

Universidad Nacional, Costa Rica
Sede Regional Chorotega
Campus Liberia

Proyecto Final de Graduación

“Elaboración de un modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica anual del funcionamiento del humedal Parque Nacional Palo Verde en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica.”

Para optar por el grado de: Licenciatura en Ingeniería Hidrológica

Sustentantes:

Alisson Escobar García

504380372

Belkis Alejandra Morales Guevara

504390300

Equipo Supervisor:

MSc. William Alonso Gómez Solís
Universidad Nacional, Costa Rica

MSc. Erik Gerardo Orozco Orozco
Universidad Nacional, Costa Rica

MSc. Dorian Mauricio Carvajal Vanegas
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Liberia, Guanacaste, Costa Rica

Febrero, 2024

Acta de Tribunal

TRIBUNAL DEFENSA DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SEDE REGIONAL
CHOROTEGA

CAMPUS LIBERIA

PhD. Ronald Jesús Sánchez Brenes

Representante de Decanatura, Sede Regional Chorotega

PhD. Rolando Madriz Vargas

Representante Dirección Académica, Campus Liberia

MSc. William Alonso Gómez Solís

Tutor

MSc. Erik Gerardo Orozco Orozco

Lector

MSc. Dorian Mauricio Carvajal Vanegas

Lector

Agradecimiento

Gratitud eterna a Dios por brindarnos las capacidades para culminar el trabajo.

Agradecemos profundamente a nuestro equipo asesor, conformado por el tutor MSc. William Gómez Solís y dos lectores, MSc. Erik Gerardo Orozco Orozco y MSc. Dorian Mauricio Carvajal Vanegas, los cuales nos han brindado su acompañamiento en diferentes etapas del proyecto. Valoramos que hayan sacado de su tiempo para poder guiarnos y brindarnos conocimiento con el fin de cumplir los objetivos propuestos.

También al coordinador de la carrera PhD. Ronald Sánchez Brenes por la disposición continua para brindarnos su ayuda. Agradecemos su compromiso y dedicación al acompañar y orientar a sus estudiantes.

Además, al profesor del curso del Proyecto Final de Graduación Rolando Madriz por guiarnos a lo largo de la elaboración del presente proyecto.

También, al equipo que nos brindó la oportunidad de realizar el trabajo en el área de estudio principalmente a MSc. Jacklyn Rivera Wong coordinadora del Programa Nacional de Humedales y a la MSc. Sonia Castro Chacón funcionaria del SENARA.

Asimismo, al departamento de administración y guardaparques del área de conservación del PNPV por el acompañamiento en las giras de campo salvaguardando el bienestar colectivo en el reconocimiento de las zonas y recolección de datos in situ, así como el aporte valioso de sus experiencias, especialmente a Manrique Montes, Fabián Chávez, Fabricio Obando, Juan Antonio Ramírez, Alejandro Cordero y Juan Alvarado.

Finalmente, a los visitantes del PNPV por participar en la recolección de datos del nivel del humedal incrementando la cantidad de aportes para su debido análisis, y a las instituciones que brindaron información hidrológica e hidrometeorológica como lo fueron el ICE e IMN.

Dedicatoria

Con amor y gratitud a mi familia y seres queridos por creer en mí, especialmente a mi mamá Jessica García por el apoyo constante, por impulsarme a cumplir todas mis metas y nunca rendirme. A mi compañera de trabajo por la confianza y motivación en los momentos difíciles.

Alisson Escobar García

A mi familia y seres queridos, su apoyo incondicional, así como cada palabra de aliento, gratitud siento por creer en mí potencial y esparcir motivación a lo largo de mi vida. A mi mamá Cruz Guevara por todo su amor y alentarme en mis aspiraciones. A mi compañera de trabajo por su optimismo y confianza al iniciar y culminar nuestro grado académico. En especial se lo dedico a mi hermana (q.e.p.d.) por ser luz en mi vida, las energías enviadas han sido bien recibidas.

Belkis Alejandra Morales Guevara

Resumen Ejecutivo

La presente investigación tiene un enfoque hidrológico y fue desarrollado en un ecosistema que funciona como frontera entre los sistemas acuáticos y terrestres, el cual es el humedal PNPV, catalogado como sitio Ramsar de importancia internacional para el país. Este sistema abierto y dinámico depende de las variables del régimen hidrológico propias de la zona donde se ubica, al situarse en la Región Chorotega su estacionalidad se ve marcada por dos épocas, siendo la lluviosa la que incide en mayor medida en los volúmenes del cuerpo del agua dentro del humedal, identificado mediante las imágenes satelitales de Sentinel 2. Por otro lado, en la época seca sus niveles merman, sustituyendo al cuerpo del agua por la presencia de la vegetación propia del sitio.

