



Universidad Nacional Costa Rica



Sede Regional Chorotega

Campus Liberia

*Proyecto*

**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EVALUAR EL IMPACTO DE AMENAZAS HIDROMETEOROLÓGICAS EXTREMAS EN LA GESTIÓN DE LAS PLANTAS HIDROELÉCTRICAS BIJAGUA Y CANALETE UBICADAS EN LA CUENCA DE RÍO ZAPOTE, ALAJUELA, COSTA RICA**

*Para optar por el grado de*

*Licenciatura en Ingeniería Hidrológica*

**Equipo de Supervisores**

Ing. Esteban Cruz Elizondo

*Coopeguanacaste R.L.*

Ing. Rolando Madriz Vargas

*Universidad Nacional*

**Autora**

Breysi Isabel Calvo Siles

504200532

Liberia, Guanacaste

Febrero, 2022

**Acta del tribunal**

**Integrantes del tribunal evaluador**

---

Dr. Rolando Madriz Vargas

*Tutor*

---

M.Sc. Eric Herra Chacón

*Lector*

---

M.Sc. Paula Marcela Pérez Briceño

*Lectora*

---

M.S.c. Dorian Chavarría López

*Representante de Decanatura*

---

M.Ed. Wagner Castro Castillo

*Representante de Dirección Académica*

## **Dedicatoria**

Agradezco de manera especial a Dios Todopoderoso, por concluir de manera satisfactoria la etapa de licenciatura universitaria.

A mi mamá, Margarita Siles Guevara, ella es mi pilar fundamental en cada etapa que decido iniciar en mi vida. También, al resto de mi núcleo familiar, mi papá, Edgar Calvo Álvarez, mi hermana, Sharlyn Calvo Siles y mi hermano Edgar José Calvo Siles.

Agradezco a la Universidad Nacional (UNA) por todos los conocimientos y herramientas adquiridas durante estos años universitarios. Por último, agradezco al Ing. Eric Herra Chacón y el Ing. Esteban Cruz Elizondo por el acompañamiento durante los últimos dos años.

*Breysi Isabel Calvo Siles*

## **Resumen**

El presente Proyecto Final de Graduación se centra en un estudio hidrológico e hidráulico para evaluar el impacto de amenazas hidrometeorológicas extremas en la gestión de las Plantas Hidroeléctricas Bijagua y Canalete ubicadas en la cuenca de río Zapote, Alajuela, Costa Rica. Esto debido a que la amenaza de inundaciones tiende a crecer y la posibilidad de la variabilidad climática modifica los escenarios futuros aumentando de manera significativa tanto la amplitud como la frecuencia de los eventos hidrometeorológicos extremos.

Los resultados hidrológicos obtenidos se fundamentan en hietogramas de precipitaciones y curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) para los periodos de retorno correspondiente a 5 años, 10 años y 25 años en la cuenca de río Zapote. Además, los resultados hidráulicos obtenidos que se basan en los caudales correspondientes a la cuenca de río Zapote para un período de retorno de 5 años, 10 años y 25 años. Por tanto, este estudio es una herramienta fundamental para desarrollar proyectos futuros dentro de la cuenca hidrográfica.

## **Abstract**

The following Final Graduation Project focuses on a hydrological and hydraulic study to evaluate the impact of extreme hydrometeorological hazards on the management of the Bijagua and Canalete Hydroelectric Plants located in the Zapote river basin, Alajuela, Costa Rica. This is due to the fact that the threat of floods tends to increase and the possibility of climate variability modifies future scenarios, significantly increasing both the amplitude and frequency of extreme hydrometeorological events.

The hydrological results obtained are based on rainfall hietograms and intensity, duration and frequency (IDF) curves for the return periods corresponding to 5 years, 10 years and 25 years in the Zapote river basin. In addition, the hydraulic results obtained are based on the flows corresponding to the Zapote river basin for a return period of 5 years, 10 years and 25 years. Therefore, this study is a fundamental tool for developing future projects within the watershed.

## **Tabla de contenido**

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Introducción.....	14
1.2. Problemática .....	16
1.3. Justificación .....	18
1.4. Objetivos .....	19
1.4.1. Objetivo general .....	19
1.4.2. Objetivo específico.....	19
1.5. Alcances y limitaciones .....	19
1.5.1. Alcances .....	20
1.5.2. Limitaciones .....	20
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.....	21
2.1. Descripción de la zona de estudio.....	21
2.2. Aspectos biofísicos de la zona de estudio.....	22
2.2.1. Red hidrológica .....	22
2.2.2. Climatología .....	23
2.3. Aspectos geofísicos de la zona de estudio .....	24
2.3.1. Formaciones geológicas .....	24
2.4. Aspectos de la población de la zona de estudio.....	24
2.4.1. Población.....	24

2.5. Aspectos socioeconómicos de la zona de estudio.....	26
2.5.1. Actividades agrícolas .....	26
2.5.2. Actividades pecuarias.....	27
2.6. Antecedentes de Coopeguanacaste R.L. ....	28
2.7. Centrales Hidroeléctricas de Coopeguanacaste R.L. ....	31
<b>CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL.....</b>	<b>33</b>
3.1. Descripción del ciclo hidrológico .....	33
3.2. Sistema hidrológico .....	34
3.3. Clasificación de los modelos hidrológicos .....	35
3.4. Descripción del modelo de balance hídrico mensual.....	37
3.5. Cooperativas de Electrificación Rural en Costa Rica .....	38
3.6. Centrales Hidroeléctricas .....	38
<b>CAPÍTULO IV. ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD .....</b>	<b>39</b>
4.1. Estudio técnico.....	40
4.1.1. Proceso de producción .....	41
4.1.2. Capacidad de producción .....	42
4.1.3. Inversión en equipamiento .....	43
4.1.4. Localización .....	44
4.2. Estudio legal.....	46
4.3. Estudio ambiental.....	50

4.4. Estudio Económico .....	51
4.1.1. Egresos .....	52
4.5. Estudio social .....	53
CAPÍTULO V. METODOLOGÍA .....	55
5.1. Tipo de investigación .....	55
5.2. Enfoque de investigación .....	56
5.2.1. Enfoque cualitativo .....	56
5.2.2. Enfoque cuantitativo .....	57
5.3. Enfoque metodológico .....	57
5.4. Metodología para la modelación hidrológica .....	58
5.5. Metodología para la modelación hidráulica .....	60
5.6. Relación entre los objetivos y diseño metodológico .....	62
CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	64
6.1. Resultados .....	64
6.1.1. Resultados hidrológicos .....	64
6.1.2. Resultados hidráulicos .....	72
6.2. Discusión .....	75
6.2.1. Respecto a hallazgos .....	75
6.2.2. Respecto a la metodología .....	78
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	80

7.1. Conclusiones .....	80
7.2. Recomendaciones .....	80
BIBLIOGRAFÍA .....	83
ANEXOS .....	89

### **Índice de tablas**

Tabla 3.1. Principales variables del ciclo hidrológico presentes en el modelo de balance hídrico mensual.....	37
Tabla 4.1. Recursos digitales requeridos.....	43
Tabla 4.2. Equipos tecnológicos requeridos.....	44
Tabla 4.3. Marco legal correspondiente al proyecto.....	47
Tabla 4.4. Determinación de los egresos detallados del proyecto.....	52
Tabla 5.1. Relación entre los objetivos específicos y el diseño metodológico.....	62
Tabla 6.1. Distribución del método del bloque alterno para un período de retorno de 5 años.....	64
Tabla 6.2. Distribución del método del bloque alterno para un período de retorno de 10 años.....	66
Tabla 6.3. Distribución del método del bloque alterno para un período de retorno de 25 años.....	68

### **Índice de figura**

Figura 2.1. Mapa de ubicación de la cuenca de río Zapote.....	22
---	----

Figura 2.2. Mapa de la red hidrológica de la cuenca de río Zapote.....	23
Figura 2.3. Mapa de los poblados de la cuenca de río Zapote.....	25
Figura 2.4. Salón multiuso de Upala.....	25
Figura 2.5. Salón comunal de Bijagua.....	25
Figura 2.6. Escuela de Zapote.....	26
Figura 2.7. Plaza de Bijagua.....	26
Figura 2.8. Viveros.....	27
Figura 2.9. Siembra de bambú.....	27
Figura 2.10. Fincas ganaderas.....	27
Figura 2.11. Establos ganaderos.....	27
Figura 2.12. Sucursal en Playas del Coco.....	29
Figura 2.13. Sucursal en Sardinal.....	29
Figura 2.14. Sucursal en Filadelfia.....	29
Figura 2.15. Sucursal en Huacas.....	29
Figura 2.16. Oficinas Centrales en Santa Cruz.....	30
Figura 2.17. Sucursal en Santa Cruz.....	30
Figura 2.18. Sucursal en San Martín de Nicoya.....	30
Figura 2.19. Sucursal en Nicoya.....	30
Figura 2.20. Sucursal en Hojancha.....	31
Figura 2.21. Sucursal en Carmona.....	31
Figura 2.22. Sucursal en Jicaral.....	31
Figura 2.23. Sucursal en Paquera.....	31
Figura 2.24. Central Hidroeléctrica Canalete.....	32

Figura 2.25. Embalse de la Central Hidroeléctrica Canalete.....	32
Figura 3.1. Representación del ciclo hidrológico.....	33
Figura 3.2. Representación de un sistema hidrológico tomando en cuenta entradas y salidas.....	35
Figura 3.3. Clasificación de los modelos hidrológicos.....	36
Figura 4.1. Estudios seleccionados para evaluar la viabilidad ambiental del proyecto.....	40
Figura 4.2. Componentes y variables del estudio técnico.....	41
Figura 4.3. Principales tareas técnicas obtenidas de la utilización de los softwares.....	43
Figura 4.4. Macrolocalización del proyecto en la zona de estudio.....	45
Figura 4.5. Microlocalización del proyecto en la zona de estudio.....	46
Figura 4.6. Determinación de los porcentajes de egresos detallados del proyecto.....	53
Figura 4.7. Identificación de las partes interesadas indirectas.....	54
Figura 4.8. Identificación de las partes interesadas directas.....	54
Figura 5.1. Metodología para realizar el estudio hidrológico e hidráulico en la cuenca de río Zapote.....	56
Figura 5.2. Enfoque cuantitativo del proyecto.....	57
Figura 5.3. Metodología para realizar el estudio hidrológico e hidráulico en la cuenca de río Zapote.....	61
Figura 6.1. Hietograma de precipitación de inundación para un período de retorno de 5 años.....	70
Figura 6.2. Hietograma de precipitación de inundación para un período de retorno de 10 años.....	70

Figura 6.3. Hietograma de precipitación de inundación para un período de retorno de 25 años.....	71
Figura 6.4. Curvas IDF a partir de los datos obtenidos en las estaciones meteorológicas: Canalete, Bijagua y Guayabal del ICE.....	71
Figura 6.5. Tabla con los caudales correspondientes a la cuenca de río Zapote para un período de retorno de 5 años.....	72
Figura 6.6. Tabla con los caudales correspondientes a la cuenca de río Zapote para un período de retorno de 10 años.....	73
Figura 6.7. Tabla con los caudales correspondientes a la cuenca de río Zapote para un período de retorno de 25 años.....	74

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

Este capítulo se encuentra constituido por cuatro secciones: introducción, problemática, justificación, objetivos, alcances y limitaciones.

### **1.1. Introducción**

El agua es un elemento fundamental para el desarrollo de la cuenca hidrográfica, debido a que es un insumo básico para la realización de múltiples actividades que tienen relación directa con la sociedad (Gómez, 2013). En este proyecto de investigación, se toma en cuenta la generación hidroeléctrica como una actividad de dependencia directa y evidente con el agua, ya que en ausencia de esta sería impracticable (Morales, 2016). La hidroelectricidad en América Central es la fuente más importante en la matriz eléctrica. Además de proveer y almacenar energía, las centrales hidroeléctricas pueden abastecer agua para riego, consumo humano, control de inundaciones, entre otros (Alarcón, 2019). Para que esto sea posible, se requiere indispensablemente del agua, cuya disponibilidad se encuentra condicionada por el ciclo hidrológico. Este, a su vez, se encuentra limitado por las condiciones climáticas de cada región e influye en el tipo de régimen de la cuenca (Zubieta, 2017).

En los últimos veinte años a nivel centroamericano la mayor parte de los desastres son causados por la variabilidad climática y los eventos meteorológicos extremos, como las lluvias, tormentas e inundaciones (UNISDR, 2015). De manera particular, las inundaciones presentan una afectación directa sobre la población. Por tanto, esta situación incentiva a generar nuevas propuestas para la optimización de la infraestructura existente y la futura designada para el control y aprovechamiento del recurso hídrico. Es importante que la

planeación y operación de los proyectos hidroeléctricos sean orientados a minimizar los impactos negativos en el área de influencia debido a inundaciones (Bedoya y López, 2015).

En Costa Rica la interacción de los factores geográficos locales, atmosféricos y oceánicos son los criterios principales para regionalizar climáticamente el país. Por tanto, el clima tropical es modificado por diferentes factores como el relieve (la disposición de las montañas, llanuras y mesetas), la situación con respecto al continente (condición ístmica), la influencia oceánica (los vientos o las brisas marinas, la temperatura de las corrientes marinas) y la circulación general de la atmósfera (Vallejos *et al.*, 2012). Esto provoca una significativa vulnerabilidad ante los fenómenos atmosféricos y un impacto sustancial en la dinámica socioeconómica del país (Campos y Quesada, 2017).

La cuenca de Río Zapote presenta entre sus principales factores la variabilidad climática y los eventos meteorológicos extremos, estos a futuro pueden dificultar el desarrollo sostenible del recurso hídrico (MAG, 2020). Es fundamental no separar la variabilidad climática de la influencia de las actividades antropogénicas, ya que las inundaciones se caracterizan por encontrarse sujetas a las variaciones de la naturaleza y estar influenciadas por las modificaciones en el ambiente producido por las actividades realizadas por el ser humano (Bereciartua, 2008).

El escenario de riesgo ante amenazas meteorológicas extremas en la cuenca ha iniciado a activarse en los distritos (Dos Ríos, Bijagua, Aguas Claras y Upala) diagnosticados como vulnerables a través del tiempo (Brenes, 2017). En general, las personas en cifras porcentuales que se encuentran en riesgo alto de ser impactadas significativamente por eventos lluviosos extremos habitan el 28% en Upala, el 25% en Aguas Claras, el 22% en

Bijagua y 25% en Dos Ríos (IMN, 2008). Por ello, ante el impacto anual de ciclones tropicales y lluvias focalizadas, el riesgo aumenta en las zonas vulnerables.

Existen vacíos importantes en la implementación de instrumentos reguladores para garantizar la protección futura del recurso hídrico. De manera puntual esta investigación enfoca su relación con las plantas hidroeléctricas, las cuales, debido a su operación, presentan una condición de dependencia a la meteorología de la región, por tanto, son mucho más sensibles a la variabilidad climática, es decir, cualquier variación podría generar una alteración en la respuesta hídrica de la cuenca hidrográfica. Sin embargo, existe una carencia de antecedentes y estudios hidráulicos e hidrológicos (Sandoval y Aguilera, 2014).

Es esencial realizar un estudio hidrológico e hidráulico para evaluar el impacto de amenazas hidrometeorológicas extremas como herramienta para desarrollar proyectos futuros dentro de la cuenca hidrográfica. Debido a que la amenaza de inundaciones tiende a crecer en el futuro y la posibilidad de la variabilidad climática modifica los escenarios futuros aumentando de manera significativa tanto la amplitud como la frecuencia de los eventos de inundaciones (Bereciartua, 2008).

## **1.2. Problemática**

El Pacífico Norte y parte norte de Costa Rica, específicamente los cantones de La Cruz, Hojancha, Liberia Carillo, Cañas, Santa Cruz, Guatuso, Los Chiles, y Upala presentan un aumento de eventos meteorológicos extremos. Para los próximos años en estos cantones se espera un aumento en la intensidad de tres agentes erosivos: temperatura, lluvia y viento. En esta zona del país se localizan las cuencas más degradadas y el recurso suelo es lavado por el drenaje natural durante las lluvias extremas (Barrantes *et al.*, 2021). Por tanto, son

zonas con atención prioritaria, no solo por el deterioro de la fertilidad del suelo, sino por la disminución de capacidad de recarga de acuíferos por el clima extremo y la expansión urbanística y turística desorganizada (PNUD, 2020).

La cuenca de Río Zapote es parte de las cuencas identificadas con presencia de amenazas hidrometeorológicas. Los eventos meteorológicos extremos ocurridos en la cuenca que más se producen son las inundaciones relacionadas a la meteorología y dinámica fluvial, tomando en cuenta que el origen general son las precipitaciones intensas, las que se manifiestan como inundaciones directas asociadas a un periodo de recurrencia que se puede cuantificar (Gómez, 2013). A raíz del Huracán Otto (2016) y Tormenta Tropical Nate (2017), en los últimos años se han experimentado considerables perturbaciones asociadas a los procesos ambientales y socioeconómicos (Barrantes *et al.*, 2021).

