual se realiza el análisis, se localiza en el barrio Abel. Mide aproximadamente 400 metros, y asienta en su margen izquierda, la plaza de deportes, el colegio académico, el campo ferial de la ADIL, una pulpería, una soda, 7 viviendas y al centro de reunión del grupo de adultos mayores de la comunidad.

El cauce del río en este tramo ha sufrido severos cambios en su morfología, las intensas erosiones en sus márgenes ocasionan que cada vez se cerque más a la zona ocupada por la infraestructura citada, además el tramo tiene la particularidad de presentar sinuosidad (ver figuras 5.3 y 6.4). En la figura 3.5 se muestra la ubicación del tramo del río.



**Figura 3.5.** Ubicación del tramo de estudio y la PBD. Elaboración propia, 2020.

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se encuentran las bases teóricas en las que se fundamentan las diferentes metodologías seleccionadas y aplicadas en este estudio. De acuerdo a los objetivos planteados en este proyecto, resaltan tres componentes principales; la caracterización de la cuenca hidrográfica, la modelación hidrológica y la modelación hidráulica. Por lo tanto, en las siguientes páginas se profundiza sobre el desarrollo de dichos componentes.

### 4.1 Delimitación y caracterización de la cuenca hidrográfica

La delimitación y caracterización de la cuenca hidrográfica es de los procesos fundamentales en la elaboración de estudios hidrológicos, este proceso facilita el control de las variables hidrológicas dentro de dicho espacio como son la lluvia, evaporación entre otras (Béjar, 2004).

Una cuenca hidrográfica, es el espacio limitado por las partes más altas de las montañas, laderas y colinas, en la cual se desarrolla un sistema de drenaje superficial que concentra sus aguas en un río principal el cual se integra al mar, un lago u otro río más grande. La cuenca se caracteriza por presentar condiciones particulares, desde su forma, relieve, uso de suelo, entre otras (Jiménez, 2018).

#### 4.1.1 Delimitación de la cuenca

La delimitación de cuencas implica una demarcación de áreas de drenaje superficial donde las precipitaciones que caen sobre éstas tienden a ser drenadas hacia un mismo punto de salida. La delimitación de cuencas hidrográficas constituye un insumo esencial para llevar a cabo la planeación y la gestión de los recursos naturales bajo el enfoque de cuencas, dicho proceso puede ser manual, utilizando hojas cartográficas o semiautomático mediante herramientas como los SIG (Cotler, *et al.*, 2007).

#### 4.1.2 Características de forma

Estas características se componen de parámetros como el área, perímetro, ancho medio, longitud, índice de compacidad, factor de forma. Estos parámetros brindan una ayuda preliminar al hidrólogo para prever el comportamiento de la misma ante eventos de lluvia o sequía (Cardona, 2013).

- Área (A)



Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; éste parámetro se expresa normalmente en  $\text{km}^2$ .

**Tabla 4.1**

*Clasificación del tamaño de una cuenca por su área.*

Unidad	Área ( $\text{km}^2$ )
Microcuenca	10 - 500
Subcuenca	500 - 2000
Cuenca	Más de 2000

**Fuente:** (Otárola, 2000)

- Perímetro (P)

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Éste parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros.

- Longitud de la cuenca (L)

Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

- Ancho de la cuenca (B)

Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca

- Factor de forma de Horton (Kf)

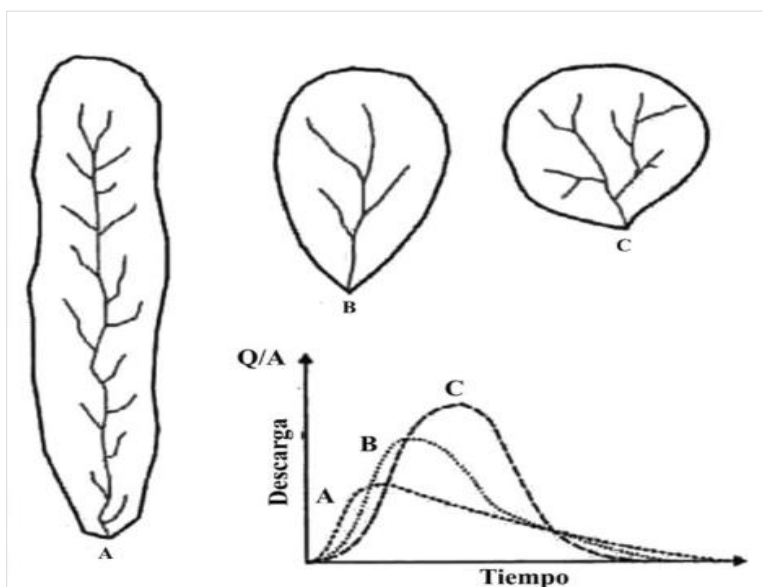
Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca. Intenta medir cuan alargada puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

**Tabla 4.2**

*Clase de valores de forma de Horton*

Rangos de Kf	Clases de forma
0.01 – 0.18	Muy poco achatada
0.19 – 0.36	Ligeramente achatada
0.37 – 0.54	Moderadamente achatada

Fuente: (Béjar, 2004)



**Figura 4.1.** Efecto de la forma de la cuenca en los hidrogramas de salida. (Cardona, 2013).

- Coeficiente de compacidad (Kc)

Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. 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.

Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua.

**Tabla 4.3**

### Formas de la cuenca de acuerdo al 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 ó más de 2	Oval - oblonga a rectangular - oblonga

Fuente: (Cardona, 2013).

#### 4.1.3 Características de relieve

- Curva hipsométrica

Permitirá caracterizar el relieve, obteniéndose a partir de las cotas de altitud registradas en los modelos de elevación digital del terreno (MED) y complementado con la estimación de la superficie acumulada por cada cota. En base al análisis hipsométrico, podremos determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva en que se encuentra la cuenca.

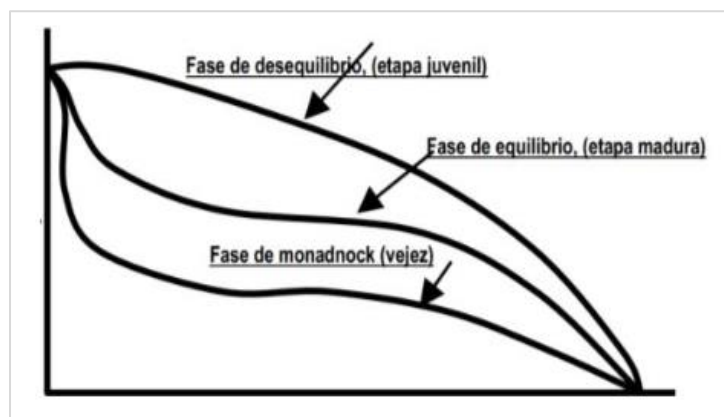


Figura 4.2. Representación de la madurez de la cuenca según Curva Hipsométrica. (Guerra y González, 2002).

- Pendiente media de la cuenca

Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas para observar fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie. Una pendiente del 10 % equivale a 0.1 (m/m)

**Tabla 4.4**

*Clasificación del relieve de la cuenca según su pendiente media*

Pendiente (%)	Tipo de relieve
0 – 3	Plano
3 – 7	Suave
7 – 12	Mediano
12 – 35	Accidentado
35 – 50	Fuerte
50 – 75	Muy fuerte
Mayor a 75	Escarpado

**Fuente:** (Camino, *et al.*, 2018).

- Elevación media

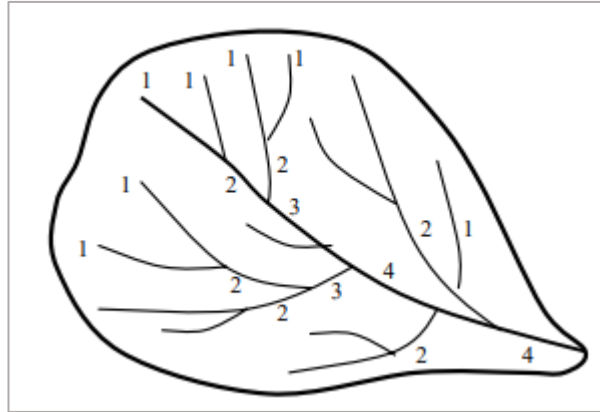
Es la variación altitudinal de la cuenca hidrográfica que incide directamente sobre el clima y, por tanto, sobre el régimen hidrológico, además de brindar una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas diferentes dentro de la misma cuenca. A partir de la curva hipsométrica se determina este parámetro.

#### 4.1.4 Características del drenaje

El sistema de drenaje de una cuenca está constituido por el cauce principal y sus tributarios; el estudio de sus ramificaciones y el desarrollo del sistema es importante, pues indica la mayor o la menor velocidad con que el agua deja la cuenca hidrográfica (Mejía, 2006).

- Orden de corrientes

El orden de los ríos es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. Utilizando el mapa de la cuenca bien detallado en el cual estén incluidos todos los canales perennes, intermitentes o efímeros y siguiendo el criterio introducido por Horton, los ríos son clasificados de la forma como es presentada en la figura 4.3:



**Figura 4.3.** Orden de corrientes en una cuenca hidrográfica. (Mejía, 2006).

Son consideradas de primer orden las corrientes formadoras, o sea, los pequeños canales que no tienen tributarios; cuando dos canales de primer orden se unen es formado un canal de segundo orden; la unión de dos ríos de segundo orden da lugar a la formación de un río de tercer orden y, así, sucesivamente: dos ríos de orden  $n$  dan lugar a un río de orden  $n+1$ . De este modo, el orden del río principal muestra la magnitud de la ramificación en la cuenca (Mejía, 2006).

- Densidad de drenaje

Este índice está expresado por la relación entre la longitud total, ( $L$ ), de los cursos de agua (sean estas efímeras, intermitentes o perennes) de una cuenca y el área total ( $A$ ). La densidad de drenaje varía inversamente con la longitud de las corrientes y, por lo tanto, da una indicación de la eficiencia de drenaje de la cuenca. A pesar de la existencia de poca información sobre densidad de drenaje, se puede afirmar que este índice varía de  $0,5 \text{ km/km}^2$ , para cuencas con drenaje pobre y de  $3,5$  a más, para cuencas bien drenadas (Mejía, 2006).

- Índice de sinuosidad

La sinuosidad de un tramo fluvial  $AB$  se define como la relación entre la longitud del desarrollo fluvial a lo largo del cauce entre  $A$  y  $B$  y la distancia  $AB$  en línea recta. Los ríos tienden naturalmente a la sinuosidad, a que su recorrido este formado por una sucesión de curvas. La sinuosidad representa para el río el mínimo consumo de energía (Rocha, 1998).

- Pendiente fluvial

La pendiente fluvial es variable a lo largo del recorrido que el río hace desde sus nacientes hasta la desembocadura. En general en las partes altas están las mayores pendientes. En las partes bajas la pendiente disminuye notablemente.

En correspondencia con estas pendientes en las partes altas se encuentran las mayores velocidades y el material sólido transportado está constituido por partículas gruesas. En las partes bajas las velocidades son menores y también lo es el diámetro característico del material sólido transportado. Existe una correlación entre pendientes, velocidades y el tamaño de las partículas sólidas transportadas (Rocha, 1998).

#### **4.2 Estimación de caudales pico por el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS)**

Cuando en la cuenca hidrográfica no se cuenta con información hidrométrica (mediciones directas del caudal del río) existen otros métodos que estiman estos datos a partir de la lluvia caída en la cuenca (Aparicio, 1992).

El SCS ha diseñado algunos métodos que permiten estimar relaciones lluvia- caudal como es el caso del número de curva (CN) y también determinar hidrogramas unitarios sintéticos o adimensionales para analizar la distribución temporal del escurrimiento de la cuenca en análisis (Chow, *et al*, 1994).

Este proceso, se puede desarrollar de manera semiautomatizada en modelos hidrológicos como el HEC HMS, para ello es necesario contar previamente con los parámetros necesarios. Algunos de estos parámetros son:

- Área de la cuenca,
- Hietogramas de precipitación,
- Número de curva (CN),
- Tiempo de retardo de la cuenca

##### **4.2.1 Determinación de las precipitaciones de diseño**

Antes de aplicar la metodología del SCS, es necesario contar con la precipitación de diseño, que por lo general aterriza en la altura de precipitación obtenida de un hietograma (Espinoza, 2020). El desarrollo de este proceso cuando no se cuenta con estaciones pluviográficas, solamente con pluviómetros, es más extenso y requiere de extenuantes cálculos hidrológicos

estadísticos (Béjar, 2004). A continuación, se resumen los principales procedimientos básicos requeridos para obtener las precipitaciones de diseño.

Cuando no se cuenta con información a detalle de las precipitaciones (valores cada 5, 10, 15 minutos, etc...) como las que brindan los pluviógrafos, y solamente existe información pluviométrica (valores diarios, mensuales...) se trabaja generalmente con la precipitación máxima anual en 24 horas y por medio de diversos métodos, esta se transforma en intensidades y posteriormente en los hietogramas requeridos por el HEC HMS (Morales, 2011).

- Precipitación máxima anual en 24 horas

La precipitación máxima anual en 24 horas, refleja la mayor cantidad de lluvia que se registró en un periodo de 24 horas durante los doce meses del año, existe una diferencia sobre este parámetro obtenido sobre la base pluviométrica y la base pluviográfica, debido a que en este último se contemplan tormentas de varios días cuyo inicio y fin no reflejan un día en especial sino el intervalo de 24 horas (Lorente, *et al.*, 2013).

- Relleno y extensión de datos

En las estaciones meteorológicas es común que los registros estén incompletos y con una extensión menor de las que se recomiendan en la práctica, es por ello, que los métodos de relleno y extensión son ampliamente utilizados. En la guía de prácticas climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial, se proponen los siguientes métodos estadísticos para el relleno y extensión de datos: regresión simple, múltiple, razón q y razón-normal q (RN). Se requiere contar con una estación de referencia, la cual posea registros continuos que sirvan para correlacionar los datos con los de la estación analizada (Béjar, 2006).

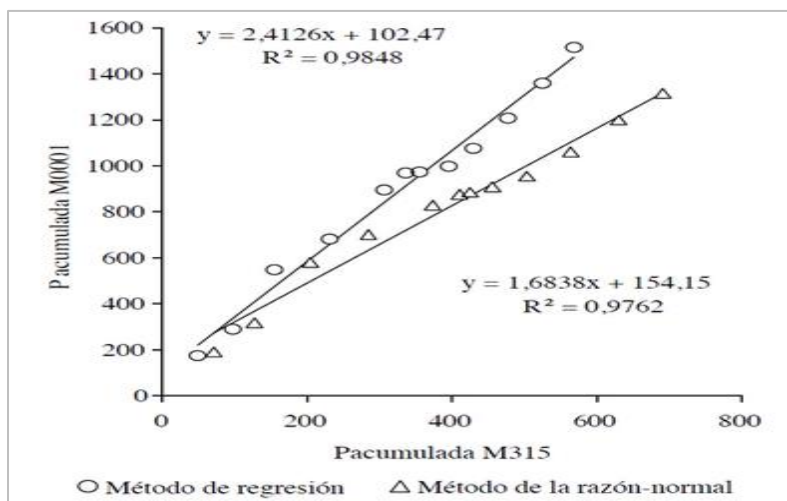


Figura 4.4. Relleno de datos de precipitación mediante dos métodos estadísticos. (Carrera, et al, 2017).

- Distribución de frecuencia de la lluvia

Uno de los problemas más importantes en hidrología es la interpretación de registros pasados de eventos hidrológicos, en términos de obtener probabilidades de ocurrencia futuras. Este problema se extiende a la estimación de frecuencias de avenidas, sequías, precipitación, calidad de agua y oleajes, entre otros. El procedimiento involucrado es conocido como análisis de frecuencia (Chow, *et al.*, 1994).

El análisis de frecuencia de datos hidrológicos comienza con el tratamiento de datos brutos y finalmente determina la frecuencia o probabilidad de un valor de diseño (Chow, *et al.*, 1994)

Para utilizar estos modelos probabilísticos, se deben calcular sus parámetros y realizar la prueba de bondad de ajuste, un esquema de este proceso se muestra en la figura 4.5. Si el ajuste es bueno, se puede utilizar la distribución elegida, una vez encontrada la ley de distribución que rige a las variables aleatorias, además, se podrá predecir con determinada probabilidad, la ocurrencia de una determinada magnitud, de un fenómeno hidrometeorológico. También se podrá determinar la magnitud de un fenómeno para un determinado periodo de retorno (Béjar, 2006).