Con el uso del software QGis se delimitó las subcuencas de línea base teniendo como punto de aforo las estaciones fluviográficas, así como las demás subcuencas que desembocan en los márgenes derechos e izquierdo del humedal, a partir de estas se caracterizaron morfológicamente. Además, se estimaron sus caudales, arrojando volúmenes (m^3/s) mayores en la cuenca hidrográfica del río Bebedero con respecto al río Tempisque.

Por otra parte, se realizaron mediciones de campo para el registro de niveles del agua del humedal, cuyos datos determinan el comportamiento dinámico que posee con respecto a las entradas y salidas del recurso hídrico. También, se analizaron variables de origen meteorológico propias de la estación Los Negritos localizada en las cercanías del humedal, donde se encontró la relación entre la temperatura y la evapotranspiración, siendo esta última variable que funciona como punto de salida del sistema, asimismo, la incidencia de la precipitación directa.

Finalmente, al interpretar los datos obtenidos se desarrolla el modelo hidrológico conceptual, donde se delimitan las variables que rigen la dinámica del humedal entorno a la estacionalidad.

Palabras clave: fluviográficas, modelo conceptual, sitio Ramsar, incidencia, espejo del agua.

Abstract

This research has a hydrological approach and was developed in an ecosystem that functions as a border between aquatic and terrestrial systems, which is the PNPV wetland, catalogued as a Ramsar site of international importance for the country. This open and dynamic system depends on the variables of the hydrological regime of the area where it is located. Since it is located in the Chorotega region, its seasonality is marked by two seasons, with the rainy season having the greatest impact on the volumes of the water body within the wetland, as identified by Sentinel 2 satellite images. On the other hand, in the dry season its levels decrease, replacing the water body by the presence of the site's own vegetation.

With the use of QGIS software, the baseline sub-basins were delimited using the fluvigraphic stations as gauging points, as well as the other sub-basins that flow into the right and left margins of the wetland, from which they were morphologically characterized. In addition, their flow rates were estimated, yielding higher volumes (m³/s) in the Bebedero river basin with respect to the Tempisque river.

On the other hand, field measurements were taken to record water levels in the wetland, whose data determine its dynamic behavior with respect to the inflows and outflows of the water resource. Also, meteorological variables from the Los Negritos station located near the wetland were analyzed, where the relationship between temperature and evapotranspiration was found, the latter variable functioning as the outlet of the system, as well as the incidence of direct precipitation.

Finally, by interpreting the data obtained, the conceptual hydrological model is developed, where the variables that govern the dynamics of the wetland around seasonality are delimited.

Keywords: fluvigraphic, conceptual model, Ramsar site, incidence, water mirror.

Índice de Contenidos

Glosario y Abreviaciones.....	XII
Capítulo I - Introducción	1
1.1 Introducción	2
1.2 Declaración del Problema	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5
1.5 Alcances y Limitaciones	6
1.5.1 Alcances.....	6
1.5.2 Limitaciones	6
1.6 Resumen del Reporte	7
2.1 Generalidades del Área de Estudio	11
2.1.1 Localización Geográfica	11
2.1.2 Información Biofísica	11
2.1.3 Información Hidrológica.....	12
2.1.4 Información Demográfica	13
2.1.5 Actividades Socioeconómicas	14
2.2 Amenazas del humedal	16
2.3 Humedales Ramsar.....	17
2.3.1 Antecedentes Internacionales	17
2.3.2 Antecedentes Nacionales.....	18
2.4 Institucionalidad	18
2.5 Estudios Previos.....	19
Capítulo III – Marco Teórico	21
3.1 Modelo Conceptual.....	22
3.1.1 Modelo Hidrológico.....	22
3.2 Variación Estacional.....	23
3.3 Sistemas de Información Geográfica	23

3.3.1 Herramientas de Procesamiento	24
3.3.2 Imágenes Satelitales	24
3.3.3 Cartografía 3D en GIS.....	24
3.4 Delimitación Cuenca Hidrográfica.....	25
3.5 Parámetros Hidrológicos	25
3.5.1 Análisis de Parámetros Hidrológicos	25
3.6 Estimación de Caudales.....	26
3.6.1 Método Racional	26
3.6.2 Método Traslado de Caudales.....	26
3.7 Déficit Hídrico	26
Capítulo IV - Estudio de Prefactibilidad.....	28
4.1 Prefactibilidad Técnica	29
4.2 Prefactibilidad Legal.....	29
4.3 Prefactibilidad Financiera	32
4.4 Prefactibilidad Ambiental.....	34
4.5 Prefactibilidad Social.....	35
Capítulo V- Metodología.....	37
5.1. Descripción General de la Metodología	38
5.1.1 Proceso Metodológico	38
5.2. Población y Muestra	39
5.3 Métodos y Herramientas Seleccionados.....	39
5.4. Relación del proceso metodológico y los objetivos específicos	40
5.4.1 Objetivo Específico 1:.....	40
5.4.2 Objetivo Específico 2:.....	41
5.4.3 Objetivo Específico 3:.....	43
5.4.4 Objetivo Específico 4:.....	45
5.3.5 Objetivo Específico 5:.....	46
5.5 Otros aspectos a considerar	47
5.5.1 Presupuesto	47
5.5.2 Cronograma de actividades.....	48
5.5.3 Ética en la Investigación.....	49