La cuenca posee una red fluvial bien definida que se considera el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas, la red de drenaje está compuesta principalmente por los ríos: Zapote, Caño Negro, Rito, Pizote, Las Haciendas y Chimurria (IMN, 2011). De los ríos antes mencionados, algunos han disminuido el período de recurrencia ante inundaciones. Esto se debe a las siguientes causas: (1) ocupación de las planicies de inundación, (2) desarrollo urbano en forma desordenada y sin ninguna planificación, (3) vertido de desechos sólidos a los cauces, trayendo como consecuencia la reducción de la capacidad de la sección hidráulica, y provocando el desbordamiento de ríos y quebradas. Esta situación ha sido generada por los serios problemas de construcción de viviendas cercanas a los ríos y (4) deforestación de la cuenca media y cuenca alta (CNE, 2019).

### **1.3. Justificación**

La cuenca de río Zapote se encuentra amenazada por eventos hidrometeorológicos extremos, principalmente por las inundaciones. A pesar del desarrollo de tecnologías, los trabajos para el control de inundaciones han sido poco abordados en la zona de estudio. En la mayoría de las ocasiones las soluciones para enfrentar esta amenaza nacen de manera empírica, basada en criterios técnicos faltantes de suficiente estudios hidrológicos e hidráulicos. Además de la presencia de amenazas naturales, las inundaciones se han intensificado por la intervención antropogénica. La cuenca se ha visto afectada por el desarrollo urbano en las planicies de inundación, mal manejo de las aguas servidas, negras, fluviales que fluyen de las urbanizaciones y el desarrollo urbano sin planificación (CNE, 2019).

La importancia de la implementación de los estudios hidrológicos e hidráulicos dentro del proyecto se describe a continuación: (1) construcción de obras de protección en las zonas vulnerables del río, con el propósito de disminuir las posibilidades de inundación, (2) creación de una red de estaciones hidrometeorológicas, para implementar la vigilancia de la cuenca ante una posible amenaza extrema y (3) reducir los daños antropogénicos, por medio de la fomentación de programas de educación ambiental.

Por tanto, este proyecto, busca por medio de los estudios antes mencionados optimizar la evaluación y seguimiento ante eventos meteorológicos extremos. Coopeguanacaste R.L. cuenta con la presencia de las Centrales Hidroeléctricas Bijagua y Canalete dentro de la cuenca, por medio del manejo hidroeléctrico, se puede generar información que funcione como línea base para la posterior implementación de un plan de gestión de riesgo.

## **1.4. Objetivos**

Esta sección expone el objetivo general y los objetivos específicos propuestos para el proyecto.

### **1.4.1. Objetivo general**

- Realizar un estudio hidrológico e hidráulico para evaluar el impacto de amenazas hidrometeorológicas extremas en la gestión de las Plantas Hidroeléctricas Bijagua y Canalete ubicadas en la cuenca de río Zapote, Alajuela, Costa Rica.

### **1.4.2. Objetivo específico**

1. Evaluar las condiciones hidrometeorológicas extremas ante diferentes escenarios de variabilidad climática futura en la gestión de las Plantas Hidroeléctricas Bijagua y Canalete.
2. Cuantificar la respuesta hidrológica e hidráulica generada ante las condiciones hidrometeorológicas extremas en la gestión de las Plantas Hidroeléctricas Bijagua y Canalete.
3. Implementar un estudio hidrológico adecuado para evaluar el impacto de eventos meteorológicos extremos en la gestión de las Plantas Hidroeléctricas Bijagua y Canalete.

## **1.5. Alcances y limitaciones**

Esta sección expone los alcances y limitaciones presentes en la ejecución del proyecto.

### **1.5.1. Alcances**

1. Evaluar las condiciones de vulnerabilidad socioambiental generadas por las amenazas hidrometeorológicas extremas.
2. Evaluar las estructuras de protección existentes que funcionan para controlar las inundaciones.
3. Crear una red de estaciones hidrometeorológicas para monitorear de manera diaria las condiciones de la red hidrológica perteneciente a la cuenca hidrográfica.

### **1.5.2. Limitaciones**

1. Poca información de las medidas de control de riesgos establecidas en la cuenca hidrográfica.
2. Acceso limitado a la información hidrológica e hidráulica de la cuenca hidrográfica.
3. Recolectar y procesar la información hidrológica e hidráulica.

### **1.6. Conclusión**

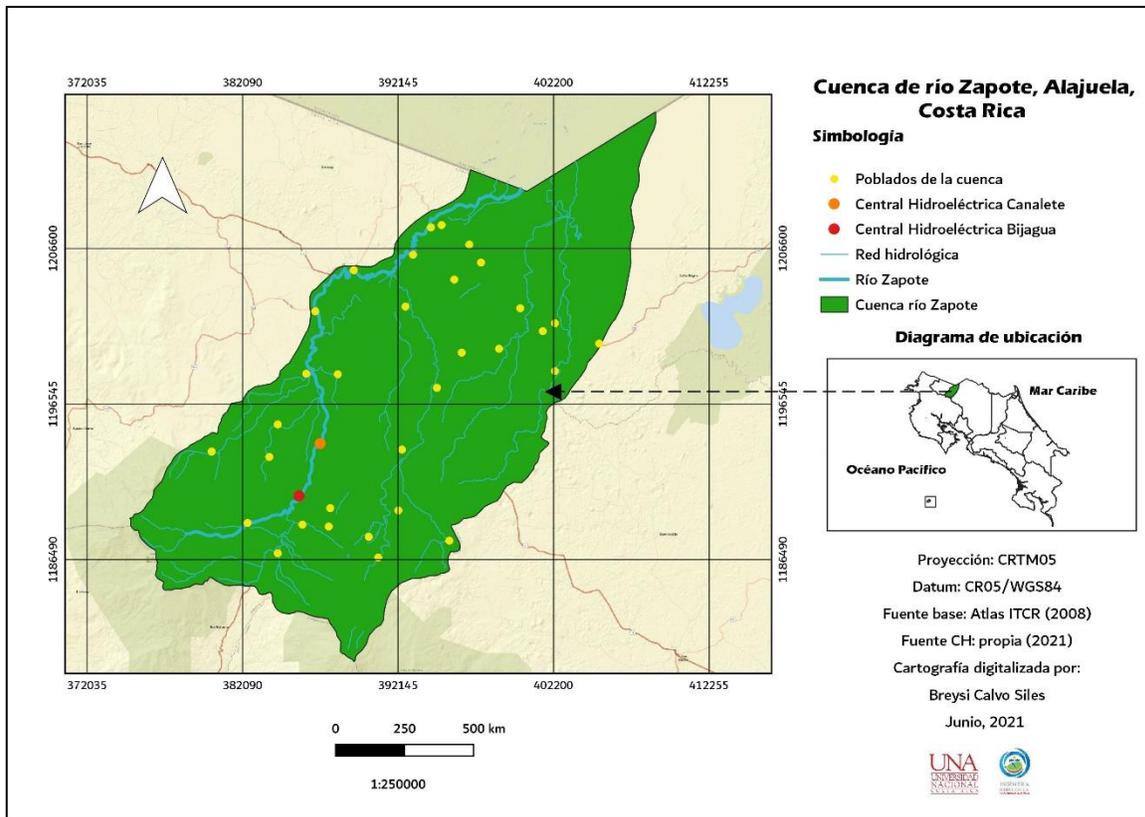
Lo descrito en este capítulo permite identificar la situación actual de la cuenca de río Zapote. Por lo tanto, se confirma la necesidad de realizar un estudio hidrológico e hidráulico con el propósito de evaluar las amenazas hidrometeorológicas extremas.

## **CAPÍTULO II. ANTECEDENTES**

Este capítulo expone las características principales que influyen en la zona de estudio. Las secciones presentes son: descripción de la zona de estudio, aspectos biofísicos de la zona de estudio, aspectos geofísicos de la zona de estudio, aspectos demográficos de la zona de estudio, aspectos socioeconómicos de la zona de estudio, antecedentes de Coopeguanacaste R.L. y las Centrales Hidroeléctricas de Coopeguanacaste R.L.

### **2.1. Descripción de la zona de estudio**

La zona de estudio es la cuenca del río Zapote (figura 2.1), provincia Alajuela, Costa Rica, dicha área se encuentra ubicada en la vertiente norte del país. Esta cuenca hidrográfica tiene un área de drenaje de 2.456,19 km<sup>2</sup> porcentualmente corresponde a un 4,80 % de la superficie nacional (MINAET, 2011).



**Figura 2.1.** Mapa de ubicación de la cuenca de río Zapote.

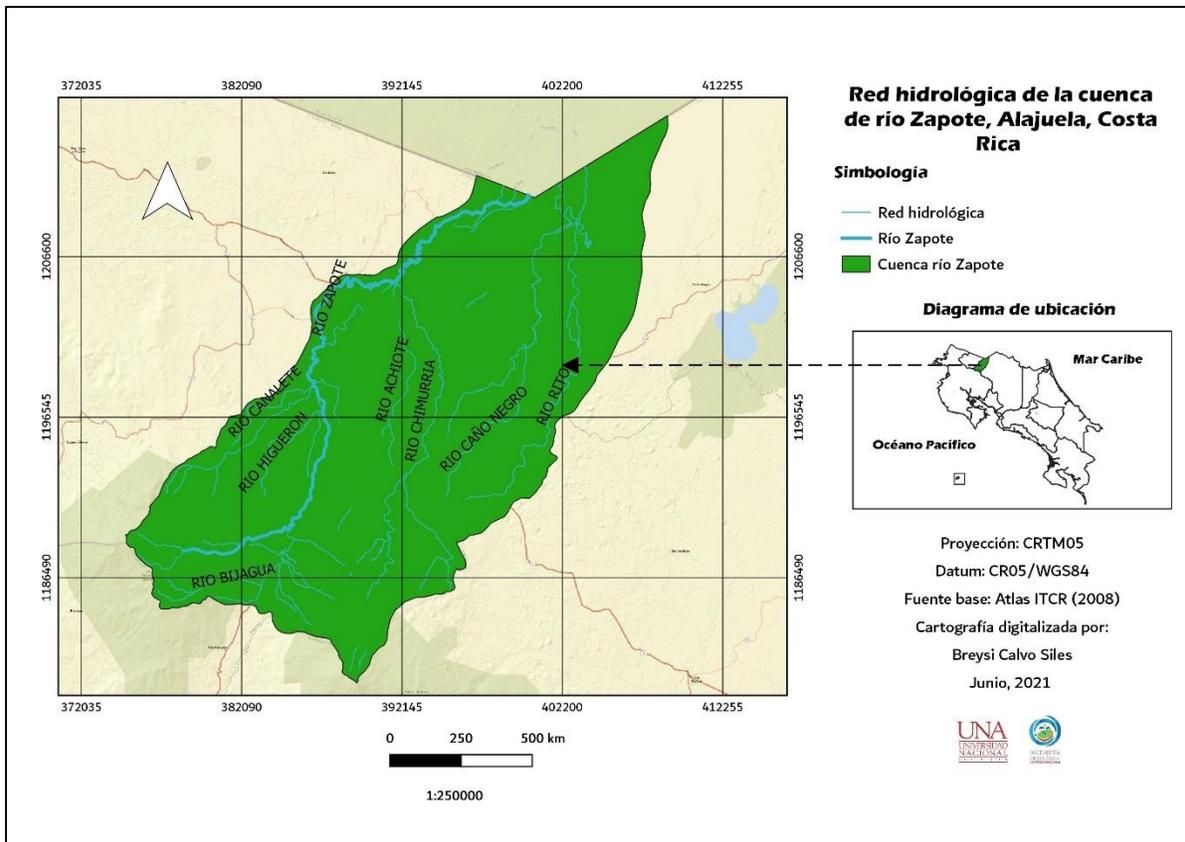
**Fuente:** propia del proyecto (2021).

## 2.2. Aspectos biofísicos de la zona de estudio

Esta sección presenta la red hidrológica que confluye el río Zapote.

### 2.2.1. Red hidrológica

El río Zapote (figura 2.2) confluye los ríos Bijagua, Oro, Higuerón, Canalete, Salto, Chimurria, Achiote, Las Haciendas, Guacalillos, Caño Negro, Rito, Cabeza de León y el caño Aguas Negras. El curso de estos ríos presenta una dirección de sur a norte y de suroeste a noreste hasta desembocar en el Lago de Nicaragua (país que limita al norte con Costa Rica) (Torre, *et al.*, 2010).



**Figura 2.2.** Mapa de la red hidrológica de la cuenca de río Zapote.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

## 2.2.2. Climatología

Esta sección presenta los siguientes aspectos: precipitación, temperatura y evapotranspiración.

### 2.2.2.1. Precipitación

La precipitación anual es de 1500 a 4000 mm. Las precipitaciones presentes en la parte alta de la cuenca aproximadamente son de 3000 a 4000 mm, en la parte media de 2000 a 3000 mm y en la parte baja de 1500 a 2000 mm (IMN, 2011). Los meses que presentan la mayoría de lluvia son julio y agosto, aportando cerca de un 14% de la precipitación promedio

anual. Los meses con presencia de menos precipitaciones acostumbran a ser de febrero a abril, con un promedio de lluvia que no pasa los 60 mm (IMN, 2011).

#### **2.2.2.2. Temperatura**

En la parte alta la temperatura media anual se encuentra entre los 22 a 24 °C, en la parte media y baja es de 24 a 26 °C, sí ocurre una apreciable oscilación aproximada de (12°C) en cualquier mes entre la temperatura máxima y la mínima del día (IMN, 2009).

#### **2.2.2.3. Evapotranspiración**

En la parte alta la evapotranspiración se marca entre los 1.100 a 1.200 mm, en la parte media de 1.000 a 1.200 mm y en la parte baja de la cuenca de 1.400 a 1.600 mm (IMN, 2011).

### **2.3. Aspectos geofísicos de la zona de estudio**

Esta sección presenta la influencia de formaciones geológicas en la zona de estudio.

#### **2.3.1. Formaciones geológicas**

La zona se encuentra en un entorno geológico propiamente volcánico. Existe gran presencia de materiales volcánicos, los cuales responden de manera directa a la influencia del Volcán Miravalles. Además, se presentan depósitos aluvionales de poco espesor generados por el arrastre y depósito del río Zapote (Torre *et al.*, 2010).

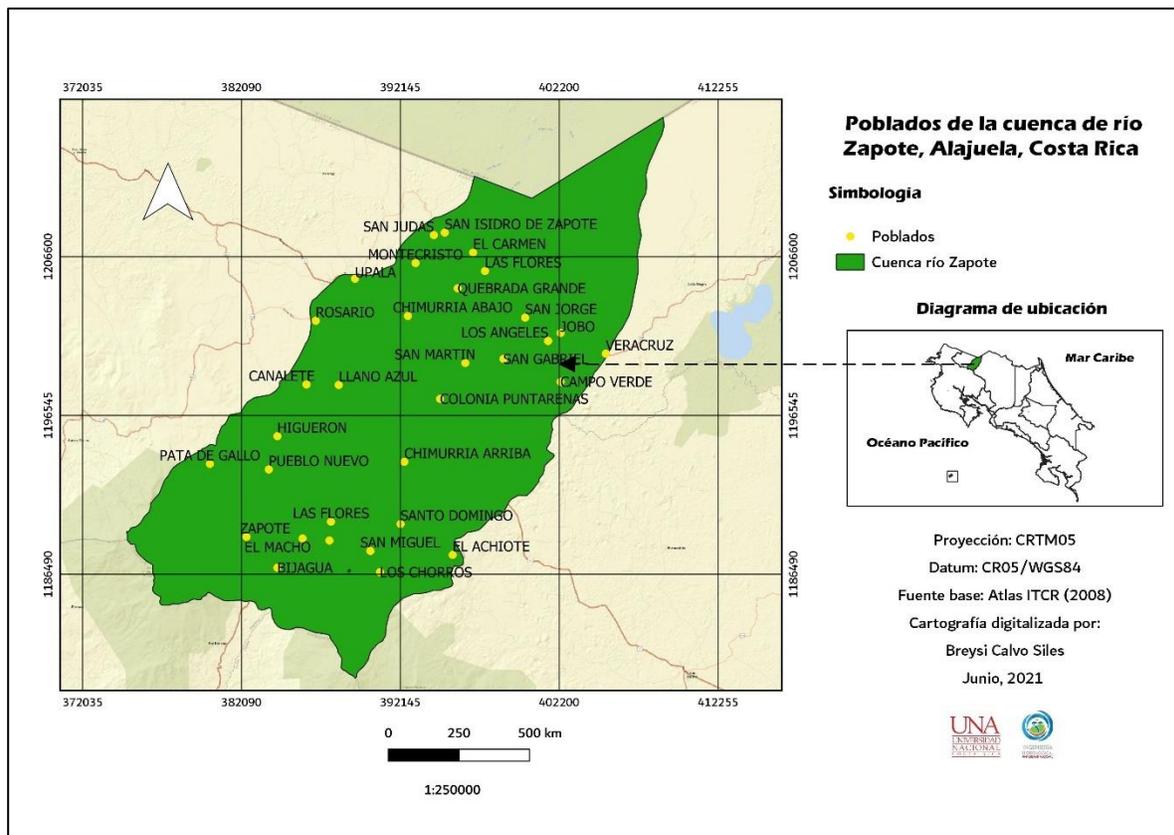
### **2.4. Aspectos de la población de la zona de estudio**

Esta sección expone la proyección poblacional para la cuenca de río Zapote.