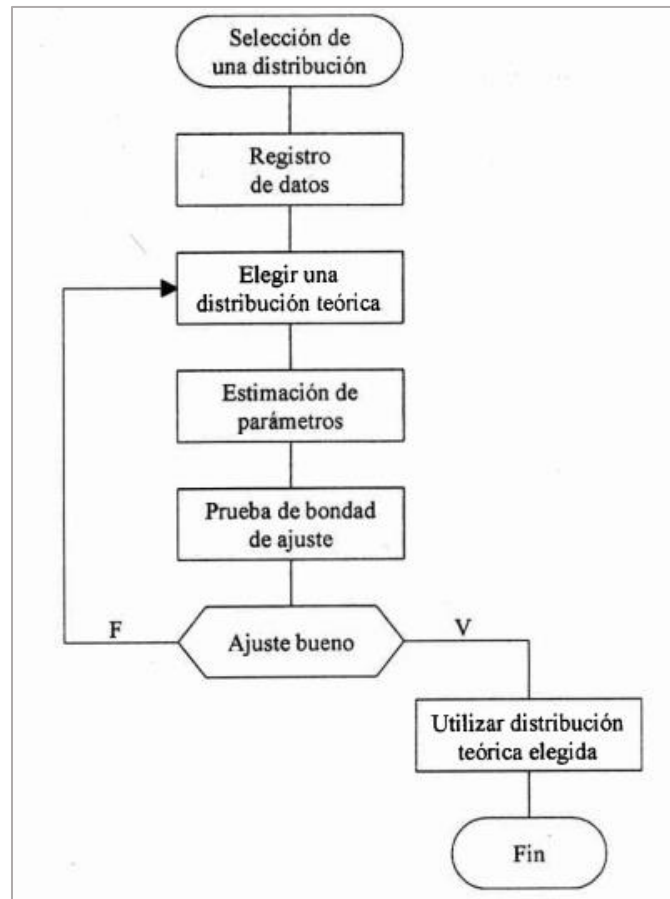


Figura 4.5. Proceso de selección de una distribución teórica. (Béjar, 2006)

- Distribución espacial de la lluvia

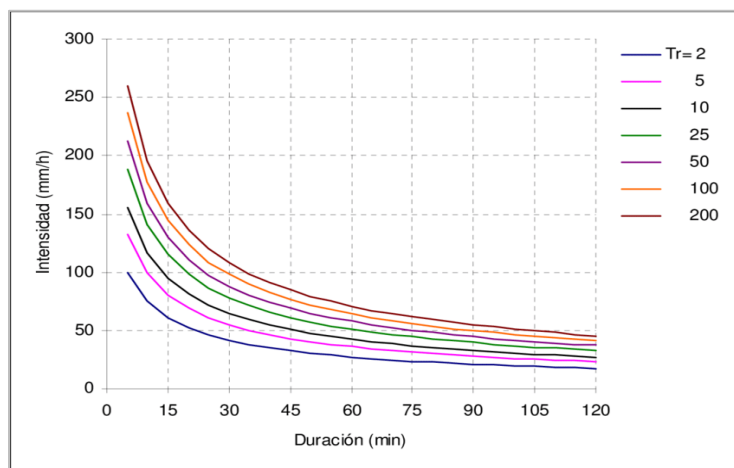
La interpolación espacial de la lluvia se ha estudiado con diferentes enfoques dependiendo de la aplicación, información disponible y precisión requerida. El principio básico de la mayoría de los métodos es transformar los valores puntuales de la precipitación, a través de ponderadores espaciales, para representar la distribución de la precipitación sobre una superficie. Los métodos más usados para estimar el promedio espacial de la precipitación a partir de datos observados en estaciones pluviométricas son: promedio aritmético, polígonos de Thiessen e isoyetas (Iñiguez, *et al*, 2011).

Por su parte, actualmente, los métodos geoestadísticos se usan entre otras aplicaciones, como herramienta de interpolación para analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área determinada, usualmente en programas comerciales para la generación de mapas de lluvia. El uso de métodos geoestadísticos, en particular el krigeado ordinario, como

herramienta de interpolación para la construcción de campos de tormenta y para representar la variabilidad espacial de la lluvia es una práctica común (Iñiguez, *et al*, 2011).

- Curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF)

Uno de los primeros pasos que debe seguirse en muchos proyectos de diseño hidrológico es la determinación de el o los eventos de precipitación que deben usarse. La forma más común de hacerlo es utilizar una lluvia de diseño o un evento que involucre una relación entre la precipitación, la duración de esta, y las frecuencias o períodos de retorno apropiados para la obra y el sitio (Chow *et al*, 1994).



**Figura 4.6.** Diseño característico de las curvas IDF. (Maza, *et al.*, 2008)

- Hietogramas de diseño

En ocasiones no es suficiente el dato de que (por ejemplo) la precipitación máxima para las 5 horas más lluviosas es de 100 mm. Es posible que necesitemos conocer la evolución de esos 100 mm a lo largo de esas 5 horas. Los hietogramas cumplen esta función, estos se construyen bajo el supuesto de que la intensidad media de un conjunto de bloques es igual a la intensidad obtenida mediante la curva IDF para cualquier intervalo de tiempo. Los bloques deben ser reordenados de forma que el bloque de intensidad máxima quede en centro de la duración definida y los demás bloques queden situados en orden decreciente de derecha e izquierda al bloque central (Ferrer, 2000).

#### 4.2.2 Determinación del número de curva (CN)

El SCS desarrolló la metodología del número de curva de manera experimental para estimar las abstracciones de la precipitación de una tormenta. A partir de la anterior depuración se puede calcular la precipitación efectiva, que es la causante de la escorrentía directa (Chow, *et al*, 1994). El número de curva varía del 1 al 100, donde un valor de CN = 100, indica que toda la lluvia escurre, y un CN= 1, indica que toda la lluvia se infiltra (Béjar, 2004).

Se puede determinar el CN para tres condiciones de humedad antecedente; condiciones secas (CHA I), medias (CHA II), húmedas(CHA III) (Gómez y Monge, 2019).

**Tabla 4.5**

*Rangos para la clasificación de las condiciones de humedad antecedente.*

Condición de humedad antecedente (CHA)	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento considerado
I	0 – 33 mm
II	33 – 52,5 mm
III	Más de 52,5

**Fuente:** (Gómez y Monge, 2019)

El SCS, también estableció una relación directa entre el grupo hidrológico de los suelos y el CN, para ello se definieron cuatro grupos como se muestran en la tabla 4.6:

**Tabla 4.6**

*Grupos de suelos y sus características hidrológicas.*

Grupo de suelo	Composición	Características
A	Arena profunda, limos agregados	Bajo potencial de escurrimiento
B	Marga arenosa	Moderado-bajo potencial de escurrimiento
C	Margas arcillosas, suelos con bajo contenido orgánico	Moderado-alto potencial de escurrimiento
D	Suelos expansivos, arcillas plásticas, suelos salinos	Alto potencial de escurrimiento

**Fuente:** (Béjar, 2004)

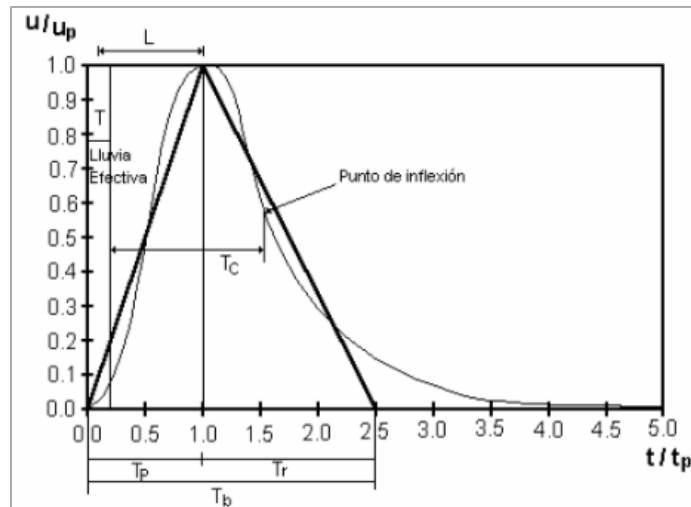
Los números de curva que define el SCS para condiciones medias de humedad antecedente (CHA II) se muestran en la figura 4.7:

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena <sup>2</sup>	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Districtos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote				
Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>				
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

**Figura 4.7.** Números de curva para una cuenca con condiciones de humedad media (CHA II). (Chow, *et al.*, 1994).

#### 4.2.3 Determinación del hidrograma adimensional del SCS

Para la distribución en el tiempo de la esorrentía directa, se hace uso del hidrograma unitario adimensional desarrollado por el SCS. Para diseñar el hidrograma es necesario determinar algunos componentes básicos además del CN tales como, el tiempo de concentración, tiempo de retardo, tiempo al pico y caudal al pico (Hernández, 2008).



**Figura 4.8.** Esquema del hidrograma unitario adimensional del SCS. (Hernández, 2008)

## 4.2 Modelación hidráulica en HEC RAS

El programa HEC RAS (River Analysis System) permite realizar el procesamiento de datos hidráulicos en flujo permanente o flujo no permanente para una dimensión. Su diseño permite el análisis de redes completas de ríos o canales mediante una interfase grafica fácil de usar, manteniendo una alta eficiencia para el usuario. El objetivo principal del HEC RAS es el de realizar cálculos para determinar la elevación del nivel del agua en todos los sitios de interés para un registro de datos de flujo (Grainger, 2006).

### 4.2.1 Funcionamiento del HEC-RAS

Para el funcionamiento de HEC-RAS debemos aportar dos tipos de datos: geométricos y de caudales.

Los datos geométricos fundamentales son diversas secciones transversales a lo largo del cauce. Dichas secciones se introducen mediante la cota de varios puntos; de este modo, mediante la cota de dos secciones contiguas, separadas por una distancia conocida, el modelo calcula la pendiente de ese tramo. También es necesario introducir el valor de la rugosidad de Manning para cada sección geométrica. El caudal puede ser un solo valor constante o bien un caudal variable en el tiempo (Sánchez, 2017). Las fases de trabajo son las siguientes:

- Creación de un nuevo proyecto. (File >> New Project...)
- Datos geométricos (Edit >> Geometric Data...)

- Datos de caudales y condiciones de contorno (Edit >> Steady (Unsteady) Flow Data...)
- Cálculo (Run >> Steady (Unsteady) Flow Analysis...)
- Observación de los resultados (View >> varias opciones del menú)

#### 4.2.2 Modelación en flujo permanente

La modelación en flujo permanente, no tiene en cuenta los efectos hidrodinámicos de una onda de creciente, ósea la variación del caudal durante el hidrograma, se utiliza para ello, un caudal que se asume como constante. Para el caso del análisis de inundación se simulan los picos máximos del hidrograma sintético (Grainger, 2006).

#### 4.6.2 Valores de rugosidad “n” de Manning

De acuerdo a la USGS, la mayoría de los cálculos hidráulicos relacionados con estimaciones indirectas de descarga requieren una evaluación de las características de rugosidad del canal. La capacidad de evaluar los coeficientes de rugosidad debe desarrollarse a través de la experiencia. Una forma de adquirir esta experiencia es examinando y familiarizándose con la apariencia de algunos canales típicos cuyos coeficientes de rugosidad son conocidos.

**Tabla 4.7**

*Valores “n” de Manning para flujo en canales abiertos*

Tipo de canal	Mínimo	Normal	Máximo
Dragado sin vegetación	0.025	0.030	0.033
Hierba densa y alta como la profundidad del flujo	0.075	0.10	0.15
Fondo limpio con arbustos a los lados	0.035	0.050	0.070
Limpios con meandros y algunos bancos	0.033	0.040	0.045
Meandros con algunas rocas y pastos	0.035	0.045	0.050
Pocos árboles y arbustos con follaje	0.040	0.060	0.080
Pasto corto	0.025	0.030	0.035

**Fuente:** (Lindell y Moore, 2018).

## CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

A continuación, se detallan los diferentes procesos desarrollados para el cumplimiento de los objetivos de este estudio. Además, se presentan algunos de los materiales utilizados, que fueron parte fundamental para lograr ejecutar los procedimientos mencionados. Por último, se resalta que la metodología se encuentra categorizada de acuerdo al orden de los objetivos específicos planteados; en primer lugar, la caracterización de la cuenca, seguidamente de la modelación hidrológica, y finalmente la modelación hidráulica.

### **5.1 Delimitación y caracterización de la cuenca hidrográfica río Lepanto**

Los procedimientos respectivos a la caracterización de la cuenca tienen como base, la obtención del modelo de elevación digital del terreno (MED) y a partir de ello, la delimitación de la cuenca hasta el punto de aforo o punto de interés. Posteriormente, se realiza la caracterización física de la misma que permite inferir el comportamiento ante eventos hidrológicos (Béjar, 2004).

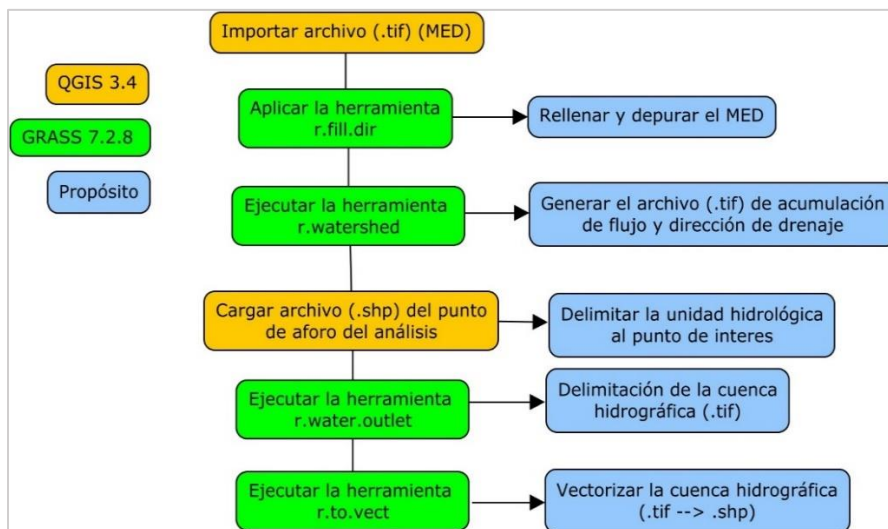
#### 5.1.1 Obtención del MED y delimitación de la cuenca

El modelo de elevación digital se obtuvo, mediante la utilización de dos herramientas computacionales, como lo son: Google Earth y Global Mapper 20. Para ello, fue necesario ubicar el área de estudio en la interfaz de Google Earth y posteriormente generar un polígono que contenga al área de estudio, el mismo puede ser rectangular o bien a mano alzada sobre el lienzo del mapa, seguidamente se dispone a guardar dicho polígono y exportarlo en formato (.kmz).

Posteriormente, mediante el modelo Global Mapper 20, se importa el polígono previamente generado en Google Earth y que fue guardado en formato (.kmz) a la interfaz del Global Mapper. Cargado el polígono, se activará la herramienta “Connect to Online Data” con el objetivo de enlazarse a los diferentes satélites con acceso a información digital del terreno. En este proceso, se seleccionó el Satélite ASTER GDEM v2Worldwide Elevation Data, el mismo posee una resolución de alta sensibilidad de 1 arco segundo.

La última fase del proceso de obtención del MED, es exportar la información generada con la superposición del satélite ASTER GDEM sobre el polígono del área de estudio. El formato de exportación en Global Mapper es (.tif), con el objetivo de la directa manipulación utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La delimitación de la cuenca hidrográfica se realiza utilizando el software QGIS 3.4 y su herramienta GRASS 7.8.2. El proceso se resume a continuación mediante el diagrama de la figura 5.1:



**Figura 5.1.** Diagrama del proceso de delimitación de la cuenca hidrográfica. Elaboración propia, 2020.

### 5.1.2 Determinación de la forma de la cuenca hidrográfica

Las características según la forma se determinaron utilizando las diversas ecuaciones matemáticas que se resumen en la tabla 5.1:

**Tabla 5.1**

*Metodología para estimar parámetros de cuenca según su forma*

Parámetro	Ecuación
Área (A)	Estos 4 parámetros se determinaron utilizando la herramienta “calculadora de campos/geometría” del software QGIS 3.4. La base del cálculo fue el archivo .shp que contiene el polígono de la cuenca delimitada.
Perímetro (P)	
Longitud de cuenca (L)	
Ancho de la cuenca (B)	
Factor de forma de Horton ( $K_f$ )	$K_f = \frac{B}{L} [1]$ <p>B= Ancho medio de la cuenca (km) L= Longitud media de la cuenca (km)</p>
Coefficiente de compacidad ( $k_c$ )	$K_c = 0.28 \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right) [2]$ <p>P= Perímetro de la cuenca (km) A= Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)</p>

**Fuente:** (Monsalve, 1995)



### 5.1.3 Estimación del relieve de la cuenca hidrográfica

A nivel de su relieve, la cuenca posee algunas características relevantes en el análisis hidrológico de avenidas máximas, como lo son, su pendiente y elevación media, además de su curva hipsométrica (Cardona, 2013). Por lo tanto, en el presente estudio se ejecutaron los siguientes procedimientos para su determinación:

**Pendiente media;** La pendiente media de la cuenca se determinó utilizando el programa QGIS 3.4 mediante la herramienta de análisis raster “pendientes” a partir del MED de la cuenca se genera la capa de pendientes de la cuenca, este algoritmo utiliza el criterio de Alvord, cuya ecuación se muestra a continuación:

$$S = D \cdot L / A \text{ [3]}$$

Siendo:  $S$  pendiente media de la cuenca,  $L$  longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca,  $A$  área de la cuenca y  $D$  desnivel entre curvas.

Posteriormente, para la determinación del valor de la pendiente media de la cuenca, se utiliza otra herramienta del programa QGIS 3.4, se trata de “estadísticas de zona”, este algoritmo determina las diferentes variables estadísticas incluida la pendiente media y se alimenta del raster de pendientes creado a partir del MED.

**Curva hipsométrica;** la curva hipsométrica se obtuvo mediante la herramienta “curvas hipsométricas” presente en el QGIS 3.4. Esta herramienta permite ejecutar un algoritmo que se alimenta del MED como capa de entrada y la capa vectorial como capa de superposición de la cuenca, al ejecutar, se genera un archivo .csv, que contiene las variables necesarias para elaborar el gráfico en Excel u otro programa estadístico. En este caso se utiliza Excel 2010.

**Elevación media;** La elevación media se obtiene a partir del gráfico de curva hipsométrica generado, cuyo valor se determina ubicando el valor que toma el eje “y” cuando intercepta en la mitad o bien 50% del eje “x”. por lo general, toma valores en msnm.