Capítulo VI - Resultados y Discusión	50
6.1 Análisis de Resultados según objetivos.....	51
6.1.1 De acuerdo con Objetivo 1	51
6.1.2 De acuerdo con Objetivo 2	58
6.1.3 De acuerdo con Objetivo 3	66
6.1.4 De acuerdo con Objetivo 4	71
6.1.5 De acuerdo con Objetivo 5	74
6.2 Discusión de resultados.....	78
6.2.1 Discusión de principales hallazgos.....	78
6.2.2 Discusión sobre Cumplimiento de Objetivos.....	80
Capítulo VII - Conclusiones y Recomendaciones	83
Referencias Bibliográficas	89
Anexos	97

Índice de Figuras

Figura 1.1 <i>Lista del Registro Montreux de humedales amenazados en Costa Rica.</i>	3
Figura 2.1 <i>Ubicación geográfica de la zona de estudio.</i>	11
Figura 2.2 <i>Ubicación espacial de los territorios bajo influencia del proyecto.</i>	14
Figura 2.3 <i>Fotografías representativas de las actividades socioeconómicas desarrolladas en el área bajo influencia del estudio.</i>	16
Figura 3.1 <i>Esquema del modelo conceptual general para evaluar disponibilidad del recurso hídrico.</i>	22
Figura 3.2 <i>Efecto de la sequía en la provincia de Guanacaste</i>	27
Figura 4.1 <i>Insumos requeridos para desarrollar los objetivos planteados en el proyecto.</i>	29
Figura 5.1 <i>Diagrama del flujo del proceso metodológico.</i>	39
Figura 5.2 <i>Instrumento de medición de los niveles de agua del humedal PNPV.</i>	44
Figura 5.3 <i>Resumen de la metodología con relación a los objetivos específicos que se utilizará en la ejecución del proyecto.</i>	47
Figura 5.4 <i>Diagrama de Gantt y ruta crítica del proyecto.</i>	48
Figura 6.1 <i>Estacionalidad del PNPV en el periodo del 2016.</i>	52
Figura 6.2 <i>Estacionalidad del PNPV en el periodo del 2018.</i>	53
Figura 6.3 <i>Estacionalidad del PNPV en el periodo del 2019.</i>	54
Figura 6.4 <i>Estacionalidad del PNPV en el periodo del 2020.</i>	55
Figura 6.5 <i>Estacionalidad del PNPV en el periodo del 2021.</i>	56
Figura 6.6 <i>Comparación dinámica entre los diferentes años de la época seca.</i>	57
Figura 6.7 <i>Comparación dinámica entre los diferentes años de la época lluviosa.</i>	57
Figura 6.8 <i>Localización de estaciones fluviográficas seleccionadas para el proyecto.</i>	58
Figura 6.9 <i>Subcuencas obtenidas a partir de los puntos de aforo.</i>	60
Figura 6.10 <i>Subcuencas de influencia al PNPV.</i>	62
Figura 6.12 <i>Instrumento de barra de medición del humedal PNPV.</i>	67
Figura 6.13 <i>Barra nueva de medición del nivel del agua instalada.</i>	68
Figura 6.14 <i>Medición para la calibración de instrumentos.</i>	69
Figura 6.17 <i>Modelo Hidrológico Conceptual del humedal del PNPV.</i>	75
Figura 6.18 <i>Perfil Hidrogeológico del humedal del PNPV.</i>	76
Figura 6.19 <i>Modelo Hidrológico Conceptual del humedal del PNPV, estación seca 2021</i>	77
Figura 6.20 <i>Modelo Hidrológico Conceptual del humedal del PNPV, estación lluviosa 2021</i>	78