#### **2.4.1. Población**

La proyección histórica de la población para la cuenca plasma las siguientes cifras de personas habitando en la cuenca desde el año 2000 al año 2030: 53.373 (2000), 51.917

(2010), 49.473 (2020) y 52.063 (2030) (MINAET, 2011). La población (figura 2.3) de la cuenca de río Zapote es 85, 5% predominantemente rural (figura 2.4 a figura 2.7) (Torre *et al.*, 2010).



**Figura 2.3.** Mapa de los poblados de la cuenca de río Zapote.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).



**Figura 2.4.** Salón multiuso de Upalá.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).



**Figura 2.5.** Salón comunal de Bijagua.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).



**Figura 2.6.** Escuela de Zapote.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).



**Figura 2.7.** Plaza de Bijagua.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

## **2.5. Aspectos socioeconómicos de la zona de estudio**

Esta sección expone las principales actividades socioeconómicas de la cuenca: actividades agrícolas y actividades pecuarias.

### **2.5.1. Actividades agrícolas**

La presencia de complejos agroindustriales que coexisten con pequeñas y medianas unidades de producción agrícola (figura 2.8 a figura 2.9) permiten el mercado externo (cítricos, palmito, plantas ornamentales, jengibre, madera, banano, raíces y tubérculos). Además, la diversificación económica incluye el surgimiento de actividades turísticas en donde se combina la actividad agrícola con la ecológica (Bonilla *et al.*, 2003).



**Figura 2.8.** Viveros.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).



**Figura 2.9.** Siembra de bambú.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

### 2.5.2. Actividades pecuarias

Se da la ganadería (figura 2.10 a 2.11): lechera, doble propósito, carne de cría, carne de desarrollo, cerdos de cría, cerdos de engorde y cabras (MAG, 2020).



**Figura 2.10.** Fincas ganaderas.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).



**Figura 2.11.** Establos ganaderos.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

## **2.6. Antecedentes de Coopeguanacaste R.L.**

Coopeguanacaste fue creada el 10 de enero de 1965, con la participación de 229 personas en la Sala Magna del Liceo de Santa Cruz, Clímaco A. Pérez. La creación de la cooperativa se encuentra relacionada al expresidente de Estados Unidos, John F. Kennedy, debido a que dentro de los objetivos políticos de este gobernante se encontraba promover el desarrollo de los países de Latinoamérica, mediante la creación de cooperativas de electrificación rural (Coopeguanacaste, 2021).

Actualmente, cubre un área de concesión de 3915 km<sup>2</sup> (ICE, 2019). Por medio de la gestión técnica y administrativa la cooperativa a partir del año 1968 hace posible el desarrollo eléctrico en los cantones Santa Cruz y Carrillo. Posteriormente, los cantones Nandayure, Hojancha y ciertas comunidades de la península de Nicoya: Paquera, Lepanto y Jicaral (Coopeguanacaste, 2021).

Las oficinas centrales (2.16) se localizan en Santa Cruz, Guanacaste. Además, cuenta con once sucursales dentro del área de concesión:

- Playas del Coco (figura 2.12)
- Sardinal (figura 2.13)
- Filadelfia (figura 2.14)
- Huacas (figura 2.15)
- Santa Cruz (figura 2.17)
- Nicoya (figura 2.18)
- San Martín de Nicoya (figura 2.19)
- Hojancha (figura 2.20)

- Carmona (figura 2.21)
- Jicaral (figura 2.22)
- Paquera (figura 2.23)



**Figura 2.12.** Sucursal en Playas del Coco.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.13.** Sucursal en Sardinal.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.14.** Sucursal en Filadelfia.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.15.** Sucursal en Huacas.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.16.** Oficinas Centrales en Santa Cruz.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.17.** Sucursal en Santa Cruz.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.18.** Sucursal en San Martín de Nicoya.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.19.** Sucursal en Nicoya.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.20.** Sucursal en Hojancha.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.21.** Sucursal en Carmona.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.22.** Sucursal en Jicaral.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).



**Figura 2.23.** Sucursal en Paquera.

**Fuente:** Coopeguanacaste (2021).

## 2.7. Centrales Hidroeléctricas de Coopeguanacaste R.L.

La Central Hidroeléctrica Canalete (figura 2.1) inicia su operación en el año 2008. Se localiza en las hojas cartográficas Miravalles y Upala a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional, entre las coordenadas 422 000-423 000 m FE y 306 000-209 000 FN. En el caso de la Central Hidroeléctrica Bijagua (figura 2.1) inicia su operación en el año 2016. Se ubica en la hoja cartográfica Miravalles, escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional, entre las coordenadas 420 000 – 423 000 FE y 302 000–306 000 FN. Políticamente

el área de ambos proyectos pertenece al distrito Bijagua, cantón Upala, provincia Alajuela. Ambas centrales hidroeléctricas cuentan con una capacidad instalada de 17,5 MW (Torre *et al.*, 2010).

La Central Hidroeléctrica Canalete (figura 2.24 a figura 2.25) se encuentra controlada por el flujo principal del río Zapote y la existencia de nacientes en los alrededores del área es bastante insignificante. Sin embargo, las que se encuentran presentes se ubican hacia las faldas del volcán Miravalles, cerca de la cabecera de río Zapote. En el caso de la Central Hidroeléctrica Bijagua el proyecto toma las aguas de los ríos Bijagua y Zapote (Bonilla *et al.*, 2003).



**Figura 2.24.** Central Hidroeléctrica Canalete.

**Fuente:** Propia del proyecto (2021).



**Figura 2.25.** Embalse de la Central Hidroeléctrica Canalete.

**Fuente:** Propia del proyecto (2021).

## 2.8. Conclusión

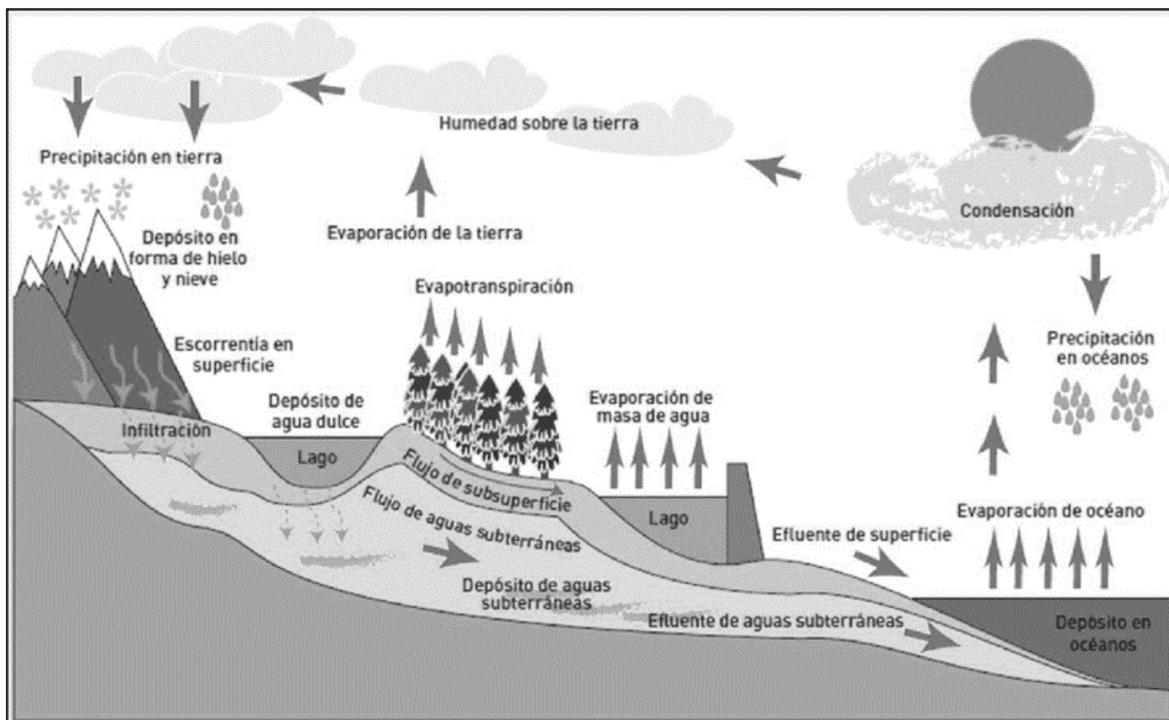
Este capítulo funciona como referencia para percibir los aspectos generales de la zona de estudio. Por tanto, facilita conocer las labores que se han realizado hasta la actualidad. Con el propósito de desarrollar los estudios hidrológicos e hidráulicos.

## CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

Este capítulo recopila y analiza los diferentes conceptos necesarios para comprender el objeto de estudio. El capítulo se compone de seis secciones: descripción del ciclo hidrológico, sistema hidrológico, clasificación de los modelos hidrológicos, descripción del modelo de balance hídrico mensual, Cooperativas de Electrificación Rural en Costa Rica y centrales hidroeléctricas.

### 3.1. Descripción del ciclo hidrológico

La definición de ciclo hidrológico se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua entre la biosfera, atmósfera, litosfera e hidrosfera en sus diferentes estados (líquido, sólido y gaseoso) (Ordoñez, 2011). La figura 3.1 describe de manera gráfica los componentes principales del ciclo hidrológico.



**Figura 3.1.** Representación del ciclo hidrológico.

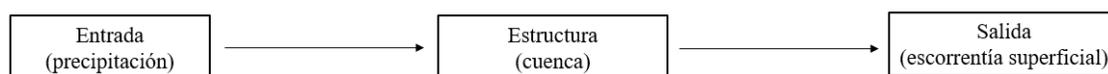
**Fuente:** Andino (2019).

El ciclo hidrológico inicia sus fases con la evaporación del agua en los océanos, el vapor de agua resultante es transportado por el viento hacia los continentes. Bajo condiciones meteorológicas moderadas el vapor de agua se condensa para formar las nubes, estas dan origen a las precipitaciones. No toda la cantidad de precipitación es recibida en el terreno, debido a que una parte se evapora durante la caída y otra es retenida (intercepción) por la vegetación, edificios, carreteras, entre otros. La parte de agua que llega al terreno circula sobre la superficie para desembocar en los ríos, lagos, embalses o mares (escurrimiento superficial). Existe una tercera parte de la precipitación que penetra bajo la superficie del terreno (infiltración) encargada de rellenar los poros y fisuras del medio poroso. En el caso de que el agua infiltrada sea abundante, una parte desciende hasta recargar el agua subterránea, mientras el volumen infiltrado sea escaso el agua queda interceptada en la zona no saturada (humedad del suelo), donde vuelve a la atmósfera por evaporación desde el estrato de suelo o transpiración de la vegetación (evapotranspiración) (Campos, 1998).

### **3.2. Sistema hidrológico**

El ciclo hidrológico puede manejarse como un sistema. Sus componentes son las diferentes fases del ciclo hidrológico comentadas anteriormente. Estos componentes pueden agruparse en subsistemas del ciclo total y analizarse por separado para combinar los resultados de acuerdo a las interacciones entre ellos (Cabrera, 2017). El sistema hidrológico se determina como una estructura o volumen en el espacio, rodeado de una frontera, que acepta agua y otras entradas, opera en ellas de forma intermitente y produce salidas (Chow *et al.*, 1994). La figura 3.2 describe un sistema hidrológico mostrando entradas y salidas.

Según Somarriba (2003), para un punto definido en el cauce del río, la cuenca es la superficie de tierra circunscrita dentro de la división topográfica de las aguas superficiales que recolecta toda precipitación y la drena por dicho punto en el río. La frontera del sistema se define del borde de la cuenca, proyectándolo hacia arriba y hacia abajo. La principal entrada del sistema es la lluvia. La principal salida de la cuenca es la escorrentía superficial donde el río llega al borde de la cuenca.



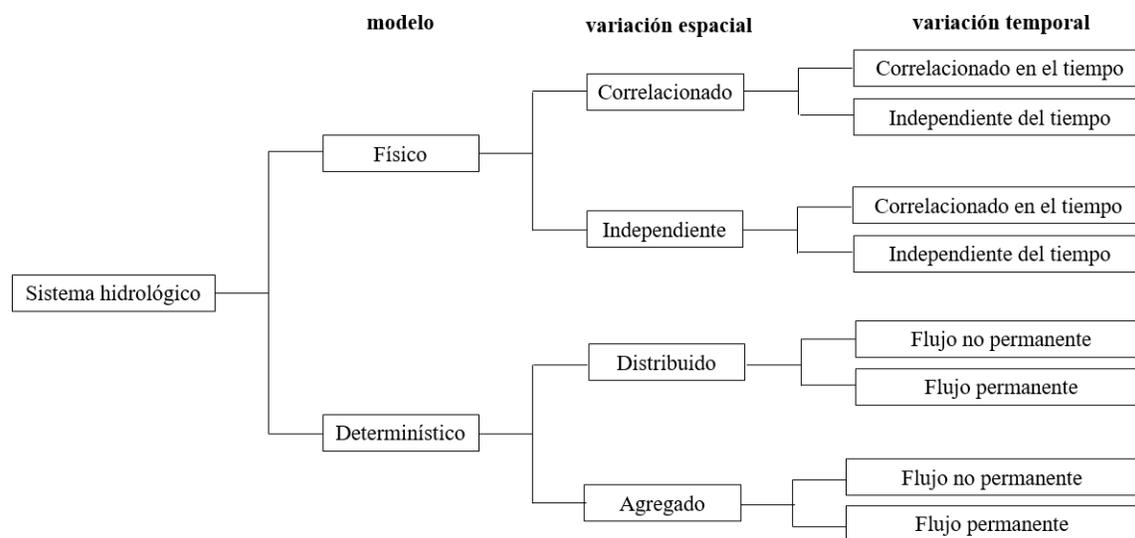
**Figura 3.2.** Representación de un sistema hidrológico tomando en cuenta entradas y salidas.

**Fuente:** Adaptado del sistema hidrológico propuesto por Chow *et al* (1994)

### 3.3. Clasificación de los modelos hidrológicos

Las series de tiempo hidrológicas al encontrarse asociadas a diversas variables (caudales, temperatura, precipitación, entre otros) presentan comportamientos que deben ser tomados en cuenta para realizar una adecuada modelación (Morales, 2016). Las variables se caracterizan por ser no lineales (variaciones en espacio y tiempo), por ser no estacionarias (sujetas a periodicidad y tendencia), variables en el espacio (según las características del uso del suelo y del clima en las partes de la cuenca) y variables en el tiempo (escala diaria, semanal, mensual y anual) (Cabrera, 2017). Actualmente, los modelos existentes para realizar simulaciones de series de tiempo hidrológicas, se clasifican en dos tipos, tomando en cuenta la clase de modelación que realizan, los modelos son: determinísticos y físicos (Morales, 2016).

Los dos tipos de modelos antes mencionados presentan diferentes características de rendimiento que indican la eficiencia de estos, con el propósito de generar información para realizar los debidos ajustes durante el proceso de calibración y evaluar su desempeño en la fase de validación (Palacios, 2004). La figura 3.3 muestra la clasificación de los modelos.



**Figura 3.3.** Clasificación de los modelos hidrológicos.

**Fuente:** Adaptado de la clasificación de modelos hidrológicos propuesta por Chow *et al* (1994).

En el presente proyecto de investigación se desarrolla un modelo de tipo determinístico, el funcionamiento del sistema se expresa mediante ecuaciones matemáticas que relacionan las variables de entrada y salida. Tomando en consideración que el modelo es determinístico, agregado y con flujo permanente a escala mensual, no se toma en cuenta la aleatoriedad (una entrada produce una misma salida), no se toma en cuenta la variación espacial y el sistema es promediado en el espacio y las entradas de precipitación y las salidas de evapotranspiración y escorrentía son consideradas a escala mensual (Somarriba, 2003).

### 3.4. Descripción del modelo de balance hídrico mensual

Los balances hídricos adquieren importancia al establecer la definición de evapotranspiración potencial para una zona específica. El modelo mensual se centraliza en el cálculo minucioso, mes a mes, de las entradas de agua al sistema (lluvias), pérdidas ocasionadas por evaporación y transpiración de la vegetación, agua retenida en el perfil edáfico y agua percolada a drenaje profundo, permitiendo ejecutar balances hídricos para un área determinada a lo largo de un año meteorológico (Blanco *et al.*, 2011). La tabla 3.1 presenta las principales variables del ciclo hidrológico presentes en el modelo.

**Tabla 3.1.** Principales variables del ciclo hidrológico presentes en el modelo de balance hídrico mensual.

<b>Variables</b>	<b>Abreviatura</b>
Precipitación	P
Evapotranspiración potencial	ETP
Evapotranspiración real	ETR
Pérdida potencial acumulado de agua	PPAA
Capacidad de almacenaje del agua del suelo	CAA
Humedad del suelo	HS
Capacidad de campo	CC
Excedente de agua infiltrada	EXD
Déficit de agua	DEF
Agua disponible	AD
Agua retenida	RET

K, c1, c2	Factores de calibración
Flujo base	FB
Tiempo en meses	i

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

### 3.5. Cooperativas de Electrificación Rural en Costa Rica

Las Cooperativas de Electrificación Rural en el territorio nacional iniciaron su fundación en el año 1965 y concluyeron en el año 1972, con el objetivo de eliminar las limitaciones a nivel de electrificación en las zonas rurales del país para optimizar el crecimiento económico y social. Actualmente, existen cuatro cooperativas: Cooperativa de Electrificación Rural de Guanacaste (COOPEGUANACASTE R.L.) (1965), Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos (COOPELESCA R.L.) (1965), Cooperativa de Electrificación Rural de los Santos (COOPESANTOS R.L.) (1965) y Cooperativa de Electrificación Rural de Alfaro Ruíz (COOPEALFARORUIZ R.L.) (1972) (CONELECTRICAS, 2016).