### 5.1.4 Caracterización del drenaje en la cuenca

Los parámetros de acuerdo al drenaje en la cuenca en conjunto con sus ecuaciones de cálculo, se muestran en la tabla 5.2:

**Tabla 5.2**

## Ecuaciones para estimar parámetros de la red de drenaje

Parámetro	Ecuación
Densidad de drenaje	$Dd = Lc/A [4]$ <p>Dd= Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)                      Lc= Longitud total de drenajes (km)                      A= Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)</p>
Pendiente media del río principal	$Sr = H/L [5]$ <p>Sr= Pendiente media del río (m/m)                      H= Diferencia de cotas entre los extremos del cauce (m)                      L= Longitud total del río (m)</p>
Sinuosidad de las corrientes	$Si = L/Lt [6]$ <p>Si= Índice de sinuosidad (adimensional)                      L= Longitud del cauce principal (km)                      Lt= Longitud del cauce medido en línea recta (km)</p>
Longitud del río principal	Estos dos parámetros se obtienen a partir de la capa vectorial “ríos 1:50000” que forma parte del atlas de Costa Rica, y que actualizó el Instituto tecnológico de Costa Rica en el año 2014. A partir de la herramienta cortar se procede a obtener las corrientes ubicadas dentro de la cuenca únicamente, posteriormente en la calculadora de campos, se calculan automáticamente estos valores utilizando su geometría.
Longitud total de drenajes	
Orden de corrientes	A partir de la capa vectorial recortada a la cuenca “ríos 1:50000” del atlas de Costa Rica, se modifican sus propiedades, categorizando su simbología de acuerdo el orden de corrientes.

Fuente: (Monsalve, 1995).

## 5.2 Estimación de caudales pico e hidrogramas en la cuenca río Lepanto mediante el método del SCS

Dicho análisis hidrológico se realiza de manera semiautomática utilizando el programa HEC HMS 4.3. En primer lugar, se determina el CN para la cuenca y posteriormente se distribuye la esorrentía de manera temporal con el hidrograma unitario. La particularidad de dicho método, es que requiere ser alimentado de los datos de la precipitación de diseño como son sus alturas y su frecuencia. Por lo tanto, esto implica el desarrollo de procesos previos de cálculo si no se cuenta con la información depurada.

### 5.2.1 Determinación de las precipitaciones de diseño

**Información pluviométrica disponible;** Debido a las limitaciones en cuanto a información hidrométrica (caudales directos) e información pluviográfica a detalle (intensidades cada 5, 10 o 15 minutos) en la cuenca río Lepanto, se solicita información pluviométrica de las

estaciones con mayor cercanía a la cuenca. Se solicitan para ello, los datos de precipitación máxima anual en 24 horas a tres estaciones pluviométricas, dos de ellas pertenecientes al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y la otra, ubicada dentro de una finca agrícola identificada como Melopen.

La descripción de las estaciones y los datos solicitados se muestran en las tablas 5.3 y 5.4:

**Tabla 5.3**

*Descripción de las estaciones pluviométricas consultadas*

Estación	Coordenada Norte	Coordenada Oeste	Altura (m.s.n.m)	Periodo solicitado	Operador
Puntarenas	09°58'20''	84°49'51.44''	3	2009- 2019	IMN
Paquera	09°49'17''	84°56'20''	10	2009-2019	IMN
Melopen	09°58'31.54''	85°11'14.91''	29	2015-2019	Melopen

**Fuente:** Datos obtenidos por medio de la consulta al IMN y a la finca Melopen

**Tabla 5.4**

*Datos de precipitación máxima anual en 24 horas (mm) en cada estación*

Año	Puntarenas	Paquera	Melopen
2009	59.60	119.30	<b>SR</b>
2010	97.70	162.40	<b>SR</b>
2011	111.40	244.90	<b>SR</b>
2012	57.30	151.19	<b>SR</b>
2013	57.40	71.40	<b>SR</b>
2014	88.30	102.90	<b>SR</b>
2015	89.80	95.10	101.59
2016	104.47	170.10	76.70
2017	114.90	207.40	159.77
2018	272.80	451.00	210.57
2019	126.60	179.80	121.67

**Nota.** \*SR significa que no hubo registro en el año. Datos obtenidos por medio de la consulta al IMN y a la finca Melopen.

***Relleno datos de precipitación;***

Se igualan los periodos de registro mediante la aplicación de métodos de completación de datos, se selecciona la regresión lineal simple entre las estaciones Paquera y Melopen, debido a que ambas estaciones presentaron una alta correlación. El procedimiento desarrollado es el siguiente:

Se estiman los parámetros “a” y “b” resultantes de la ecuación de la regresión lineal de manera automática en el programa Excel 2010;

$$y = a + bx [7]$$

Donde:

y= variable hidrológica dependiente (estación Melopen)

x= variable hidrológica independiente (estación Paquera)

a y b= parámetros de la ecuación de regresión lineal simple

Luego, se obtiene la ecuación de completación [8], calculados previamente parámetros como la desviación estándar, tanto de la variable dependiente como variable independiente.

$$y_o = Y + r \frac{S_y}{S_x} (x_o - X) [8]$$

Donde:

Y y X = Son las medias de los periodos comunes entre las dos estaciones

Sy y Sx = Son las desviaciones estándar de los periodos comunes entre las dos estaciones

r= Coeficiente de correlación

***Distribución de frecuencia de las precipitaciones;*** Este proceso, se ejecuta de manera semiautomática con la herramienta HIDROESTA 2, que evalúa el ajuste que tienen los datos de precipitación máxima en 24 horas de las tres estaciones con las diferentes distribuciones teóricas. Debido al ajuste de las estaciones se utilizan solamente dos distribuciones.

### **Tabla 5.5**

*Ajuste de las distribuciones teóricas con los datos de las estaciones*

Distribución	Bondad de ajuste por estación		
	Paquera	Puntarenas	Melopen
Normal	0.2503	0.217	0.2645
Log Normal 2 parámetros	0.3453	0.2919	0.3222
Log Normal 3 parámetros	0.3341	0.245	0.3512
Gamma 2 parámetros	0.2412	0.2082	0.3047
Gamma 3 parámetros	-	-	0.3228
Log Pearson tipo III	0.32164	0.26398	0.3556
Gumbel	0.3205	0.2798	0.3343
Log Gumbel	0.2845	0.2577	0.3671

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Las distribuciones Normal y Gamma 2 parámetros se detallan a continuación en la tabla 5.6:

**Tabla 5.6**

*Ecuaciones para las distribuciones teóricas utilizadas*

Distribución teórica	Ecuación
<b>Normal o gaussiana</b>	$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad [9]$ <p>Siendo:  <math>\sigma</math> = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x  <math>\mu</math> = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x  <math>F(x)</math> = función densidad normal de la variable x  x = variable independiente</p>
<b>Gamma 2 parámetros</b>	$g(y) = \frac{y^{\gamma-1} e^{-y}}{\tau(y)} \quad [10]$ <p>Siendo:  <math>\tau(y)</math> = Función gama completa  y = Variable dependiente  <math>\gamma</math> = Parámetro de forma (+)</p>

Fuente: (Béjar, 2006)

**Distribución espacial de la lluvia;** Debido a la naturaleza puntual de los pronósticos que se obtienen del análisis de frecuencia, se utiliza un método para distribuir espacialmente dichas precipitaciones. El proceso de distribución se hace por separado para cada periodo de retorno, mediante la interpolación entre las estaciones.

Se ensayan varios métodos de interpolación utilizando el programa geostadístico Surfer 13, y se selecciona el método de kriging. Este método resulta en los mapas de precipitación con

menos discontinuidades como núcleos localizados de precipitación o transiciones abruptas entre valores de precipitación.

A partir de un mapa de precipitación es posible calcular el promedio espacial de la precipitación sobre un área, por ejemplo, una cuenca hidrográfica o un área de drenaje (Chow, *et al.*, 1994). La precipitación promedio toma la forma de una lámina uniforme que cubre la totalidad del área de drenaje con una cierta profundidad de lluvia medida en milímetros. En afinidad con lo anterior, se selecciona la lluvia media en la cuenca para cada periodo de retorno y se elaboran los procedimientos posteriores.

**Curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF);** Las curvas IDF se elaboran utilizando como base la conversión de la precipitación máxima en 24 horas para cada  $T_r$ , en láminas de diferentes duraciones. Luego, se determinan sus respectivas intensidades. Dicha conversión, se elabora con el método del SCS, que utiliza las precipitaciones de diferente periodo de retorno por separado y las transforma hasta obtener las intensidades para distintas duraciones. En (Chow, *et al.*, 1994) se expone la fórmula para realizar dicho proceso:

$$P_t = P_{24} * \left( \frac{t \text{ horas}}{24 \text{ horas}} \right)^{0.25} \quad [11]$$

Donde:

$P_t$  = precipitación o lamina en t horas (mm)

$P_{24}$  = precipitación o lamina en 24 horas (mm)

La intensidad de lluvia no, es más, que la división de cada lamina en t horas sobre la duración t, tal y como se sigue a continuación:

$$I = \frac{P_t}{t \text{ horas}} \quad [12]$$

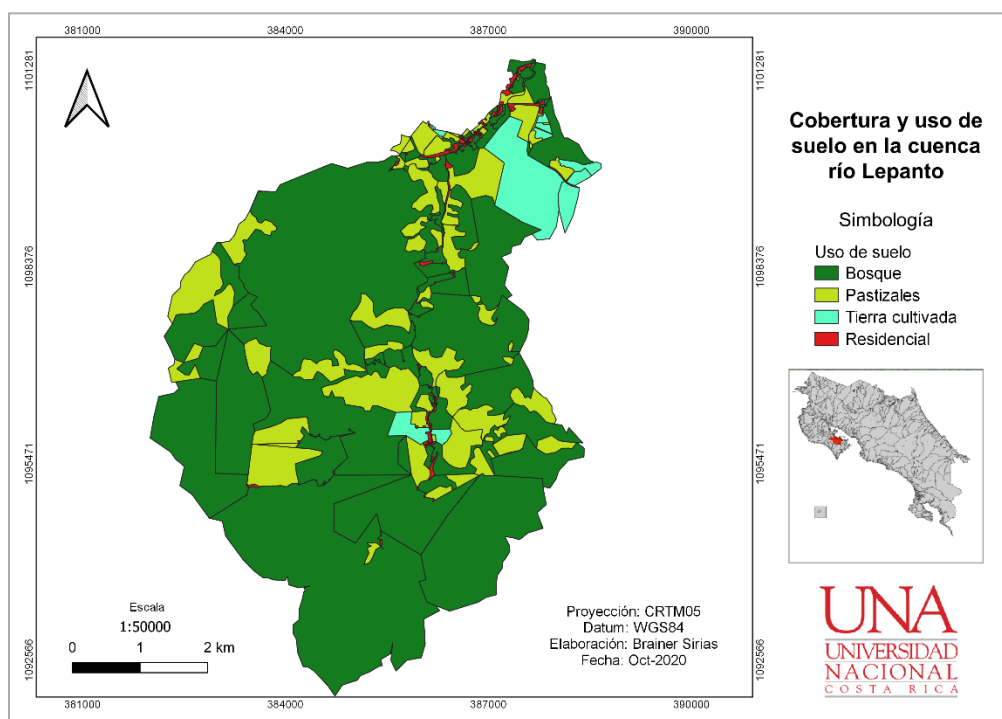
I= Intensidad de precipitación (mm/hr).

**Hietogramas de precipitación;** Para la generación de los hietogramas de precipitación, se utiliza el método de los bloques alternos. De acuerdo a Chahín (2017), en cierta forma, este es un método conservador, pero que se puede aplicar para la modelación de tormentas de

diseño si no se cuenta con suficiente información de hietogramas históricos dentro de la cuenca en estudio.

#### 4.2.2 Determinación del número de curva (CN)

Las abstracciones de la precipitación se calculan, empleando la metodología del número de curva (CN) del SCS. Se estima un CN representativo para la cuenca del río Lepanto, valorando los tipos de suelo y su cobertura. La estimación de CN para la cuenca se realiza mediante la ponderación de los valores recomendados por (Chow, *et al.*, 1994. De acuerdo al (ITCR, 2014), se considera que los suelos de la cuenca, corresponden a una condición intermedia entre los grupos hidrológicos de suelo tipo B (margas arcillosas) y C (margas arenosas) y se realiza el análisis contemplando un escenario de humedad antecedente media (CHA II).



**Figura 5.2.** Mapa de coberturas y uso del suelo en la cuenca río Lepanto. Elaboración propia, 2020.

A partir de la figura 5.2 se pondera un valor de CN para la cuenca valorando los porcentajes de área por cobertura y los respectivos números que se encuentran en la figura 4.7.

#### **Tabla 5.7**

*Determinación del número de curva de la cuenca del río Lepanto para un (CHA II)*

Cobertura del suelo		Valor
Bosque	CN (II)	70
	% Área	76.0
Pastizales	CN (II)	74
	% Área	18.3
Residencial	CN (II)	85
	% Área	0.9
Tierra cultivada	CN (II)	71
	% Área	4.8
<b>Valor CN (II) ponderado</b>		<b>70.6</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para considerar un posible efecto de saturación de los suelos producto de eventos previos de precipitación, la metodología del SCS define una condición antecedente de humedad (CHA III), la cual corrige y aumenta los números de curva significativamente de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$CN (III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0.13 * CN(II)} [13]$$

Esta condición de humedad supone, sin embargo, un grado muy alto de saturación de los suelos; su combinación con una tormenta de diseño de baja recurrencia va a generar una creciente con un período de retorno aún mayor al estimado para la lluvia, por lo que no se aconseja esta corrección en el modelo (Porrás y Serrano, 2013).

#### 4.2.3 Determinación del hidrograma unitario de la cuenca río Lepanto

**Tiempo de concentración y tiempo de retardo;** Para la estimación del tiempo de concentración en pequeñas cuencas rurales con canales bien definidos y pendientes de entre 2% y 10%, como la del río Lepanto, (Chow et.al., 1994) recomienda como procedimiento estándar, utilizar la ecuación de Kirpich. Según esta ecuación, el tiempo de concentración  $t_c$  se puede estimar a partir de la pendiente media del cauce y de la longitud del cauce de acuerdo con la siguiente relación:

$$t_c = 3.97 \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.77} [14]$$

Donde



$T_c$ = es el tiempo de concentracion (en horas)

$S$ = Es la pendiente del cauce (m/m)

$L$ = longitud del cauce (km)

Para determinar el tiempo de retardo ( $t_{lag}$ ) se utiliza la siguiente transformación sugerida por el SCS:

$$T_{lag} = 0.6 t_c \text{ [15]}$$

### Tabla 5.8

*Tiempos de respuesta y parámetros del hidrograma unitario estimados para la cuenca río Lepanto.*

Parámetro	Valor
Tiempo de concentración $t_c$ (min)	316.2
Tiempo de retardo $t_{lag}$ (min)	189.72

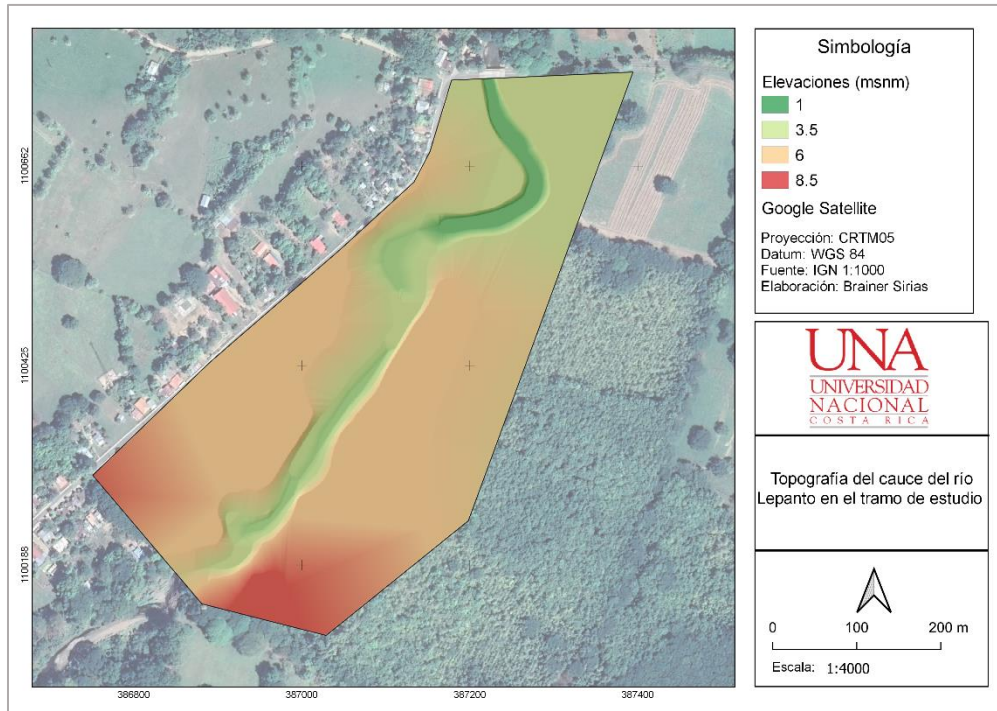
**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

**Hidrogramas de salida;** Por medio del modelo HEC HMS, se calcula de manera semiautomática el hidrograma unitario del SCS de diferentes periodos de retorno y con discretización temporal de una hora para la cuenca río Lepanto. El mismo considera los tiempos de concentración y retardo calculados mediante la ecuación de Kirpich y el CN.