Dichas cooperativas en el año 1989 crearon una nueva cooperativa bajo el nombre de Consorcio Nacional de Empresas de Electrificación de Costa Rica R.L. (CONELECTRICAS R.L.), con el propósito de unificar: producción de energía, transferencia de tecnología, representación y defensa conjunta, adquisición de bienes y servicios de forma conjunta (CONELECTRICAS, 2016).

### 3.6. Centrales Hidroeléctricas

Según Fernández y Robles (2017), una central hidroeléctrica puede definirse como instalaciones mediante las que se consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada a una cierta altura, transformándola en energía eléctrica. Esto se logra

conduciendo el agua desde el nivel en el que se encuentra, hasta un nivel inferior en el que se sitúan una o varias turbinas hidráulicas que son accionadas por el agua y que a su vez hacen girar uno o varios generadores produciendo energía eléctrica.

### **3.7. Conclusiones**

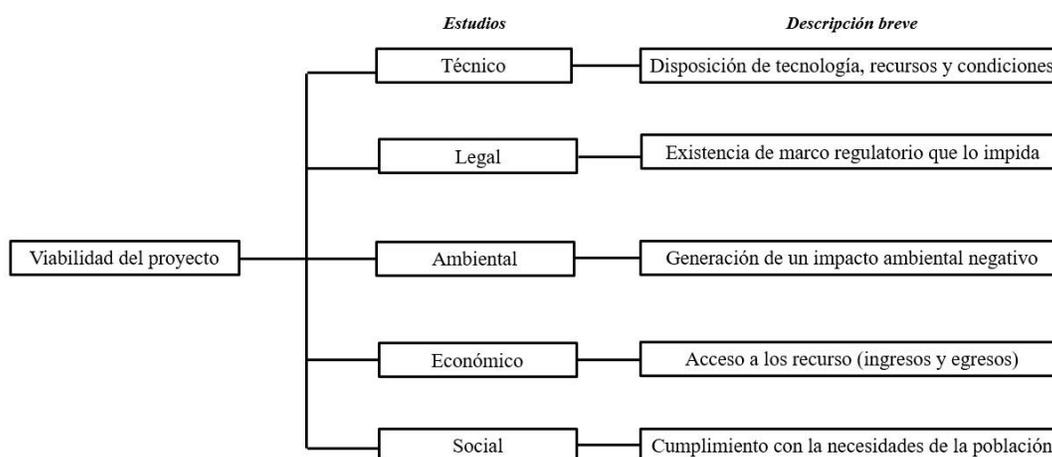
Utilizar el modelo determinístico basado en las diversas interacciones de las variables hidrológicas dentro de la cuenca, genera resultados vigorosos, principalmente en la cuenca de Río Zapote, debido a que es una cuenca sin registros de información ante las respuestas hidrometeorológicas locales.

## **CAPÍTULO IV. ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD**

Según Sapag *et al* (2014), en la prefactibilidad se profundiza la investigación, principalmente en información de fuentes secundarias para definir, con cierta aproximación, las variables principales relativas al mercado, a las alternativas técnicas de producción y a la capacidad financiera de los inversionistas, entre otras. En términos generales, se estiman las inversiones probables, los costos de operación y los ingresos que demandará y generará el proyecto.

De manera global cada proyecto de inversión es diferente, por tanto, es necesario la preparación y evaluación individual de cada proyecto a realizar. Los estudios de viabilidad se enmarcan en una rutina metodológica, que generalmente se adapta casi a la totalidad de proyectos. Los estudios recomendados para la evaluación de viabilidad del proyecto se dividen en nueve: técnico, legal, ambiental, económico, social, comercial, organizacional, vial y ético (Sapag *et al.*, 2014).

Para realizar la evaluación del presente proyecto se escogieron y analizaron cinco de los nueve estudios propuestos por Sapag *et al* (2014). La exclusión de los demás estudios se determinó tomando en cuenta las características del proyecto que se está evaluando. Los estudios seleccionados se explican de forma breve en la figura 4.1.

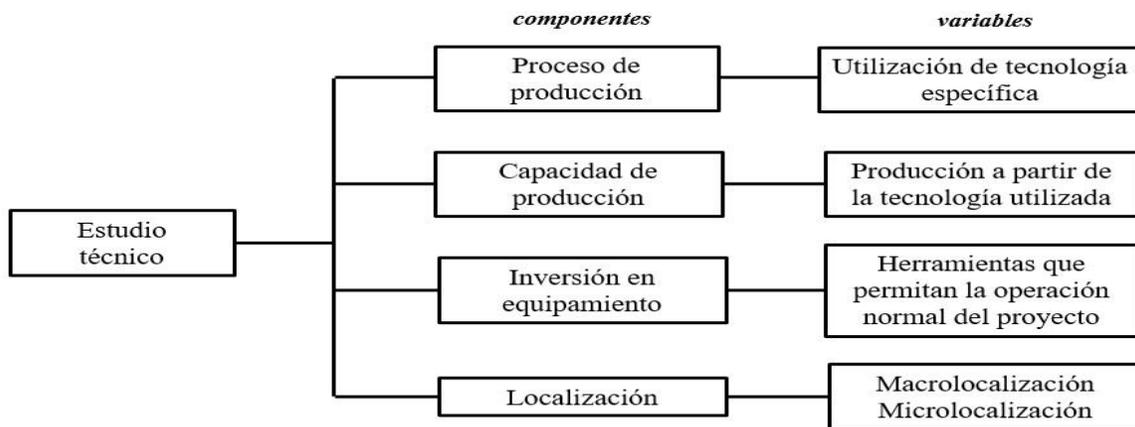


**Figura 4.1.** Estudios seleccionados para evaluar la viabilidad ambiental del proyecto.

**Fuente:** Adaptado de Sapag *et al* (2014).

#### 4.1. Estudio técnico

El estudio técnico permite determinar los requerimientos de las diferentes tecnologías para originar los servicios que se requieren y el costo de operación perteneciente a cada una de ellas. El análisis de las características y especificaciones técnicas de las máquinas precisará su disposición en planta, esta permitirá dimensionar las necesidades de espacio físico para que el desarrollo de las operaciones se efectuó de forma normal, considerando las normas y principios de la administración de la producción (Sapag *et al.*, 2014). En la figura 4.2 se detallan los componentes y variables que integran un estudio técnico según Sapag *et al* (2014).



**Figura 4.2.** Componentes y variables del estudio técnico.

**Fuente:** Adaptado de Sapag *et al* (2014).

#### 4.1.1. Proceso de producción

Para realizar el estudio hidrológico e hidráulico para evaluar el impacto de amenazas hidrometeorológicas extremas en la gestión de las Plantas Hidroeléctricas Bijagua y Canalete ubicadas en la cuenca de río Zapote, es necesario utilizar los softwares: Microsoft Excel, Kobotoolbox, HEC-RAS y QGIS. Seguidamente se detalla la explicación de los resultados que se obtiene mediante la utilización de cada uno de los softwares antes mencionados.

##### 4.1.1.1. Microsoft Excel

Esta herramienta permite desarrollar análisis estadísticos y técnicos complejos para facilitar el tratamiento de datos, agilizar la obtención de resultados, con el propósito de obtener una mejor precisión de los mismos. En relación con esto, este programa de Microsoft Office permite el desarrollo de investigaciones en las que se involucran la realización de cálculos (Pérez, 2006).

#### **4.1.1.2. Kobotoolbox**

Es un software gratuito y de código abierto utilizado para investigaciones profesionales. Esta herramienta permite la recolección de datos con referencia geográfica, tomar fotografías, recopilar datos en línea y sin conexión, sincronización inmediata o retardada, recolectar en dispositivos móviles, diseñar formularios propios de acuerdo a la información que se deseada obtener e importar y exportar datos (Orellana, 2019).

#### **4.1.1.3. HEC-RAS**

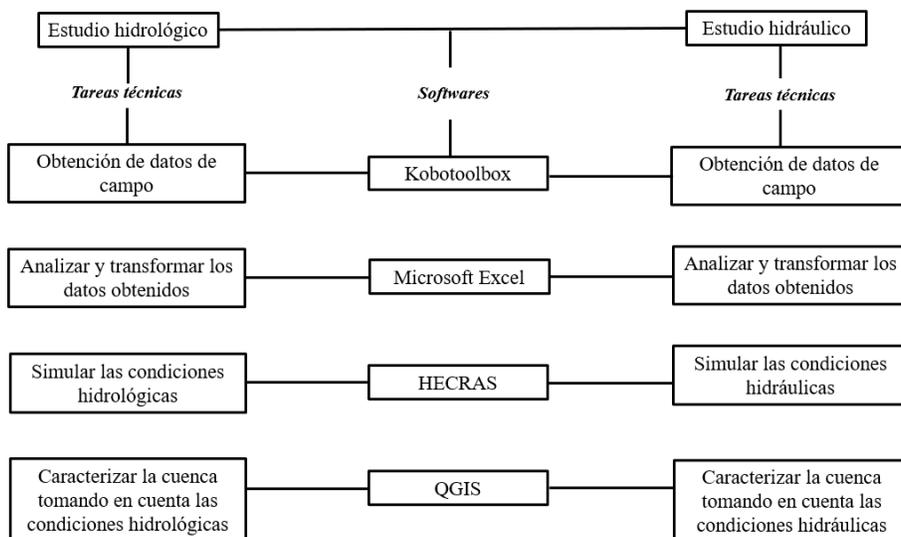
Este modelo de base física permite conceptualizar la cuenca mediante parámetros hidrológicos (escorrentía, caudal, almacenamiento de agua superficial, intercepción e hidrograma). En tal sentido, se pueden explicar los procesos que generan flujo al ingreso y salida de la cuenca (Valencia y Zambrano, 2017).

#### **4.1.1.4. QGIS**

Este software se desempeña en la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Presenta un conjunto de aplicaciones con las que se pueden crear mapas de ubicación, consultar datos geoespaciales, crear modelos de elevación digital y usar servicios geoespaciales (Novara, 2011).

### **4.1.2. Capacidad de producción**

Los softwares antes mencionados permiten resolver todo lo concerniente a las principales tareas técnicas. La figura 4.3 muestra una distribución de las tareas fundamentales que se pueden conseguir utilizando estos softwares como herramientas de investigación para el estudio hidrológico e hidráulico.



**Figura 4.3.** Principales tareas técnicas obtenidas de la utilización de los softwares.

**Fuente:** elaboración propia (2021).

#### 4.1.3. Inversión en equipamiento

Para el estudio hidrológico e hidráulico se toma en cuenta los recursos digitales y equipos tecnológicos necesarios para llevar a cabo la ejecución normal del proyecto. La tabla 4.1. muestra los recursos digitales requeridos y la tabla 4.2. presenta los equipos tecnológicos requeridos.

**Tabla 4.1.** Recursos digitales requeridos.

<b>Rubro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
<i>Datos hidrometeorológicos</i>	<b>Global</b>	
Datos climatológicos	Unidad	1080
Datos hidrológicos	Unidad	1600

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

**Tabla 4.2.** Equipos tecnológicos requeridos.

<b>Rubro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
<i>Implementos</i>	<b>Global</b>	
Molinete	Unidad	1
Cinta métrica	Unidad	1
Martillo	Global	1
Clavos de acero	kg	1
Cuerda	Unidad	1
Tablet	Unidad	1
Computadora	Unidad	1
Otros	Global	1

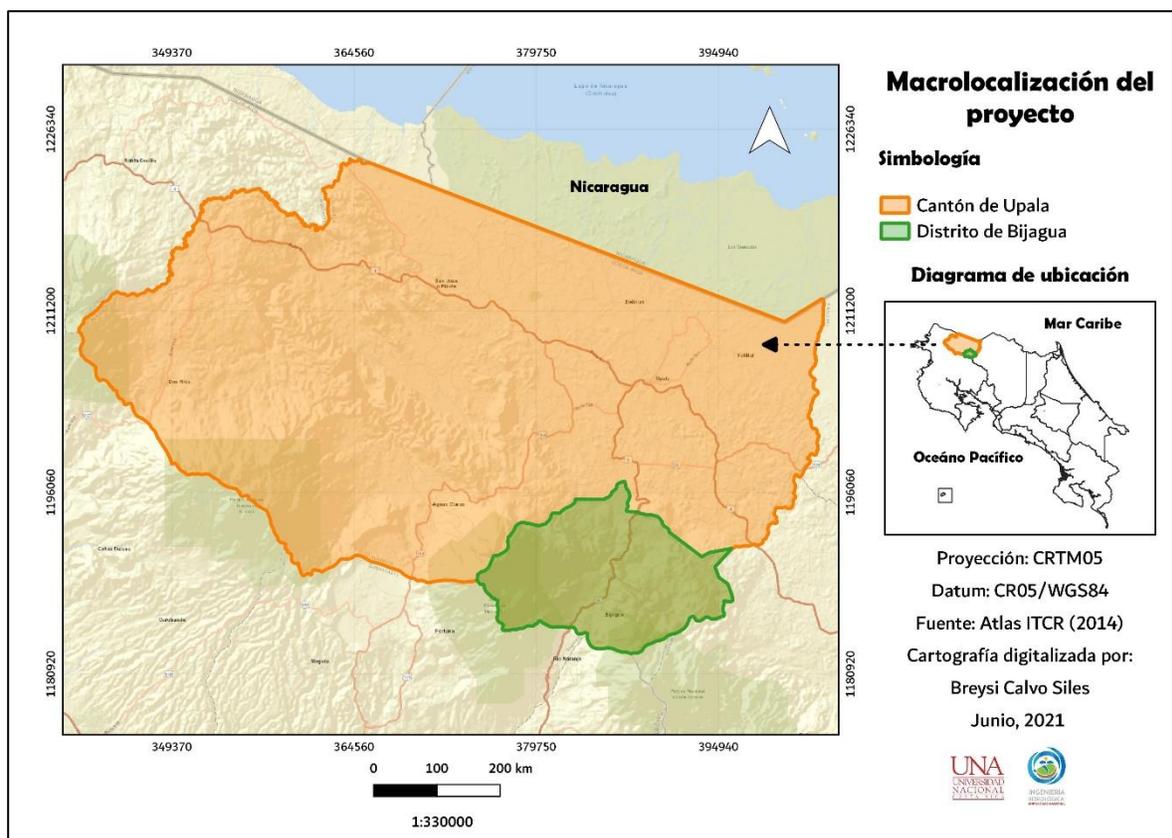
**Fuente:** propia del proyecto (2021).

#### **4.1.4. Localización**

La localización óptima del proyecto de investigación se encuentra dividido en dos aspectos la macrolocalización (ubicación, fuentes primarias y mano de obra del proyecto) y la microlocalización (cercanía de los beneficiados, infraestructura y servicios del proyecto) (Baca, 2010). Tomando en cuenta lo anterior la localización del proyecto es la cuenca de río Zapote, ubicada en la provincia Alajuela, Costa Rica (figura 2.1.)

#### 4.1.4.1. Macrolocalización

La macrolocalización del proyecto se ubica en la provincia Alajuela, cantón Upala, distrito Bijagua. La distribución territorial de la macrolocalización se representa en la figura 4.4.

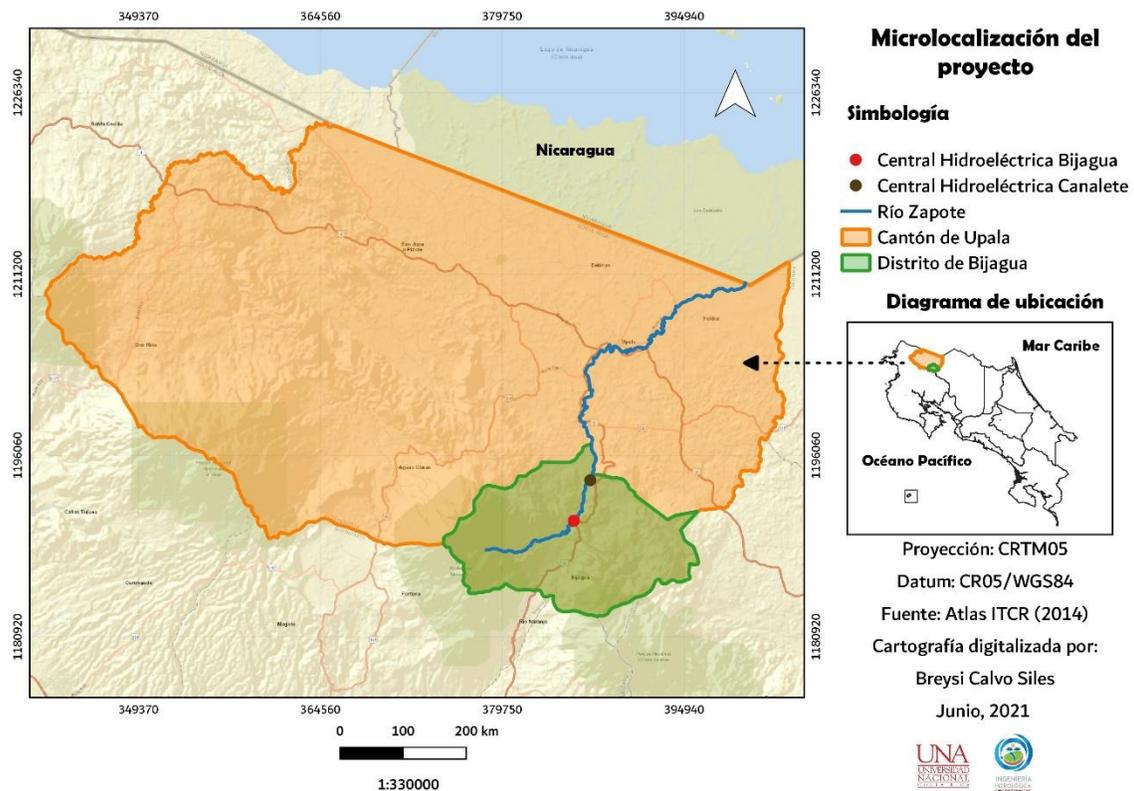


**Figura 4.4.** Macrolocalización del proyecto en la zona de estudio.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

#### 4.1.4.2. Microlocalización

La microlocalización del proyecto se ubica en las Centrales Hidroeléctricas Bijagua y Canalete. Se toman estos dos puntos como estratégicos dentro de la cuenca para analizar de forma hidrológica e hidráulica el comportamiento de una sección del río Zapote. La distribución territorial de la microlocalización se representa en la figura 4.5.



**Figura 4.5.** Microlocalización del proyecto en la zona de estudio.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

#### 4.2. Estudio legal

El estudio legal es de suma importancia tomando en cuenta las relaciones externas al proyecto como la institucionalidad y organismos fiscalizadores. Estos aspectos se rigen por medio de un marco regulatorio evitando que se generen costos adicionales al proyecto (Sapag

*et al.*, 2014). Costa Rica cuenta con un amplio marco legal en el área ambiental. Por tanto, se deben aplicar los controles necesarios y velar por el cumplimiento de las respectivas estipulaciones establecidas (Mauri y González, 2010).

El orden de la estructura jerárquica se basa en la pirámide de Hans Kelsen, donde los escalones legales se distribuyen en el siguiente orden: (1) Constitución Política, (2) Tratados o convenios internacionales. (3) Ley o actos con valor de ley, (4) Decretos, (5) Reglamentos del poder ejecutivo y estatus institucionales y (6) Normas sujetas a los anteriores reglamentos. Para estudiar el marco legal de este proyecto se realiza una recopilación, sistematización y ordenamiento de la normativa vigente en el territorio nacional. El marco legal del proyecto se expone en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3.** Marco legal correspondiente al proyecto.

<b>Normativa</b>	<b>Relación con el proyecto</b>	<b>Artículo</b>	<b>Inciso</b>	<b>Descripción breve</b>
Constitución Política de la República de Costa Rica	Derecho ciudadano	50	-	Establece que toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado
Ley de Aguas N° 276	Desarrollo hidroeléctrico	46	-	Concesiones para el aprovechamiento de aguas públicas para el desarrollo de fuerzas hidráulicas e

				hidroeléctricas para servicios públicos y particulares
	Obras de defensa ante inundaciones	89	-	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 Biodiversidad N° 7788	Daños ambientales	45	-	El Estado tiene la obligación de prevenir, mitigar o restaurar los daños ambientales que amenacen la vida o deterioren su calidad
Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488	Gestión de riesgos	14	-	La CNE será la entidad rectora en lo que se refiera a la prevención de riesgos y a los preparativos para atender situaciones de emergencia
		25	-	Es responsabilidad del Estado costarricense prevenir los

				<p>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.</p>
Ley Orgánica del Ambiente N° 7554	Conservación y uso sostenible del agua	51	a	Proteger, conservar y, en lo posible, recuperar los ecosistemas acuáticos y los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico
			c	Mantener el equilibrio del sistema agua, protegiendo cada uno de los componentes de las cuencas hidrográficas
Ley de Planificación Urbana	Ordenamiento territorial	25	-	Figuran como zonas especiales, las que soporten alguna reserva en cuanto a su uso y desarrollo,

				como en el caso de las áreas demarcadas como inundables
Resolución Plenaria N° 1462-2018 - SETENA	Evaluación de Impacto Ambiental	5	-	Los estudios hidrológicos e hidráulicos son proyectos que no requieren de una Evaluación de Impacto Ambiental

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

Tomando en consideración la información anterior fundamentada en el marco legal correspondiente al proyecto, se confirma el cumplimiento de la factibilidad legal. Debido a que no se presenta ninguna estructura regulatoria que impida la ejecución del proyecto.

#### **4.3. Estudio ambiental**

La importancia del estudio ambiental de un proyecto recae en la posibilidad de anticipar eventuales costos futuros que se puedan obtener de variables ambientales en evolución. Ejemplos de estas variables son: pertenencia de la empresa a un sector industrial con una mala imagen en el ámbito ambiental, la mejor localización económica en un sector de creciente valor ambiental y la pertenencia a un sector industrial en el que los consumidores realizan mayores exigencias ambientales (Sapag *et al*, 2014).

Para realizar el estudio ambiental del proyecto se toma como base lo establecido en la Resolución Plenaria N° 1462-2018 - SETENA (tabla 4.3). En esta se estipula que las actividades de muy bajo impacto ambiental potencial son las actividades humanas que, por su naturaleza no provocan alteración negativa del ambiente y que no representan una desmejora de la calidad ambiental del entorno en general o de alguno de sus componentes,

ni afectación a la salud de la población, debido a que las emisiones atmosféricas, vertidos de aguas residuales, manejo de residuos ordinarios y especiales y ruido se ajustan a las disposiciones establecidas en la regulación vigente. Además, no se utilizan productos peligrosos y no generan residuos de este tipo (SETENA, 2018).

Además, se toma en cuenta la Ley Orgánica del Ambiente N° 7554 (tabla 4.3), donde se recalca la conservación y uso sostenible del ciclo hidrológico dentro de la cuenca hidrográfica. De manera particular este proyecto se enfoca en la gestión de las plantas hidroeléctricas, las cuales, debido a su operación, presentan una condición de sensibilidad a la variabilidad hidrológica, es decir, cualquier variación podría generar una alteración en la respuesta hídrica de la cuenca hidrográfica (Gómez, 2013). Por ello, es de gran utilidad estudiar el comportamiento de los regímenes de caudales ante las variaciones de sus principales componentes (precipitación, evapotranspiración, temperatura, escorrentía, entre otros) (Dávila, 2017).

Por tanto, considerando la información anterior, se asegura la sostenibilidad ambiental de la población beneficiada. Es decir, se cumple con la factibilidad ambiental del proyecto.

#### **4.4. Estudio Económico**

El análisis económico busca determinar el costo total de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto. El costo total se refiere a la operación del proyecto abarcando las funciones de producción, administración y resultado. De la misma manera todos aquellos indicadores que funcionen como base para operación definitiva del proyecto, es decir, la evaluación económica (Montalván, 2004). En esta etapa se ordena y sistematiza

la información de carácter monetario que se proporcionan en los demás estudios de viabilidad del proyecto tomando en cuenta los ingresos y egresos (Sapag et al, 2014).

#### 4.1.1. Egresos

Son todos aquellos conceptos que se registran como las salidas de dinero del proyecto (Burbano, 2008). La tabla 4.4 detalla los egresos contemplados para realizar los estudios hidrológicos e hidráulicos del proyecto.

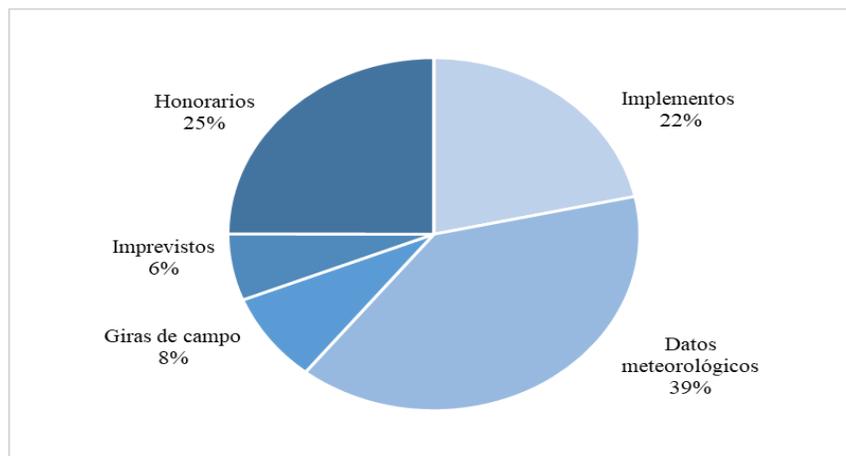
**Tabla 4.4.** Determinación de los egresos detallados del proyecto.

<b>Egresos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Subtotal</b>	<b>Observaciones</b>
<i>Directos</i>					
Implementos	Global	1	¢2.358.235	¢2.358.235	Molinete, cinta métrica, martillo, clavos de acero, cuerda, Tablet, computadora, otros
Datos hidrometeorológicos	Global	1	¢4.280.000	¢4.280.000	Datos climatológicos y datos hidrológicos
<i>Indirectos</i>					
Giras de campo	Global	20	¢44.905	¢898.095	Desayuno, almuerzo, cena, kilometraje, hospedaje, otros
<i>Otros</i>					
Imprevistos	%	10	¢6.683.140	¢668.314	Un porcentaje de los costos directos más los costos indirectos
Impuestos	%	13	¢0		Cada egreso incluye su respectivo I.V. A

Honorarios	Meses	8	₡341.292	₡2.730.336
			<b>Total</b>	<b>₡10.934.980</b>

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

La figura 4.5 muestra los porcentajes de egresos obtenidos según los costos directos e indirectos del proyecto. Los datos hidrometeorológicos representan el mayor egreso del proyecto con una cantidad porcentual del 39%.

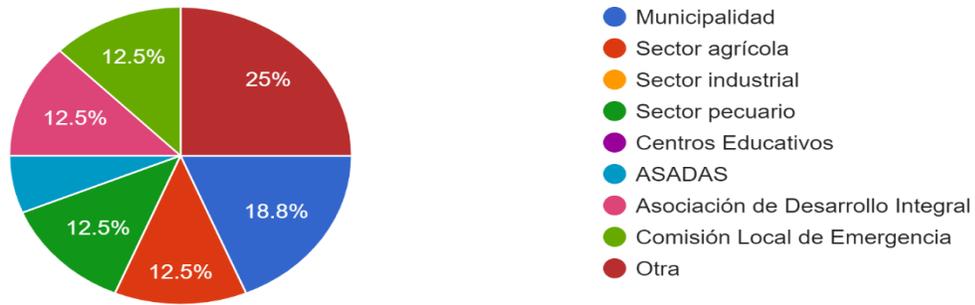


**Figura 4.6.** Determinación de los porcentajes de egresos detallados del proyecto.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

#### 4.5. Estudio social

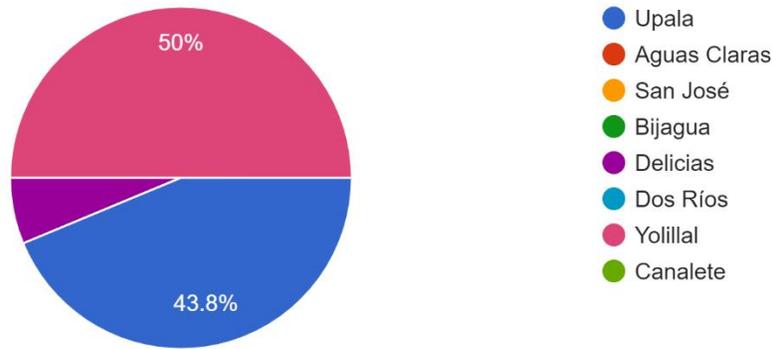
Para evaluar la percepción social de las partes interesadas indirectas del proyecto, se identificaron los diversos sectores sociales que desarrollan actividades productivas. La figura 4.7 muestra las organizaciones involucradas que cooperan en el desarrollo de la cuenca de río Zapote.



**Figura 4.7.** Identificación de las partes interesadas indirectas.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

En el caso de la evaluación de la percepción de las partes interesadas directas del proyecto, se identificaron los distritos de la cuenca de río Zapote que presentan mayor afectación ante inundaciones (PNUD, 2020). La figura 4.8 muestra a los distritos involucrados.



**Figura 4.8.** Identificación de las partes interesadas directas.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

#### 4.6. Conclusión

Según lo abordado en este capítulo, el proyecto no cuenta con ningún impedimento en el estudio técnico, legal, ambiental, económico y social. Por tanto, la realización del proyecto es totalmente viable, según los estudios antes mencionados.

## CAPÍTULO V. METODOLOGÍA

Este capítulo abarca los aspectos metodológicos de este proyecto. Las secciones por discutir son: tipo de investigación, enfoque de investigación, metodología para la modelación hidrológica, metodología para la modelación hidráulica y la relación entre los objetivos y diseños metodológicos.

### 5.1. Tipo de investigación

De acuerdo con el alcance de este proyecto, el objetivo general se basa en realizar un estudio hidrológico e hidráulico para evaluar el impacto de las amenazas hidrometeorológicas extremas en la gestión de las Plantas Hidroeléctricas Bijagua y Canaleta. Por tanto, la investigación utilizada es de tipo aplicada científica, debido a que se desea encontrar metodologías que puedan ser empleadas en la solución de una situación específica.

La investigación aplicada también es conocida como investigación práctica o empírica, la característica principal es buscar la aplicación de conocimientos adquiridos, implementar y sistematizar la práctica basada en la investigación. Los resultados de la investigación se presentan de forma rigurosa, ordenada y sistemática para conocer la realidad (Vargas, 2009). Padrón (2006), realiza dos distinciones de la investigación aplicada:

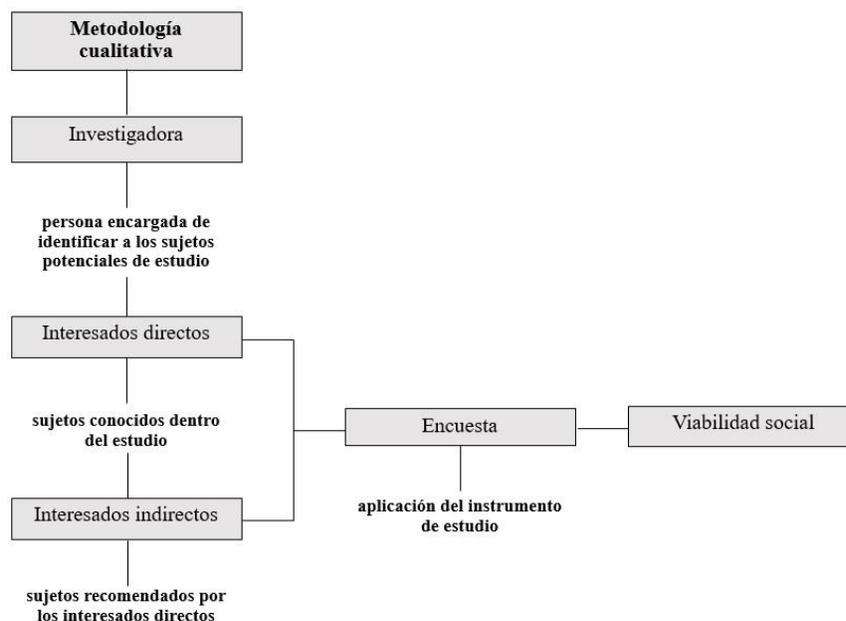
- **Aplicada tecnológica:** la que incluye cualquier esfuerzo sistemático y socializado por resolver problemas o intervenir situaciones.
- **Aplicada científica:** la que considera los estudios que explotan teorías científicas previamente validadas, para solucionar problemas prácticos y el control de situaciones cotidianas.

## 5.2. Enfoque de investigación

Este proyecto presenta un enfoque de investigación de carácter mixto, es decir combina los aspectos cuantitativos y cualitativos obtenidos (Hernández *et al*, 2010). La metodología cuantitativa es la más apropiada para verificar los fundamentos basados en el conocimiento teórico existente. En el caso de la metodología cualitativa, sirve para comprender la realidad social de los proyectos, debido a que permiten la participación del ser humano mediante percepciones, sentimientos, testimonios e historias (Ugalde y Balbastre, 2013).

### 5.2.1. Enfoque cualitativo

La metodología cualitativa de este proyecto se expone en el capítulo cuatro, específicamente en el apartado de estudio social, con el propósito de interpretar la percepción social de los interesados directos e indirectos de este estudio. La figura 5.1 muestra una representación de la metodología cualitativa para obtener la viabilidad social del proyecto.