### 5.3 Modelamiento hidráulico

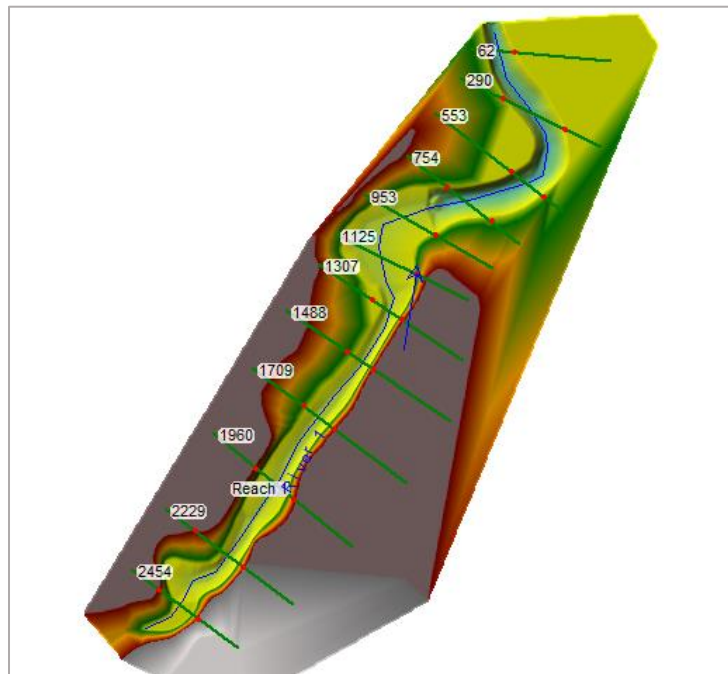
Se realiza una modelación hidráulica semiautomática utilizando el software HEC RAS 5.0.7. Dicha modelación se ejecuta en flujo permanente, debido a que se quiere evaluar los caudales máximos y si el cauce tiene la capacidad de soportar estas descargas.

La geometría, que se compone del eje del río, los bancos, las planicies de inundación y las secciones transversales, y que se trazan como primer paso en el modelo hidráulico, se fundamentan en el plano topográfico del cauce que se observa en la figura 5.3:



**Figura 5.3.** Modelo digital de elevación de terreno del tramo de estudio del río Lepanto. Elaboración propia con datos del levantamiento topográfico, 2020.

Los datos geométricos que se utilizan para la modelación hidráulica se muestran en la figura 5.4:



*Figura 5.4.* Datos geométricos del modelo hidráulico del tramo de estudio. Elaboración propia, 2020.

Se asignan tres valores de rugosidad “*n*” de Manning, tanto para el cauce, como para las márgenes izquierda y derecha. Los valores asignados se pueden inferir de la figura 4.5 y la tabla 4.7. Los valores seleccionados para este trabajo se resumen en la tabla 5.9.

**Tabla 5.9**

*Valores “n” de Manning seleccionados en la modelación hidráulica del tramo.*

Sector del tramo	Valor “n”
Cauce	0.040
Margen derecha	0.060
Margen Izquierda	0.060

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.



*Figura 5.5.* Condiciones de rugosidad en una sección del tramo de río. Elaboración propia, 2020.

Por último, se realiza la simulación de los diferentes caudales pico determinados para los periodos de retorno y se realizan los respectivos mapas de inundación en el programa QGIS 3.4 al importar los datos del modelo HEC RAS 5.0.7.

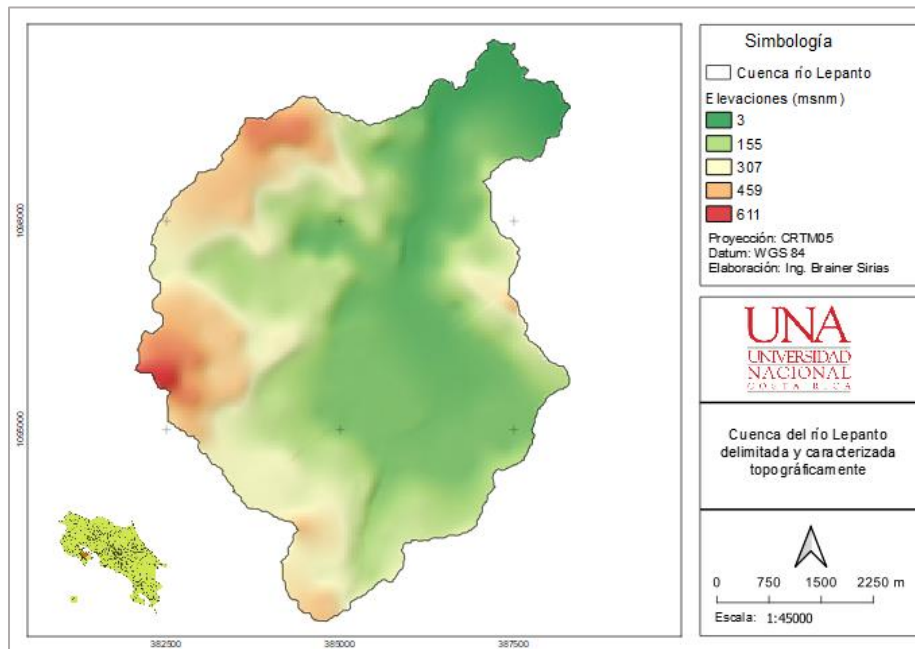
## CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados del estudio y su respectiva discusión. Se muestran de una manera categorizada, cuyo orden se sitúa de la siguiente manera: Características de la cuenca hidrográfica del río Lepanto, estimación de los caudales e hidrogramas y los productos del modelamiento hidráulico.

### 6.1 Características de la cuenca del río Lepanto

La delimitación de la cuenca hasta el punto de aforo seleccionado, permitió determinar el área de la misma, cuyo valor fue de 31,73 km<sup>2</sup>, y que de acuerdo a la clasificación que realiza (Otárola, 2000), para nombrar a las cuencas por su tamaño, la del río Lepanto se encuentra en el rango de una microcuenca o cuenca pequeña (ver tabla 4.1).

En la figura 6.1, se presenta la cartografía respectiva a la elevación de la cuenca cuyas cotas fluctúan de los 3 a los 610 msnm.



**Figura 6.1.** Delimitación de la cuenca del río Lepanto y su modelo de elevación digital de terreno (DEM).

Elaboración propia, 2020.

Antes de discutir algunos parámetros físicos de la cuenca del río Lepanto, es adecuado mencionar que la delimitación se realizó hasta un punto de aforo, fijado en el tramo de estudio. Sin embargo, a poco más de 1 km de dicho punto, se encuentra la desembocadura

del río en el golfo de Nicoya, esto implica que, debido al carácter exorreico de esta cuenca, en sus partes bajas posea una influencia directa con las pleamares y las bajamares.

Además, en eventos de inundación también influyen de manera directa los niveles de la marea, por tanto, entre mayor sea el nivel de la marea durante una avenida máxima, más alta será la probabilidad de que esta provoque abnegación de sus márgenes (OAS, 1993).

#### 6.1.1 Características de la cuenca del río Lepanto según su forma

Como se definió anteriormente la microcuenca del río Lepanto, posee diferentes características fisiográficas de acuerdo a su forma, su relieve y su drenaje. En primer lugar, se muestran los parámetros según su forma, tal y como se plasma en la tabla 6.1.

Estas características son de suma importancia pues se relacionan con el tiempo de concentración, el cual es el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya a la sección de la corriente en estudio, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a la salida de la misma (Monsalve, 1995)

El factor de forma de la cuenca del río Lepanto, es de (0.25), el cual indica que tiene una forma ligeramente achatada (ver tabla 4.2). Una cuenca con un factor de forma bajo esta menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño, pero con mayor factor de forma (Monsalve, 1995).

**Tabla 6.1**

*Características de la cuenca según su forma*

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	31,73
Perímetro (km)	38,90
Factor de forma	0,25
Coefficiente de compacidad	1,93
Ancho medio (km)	2,81

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

Por su parte, otro de los índices característicos de la cuenca según su forma es el coeficiente de compacidad, para la cuenca del río Lepanto, el valor como se observa en la tabla 6.1, fue

de 1.93, que valorando el criterio de clases retomado por (Cardona, 2013) esta, pertenece a la clase 3, cuencas de forma Oval - oblonga a rectangular – oblonga, esta clase por lo general, ve reducida su probabilidad de ser cubierta por tormentas de alta intensidad simultáneamente en toda su extensión, afectando de igual forma las características de su hidrograma (Villón, 2004).

Monsalve (1995), menciona que cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Una cuenca circular posee el coeficiente mínimo, igual a uno. Hay mayor tendencia a las crecientes en la medida en que este número sea próximo a la unidad. En la figura 4.1 se puede observar un hidrograma característico de este tipo de cuencas, específicamente como el tipo B.

#### 6.1.2 Características de la cuenca del río Lepanto según su relieve

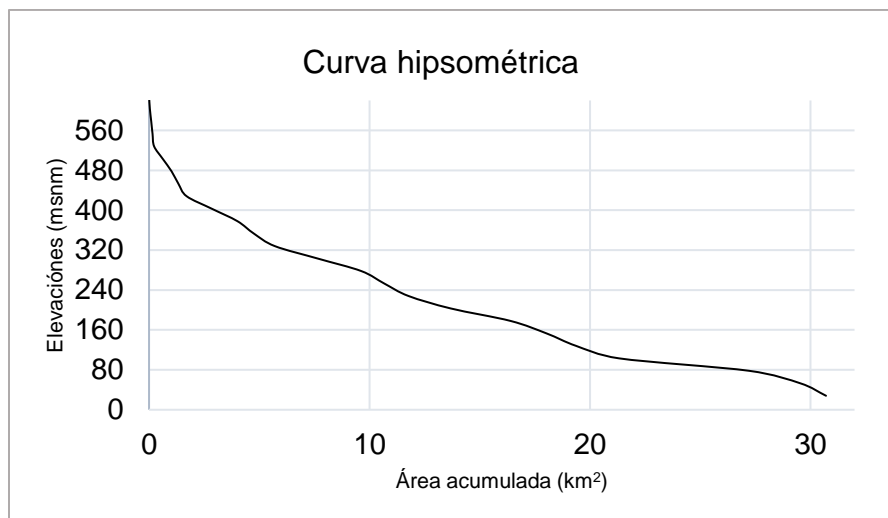
**Tabla 6.2**

*Características de la cuenca según su relieve*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Cota máxima (msnm)	611,00
Cota mínima (msnm)	3,00
Cota media (msnm)	203,00
Pendiente media de la cuenca (m/m)	0,17

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

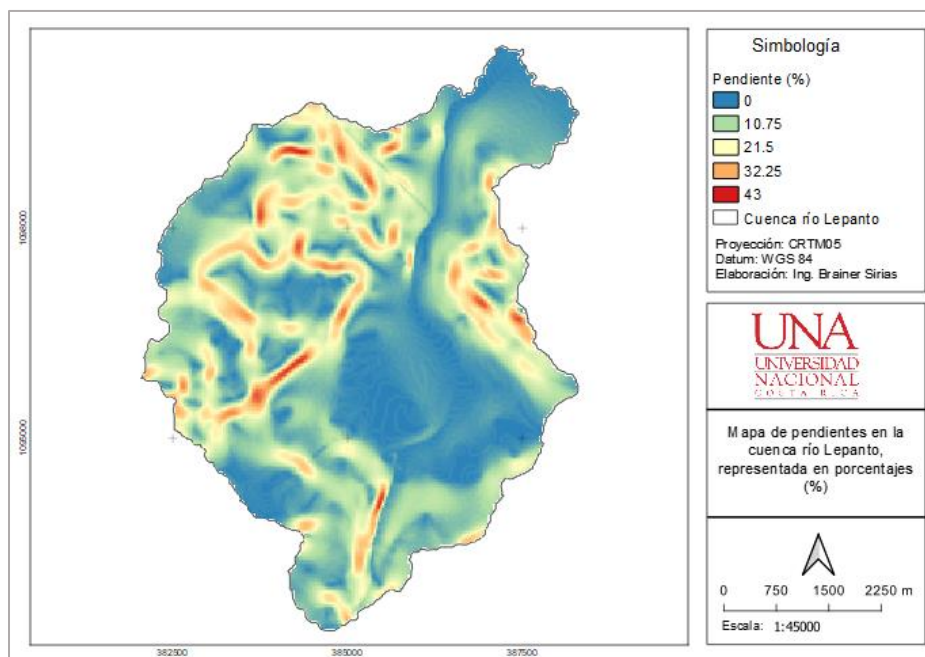
La curva hipsométrica, además de exponer las principales características de la distribución altitudinal en la cuenca, también permite proyectar la dinámica de los procesos como la erosión o bien la sedimentación (Monge y Gómez, 2019). De acuerdo a la figura 4.2, la cuenca se encuentra más próxima a un estado de madurez, esto ocasiona que los procesos antes mencionados se encuentren en equilibrio. Además, la cota media se encuentra en la mitad del eje “x” de este gráfico, brindando un valor de 203 msnm.



**Figura 6.2.** Curva hipsométrica de la cuenca del río Lepanto. Elaboración propia, 2020.

La pendiente media de la cuenca, cuyo valor en porcentaje fue de 17 %, permite inferir preliminarmente las velocidades que puede tomar la escorrentía superficial (Monsalve, 1995), esto afecta por lo tanto al tiempo de concentración, que como se mencionó anteriormente, es el tiempo que tarda el agua para ocupar los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de la cuenca.

Como lo plasman (Camino, *et al.*, 2018), se puede clasificar el tipo de relieve de la cuenca según su pendiente media, en este caso la cuenca del río Lepanto con su valor se considera una unidad geográfica con un relieve accidentado.



**Figura 6.3.** Determinación de pendientes de la cuenca del río Lepanto. Elaboración propia, 2020.

En la figura 6.3, se observa como el sector oeste de la cuenca es el que presenta mayores pendientes por lo tanto la escorrentía aportada llega a los sistemas de agua con una velocidad importante.

### 6.1.3 Características de la cuenca del río Lepanto de acuerdo a su red de drenaje

Los resultados que se muestran a continuación se constituyeron utilizando el río principal y sus tributarios.

**Tabla 6.3**

*Características de la cuenca según su red de drenaje*

Parámetro	Valor
Longitud del cauce principal ( km)	11,26
Longitud total de drenajes (km)	48,23
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	1,52
Pendiente media del río principal (m/m)	0,02
Índice de sinuosidad	1,28

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.



En la tabla 6.3, se muestra la densidad de drenaje que tiene la microcuenca del río Lepanto, que de acuerdo, a (Monsalve, 1995) presenta un drenaje regular, puesto que el mismo autor menciona que valores promedios de una cuenca con drenaje pobre rondan los  $0.5 \text{ km/km}^2$ , mientras que cuencas excepcionalmente bien drenadas presentan valores hasta de  $3.5 \text{ km/km}^2$ .

Por su parte, las corrientes de la cuenca río Lepanto, refleja un grado de bifurcación de orden cuatro, es decir, cuenta con gran cantidad de ramificaciones tributarias.

Grande y Jiménez (2015) afirman que, un valor del índice de sinuosidad menor o igual a 1,25 indica una baja sinuosidad. Se define, entonces, como un río con lineamiento recto, en el caso del río Lepanto, se encuentra por encima de esta definición, presenta un lineamiento curvo.

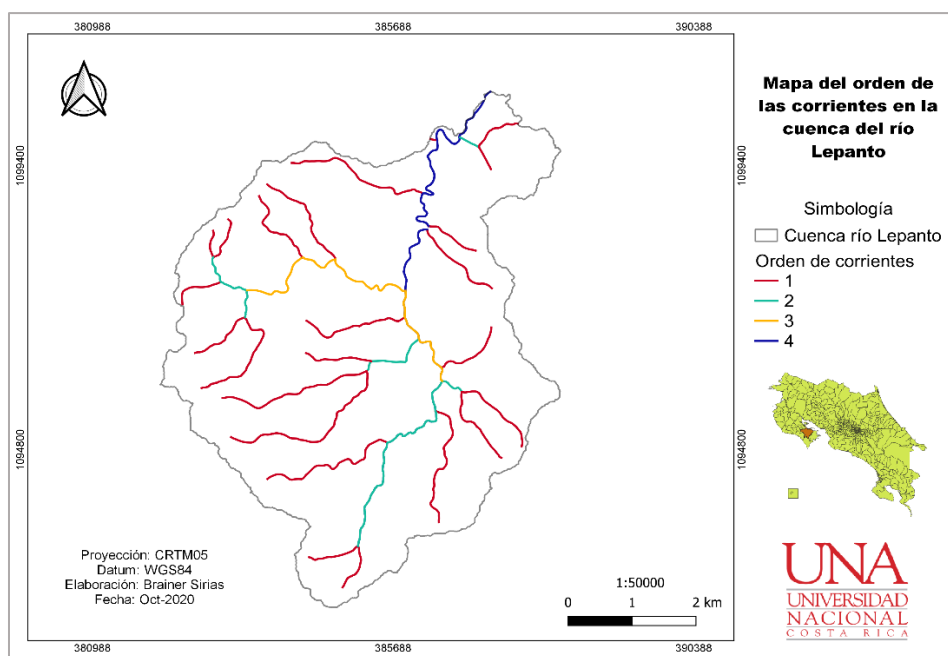


Figura 6.4. Orden de corrientes en la cuenca del río Lepanto. Elaboración propia, 2020.

## 6.2 Caudales pico e hidrogramas de la cuenca río Lepanto

### 6.2.1 Precipitaciones de diseño para la cuenca

**Relleno de datos de precipitación;** Es importante reiterar, que el relleno de información, es el proceso de transferencia de información desde una estación con un “largo” registro histórico a otra con un “corto” registro (Béjar, 2006). En la tabla 6.4 se muestra la extensión

realizada a la estación hidrometeorológica Melopen, mediante la regresión lineal que correlacionó los datos de esta estación, con los de la estación hidrometeorológica de referencia (Paquera).

**Tabla 6.4**

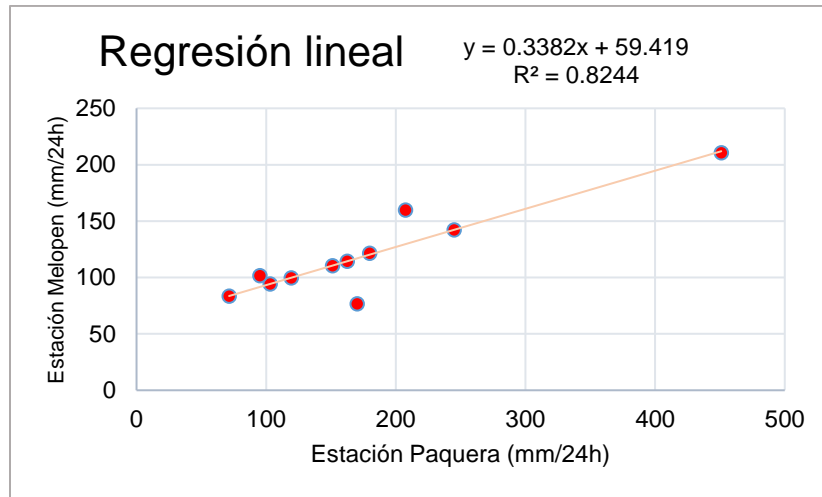
*Completación de datos de precipitación máxima anual en 24 horas*

Año	Paquera	Melopen
2009	119.30	<b>99.77</b>
2010	162.40	<b>114.34</b>
2011	244.90	<b>142.25</b>
2012	151.19	<b>110.55</b>
2013	71.40	<b>83.57</b>
2014	102.90	<b>94.22</b>
2015	95.10	101.59
2016	170.10	76.70
2017	207.40	159.77
2018	451.00	210.57
2019	179.80	121.67

**Nota.** En azul se resaltan los datos producto de la completación. Elaboración propia, 2020.

La figura 6.5 presenta la regresión lineal desarrollada en la completación de los datos. Es destacable mencionar que el coeficiente de correlación ( $r$ ) siempre debe estar entre  $-1$  y  $+1$ . Si el  $r$  se acerca a cero, concluimos que no existe una correlación lineal entre “ $x$ ” y “ $y$ ”, pero cuando  $r$  se acerca a  $-1$  o  $+1$ , concluimos que hay una correlación lineal entre “ $x$ ” y “ $y$ ” (Trola, 2009).

Por lo tanto, entre las dos estaciones se observa una alta correlación lineal debido a que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es de 0.8244 y el coeficiente de correlación ( $r$ ) es 0.9080.



**Figura 6.5.** Regresión lineal de la precipitación máxima anual en 24 horas entre las estaciones Melopen y Paquera. Elaboración propia, 2020.

**Distribución de frecuencia de la precipitación;** los resultados de la distribución de frecuencia de las tres estaciones, arrojaron los resultados de la siguiente tabla:

**Tabla 6.5**

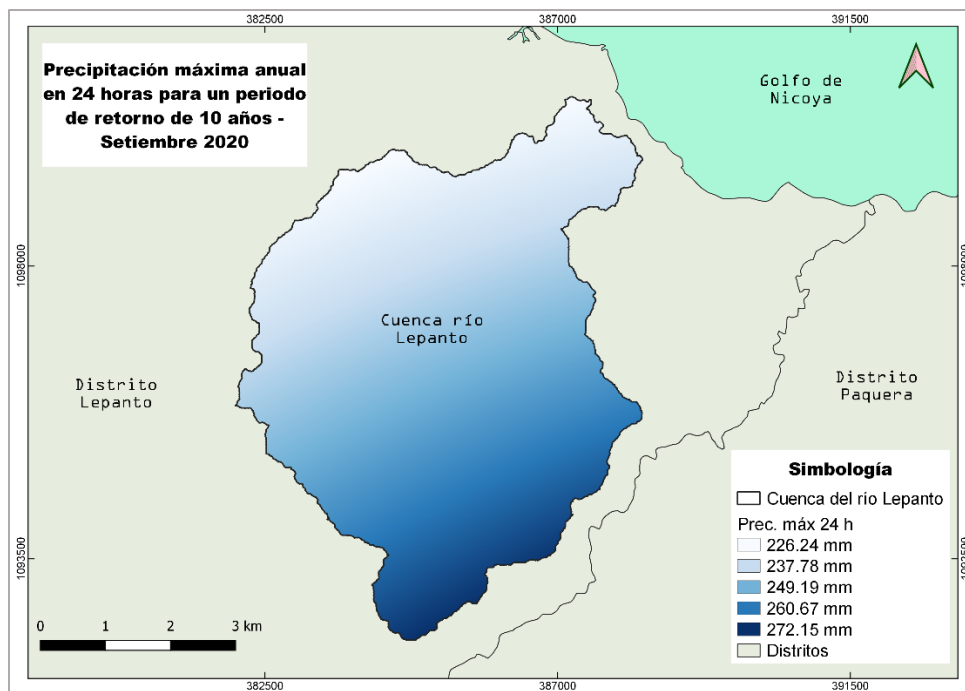
*Distribución de frecuencia de las precipitaciones para las tres estaciones*

Periodo de retorno (años)	Precipitación máxima en 24 horas (mm)		
	Paquera	Puntarenas	Melopen
5	273.29	149.49	150.86
10	366.25	171.87	167.53
15	419.2	183.03	175.85
20	456.3	190.34	181.3
25	484.85	195.72	185.31
30	508.05	199.95	188.46
50	572.5	211.12	196.78
100	658.82	224.98	207.11

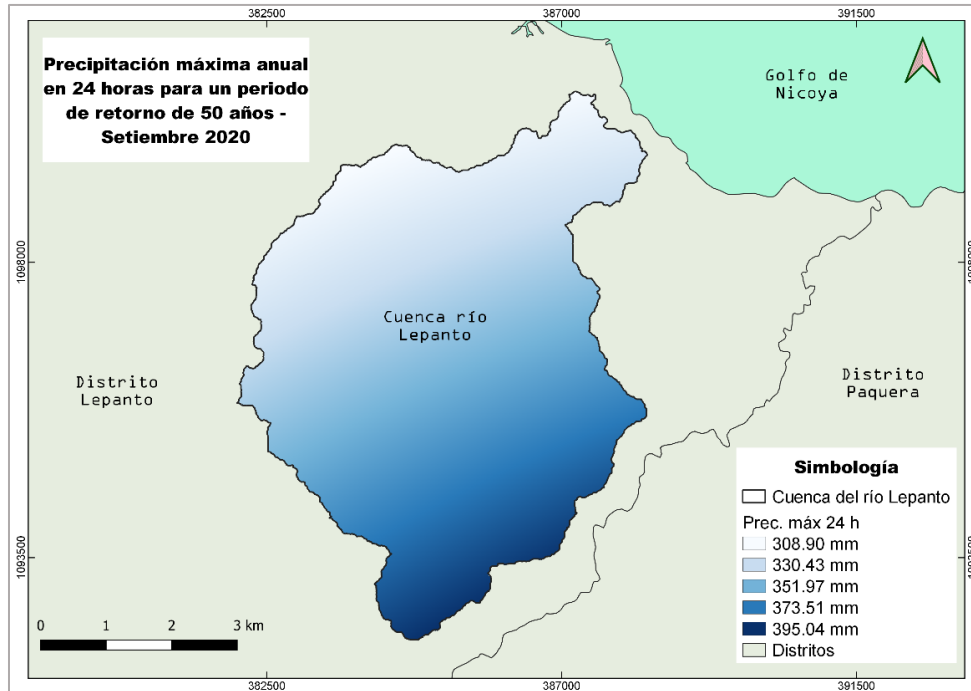
**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

Se destacan los valores de la estación Paquera, debido a que representan valores relativamente altos si se comparan con las otras dos estaciones. Esta situación induce a que el sector sureste de la cuenca concentre los valores más altos de las probables lluvias máximas.

**Distribución espacial de la precipitación máxima anual en 24 horas;** Los mapas que muestran las figuras (6.5 y 6.6) tratan de explicar la distribución espacial que tienen las precipitaciones máximas anuales en 24 horas dentro de los límites de la cuenca del río Lepanto. Se destaca la tendencia en concentrar los mayores valores de lluvia en el sector sureste de la misma, como se comentó antes, esto se debe a la influencia de la estación Paquera, cuyos valores son los más altos. El mapa de elevaciones de la cuenca (ver figura 6.1), permite reflexionar sobre el patrón de las precipitaciones, que no siguen estrictamente las características de las lluvias orográficas, este tipo de lluvias (orográficas) tienen una relación directa con la altitud (Béjar, 2004).



**Figura 6.6.** Distribución espacial de la precipitación máxima anual en 24 horas para periodos de retorno de 10 años en la cuenca del río Lepanto. Elaboración propia, 2020.

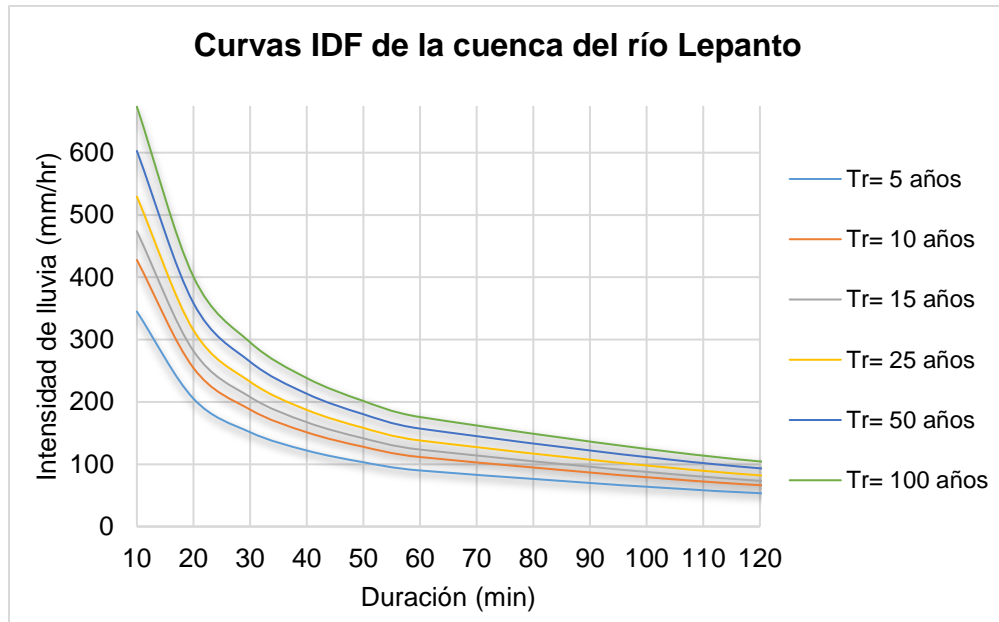


**Figura 6.7.** Distribución espacial de la precipitación máxima anual en 24 horas para periodos de retorno de 50 años en la cuenca del río Lepanto. Elaboración propia, 2020.

La distribución espacial de la lluvia para los periodos de retorno de (5, 15, 25 y 100 años) sigue el mismo patrón, aunque con la respectiva variación de sus valores.

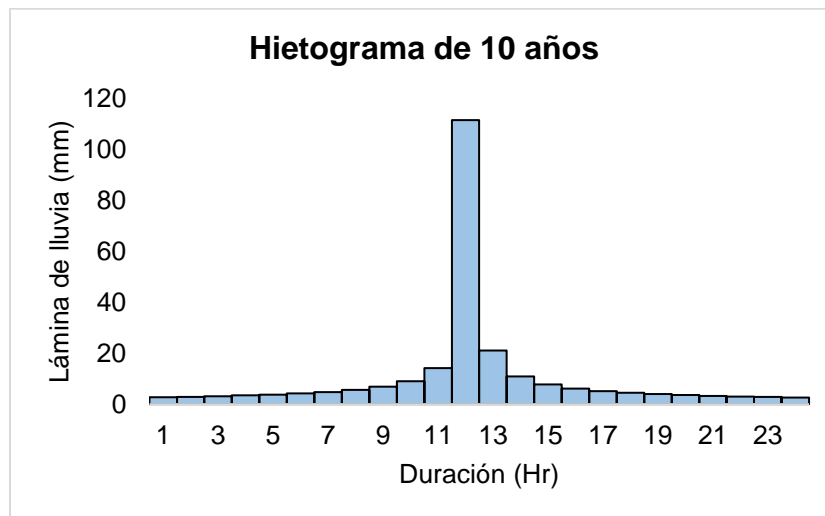
**Curvas de intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca;** Las curvas IDF diseñadas para la cuenca río Lepanto muestran valores de intensidad relativamente altos en la primera hora de duración de la tormenta, como es característico de acuerdo a Bejar (2004). Estos valores son vitales cuando se quiere diseñar algún tipo de infraestructura hidráulica que requiera datos de caudales y en la zona no se cuente con dicha información, a partir de una intensidad máxima a un determinado tiempo de duración, se puede determinar un caudal pico.

Por lo general, este proceso también se encuentra ligado al tipo de riesgo admitido, el costo de la obra, al periodo de retorno del caudal y la vida útil de la obra (Aparicio, 1992). Debido a que en la zona no se cuenta con pluviógrafos, estas curvas se pueden utilizar realizando una extrapolación hasta las zonas adyacentes a la cuenca río Lepanto que carezcan de datos (Morales, 2011).

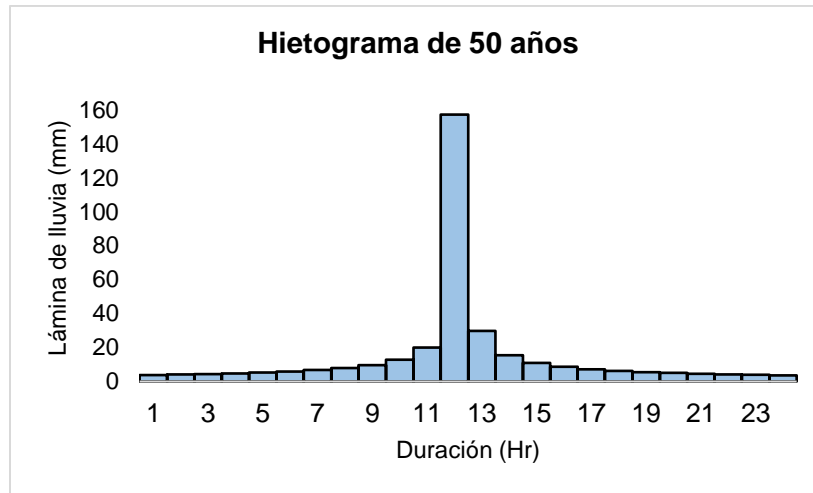


**Figura 6.8.** Diseño de las curvas IDF para la cuenca del río Lepanto en las dos primeras horas de duración de tormenta. Elaboración propia, 2020.

**Obtención de hietogramas de precipitación;** los hietogramas muestran la altura de la lamina de la precipitación a lo largo de la tormenta.

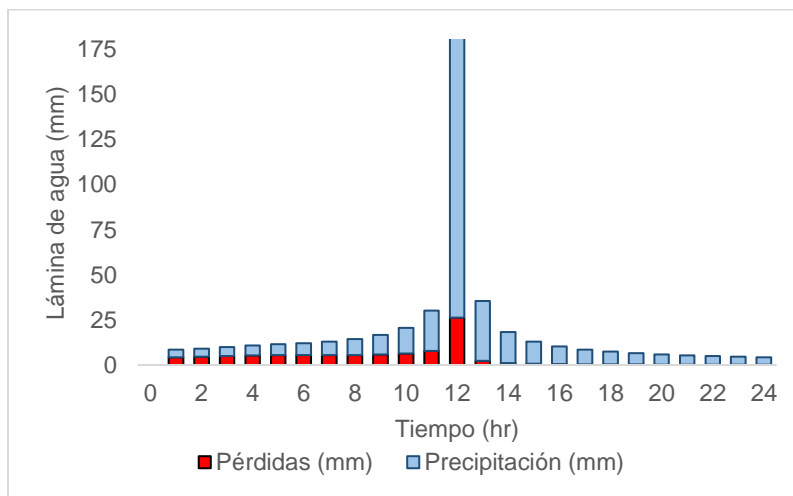


**Figura 6.9.** Hietograma de precipitación para un periodo de retorno de 10 años. Elaboración propia, 2020.



**Figura 6.10.** Hietograma de precipitación para un periodo de retorno de 50 años. Elaboración propia, 2020.

Los hietogramas de precipitación de las figuras 6.9 y 6.10, muestran el posible comportamiento de las láminas de agua durante el evento máximo diario. Al ser hietogramas sintéticos, su pico de acumulación se registra a la mitad de la duración de la tormenta. La precipitación caída, no se convierte en su totalidad en escorrentía directa, existen pérdidas por infiltración y evapotranspiración que modifican las láminas de dichos hietogramas, reduciendo los valores de agua tal y como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 6.11.** Determinación de la precipitación efectiva para un periodo de retorno de 100 años. Elaboración propia, 2020.

## 6.2.2 Determinación de los caudales máximos y los hidrogramas

**Caudales máximos e hidrogramas;** Los caudales se encuentran en rangos razonables de acuerdo a su comportamiento, se notan caudales de una mayor magnitud conforme la probabilidad de ocurrencia disminuye o bien su periodo de retorno es mayor. Tal como lo muestra la tabla 6.6:

**Tabla 6.6**

*Estimación de caudales máximos en la cuenca del río Lepanto para los distintos periodos de retorno*

Periodo de retorno (años)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)
5	<b>132.92</b>
10	<b>187.08</b>
15	<b>218.97</b>
25	<b>256.90</b>
50	<b>304.72</b>
100	<b>355.71</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Debido a que en la cuenca no se cuenta con información hidrométrica, que permita realizar una comparación entre los datos arrojados por el modelo y los aforos directos al río durante un evento máximo, para así poder evaluar la precisión y exactitud de los resultados, para ello se decidió monitorear el río con aforos puntuales durante el mes de setiembre (ver anexo 9)

Los resultados de dichos aforos, utilizando el método del flotador, arrojaron que el caudal que conduce el río durante eventos promedio de precipitación como los del mes de setiembre, y con humedades de suelos normales, rondan los 40-50 m<sup>3</sup>/s aguas arriba del tramo, aproximadamente 200 metros. Además, como se observa en la misma figura, el área hidráulica del río no sobrepasa su capacidad máxima, se puede inferir que a este caudal su capacidad se encuentra en menos de la mitad.