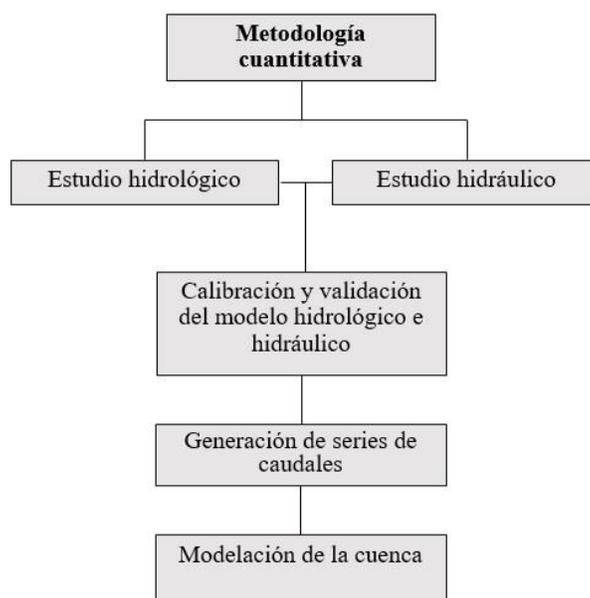


**Figura 5.1.** Enfoque cualitativo del proyecto.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

### 5.2.2. Enfoque cuantitativo

El enfoque cuantitativo está comprendido por las variables propias del estudio hidrológico y estudio hidráulico: la calibración y validación del modelo hidrológico, generación de series de caudales y modelación de la cuenca hidrográfica. La figura 5.2 muestra una representación de la metodología cuantitativa del proyecto.



**Figura 5.2.** Enfoque cuantitativo del proyecto.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

### 5.3. Enfoque metodológico

Se utilizarán tres fases para desarrollar el modelo hidrológico (figura 5.3). (1) Fase preliminar: se realizará una revisión bibliográfica de fuentes primarias y secundarias, para identificar y analizar los diversos modelos hidrológicos que se han empleado para evaluar los eventos meteorológicos extremos en la gestión de plantas hidroeléctricas. Para implementar un modelo hidrológico adecuado que cumpla con las necesidades de la zona de estudio. Se seleccionará la cuenca hidrográfica de río Zapote debido a la presencia de las

plantas hidroeléctricas Bijagua y Canalete. La delimitación de la cuenca se generará a partir de un modelo de elevación digital mediante curvas de nivel cada 10 metros en altitud. Los mapas de ubicación del área de estudio se crearán a partir de los sistemas de información geográfica ArcGIS y QGIS. La información hidrometeorológica se obtendrá mediante las bases de datos disponibles de instituciones públicas. (2) Fase de diseño: se transformará los datos disponibles mediante la calibración y validación del modelo hidrológico y la generación de series de caudales, con el propósito de modelar la cuenca a partir de las series obtenidas. (3) Fase de análisis: se analizarán las series de caudales obtenidas y las proyecciones futuras. Además, se relacionarán las series de caudales obtenidas con los eventos meteorológicos extremos ocurridos en el área de estudio.

#### **5.4. Metodología para la modelación hidrológica**

Esta sección describe la metodología a seguir para la realización de la modelación hidrológica de la zona de estudio.

##### *a. Obtención de la información básica*

Los principales recursos por utilizar son:

- Hojas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:50 000 con curvas de nivel a cada dos metros del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT).
- Datos hidrometeorológicos mensuales del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).
- Datos hidrometeorológicos mensuales del Instituto Meteorológico Nacional (IMN).
- Atlas de Costa Rica (2014) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).

*b. Delimitación de la cuenca*

La delimitación de la zona de estudio se realizará mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Específicamente ArcGIS y QGIS.

*c. Preparación de la información hidrometeorológica*

Se solicitará la información hidrometeorológica a ICE y a IMN para disponer de los registros mensuales de caudal, precipitación y temperatura requeridos como datos de entradas para el modelo de balance hídrico.

*d. Cálculo de la precipitación promedio de la cuenca*

Se calculará la precipitación promedio de la cuenca mediante una interpolación de datos, se utilizarán los datos hidrometeorológicos recopilados.

*e. Cálculo de la evapotranspiración potencial*

Los valores de evapotranspiración potencial mensual se van a obtener utilizando el método definido por Holdridge.

*f. Cálculo de la capacidad de almacenaje de agua del suelo*

Se realizarán mapas de capacidad de uso de suelo para identificar los tipos de suelos en la zona y la profundidad efectiva.

*g. Calibración del modelo de balance hídrico*

Se seleccionará un conjunto de años consecutivos en los que exista información hidrometeorológica considerable. Además, el lapso seleccionado debe incluir años húmedos

y años secos de la zona de estudio, con el propósito de que el modelo se capaz de explicar ambos escenarios climáticos.

## **5.5. Metodología para la modelación hidráulica**

Esta sección describe la metodología a seguir para la realización de la modelación hidráulica de la zona de estudio.

### *a. Obtención de la información requerida*

Para realizar la modelación hidráulica se tomará en cuenta los caudales obtenidos de la modelación hidrológica y las curvas de nivel a cada dos metros.

### *b. Preprocesamiento de la Información mediante QGIS*

Mediante las curvas de nivel se obtiene el Modelo de Elevación Digital (MED) utilizando el software QGIS, con el propósito de marcar las secciones transversales del cauce.

### *c. Eje de cauce (Stream Centerline)*

Se realizará el trazado del cauce del río digitalizado aguas arriba y aguas abajo. Tomando en cuenta las zonas de mayor profundidad de las curvas de nivel.

### *d. Líneas de Bancos (Bank Lines)*

Se establecerá los márgenes del río a partir del MED.

### *e. Líneas de Centro sobre el flujo (Flow Path Centerlines)*

Estas líneas se utilizarán como referencia para definir el cauce principal.

### *f. Secciones Transversales (Cross Sections)*

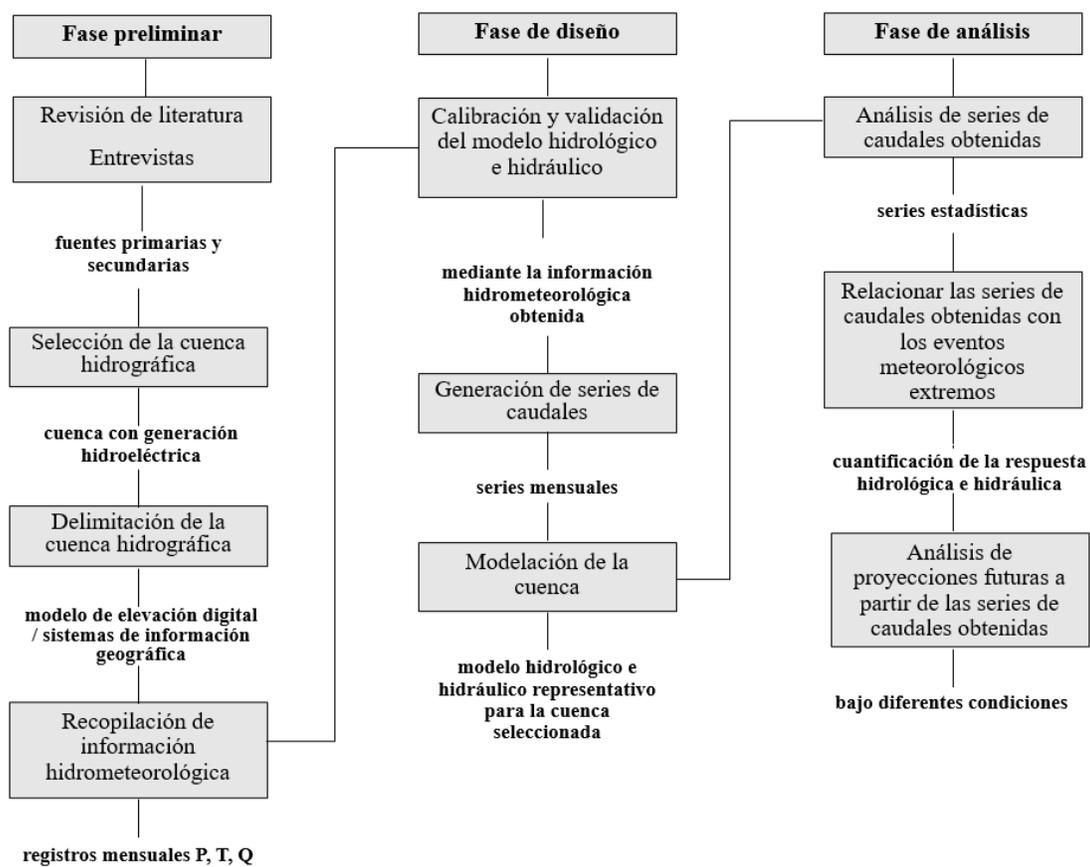
Estas líneas se trazarán de manera perpendicular al flujo.

*g. Coeficiente de Manning*

La rugosidad asignada al cauce será de 0.03.

### HEC-RAS a QGIS

Se van a obtener las secciones de inundación y se exportarán a QGIS para generar la cartografía de ubicación de las zonas inundables.



**Figura 5.3.** Metodología para realizar el estudio hidrológico e hidráulico en la cuenca de río Zapote.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

## 5.6. Relación entre los objetivos y diseño metodológico

Este apartado muestra la relación que existe entre los objetivos específicos y el diseño metodológico (tabla 5.1) elaborado para obtener un estudio hidrológico y un estudio hidráulico según las necesidades de la cuenca hidrográfica.

**Tabla 5.1.** Relación entre los objetivos específicos y el diseño metodológico.

Objetivos	Método	Tipo de muestreo	Tipo de datos
<p><b>Objetivo 1:</b> Evaluar las condiciones hidrometeorológicas extremas ante diferentes escenarios de variabilidad climática futura en la gestión de las Plantas Hidroeléctricas Bijagua y Canalete.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de documentos relacionados con las condiciones meteorológicas de la cuenca de río Zapote.</li> <li>• Visita al sitio del proyecto para delimitar área de estudio.</li> <li>• Instalación de instrumentación hidrológica e hidráulica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bola de nieve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cualitativos</li> </ul>

<p><b>Objetivo 2:</b> Cuantificar la respuesta hidrológica e hidráulica generada ante las condiciones hidrometeorológicas extremas en la gestión de las Plantas Hidroeléctricas Bijagua y Canalete.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metodología hidrológica.</li> <li>• Metodología hidráulica.</li> <li>• Implementación de análisis hidrológico según capítulo III.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bola de nieve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantitativos</li> </ul>
<p><b>Objetivo 3:</b> Implementar un estudio hidrológico e hidráulico adecuado para evaluar el impacto de eventos meteorológicos extremos en la gestión de las Plantas Hidroeléctricas Bijagua y Canalete.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de datos obtenidos.</li> <li>• Recopilación de metodologías.</li> <li>• Revisión comparativa de documentos asociados a proyectos hidroeléctricos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bola de nieve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cualitativos</li> </ul>

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

## **5.7. Conclusión**

La metodología para realizar el estudio hidrológico e hidráulico para evaluar el impacto ante eventos meteorológicos extremos en la cuenca de río Zapote es la adecuada, debido a que se adecua los aspectos tomados en cuenta en los capítulos anteriores.

## **CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El presente capítulo se encuentra constituido por dos secciones: resultados y discusión.

### **6.1. Resultados**

Esta sección expone los principales resultados hidrológicos obtenidos en el presente proyecto de investigación.

#### **6.1.1. Resultados hidrológicos**

Los resultados hidrológicos obtenidos son: hietogramas de precipitaciones (figura 6.1 a figura 6.3) y curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) (figura 6.4) para los periodos de retorno correspondiente a 5 años (tabla 6.1), 10 años (tabla 6.2) y 25 años (tabla 6.3) en la cuenca de río Zapote.

**Tabla 6.1.** Distribución del método del bloque alterno para un período de retorno de 5 años.

<b>Método del bloque alterno</b>					
<b>Duración (min)</b>	<b>Intensidad (mm/hr)</b>	<b>Profundidad acumulada (mm)</b>	<b>Profundidad incremental (mm)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
60	247,08	247,076	247,076	0-60	5,788
120	146,91	293,825	46,749	60-120	6,187
180	108,39	325,171	31,346	120-180	6,657
240	87,35	349,419	24,248	180-240	7,221
300	73,89	369,465	20,047	240-300	7,909
360	64,45	386,695	17,230	300-360	8,773
420	57,41	401,889	15,193	360-420	9,895
480	51,94	415,531	13,643	420-480	11,422
540	47,55	427,949	12,418	480-540	13,643
600	43,94	439,371	11,422	540-600	17,230
660	40,91	449,966	10,595	600-660	24,248
720	38,32	459,861	9,895	660-720	46,749
780	36,09	469,156	9,295	720-780	247,076
840	34,14	477,929	8,773	780-840	31,346
900	32,42	486,244	8,315	840-900	20,047

960	30,88	494,153	7,909	900-960	15,193
1020	29,51	501,699	7,547	960-1020	12,418
1080	28,27	508,920	7,221	1020-1080	10,595
1140	27,15	515,846	6,926	1080-1140	9,295
1200	26,13	522,503	6,657	1140-1200	8,315
1260	25,19	528,915	6,412	1200-1260	7,547
1320	24,32	535,102	6,187	1260-1320	6,926
1380	23,53	541,082	5,980	1320-1380	6,412
1440	22,79	546,870	5,788	1380-1440	5,980

**Fuente:** propia del proyecto (2021)

**Tabla 6.2.** Distribución del método del bloque alterno para un período de retorno de 10 años.

<b>Método del bloque alterno</b>					
<b>Duración (min)</b>	<b>Intensidad (mm/hr)</b>	<b>Profundidad acumulada (mm)</b>	<b>Profundidad incremental (mm)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
60	261,87	261,868	261,868	0-60	6,134
120	155,71	311,416	49,547	60-120	6,558
180	114,88	344,638	33,222	120-180	7,056
240	92,58	370,338	25,700	180-240	7,653
300	78,32	391,585	21,247	240-300	8,382
360	68,31	409,846	18,262	300-360	9,298
420	60,85	425,949	16,103	360-420	10,488
480	55,05	440,408	14,459	420-480	12,106
540	50,40	453,569	13,161	480-540	14,459
600	46,57	465,675	12,106	540-600	18,262
660	43,35	476,904	11,229	600-660	25,700
720	40,62	487,392	10,488	660-720	49,547
780	38,25	497,243	9,851	720-780	261,868
840	36,18	506,542	9,298	780-840	33,222
900	34,36	515,354	8,813	840-900	21,247
960	32,73	523,737	8,382	900-960	16,103
1020	31,28	531,735	7,998	960-1020	13,161

1080	29,97	539,388	7,653	1020-1080	11,229
1140	28,78	546,728	7,340	1080-1140	9,851
1200	27,69	553,784	7,056	1140-1200	8,813
1260	26,69	560,580	6,796	1200-1260	7,998
1320	25,78	567,138	6,558	1260-1320	7,340
1380	24,93	573,476	6,338	1320-1380	6,796
1440	24,15	579,610	6,134	1380-1440	6,338

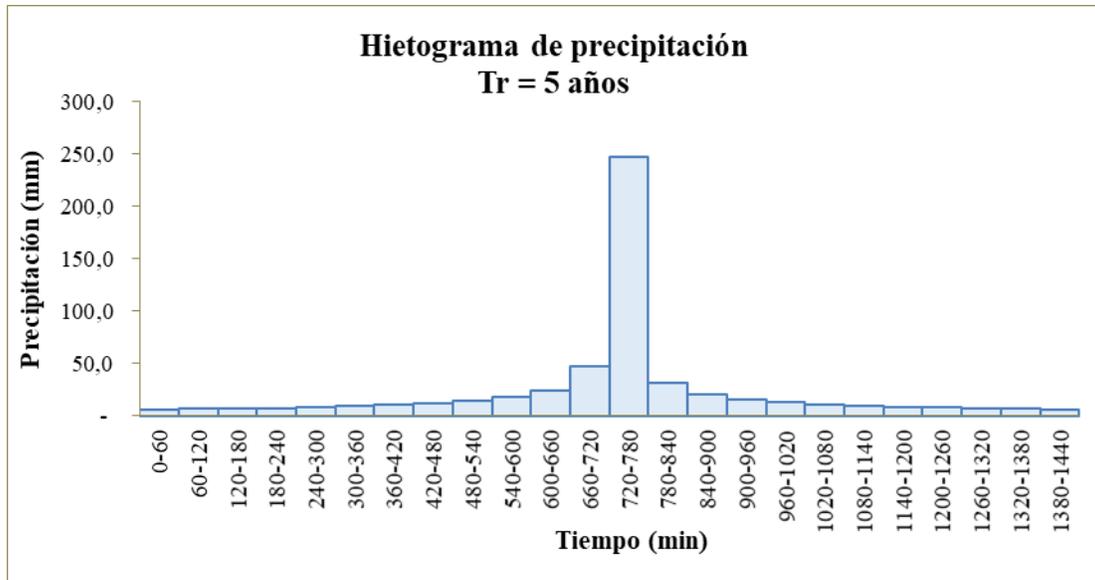
**Fuente:** propia del proyecto (2021).