Por lo tanto, los caudales pico pueden encontrarse en los rangos reales de la dinámica de la cuenca. Es importante, realizar un monitoreo constante de aforos puntuales en los diferentes meses del año para así contar con datos más robustos. Una de las principales limitaciones que tienen estos datos, es que, para aterrizar en ellos, es necesario realizar estimaciones de



varios de los fenómenos naturales que se llevan a cabo en la cuenca. Es por ello, que una de las lecciones aprendidas a la hora de seleccionar un método es valorar el número de variables a estimar, debido a que otros modelos se caracterizan por demandar un menor número de este tipo de datos, un claro ejemplo es el método racional.

En la figura 6.12, se representan los hidrogramas unitarios sintéticos de la cuenca cuya característica es que los picos se desarrollan a las 15 horas de la tormenta.

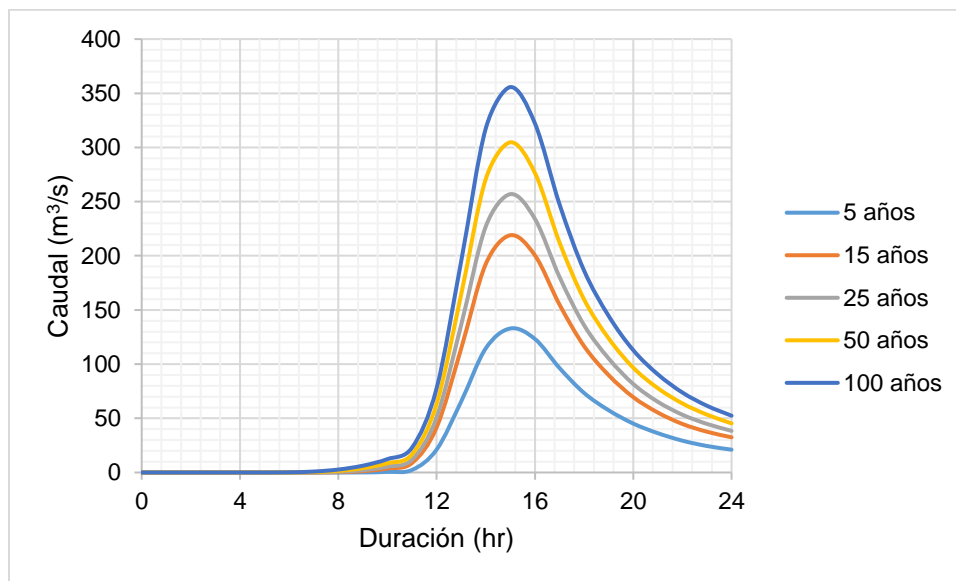


Figura 6.12. Hidrogramas de salida para los distintos periodos de retorno en la cuenca del río Lepanto. Elaboración propia, 2020.

#### 6.4 Modelamiento hidráulico

El plano topográfico del cauce es la columna vertebral del modelamiento hidráulico de los caudales máximos en este estudio. Sin embargo, es preciso mencionar que esta componente presenta algunas debilidades.

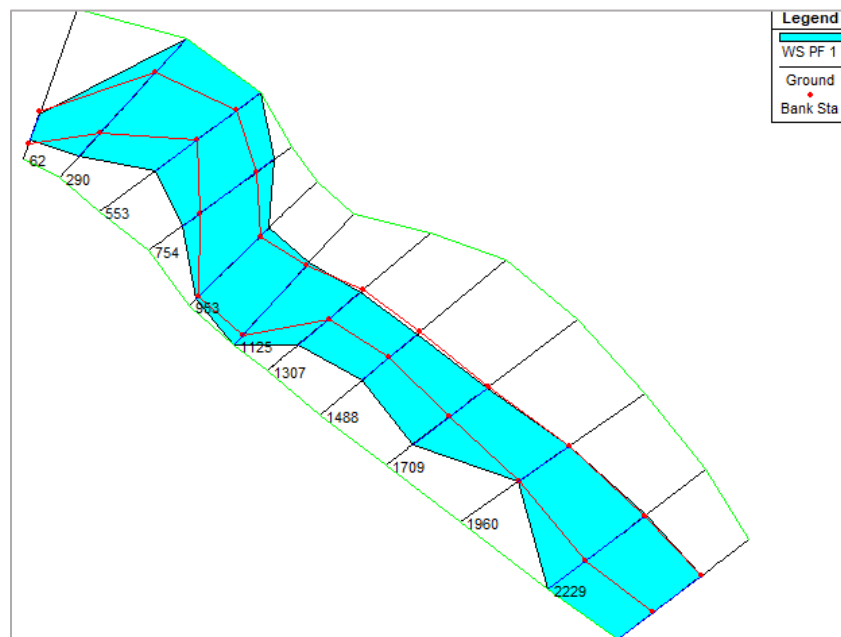
En primer lugar, algunas de las principales características que presenta el cauce en el tramo, es que su ancho promedio ronda los 18 metros, aunque se puede observar en algunos puntos, transiciones que disminuyen bruscamente el área hidráulica del mismo.

Además, el anexo 13, muestra la erosión en los márgenes, que podría ocasionar el cambio en la geomorfología del cauce año tras año. Como consecuencia, la dinámica del flujo durante las avenidas máximas afecte a diferentes puntos o secciones del tramo.

Como se dijo anteriormente, es necesario explicar las debilidades del plano topográfico del cauce, y es que, al haberse realizado las labores respectivas del levantamiento topográfico en época de lluvias (mes de octubre), cuando el río conduce un caudal importante (ver anexo 8), el grado de resolución del mismo no sea el óptimo y los resultados puedan discernir un poco de la realidad.

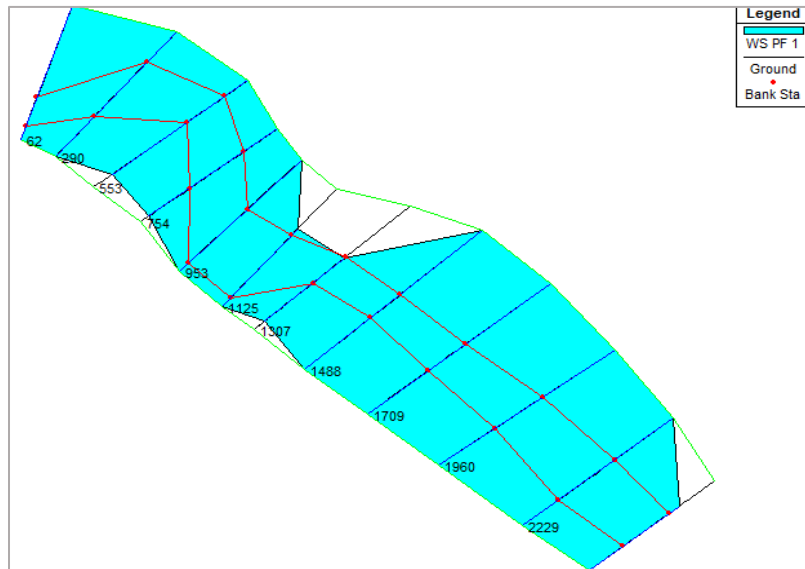
#### 6.4.1 Análisis de la capacidad de transporte hidráulico del tramo

Como se muestra en las siguientes figuras, se evaluó para cada caudal con diferente tiempo de retorno, la capacidad de transporte hidráulico que posee el cauce en el tramo de estudio. Sin embargo, en los diferentes escenarios la capacidad se ha visto superada por el volumen del flujo conducido.



**Figura 6.13.** Capacidad de transporte del tramo ante caudal máximo de 5 años. Elaboración propia, 2020.

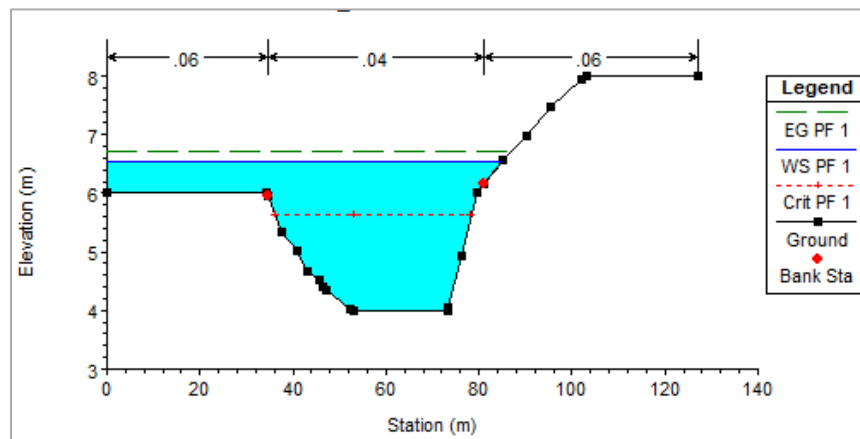
**Nota:** Las polilíneas en color rojo, representan a los bancos derecho e izquierdo del cauce (limites).



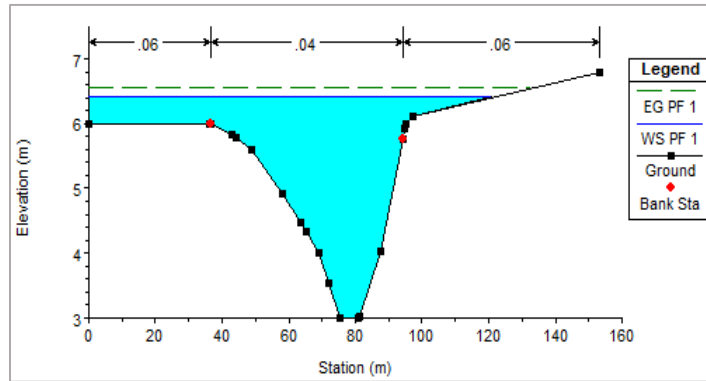
**Figura 6.14.** Capacidad de transporte del tramo ante caudal máximo de 50 años. Elaboración propia, 2020.

#### 6.4.2 Secciones críticas

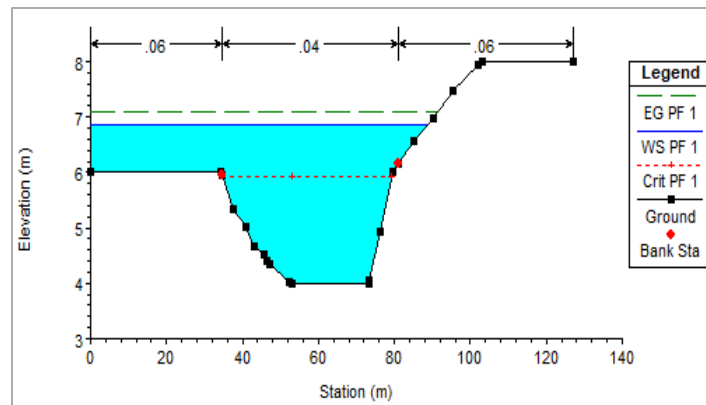
El análisis de las secciones permite determinar que la mayoría presenta vulnerabilidad al desborde del río ante las avenidas máximas de los periodos de retorno estimados, como se muestra en las siguientes figuras. Cabe resaltar que las secciones con códigos “2454” y “2229”, son parámetros para predecir el flujo hacia la cancha de fútbol y el colegio académico, por lo tanto, dichas figuras muestran la evaluación de ambas secciones.



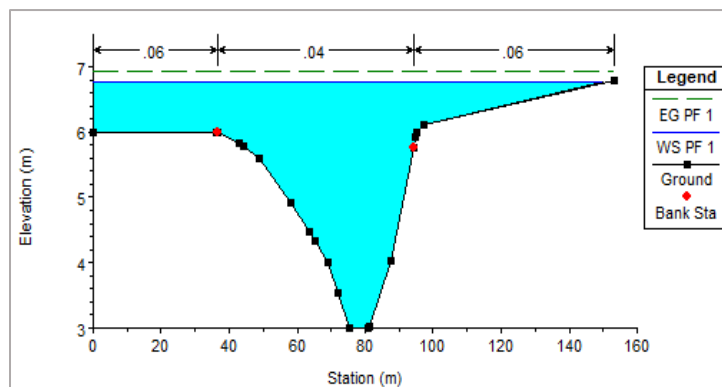
**Figura 6.15.** Sección “2454” ante caudal de 10 años de periodo de retorno. Elaboración propia, 2020.



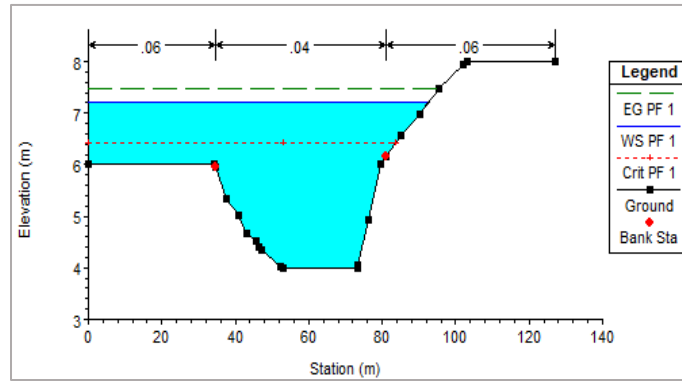
**Figura 6.16.** Sección “2229” ante caudal de 10 años de periodo de retorno. Elaboración propia, 2020.



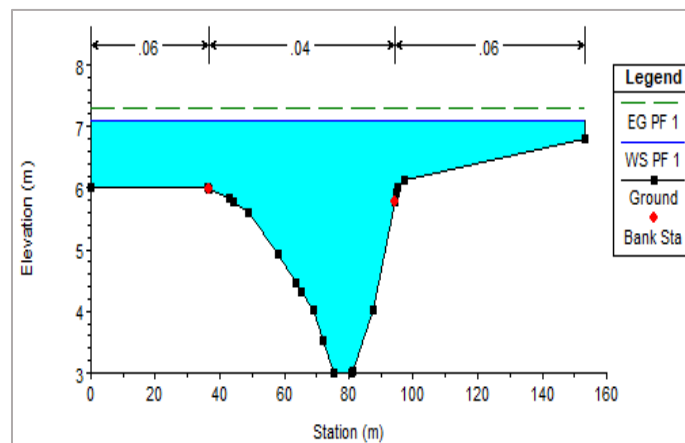
**Figura 6.17.** Sección “2454” ante caudal de 25 años de periodo de retorno. Elaboración propia, 2020.



**Figura 6.18.** Sección “2229” ante caudal de 25 años de periodo de retorno. Elaboración propia, 2020.



**Figura 6.19.** Sección “2454” ante caudal de 100 años de periodo de retorno. Elaboración propia, 2020.



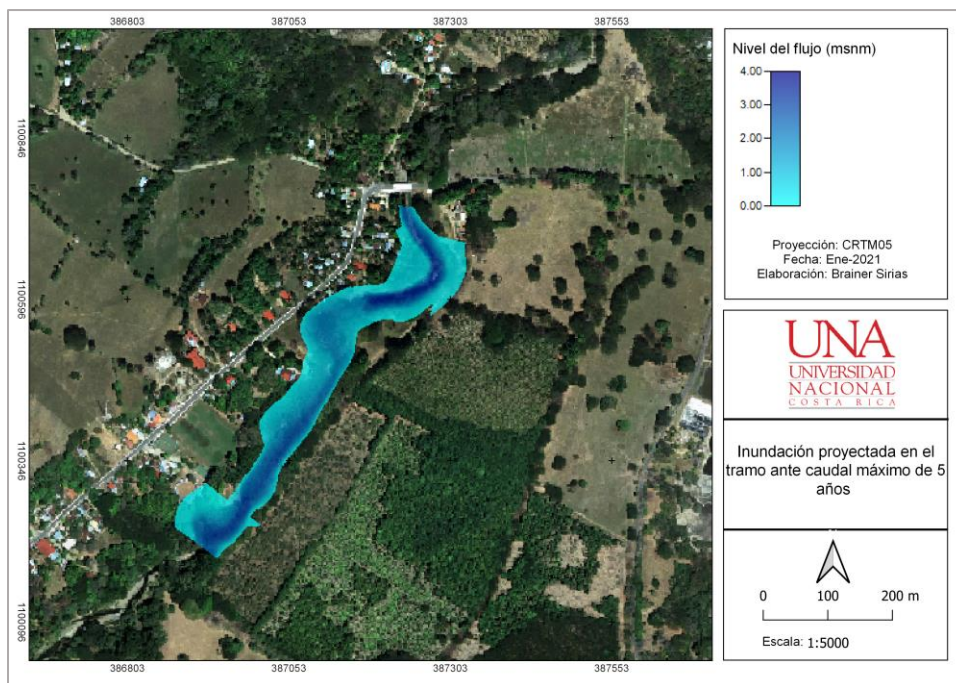
**Figura 6.20.** Sección “2229” ante caudal de 100 años de periodo de retorno. Elaboración propia, 2020.

Se puede observar, la inundación que provocaría el caudal máximo con periodo de retorno de 100 años, ambas secciones son desbordadas en sus dos márgenes, sin embargo, su margen izquierda es la que concentra los mayores niveles de agua, dicha zona representa para el río áreas de laminación, por lo que el colegio, el campo ferial y la cancha de futbol son totalmente abnegados, en algunos puntos el nivel de agua asumiría valores mayores a un metro.