**Tabla 6.3.** Distribución del método del bloque alterno para un período de retorno de 25 años.

<b>Método del bloque alterno</b>					
<b>Duración (min)</b>	<b>Intensidad (mm/hr)</b>	<b>Profundidad acumulada (mm)</b>	<b>Profundidad incremental (mm)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
60	280,55	280,555	280,555	0-60	6,572
120	166,82	333,638	53,083	60-120	7,026
180	123,08	369,231	35,593	120-180	7,560
240	99,19	396,764	27,534	180-240	8,199
300	83,91	419,527	22,763	240-300	8,981
360	73,18	439,092	19,565	300-360	9,962
420	65,19	456,344	17,252	360-420	11,236
480	58,98	471,835	15,491	420-480	12,970
540	53,99	485,935	14,100	480-540	15,491

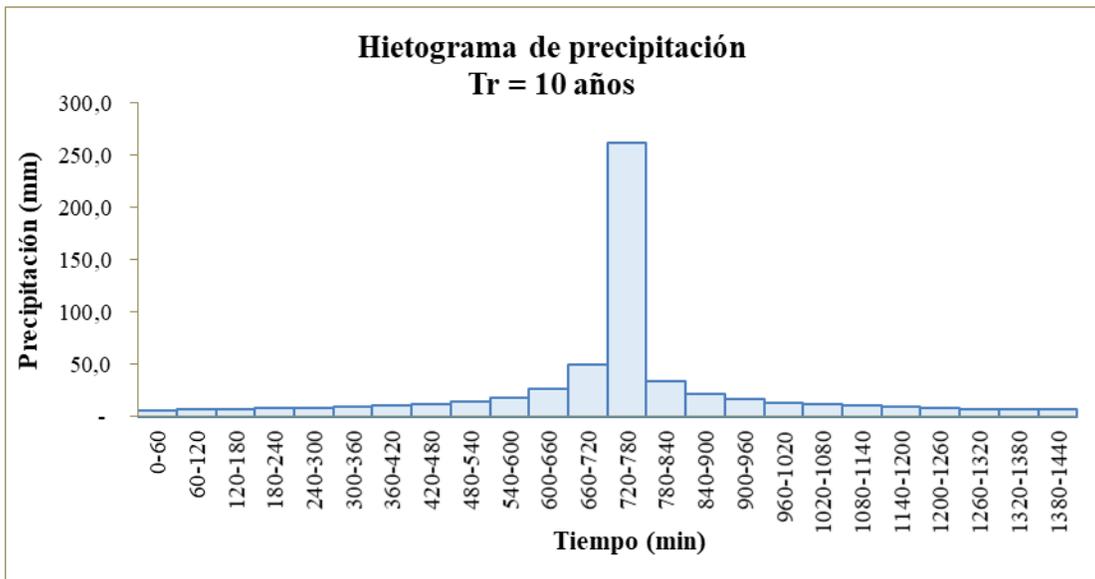
600	49,89	498,905	12,970	540-600	19,565
660	46,45	510,935	12,030	600-660	27,534
720	43,51	522,171	11,236	660-720	53,083
780	40,98	532,726	10,554	720-780	280,555
840	38,76	542,687	9,962	780-840	35,593
900	36,81	552,129	9,442	840-900	22,763
960	35,07	561,110	8,981	900-960	17,252
1020	33,51	569,679	8,569	960-1020	14,100
1080	32,10	577,878	8,199	1020-1080	12,030
1140	30,83	585,742	7,864	1080-1140	10,554
1200	29,67	593,301	7,560	1140-1200	9,442
1260	28,60	600,582	7,281	1200-1260	8,569
1320	27,62	607,608	7,026	1260-1320	7,864
1380	26,71	614,398	6,790	1320-1380	7,281
1440	25,87	620,970	6,572	1380-1440	6,790

**Fuente:** propia del proyecto (2021).



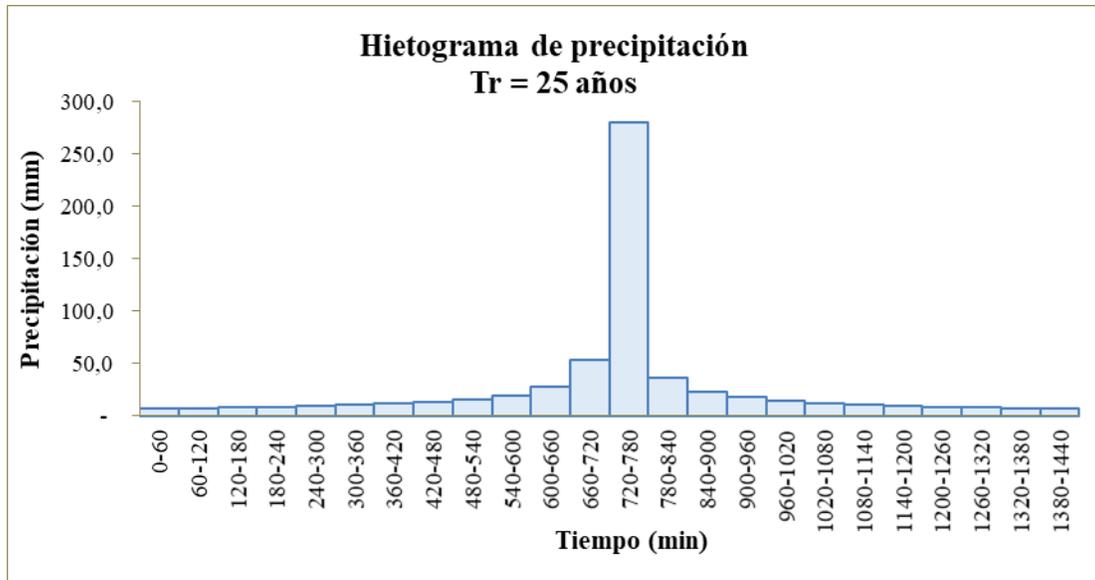
**Figura 6.1.** Hietograma de precipitación de inundación para un período de retorno de 5 años.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).



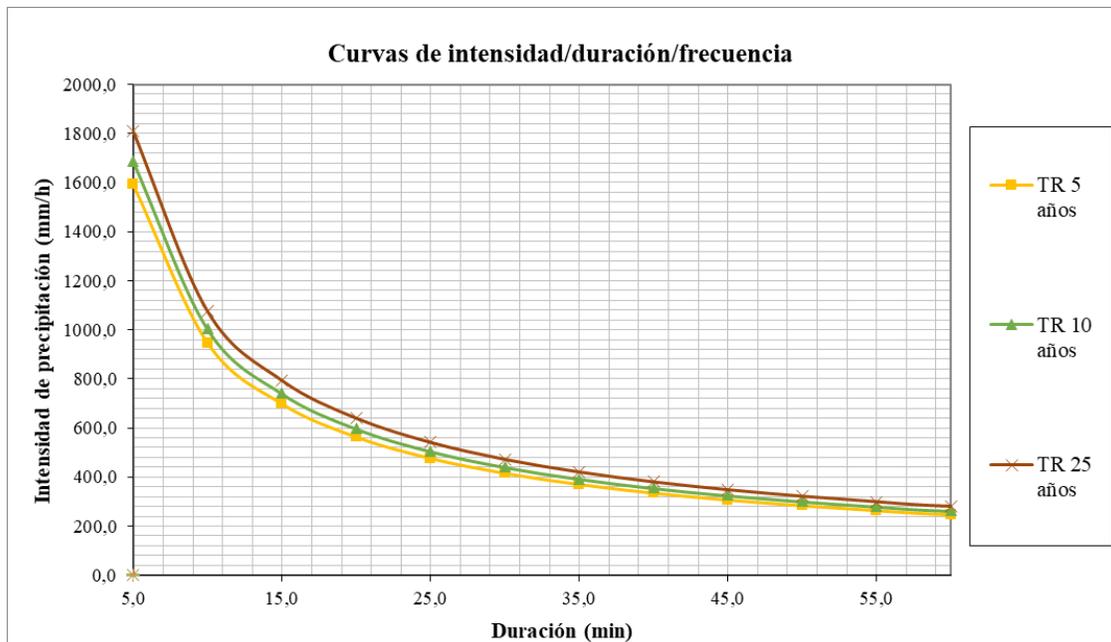
**Figura 6.2.** Hietograma de precipitación de inundación para un período de retorno de 10 años.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).



**Figura 6.3.** Hietograma de precipitación de inundación para un período de retorno de 25 años.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).



**Figura 6.4.** Curvas IDF a partir de los datos obtenidos en las estaciones meteorológicas:

Canalete, Bijagua y Guayabal del ICE.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

### 6.1.2. Resultados hidráulicos

Los resultados hidráulicos obtenidos se basan en los caudales correspondientes a la cuenca de río Zapote para un período de retorno de 5 años (figura 6.5), 10 años (figura 6.6) y 25 años (figura 6.7).

Project: Zapote    Simulation Run: Run 1  
Subbasin: Zapote

Start of Run: 01ene.2000, 00:00    Basin Model: Zapote  
End of Run: 02ene.2000, 00:00    Meteorologic Model: Estacion  
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE    Control Specifications: Control 1

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene.2000	00:00				0,0	0,0	0,0
01ene.2000	01:00	5,79	5,53	0,26	28,2	0,0	28,2
01ene.2000	02:00	6,19	5,40	0,79	95,0	0,0	95,0
01ene.2000	03:00	6,66	5,29	1,37	176,8	0,0	176,8
01ene.2000	04:00	7,22	5,21	2,01	269,1	0,0	269,1
01ene.2000	05:00	7,91	5,16	2,75	374,1	0,0	374,1
01ene.2000	06:00	8,77	5,16	3,62	497,3	0,0	497,3
01ene.2000	07:00	9,90	5,20	4,69	647,7	0,0	647,7
01ene.2000	08:00	11,42	5,33	6,09	841,5	0,0	841,5
01ene.2000	09:00	13,64	5,58	8,07	1109,7	0,0	1109,7
01ene.2000	10:00	17,23	6,05	11,18	1523,0	0,0	1523,0
01ene.2000	11:00	24,25	7,07	17,17	2293,8	0,0	2293,8
01ene.2000	12:00	46,75	10,31	36,44	4623,4	0,0	4623,4
01ene.2000	13:00	247,08	24,72	222,36	25746,5	0,0	25746,5
01ene.2000	14:00	31,35	1,60	29,74	10380,8	0,0	10380,8
01ene.2000	15:00	20,05	0,94	19,11	4415,9	0,0	4415,9
01ene.2000	16:00	15,19	0,67	14,53	2640,3	0,0	2640,3
01ene.2000	17:00	12,42	0,52	11,90	1911,2	0,0	1911,2
01ene.2000	18:00	10,60	0,43	10,17	1598,7	0,0	1598,7
01ene.2000	19:00	9,30	0,36	8,93	1387,6	0,0	1387,6
01ene.2000	20:00	8,31	0,32	8,00	1233,1	0,0	1233,1
01ene.2000	21:00	7,55	0,28	7,27	1114,0	0,0	1114,0
01ene.2000	22:00	6,93	0,25	6,67	1019,0	0,0	1019,0
01ene.2000	23:00	6,41	0,23	6,18	941,1	0,0	941,1
02ene.2000	00:00	5,98	0,21	5,77	876,0	0,0	876,0

**Figura 6.5.** Tabla con los caudales correspondientes a la cuenca de río Zapote para un período de retorno de 5 años.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

Project: Zapote Simulation Run: Run 2  
Subbasin: Zapote

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Zapote  
End of Run: 02ene.2000, 00:00 Meteorologic Model: Estacion  
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications:Control 1

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene.2000	00:00				0,0	0,0	0,0
01ene.2000	01:00	6,13	5,85	0,29	31,6	0,0	31,6
01ene.2000	02:00	6,56	5,68	0,88	106,1	0,0	106,1
01ene.2000	03:00	7,06	5,53	1,52	196,8	0,0	196,8
01ene.2000	04:00	7,65	5,42	2,23	298,6	0,0	298,6
01ene.2000	05:00	8,38	5,35	3,04	413,6	0,0	413,6
01ene.2000	06:00	9,30	5,31	3,98	548,0	0,0	548,0
01ene.2000	07:00	10,49	5,34	5,15	711,5	0,0	711,5
01ene.2000	08:00	12,11	5,44	6,67	921,3	0,0	921,3
01ene.2000	09:00	14,46	5,66	8,79	1210,9	0,0	1210,9
01ene.2000	10:00	18,26	6,12	12,15	1656,5	0,0	1656,5
01ene.2000	11:00	25,70	7,10	18,60	2485,9	0,0	2485,9
01ene.2000	12:00	49,55	10,26	39,28	4987,2	0,0	4987,2
01ene.2000	13:00	261,87	24,22	237,65	27528,9	0,0	27528,9
01ene.2000	14:00	33,22	1,55	31,67	11083,9	0,0	11083,9
01ene.2000	15:00	21,25	0,90	20,34	4707,1	0,0	4707,1
01ene.2000	16:00	16,10	0,65	15,46	2811,3	0,0	2811,3
01ene.2000	17:00	13,16	0,50	12,66	2033,6	0,0	2033,6
01ene.2000	18:00	11,23	0,41	10,82	1700,8	0,0	1700,8
01ene.2000	19:00	9,85	0,35	9,50	1476,1	0,0	1476,1
01ene.2000	20:00	8,81	0,31	8,51	1311,6	0,0	1311,6
01ene.2000	21:00	8,00	0,27	7,73	1184,8	0,0	1184,8
01ene.2000	22:00	7,34	0,24	7,10	1083,7	0,0	1083,7
01ene.2000	23:00	6,80	0,22	6,58	1000,8	0,0	1000,8
02ene.2000	00:00	6,34	0,20	6,14	931,5	0,0	931,5

**Figura 6.6.** Tabla con los caudales correspondientes a la cuenca de río Zapote para un período de retorno de 10 años.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

Project: Zapote Simulation Run: Run 3  
Subbasin: Zapote

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Zapote  
End of Run: 02ene.2000, 00:00 Meteorologic Model: Estacion  
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications:Control 1

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene.2000	00:00				0,0	0,0	0,0
01ene.2000	01:00	6,57	6,24	0,33	36,1	0,0	36,1
01ene.2000	02:00	7,03	6,02	1,01	120,9	0,0	120,9
01ene.2000	03:00	7,56	5,83	1,73	223,4	0,0	223,4
01ene.2000	04:00	8,20	5,68	2,52	337,4	0,0	337,4
01ene.2000	05:00	8,98	5,57	3,41	465,6	0,0	465,6
01ene.2000	06:00	9,96	5,50	4,46	614,3	0,0	614,3
01ene.2000	07:00	11,24	5,49	5,74	794,3	0,0	794,3
01ene.2000	08:00	12,97	5,56	7,41	1024,6	0,0	1024,6
01ene.2000	09:00	15,49	5,76	9,73	1341,4	0,0	1341,4
01ene.2000	10:00	19,57	6,18	13,39	1827,7	0,0	1827,7
01ene.2000	11:00	27,53	7,12	20,42	2731,0	0,0	2731,0
01ene.2000	12:00	53,08	10,19	42,89	5449,6	0,0	5449,6
01ene.2000	13:00	280,55	23,60	256,95	29780,4	0,0	29780,4
01ene.2000	14:00	35,59	1,49	34,10	11971,7	0,0	11971,7
01ene.2000	15:00	22,76	0,87	21,90	5074,6	0,0	5074,6
01ene.2000	16:00	17,25	0,62	16,63	3026,9	0,0	3026,9
01ene.2000	17:00	14,10	0,48	13,62	2188,0	0,0	2188,0
01ene.2000	18:00	12,03	0,40	11,63	1829,7	0,0	1829,7
01ene.2000	19:00	10,55	0,34	10,22	1587,7	0,0	1587,7
01ene.2000	20:00	9,44	0,29	9,15	1410,6	0,0	1410,6
01ene.2000	21:00	8,57	0,26	8,31	1274,2	0,0	1274,2
01ene.2000	22:00	7,86	0,23	7,63	1165,3	0,0	1165,3
01ene.2000	23:00	7,28	0,21	7,07	1076,1	0,0	1076,1
02ene.2000	00:00	6,79	0,19	6,60	1001,5	0,0	1001,5

**Figura 6.7.** Tabla con los caudales correspondientes a la cuenca de río Zapote para un período de retorno de 25 años.

**Fuente:** propia del proyecto (2021).

### 6.1.3. Conclusión

Los resultados hidrológicos e hidráulicos obtenidos, son los necesarios para realizar el estudio de la cuenca de río Zapote y de esa manera determinar la información más sobresaliente ante los diversos períodos de retorno.

## **6.2. Discusión**

Esta sección presenta la discusión basada en dos aspectos fundamentales: respecto a los principales hallazgos y respecto a la metodología.

### **6.2.1. Respecto a hallazgos**

Los principales hallazgos obtenidos del proyecto de investigación se exponen a continuación.

#### *a. Única estación automática en la cuenca de río Zapote*

Solo existe una estación hidrológica automática para la medición de columnas de agua, la cual se encuentra ubicada sobre el puente de río Canalete (anexo 6.1). Al existir solo una estación hidrológica automática ubicada en Canalete, los distritos beneficiados en caso de alertas de inundación son únicamente Bijagua y Canalete; quedando excluidos los distritos de Upala y Yolillal.

Desde el punto de vista social se observa una oportunidad de implementar acciones de justicia distributiva para que la Coopeguanacaste junto con las demás instituciones gubernamentales y no gubernamentales presentes en la cuenca de río Zapote inviertan en más estaciones hidrológicas automáticas para medición de columnas de agua, que puedan ser ubicadas en lugares estratégicos dentro de la cuenca de río Zapote, con el propósito de dar alarmas tempranas de riesgos de inundación a los distritos impactados por los proyectos hidroeléctricos.

Es necesario aplicar protocolos a nivel hidrológico en los proyectos hidroeléctricos presentes en la cuenca de río Zapote. El protocolo sugerido para desarrollar en la cuenca de río Zapote es el Protocolo de Evaluación de Sostenibilidad de la Energía Hidroeléctrica de la

International Hydropower Association (IHA) con el propósito de evaluar el desempeño de los proyectos hidroeléctricos en diversas áreas relacionadas a aspectos fundamentales como los ambientales, financieros, sociales, técnicos, entre otros.

A nivel de la región de América Central y Caribe, la primera experiencia de aplicación del Protocolo de Sostenibilidad inicia en el año 2017 en Costa Rica, exactamente en el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón (ICE, 2021). Por tanto, es de suma importancia que estas acciones sean replicadas en el territorio nacional para satisfacer las diferentes necesidades en la operación comercial sostenible.

#### *b. Inundación del distrito Yolillal*

El distrito Yolillal tiene un área de 139, 54 km<sup>2</sup>, limita con el distrito Upala. Los distritos Upala y Yolillal se localizan dentro de las áreas con mayor amenaza potencial de inundaciones (CNE, 2019). Con el propósito de reconocer las condiciones en las que se encuentra el distrito Yolillal, en el mes de septiembre se realizó una gira en la zona de interés, con esta se observó que el uso de suelo de la zona corresponde principalmente a pastizales y zonas dedicadas específicamente a las producción agrícola y ganadera.

Existe presencia de inundación en las fincas ganaderas y agrícolas cercanas al centro del poblado de Yolillal y el acelerado aumento del caudal y columna de agua específicamente en el Puente colgante vehicular ubicado sobre el río Zapote en el sector de San Isidro, distrito Yolillal, cantón Upala (anexo 6.2). Según los datos obtenidos en el ICE para el mes de septiembre en la cuenca de río Zapote la precipitación mensual fue de 329, 47 mm. Por tanto, esto permite realizar una comparación tomando en cuenta la precipitación máxima en 24 horas proyectada para un período de retorno de 5 años, la cual corresponde a 546, 87 mm

(tabla 6.1), es decir que la precipitación máxima en 24 horas proyectada supera la actual precipitación mensual. Esto es alarmante a nivel hidrológico, para los pobladores del distrito Yolillal.

Desde el punto de vista social, ambiental y financiero se determina la oportunidad de implementar un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) liderado por la Municipalidad de Upala junto a acompañamiento de las instituciones públicas y privadas pertenecientes a la cuenca de río Zapote, con el propósito de promover acciones orientadas a la realización de políticas, estrategias, programas y normas que permitan el adecuado desarrollo físico del territorio y el aprovechamiento del uso de suelo.

En el año 2021 se realizó una obra hidráulica para la prevención de riesgos y atención de emergencias, con un costo aproximado de ₡356.977.308,47. Sin embargo, de manera anual el distrito Yolillal presenta necesidades de estructuras hidráulicas y en la mayoría de las ocasiones el dinero es destinado para una misma obra anual.

Por tanto, es necesario la capacidad de enfrentar los desastres desde la resignación y localización de nuevos recursos, tanto para la emergencia como para la reconstrucción. Cabe resaltar que a nivel de cuencas hidrográficas nacionales existen situaciones de ausencia de desahogo económico, lo que hace que los problemas provocados por condiciones meteorológicas extremas se vuelvan críticas, debido a la poca capacidad para destinar fondos a la prevención, mitigación y atención de desastres (Giro, 2000).

### *c. Comparación de precipitaciones para el distrito Upala*

El distrito Upala presenta una condición vulnerable ante eventos meteorológicos extremos debido a que se encuentra en el valle de inundación fluvial del río Zapote, este río

rodea a la mayoría del centro urbano del distrito. Los eventos meteorológicos extremos que provocaron mayor afectación en los últimos diez años son el Huracán Otto (noviembre del año 2016) y Tormenta Tropical Nate (octubre del año 2017).

En términos de comparación la precipitación acumulada mensual para el mes de noviembre del año 2016 fue de 824,4 mm (datos obtenidos del ICE) y la precipitación acumulada mensual para el mes de octubre del año 2017 fue de 536,4 mm (datos obtenidos del ICE). Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el capítulo 6 la precipitación acumulada mensual para un período de retorno de cinco años es de 445,06 mm para un pico de almacenamiento de 25746,5 m<sup>3</sup>/s.

Esto nos indica que la vulnerabilidad ante eventos meteorológicos extremos es permanente. Es necesario profundizar en la importancia de acciones de desarrollo humano, debido a que los asentamientos humanos son frágiles ante la magnitud y el tipo de daños experimentados. Se sugiere la creación de un adecuado Plan de Emergencias a Nivel de cuenca hidrográfica con el propósito de prevenir y mitigar los desastres provocados (Murillo y Miranda, 2017).

### **6.2.2. Respecto a la metodología**

El diseño metodológico propuesto para realizar el estudio hidrológico e hidráulico en la cuenca de río Zapote se expone en el capítulo 5 (figura 5.1). El diseño se encuentra fundamentado en tres fases principales para obtener los resultados. La discusión correspondiente a cada fase se discute a continuación.

#### *a. Fase preliminar*

La fase preliminar fue realmente útil para la recopilación de información primaria y secundaria, selección de la cuenca hidrográfica con presencia de generación hidroeléctrica, delimitación de la cuenca hidrográfica y recopilación de la información hidrometeorológica correspondiente.

#### *b. Fase de diseño*

En la fase de diseño se mejoró la propuesta debido a las diferentes necesidades expuestas en el procesamiento de datos. En el caso de la calibración y validación hidrológica la información obtenida tuvo que ser tratada mediante el software Hidroesta, además, la precipitación y caudales obtenidos no solo fueron expresados en series mensuales, también en series máximas de 24 horas (simulando el evento meteorológico extremo).

#### *c. Fase de análisis*

La fase de análisis fue realmente exacta para estudiar las series de caudales obtenidas, relacionar las series de caudales con el comportamiento de eventos meteorológicos extremos y analizar las proyecciones a partir de 5 años, 10 años y 25 años de período de retorno en la cuenca de río Zapote.

### **6.2.3. Conclusión**

La discusión expuesta en el presente proyecto e investigación hace referencia a los hallazgos más relevantes encontrados a partir de los resultados y la relación de las diferentes visitas realizadas en el sitio de estudio.

## **CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El presente capítulo se encuentra constituido por las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas del presente proyecto de investigación.

### **7.1. Conclusiones**

1. No todos los distritos del cantón Upala se benefician de la existencia de una única estación hidrológica automática de medición de columnas de agua, por tanto, es importante invertir en más estaciones hidrológicas automáticas en puntos estratégicos de la cuenca de río Zapote.
2. El distrito Yolillal presenta inundación en las zonas destinadas a agricultura y ganadería, además, en los poblados pertenecientes al centro del distrito. Por tanto, se localiza en un área con mayor amenaza potencial a inundaciones.
3. El distrito de Upala presenta condición de exposición ante eventos meteorológicos extremos. Por tanto, estas condiciones provocan una situación de permanencia según los datos obtenidos en los períodos de retorno correspondientes a 5 años, 10 años y 25 años.

### **7.2. Recomendaciones**

1. Aplicar el protocolo de Evaluación de Sostenibilidad de la Energía Hidroeléctrica de la International Hydropower Association (IHA). Esta herramienta se puede llevar a cabo para una práctica concisa enfocada a cada una de las etapas del ciclo de vida de un proyecto hidroeléctrico, para que los temas relacionados a la sostenibilidad sean identificados de manera estructurada para que se ajusten a un posible proceso

normalizado de evaluación, con el fin de obtener resultados de una forma estandarizada. El protocolo antes mencionado se puede llevar a cabo por medio del apoyo financiero de bancos nacionales e internacionales bajo la supervisión de un equipo de trabajo de la Organización Internacional Hydropower Association, con el propósito de que los alcances se encuentren entre las competencias de profesionales en las áreas políticas (políticas y planes, gobierno y gestión integrada de los proyectos hidroeléctricos), ambientales (erosión y sedimentación, calidad del agua, biodiversidad y regímenes de agua), sociales (poblaciones vulnerables, patrimonio cultural, salud pública y asentamientos humanos), técnicos (recurso hídrico, seguridad de la infraestructura y diseño) y económicas (viabilidad financiera y beneficios del proyecto).

2. Realizar un Plan de Ordenamiento Territorial a nivel de cuenca hidrográfica. La realización de este plan se puede llevar a cabo mediante el liderazgo de la municipalidad de Upala y el acompañamiento de las diferentes instituciones públicas y privadas presentes en la zona de estudio. El involucramiento de la mayoría de la población proporciona una adecuada formulación, ejecución y monitoreo de las diferentes acciones. Las acciones deben orientarse al dimensionamiento de la valoración del territorio y sus recursos naturales, valoración social y económica, valoración del sistema de asentamiento, valoración legal y administrativa de la diferentes institución y la valoración del capital social. De manera subjetiva, el plan de ordenamiento debe tener una renovación de cada diez años desde el momento de su adopción, con el propósito de expandir expectativas en la zona de estudio para cumplir con un proceso eficaz.

3. Construir una red de estaciones hidrometeorológicas automáticas. Con el propósito de promover los Sistemas de Alerta Temprana (SAT), para obtener datos hidrometeorológicos en tiempo real mediante el uso de softwares que permitan un apropiado flujo de información para realizar distintos análisis hidrológicos e hidráulicos. Esta red se puede construir mediante la colaboración del Programa de las Naciones Unidas (PNUD) que cuenta con programas de fortalecimiento de la información climática y los sistemas de alerta temprana para el desarrollo de la resiliencia ambiental, con el propósito de garantizar una respuesta eficaz y eficiente para la preparación ante los eventos meteorológicos extremos de la cuenca. Los Sistemas de Alerta Temprana benefician a corto, mediano y largo plazo a administrar y planificar el dinero para proteger la economía de la zona de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, A. (2019). *Las hidroeléctricas en Latinoamérica, ¿dónde estamos? y ¿hacia dónde vamos?*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Andino, M. (2019). *Ciclo hidrológico del agua*. Diseño Hidrológico.

Baca, G. (2010). *Evaluación de Proyectos*. McGraw Hill.

Barrantes, G., Valverde, J., Sandoval, L., Romero A., López, M., y Vargas A. (2021). *La potencial contribución del Plan Regulador Territorial frente al desastre en la Ciudad de Upala, Provincia de Alajuela, Costa Rica, asociado al paso del Huracán Otto*. *Revista Geográfica de América Central*. Recuperado de: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25632021000100192&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25632021000100192&script=sci_arttext)

Bedoya, V., y López, J. (2015). *Flood Control Model during "La Niña" Phenomenon using a Hydroelectric Reservoir*. Recuperado de: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642015000200011&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642015000200011&script=sci_arttext&tlng=en)

Bereciartua, P. (2008). *Estrategias de control de inundaciones y la gestión integrada del agua para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires*. VII Foro Cuencas Hidrográficas, Unión Paramericana de Ingenieros (UPADI).

Blanco, A., Martínez, S., y Cisneros, C. (2011). *Un modelo de balances hídricos para cuencas hidrográficas: discusión, propuesta y aplicaciones*. Tesis de Maestría Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: [https://www.utm.mx/edi\\_anteriores/pdf/e0611.pdf](https://www.utm.mx/edi_anteriores/pdf/e0611.pdf)

- Bonilla, J., Torre, L., Brenes, A., Jiménez, L., y Jiménez, O. (2003). *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Canalete*. Coopeguanacaste R.L.
- Brenes, A. (2017). *Gestión del riesgo en Costa Rica e impactos del huracán Otto*.
- Burbano, J. (2008). *Presupuestos: Enfoque de gestión planeación y control de recursos*. McGraw Hill.
- Cabrera, J. (2017). *Modelos hidrológicos*. Tesis de Maestría de la Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de: [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/modhidro\\_1.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf)
- Campos, D. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Campos, D., y Quesada, A. (2017). *Impact of the hydrometeorological events in costa rica, period 2000-2015*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/319310937\\_Impacto\\_de\\_los\\_eventos\\_hidrometeorologicos\\_en\\_Costa\\_Rica\\_periodo\\_2000-2015](https://www.researchgate.net/publication/319310937_Impacto_de_los_eventos_hidrometeorologicos_en_Costa_Rica_periodo_2000-2015)
- Chow, V., Maidment, David., y Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill Interamericana , S.A.
- Comisión Nacional de Emergencias (CNE). (2019). *Amenazas de origen Natural en el cantón de Upala*.
- Consortio Nacional de Empresas de Electrificación de Costa Rica (Conelectricas). (2016). *Historia de la Fundación de Cooperativas Eléctricas*. Recuperado de: <http://www.conelectricas.com/quienes-somos/>

Cooperativa de Electrificación Rural de Guanacaste. (Coopeguanacaste). (2021). *Historia de los 50 años de Coopeguanacaste*. Recuperado de: <https://coopeguanacaste.com/quienes-somos/>

Dávila, F. (2017). *Vulnerabilidad y riesgos frente a eventos meteorológicos extremos*. Tesis de Maestría de Universidad de Piura.

Fernández, I., y Robles, A. (2017). *Centrales de Generación de Energía Eléctrica*. Centrales Hidráulicas.

Gómez, T. (2013). *Evaluación del impacto del cambio climático en centrales hidroeléctricas de la Cuenca del Alto Cachapoal*. (Tesis de Maestría de la Universidad de Chile).

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista P. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill. Recuperado de: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2019). *Índice de Cobertura Eléctrica*. Recuperado de: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/10261169-f251-465d-9b95-0b17c7baa49e/I%CC%81ndice+de+Cobertura+Ele%CC%81ctrica+2019.pdf?MOD=AJPERES&CVID=n1u6RVf>

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2008). *Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica*.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN) (2009). Atlas Climatológico. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/atlas-climatologico>

- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2011). *Análisis biofísico, climatológico y socioeconómico*.
- Mauri, C., y González, J. (2010). *Compendio de legislación ambiental*. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2020). *Caracterización de la Agencia de Bijagua*.
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) (2011). *Estudio de Cuencas Hidrográficas de Costa Rica*. Recuperado de: <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/estudio-de-las-cuencas-hidrograficas-de-costa-rica/>
- Montalván, H. (2004). *Estudio Económico – Financiero y Evaluación Económica – Financiera para la crecación de una empresa de comercialización y venta de activos extraordinarios*. Tesis de Licenciatura de Universidad Rafael Landívar.
- Morales, Y. (2016). *Evaluación y modelación de información hidrológica para propuesta de mejoras en la programación a largo plazo de centrales hidroeléctricas en Chile*. (Tesis de Maestría de la Universidad de Chile).
- Novara, M. (2011). *Introducción al manejo de software libre Quantum Gis (QGis)*. Tesis de Licenciatura de Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Ordoñez, J. (2011). *Contribuyendo al desarrollo de una cultura de agua y la gestión integral del recurso hídrico*. Global Water Partnership (GWP). Recuperado de: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)

- Orellana, D. (2019). *Evaluación de campo con Kobotoolbox*. Tesis de Licenciatura Universidad de la Cuenca.
- Padrón, J. (2006). Investigar, reflexionar y actuar en la práctica docente. Recuperado de: <http://padron.entretemas.com.ve/InvAplicada/index.htm>
- Palacios, E. (2004). *Modelo para manejo de la incertidumbre hidrológica en la planificación de la operación de SIC*. Tesis de Maestría en la Universidad de Chile. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140345>
- Pérez, L. (2006). *Microsoft Excel: una herramienta para la investigación*. Revista Electrónica MediSur, p. 68-71.
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2020). *Descripción de riesgo ante eventos hidrometeorológicos extremos en el norte de Costa Rica. Cantones de La Cruz, Nicoya, Hojancha, Liberia, Carrillo, Cañas, Santa Cruz, Guatuso, Los Chiles y Upala*.
- Sandoval, W., y Aguilera, E. (2014). *Determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica*. Revista de Ciencia UNEMI, p. 100 – 110.
- Sapag, N., Sapag, R., y Sapag, J. (2014). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. McGraw Hill.
- Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA). (2018). *Resolución Plenaria N° 1462 – 2018 – SETENA*. Recuperado de: <http://www.setena.go.cr/Downloads/documentos/Normativa/RES-1462-2018.pdf>

- Somarriba, E. (2003). *Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del Río Tempisque*. Tesis de Maestría de la Universidad de Costa Rica.
- Torre, L., Bolaños, R., Pacheco, B., Bonilla, J., Brenes, A., Quesada, A., Rojas, S., y Jiménez O. (2010). *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Hidroeléctrico Bijagua*. Coopeguanacaste R.L.
- Ugalde, N., y Balbastre, F. (2013). *Investigación cuantitativa e investigación cualitativa: buscando la ventaja de las diferentes metodologías de investigación*. Revista Ciencias Económicas, pp. 179 – 187. Recuperado de: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/economicas/article/view/12730/11978>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR) (2015). *The human cost of weather related disasters*. p. 30.
- Vallejos, S., Esquivel, L., Hidalgo, M. (2012). *Hitórico de desastres en Costa Rica (Febrero 1723 – Setembre 2012)*. Comisión Nacional de Emergencia (CNE).
- Valencia, D., y Zambrano, J. (2017). Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis Palogrande. Revista UIS Ingenierías.
- Vargas, Z. (2009). *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Revista educación, pp. 155 – 165. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- Zubieta, R. (2017). *Estimación de concentración de lluvia diaria y eventos hidrológicos extremos en cuencas andino – amazónicas empleando precipitación basada en satélites*. (Tesis de Maestría de la Universidad Nacional Agraria La Molina).

## ANEXOS

**Anexo 6.1.** Ubicación de la única estación hidrológica automática para la medición de columnas de agua.



**Anexo 6.2.** Ubicación del puente ubicado en San Isidro, distrito de Yolillal, cantón de Upala.