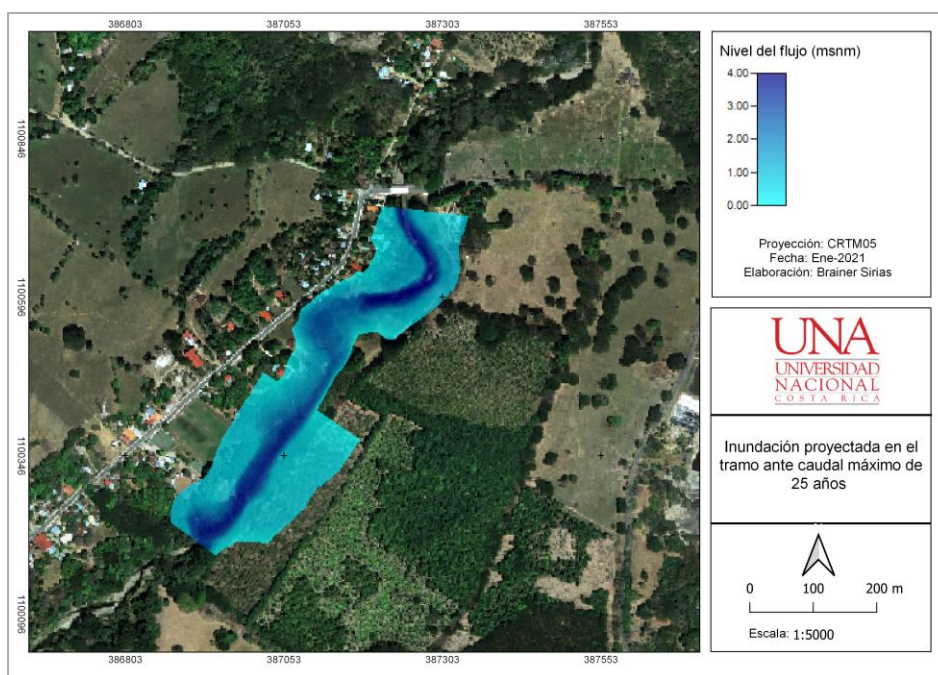
#### 6.4.3 Mapas de inundación

Los siguientes mapas, ratifican el riesgo de inundación existente en el tramo de estudio ante eventos hidrológicos máximos. Fueron evaluados los caudales pico de la tabla 6.4, y se destaca que todas estas descargas provocan inundación en el tramo, aunque claro está, que la intensidad se relaciona con la probabilidad de ocurrencia, como se observa la inundación ante caudal de 100 años es más intensa que la de un caudal pico de 5 años de periodo de retorno.

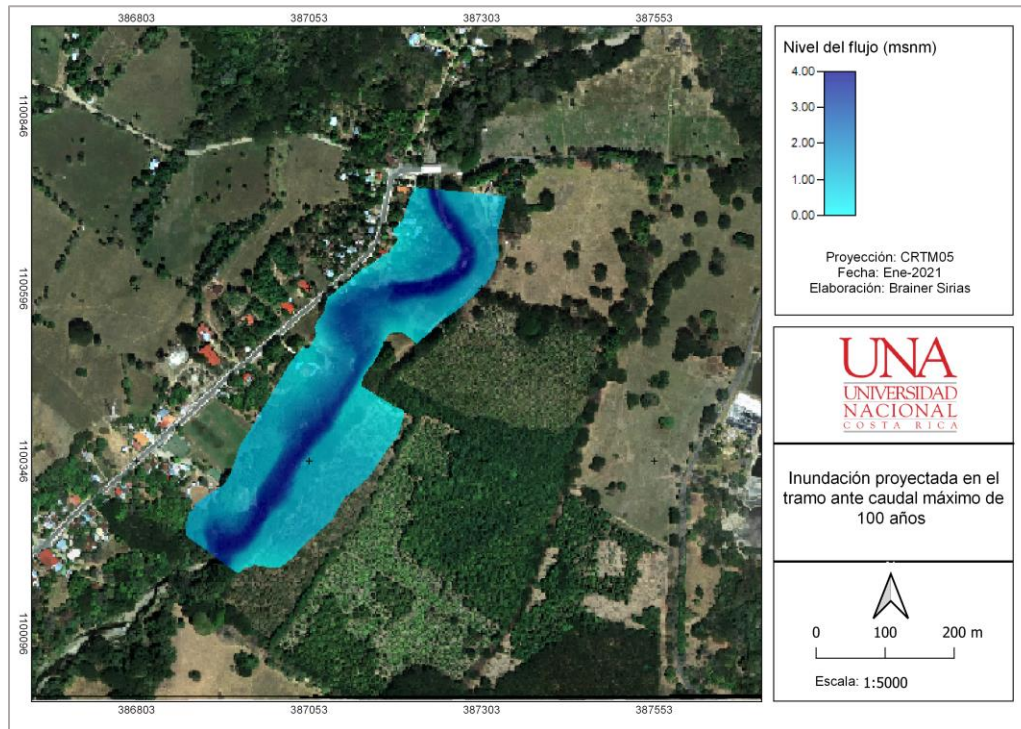
La inundación del tramo por caudal máximo de 100 años, que se muestra en la figura 6.22, presenta una notable severidad, dicho fenómeno alcanzaría a abnegrar la totalidad de la cancha, tal y como se observa en la figura 1.2, donde la totalidad de la cancha es inundada tras un evento máximo.



**Figura 6.21.** Inundación proyectada ante escenario de caudal máximo de 5 años. Elaboración propia



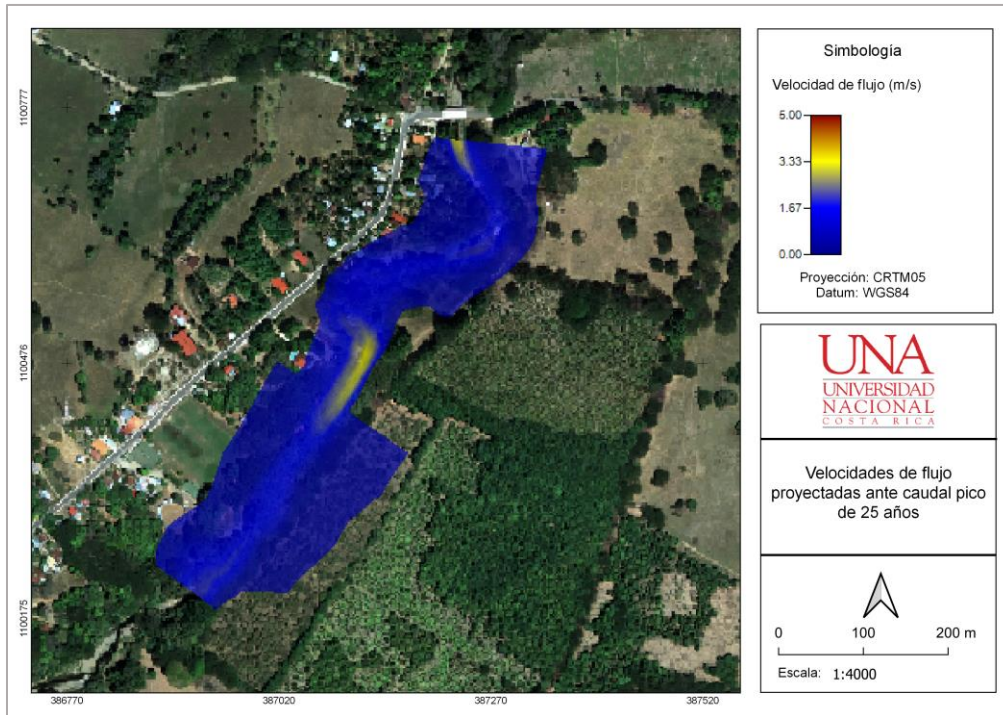
**Figura 6.22.** Inundación proyectada ante escenario de avenida máxima de 25 años. Elaboración propia.



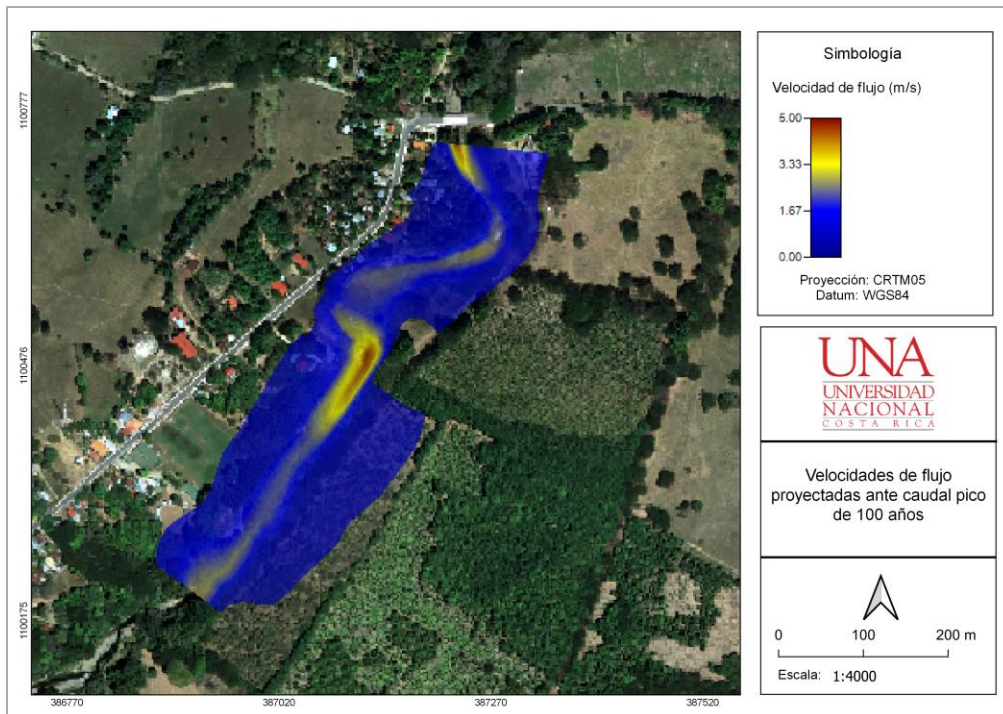
**Figura 6.23.** Inundación proyectada ante escenario de avenida máxima de 100 años. Elaboración propia

#### 6.4.4 Mapas de velocidad del flujo

En las figuras 6.24y 6.25, se muestra la velocidad que puede adquirir el flujo ante las situaciones proyectadas de caudales máximos; Vide (2007) afirma que, cuando el río logra un encauzamiento total de su flujo, la velocidad aumenta, por lo tanto en el caso de intervenir el tramo con algún dique u otra infraestructura de encauzamiento, la velocidad del flujo podría aumentar aguas abajo, provocando mayor erosión de márgenes y aumentando el riesgo de una inundación con mayor intensidad en este sector.



**Figura 6.24.** Velocidades de flujo proyectadas ante escenario de avenida máxima de 25 años. Elaboración propia



**Figura 6.25.** Velocidades de flujo proyectadas ante escenario de avenida máxima de 100 años. Elaboración propia



## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo, reúne las principales conclusiones derivadas de este estudio, así como sus respectivas recomendaciones.

### 7.1 Conclusiones

La cuenca río Lepanto, presenta una extensión territorial de 31.73 km<sup>2</sup>, por ende, se clasifica dentro de los rangos de una cuenca pequeña. Además, los diferentes parámetros de forma de esta cuenca, permiten predecir su respuesta a eventos máximos de lluvia-escorrentamiento, cuya principal deducción es la característica del hidrograma cuya forma acentúa a la de una distribución campana.

El relieve de la cuenca río Lepanto, se clasificó como relieve accidentado y como se observa en el mapa de elevaciones (ver figura 6.1) las zonas de mayor pendiente se concentran en el sector suroeste a noroeste, por tanto, los aportes del flujo de esta zona poseen una mayor velocidad produciendo también un mayor arrastre de sólidos.

A partir de su curva hipsométrica, se concluye que la cuenca se encuentra en un estado de madurez en términos de dinámica erosión – sedimentación, esto se traduce en que la cuenca posee actualmente un estado de equilibrio de acuerdo a la teoría.

De acuerdo al orden de corrientes identificado en la cuenca, se pueden observar corrientes hasta del orden cuatro, esta misma, representa al afluente principal de la cuenca río Lepanto. Además, su densidad de drenaje refleja que la cuenca posee capacidad media de drenaje. Finalmente, el río Lepanto presenta una sinuosidad bien marcada, especialmente en su parte media y baja.

La distribución espacial de las precipitaciones máximas en la cuenca río Lepanto, tiende a concentrar un mayor valor en el sector sureste, esto por la influencia de la estación Paquera, la cual registra los valores de precipitación más altos de la región.

De acuerdo al uso de suelo actual y sus condiciones hidrológicas, se estima una capacidad de escorrentamiento alta, representada por un CN de 70.60. Según la escala del SCS, un CN de 100 significa que toda la lluvia que cae en la cuenca ante condiciones medias de humedad en suelos, escurre.

Los caudales máximos estimados para la cuenca asumen valores que van desde los 132.9 hasta a los 355.7 m<sup>3</sup>/s, para periodos de retorno de 5 y 100 respectivamente. Por lo tanto, estos caudales son el resultado más relevante si se plantea diseñar algún tipo de obra de infraestructura de defensa en este tramo. En el anexo 12, se pueden observar los diferentes periodos de retorno utilizados en el dimensionamiento de algunas de las principales obras de infraestructura en ríos.

La capacidad de transporte hidráulico del cauce en el tramo de río analizado, es limitada ante los caudales máximos que implican los caudales pico antes mencionados, este fenómeno se recrea para los distintos periodos de retorno de 5, 10, 15, 25, 50 y 100 años.

El tramo de río evaluado, presenta una alta vulnerabilidad a inundarse ante escenarios de avenidas máximas que presentan los caudales pico estimados para la cuenca para todos los periodos de retorno definidos, esto se observa en los diferentes mapas de inundación del apartado 6.4.3.

Ante el escenario de un caudal pico de 100 años de periodo de retorno, la llanura de inundación es abnegada y la misma llega a presentar niveles de agua de hasta un metro de profundidad en la margen izquierda. Por ende, la cancha de futbol, el campo ferial, y gran parte del colegio académico es completamente afectada.

Al realizar el cálculo de caudales pico para escenarios hipotéticos de condiciones de humedad antecedentes altas (CHA III), cuyo valor de numero de curva (CN) se recalculó mediante la fórmula [13], es de 84.7, donde se reitera que un valor de CN=100, representa que la totalidad de la lluvia escurre. Dicho análisis arrojó, que el caudal pico para un periodo de retorno (TR) de 100 años es de **416.6** m<sup>3</sup>/s mientras que el caudal pico para un TR de 5 años es de **187.5** m<sup>3</sup>/s. Este escenario implica un incremento de los caudales pico de 29.12 % y 14.62 % respectivamente.

En este estudio, a pesar de que se realiza en una cuenca exorreica con desembocadura en el mar, no se contempló en la metodología, la influencia de las mareas altas o bajas en la capacidad de desagüe del río Lepanto. Una marea alta, podría alterar el desagüe de este sistema fluvial e incrementar el riesgo de una inundación más severa en las partes bajas durante eventos de máximo caudal.

La falta de un monitoreo pluviométrico dentro de la cuenca del río Lepanto, aumenta el grado de dificultad en el desarrollo de estudios de predicción de eventos extremos de índole hidrometeorológico e hidrológicos en este territorio. No obstante, como se mencionaba en apartados anteriores, esta es una problemática común en el campo de la hidrología.

## **7.2 Recomendaciones**

Una de las principales recomendaciones de este estudio, es realizar una optimización del plano topográfico utilizado en el modelo hidráulico. Esto debido a que dichas labores topográficas se realizaron en épocas de lluvia y con un caudal importante en el río (ver anexo 11), lo que imposibilitó tener curvas de nivel a detalle en algunos puntos del tramo. Por lo tanto, una optimización implica hacer un nuevo levantamiento de puntos en época de estiaje que permita tener una mayor precisión en los resultados del modelo hidráulico, especialmente en los mapas de inundación.

Se requieren realizar acciones de prevención en el tramo, esto debido al alto riesgo de inundación determinado y que se observa en los mapas de inundación. Estas acciones deberán poseer criterios multidisciplinarios que permitan seleccionar la medida más integral, principalmente porque no se cuenta con la evaluación hidráulica aguas arriba y aguas abajo del tramo, por lo tanto, realizar algún tipo de obra de encauzamiento provocaría en estos sectores una alteración en situaciones de descargas máximas de agua debido al aumento en la velocidad del flujo.

Es recomendable, realizar un monitoreo distribuido de la pluviometría en toda la cuenca del río Lepanto, para esto es posible instalar pluviómetros en las partes altas, medias y bajas, que puedan ser monitoreados diariamente por habitantes de cada sector. En el anexo 7, se puede observar la reactivación de un pluviómetro en la comunidad de Lepanto (parte baja de la cuenca) que se llevó a cabo por medio de una pequeña charla de sensibilización hidrológica a los dueños de la propiedad donde se encuentra instalado dicho aparato. Este instrumento de medición antiguamente era monitoreado por una instancia estatal.

## **7.3 Recomendaciones adicionales**

Por lo mencionado anteriormente, es que, de manera preliminar, se recomienda la propuesta de diseño de un cauce de alivio, que consiste en otro tipo de medida de lucha contra las inundaciones. En este caso, mediante las valoraciones en campo y análisis de imágenes

aéreas, se destaca la posibilidad de aprovechar un canal efímero existente cerca del río Lepanto (se encuentra a 400 metros de su cauce) mediante una conexión hidráulica que permitirá diluir los caudales del río y disminuir la posibilidad de inundación en el tramo de estudio (ver anexos 4, 5 y 14). Dicho canal, posee una desembocadura al mar aproximadamente a 1 km de distancia de la del río Lepanto.

Sin embargo, se resalta, que esta recomendación es de carácter preliminar cuyo propósito es marcar un hito inicial en las posibles soluciones. Sin embargo, sin tratar de profundizar en la propuesta, se deberá antes que nada evaluar la viabilidad del mismo contemplando la perspectiva legal- ambiental y política, como ejes centrales de la evaluación, debido a los posibles componentes involucrados en el mismo.

## CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA

- Adolfo Maza, P. L. (2008). Crecidas de diseño de los aliviaderos de las presas "Los Blancos" y "Los Tordillos".
- Aparicio, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. LIMUSA.
- Béjar, M. V. (2004). *Hidrología*. TEC.
- Béjar, M. V. (2006). *Hidrología estadística*. Cartago: TEC.
- Bourrel Luc, M. S. (1999). Dinamica de las inundaciones en la cuenca amazonica boliviana. *Revista Boliviana de Ecología y Conservacion Ambiental*.
- Camino, M. A., Bó, M. J., & Cionchi, J. L. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas dedrenaje de la vertiente sur del sudeste dela provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*.
- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., Del Río, J. L., López de Armentia, A., & DeMarco, S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas dedrenaje de la vertiente sur del sudeste dela provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*.
- Cardona, G. (2013). *La cuenca urbana: unidad territorial para el desarrollo sostenible de ciudades de media montaña en el tropico andino colombiano*. Manizales, Colombia.
- Carrera-Villacrés, D. V., Guevara-Garcí, P. V., Tamayo-Bacacela, L. C., Balarezo-Aguilar, A. L., Narváez-Rivera, C. A., & Morocho-López, D. R. (2017). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media. *Idesia*.
- Chahín, R. E. (2017). Comparación de los métodos: bloques alternos e hietograma histórico para la selección de tormentas de diseño, cuenca del río Chiquito, Tegucigalpa, Honduras. *Agua, Saneamiento & Ambiente, Vol. 12 No.1*.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. McGRAW-HILL.

- CNE. (2014). *Gestión Municipal del Riesgo de Desastres: normas y elementos básicos para su inclusión en el ordenamiento territorial*. San José.
- Dannenberger, J. C. (2016). *Análisis y soluciones a problemas de inundaciones en el cantón de Oreamuno, Cartago*. San José.
- Espinoza, E. (2020). Modelación hidrológica con HEC HMS.
- Fatorelli, S., & Fernández, P. C. (2011). *Diseño hidrológico*.
- Ferrer, J. F. (2000). *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. España.
- Grainger, H. M. (2006). *Modelación hidráulica e hidrológica del río Guápiles para determinar la vulnerabilidad a inundaciones en un tramo comprendido entre los poblados Guápiles y la Rita*. EUCR.
- Grande, F. A., & Jimenez, J. R. (2015). *Estudio morfométrico de la cuenca del río azul, afluente del río Calima, departamento del Valle del Cauca*. Bogotá.
- Guerra, F., & González, J. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. *Geoenseñanza*.
- Helena Cotler, A. G. (2007). *Delimitación de cuencas hidrográficas de México, a escala 1:250,000*. México.
- Hernández, J. D. (2008). *Estimación de caudales máximos usando hidrogramas unitarios sintéticos y el método racional*.
- Inder. (2014). *Caracterización de los distritos peninsulares: Paquera, Lepanto y Cóbano*.
- ITCR. (2014). *Atlas de Costa Rica*. Cartago.
- Jerónimo Lorente, C. C. (2013). Intensidades máximas y precipitación máxima probable.
- Jiménez, K. A. (2018). Zonificación del conflicto de uso de la tierra en las áreas de protección de la red de drenajes de la cuenca del río Páez, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*.

- Lindell, J. E., & Moore, W. P. (2018). *Handbook of Hydraulics: Eighth Edition*. McGraw-Hill.
- Mauro Iñíguez, W. O. (2011). Análisis metodológico de la distribución espacial de la precipitación y la estimación media diaria. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*.
- Mejía, A. (2006). *Hidrología Aplicada*. Perú: Agraria La Molina.
- Monge, K., & Gómez, N. (2019). *Diseño de obras de mitigación y encauzamiento mediante modelaciones hidráulicas e hidrológicas para disminuir la condición por vulnerabilidad de inundaciones en un tramo de 3 km de río comprendido en la cuenca media baja del río corredor*. Cartago.
- Monsalve, G. (1995). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá.
- Morales, N. R. (2011). *Curvas de intensidad, duración y frecuencia de algunas estaciones automáticas*.
- OAS. (1993). *Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado*. Washington.
- Otárola, F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Turrialba: CATIE.
- Porras, J. P., & Serrano, A. (2013). *Estudio hidrológico-hidráulico para el diseño del puente sobre la quebrada padre José*. San José, Costa Rica.
- Rafael Baena Escudero, I. G. (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*.
- Rafael Baena Escudero, I. G. (2016). Ocupación antrópica y riesgos de inundación en la llanura del río Guadalquivir (sector palma del río-sevilla, España).
- Rocha, A. (1998). *Introducción a la hidráulica fluvial*. Perú.
- Rodríguez, F. (2020). Gestión de riesgos en el distrito de Lepanto. (B. Sirias, Entrevistador)
- Rodríguez, J. M. (2007). La conformación de los "desastres naturales". Construcción social del riesgo y variabilidad climática en Tijuana, B. C. *Frontera Norte*.

Sánchez, J. (2017). *Manual HEC RAS*. Salamanca.

Sánchez, J. M. (2011). Eventos hidrometeorológicos extremos y desastres en comunidades rurales y urbanas en Motozintla, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.

Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. McGraw hill education.

Trola, M. F. (2009). *Estadística*. México: Pearson Education.

Vide, J. M. (2007). *Ingeniería de ríos*. Ediciones UPC.

Zamora, R. (2020). Gestión del riesgo en la comunidad de Lepanto. (B. Sirias, Entrevistador)



## CAPÍTULO 9. ANEXOS



*Anexo 1.* Reunión con el intendente municipal y el topógrafo del concejo. Elaboración propia



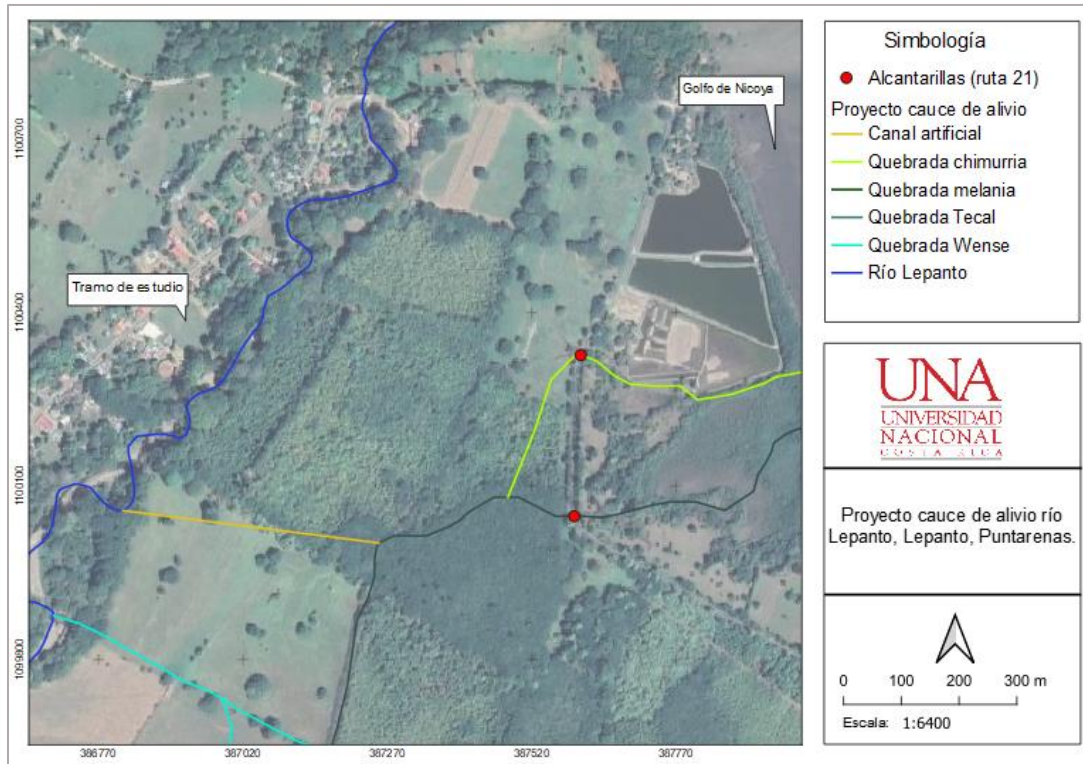
*Anexo 2.* Monitoreo del río Lepanto durante el mes de septiembre. Elaboración propia



**Anexo 3.** Estructuras de defensa desarrolladas por algunos pobladores de la comunidad. Elaboración propia, 2020.



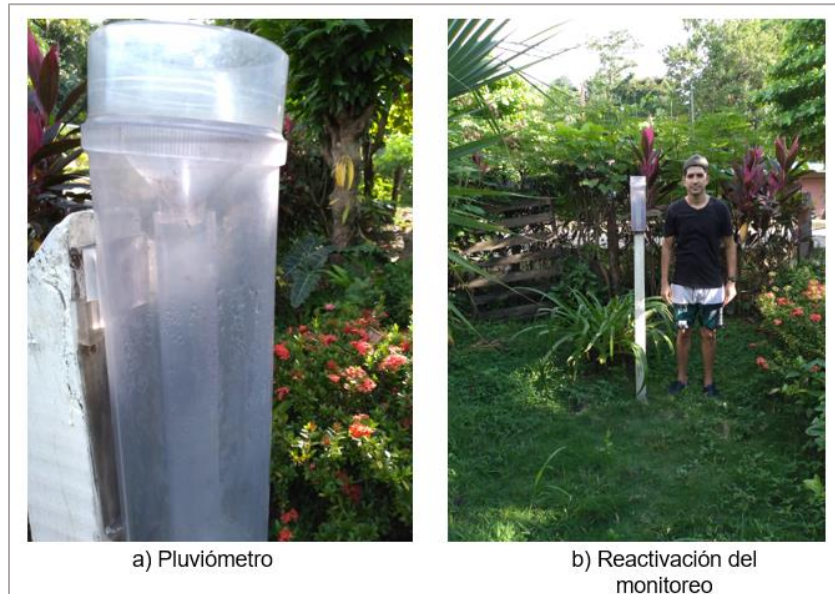
**Anexo 4.** Vista típica de un cauce de alivio con potencial compuerta. [www.iAgua.com](http://www.iAgua.com)



**Anexo 5.** Propuesta preliminar de cauce de alivio como medida de lucha contra inundaciones en la comunidad de Lepanto. Elaboración propia.



**Anexo 6.** Algunas vistas del cauce de alivio propuesto como medida preliminar. Elaboración propia, 2020.



**Anexo 7.** Reactivación del monitoreo pluviómetro en la comunidad de Lepanto (Parte baja de la cuenca del río Lepanto). Elaboración propia, 2020.



**Anexo 8.** Crecida típica del río Lepanto durante el mes de octubre (tramo de estudio). Elaboración propia, 2020.



a) Medición de la longitud de la sección

b) Medición de profundidades en la sección

c) Medición de velocidades de corriente

d) Toma de datos en hoja de campo

Anexo 9. Aforo puntual al río Lepanto durante el mes de setiembre (método del flotador). Elaboración propia, 2020.

**Datos del oferente**  
 Nombre: HIDROGEOECNIA LTDA.  
 Cédula Jurídica: 3-102-205691  
 Dirección física: Cipreses de Carrizabat, 300 m al norte del Colegio Internacional SEK  
 Dirección electrónica: [hidrogeotecnia@gmail.com](mailto:hidrogeotecnia@gmail.com)  
 Página web: [www.hidrogeotecnia.com](http://www.hidrogeotecnia.com)  
 Teléfono: 2253-6867. Fax: 2253-3671  
 Empresa fundada en junio de 1997

**Oferta técnica**  
 De acuerdo con su solicitud me permito hacerle entrega de la oferta técnico-económica para realizar el estudio hidrológico e hidráulico en el río Lepanto, para determinar la magnitud de la amenaza de inundaciones en la zona y así proponer obras hidráulicas para protección de la población. El alcance de la oferta que se describe a continuación:

**Análisis hidrológico de la cuenca tributaria**

- Delimitación de cuenca de estudio.
- Determinación de modelo hidrológico a utilizar.
- Determinación de las características topológicas y climáticas de la cuenca en estudio.
- Análisis de precipitaciones en la zona de estudio.
- Aplicación de un modelo de precipitación-escurrimiento adecuado para la forma y tamaño de la cuenca.
- Definición del área tributaria a partir de curvas de nivel a cada 10 m del Programa de Regularización de Catastro y Registro
- Caracterización de la cuenca hidrográfica del río hasta el sitio de análisis.
- Investigación y recopilación de información meteorológica.
- Análisis hidrológico para determinar los caudales máximos de escurrimiento actual y futuros para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 años

**Estudio hidráulico del cauce**

- Levantamiento topográfico de un tramo de 500 metros en el cauce del río Lepanto y del terreno circundante, para poder estimar la amenaza de inundación. El levantamiento se realizará con estación total en el cauce y GPS de precisión en las

**Plazo de ejecución**  
 Se ofrece un plazo de ejecución de 8 semanas, una vez obtenida la orden de inicio y los insumos requeridos.

**Experiencia**  
 Hidrogeotecnia Ltda. ha participado en diversas consultorías en el campo del agua desde hace más de 22 años, incluyendo trabajos en más de 200 ASADAS en todo el país. Nuestra experiencia se indica en la página electrónica [www.hidrogeotecnia.com](http://www.hidrogeotecnia.com).

**Oferta económica**  
 El monto de esta oferta es de \$7.500 (IVA incluido), y será pagadero 50% al inicio de los trabajos y 50% contra la entrega del informe final. En caso de aceptarse la oferta, por favor enviar el comprobante del depósito inicial, el mismo puede hacerse a la siguiente cuenta del Banco Nacional a nombre de HIDROGEOECNIA LTDA (Cédula Jurídica 3-102-205691).

Moneda	Cuenta	Cuenta IBAN
Dólares	200-02-080-519493-2	CR00015108020025191931

Agradezco la oportunidad de presentar esta oferta y quedo a sus órdenes para cualquier ampliación o aclaración al respecto.

**HST**  
 HIDROGEOECNIA LTDA.  
 HIDROGEOECNIA LTDA. San José, Costa Rica. Tel.: (506) 2253-6867 Fax: (506) 2253-3671  
[www.hidrogeotecnia.com](http://www.hidrogeotecnia.com) [info@hidrogeotecnia.com](mailto:info@hidrogeotecnia.com)

**Anexo 10.** Componentes de la cotización realizada a la empresa consultora HIDROGEOTECNIA Ltda.  
HIDROGEOTECNIA Ltda.



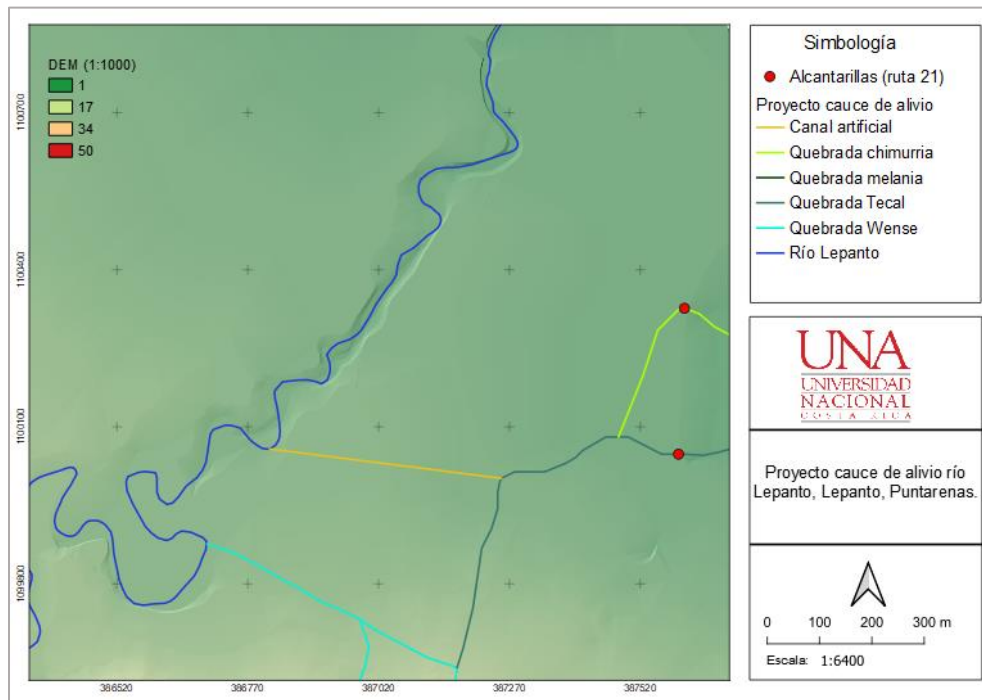
**Anexo 11.** Labores del levantamiento topográfico en el tramo de estudio. Elaboración propia, 2020.

Tipo de estructura	Periodo de retorno (años)
Puente sobre carretera importante	100 a 50
Puente sobre carretera menos importante o alcantarilla sobre carretera importante	25
Alcantarillas sobre caminos secundarios	10 a 5
Drenaje lateral de los pavimentos	2 a 1
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	10 a 2
Drenaje agrícola	10 a 5
Muros de encauzamiento	50 a 2

**Anexo 12.** Periodo de retorno recomendado para el diseño de obras menores. (Béjar, 2004)



**Anexo 13.** Erosión en las márgenes del tramo de estudio. Elaboración propia, 2020.



**Anexo 14.** Propuesta de proyecto “Cauce de alivio en el río Lepanto” para diluir los caudales peligrosos que puedan inundar el tramo de estudio.