Índice de Tablas

Tabla 2.1 <i>Actividades socioeconómicas desarrolladas en el área bajo influencia del estudio.</i>	14
Tabla 2.2 <i>Documentos de referencia enfocados en modelos hidrológicos conceptuales.</i> ..	19
Tabla 4.1 <i>Marco legal referente al estudio “Elaboración de un modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica anual del funcionamiento del humedal Parque Nacional Palo Verde en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica”</i>	30
Tabla 4.2 <i>Presupuesto global del proyecto</i>	32
Tabla 5.1 <i>Clasificación de categorías según la tonalidad de colores</i>	41
Tabla 5.2 <i>Descripción de las ecuaciones acerca de los parámetros morfométricos de las subcuencas de influencia.</i>	41
Tabla 5.3 <i>Identificación de estaciones fluviográficas con registro mensual que inciden en el Humedal PNPV.</i>	42
Tabla 5.4 <i>Identificación de estaciones meteorológicas cercanas al Humedal PNPV.</i>	45
Tabla 6.1 <i>Parámetros morfométricos de las subcuencas de línea base.</i>	60
Tabla 6.2 <i>Parámetros morfométricos de las subcuencas de influencia</i>	63
Tabla 6.3 <i>Caudales de las subcuencas de influencia en el humedal PNPV.</i>	64

Índice de Anexos

Tabla 6.1 A Comparación entre los diferentes años y las estaciones climáticas respectivas	98
Figura 6.2 A Delimitación de subcuencas de acuerdo con el punto de aforo	99
Figura 6.2 B Ejemplo Memoria de cálculo de traslados de caudales de subcuencas de línea base	99
Figura 6.2 C Acumulados de precipitación del 4-5 de octubre del 2017	100
Tabla 6.2 D Caudales mensuales de las subcuencas de influencia	100
Figura 6.3 A Evidencia del cambio del espejo del agua a causa de plantas invasoras ..	102
Figura 6.3 B Barra de medición rodeada de plantas invasoras vista desde binoculares	103
Figura 6.3 C Barra de medición y carteles para la colaboración información del nivel del humedal	103
Figura 6.3 D Carteles para la colaboración información del nivel del humedal	104
Figura 6.3 E Carteles para la colaboración información del nivel del humedal	104
Figura 6.3 F Carteles para la colaboración información del nivel del humedal	105
Figura 6.3 G Portada del Google Forms para el registro del nivel de agua	105
Tabla 6.3 H Registro de medición de los niveles del agua	106
Figura 6.3 I Pronóstico de oleaje de mareas de acuerdo con MIO	107
Tabla 6.3 J Pronóstico del Oleaje Puntarenas, Puntarenas, Costa Rica	108
Tabla 6.4 A Datos meteorológicos del humedal PNPV	109
Figura 6.5 A Recorrido realizado en lancha en la desembocadura del río Tempisque ...	110
Figura 6.5 B Visita a Puerto Chamarro, PNPV	110

Glosario y Abreviaciones

ACAT: Área de Conservación Arenal Tempisque

ASP: Áreas Silvestres Protegidas

CCP: Centro Centroamericano de Población

DRAT: Distrito de Riesgo Arenal Tempisque

IA: Impacto Ambiental

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

INDER: Instituto de Desarrollo Rural

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

MINAE: Ministerio Nacional de Ambiente y Energía

MIO: Módulo de Información Oceanográfica

OMM: Organización Meteorológica Mundial

PNPV: Parque Nacional Palo Verde

SENARA: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

SETENA: Secretaría Técnica Nacional Ambiental

SIG: Sistema de Información Geográfica

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

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

USGS: United States Geological Survey

Capítulo I - Introducción

En este capítulo se refleja inicialmente el enfoque del proyecto, con sus respectivos apartados: introducción, la declaración del problema que enfrenta actualmente el humedal Palo Verde a nivel hídrico, además, una justificación con criterios donde se expone los argumentos de la realización del proyecto; finalmente se aprecia los objetivos que se pretenden alcanzar, así como los alcances y limitaciones existente en la ejecución del estudio.

1.1 Introducción

De acuerdo con el Programa Estado de la Nación (2022), Costa Rica posee 11 áreas de conservación, las cuales son gestionadas institucionalmente por el SINAC, dependiente del MINAE. En la provincia de Guanacaste se encuentran tres áreas de conservación, una de ellas es el ACAT, donde se localiza el Parque Nacional Palo Verde. Por otro lado, existen 12 sitios Ramsar en el país (Presidencia de República de Costa Rica, 2022), entre ellos está el humedal Palo Verde, el cual es reconocido por su importancia mundial por ser un área de anidación, refugio y alimentación de aves acuáticas residentes y migratorias.

Palo Verde es una zona que beneficia a la población circundante y a todos los seres vivos del entorno por medio de los servicios ecosistémicos, entre los más importantes se destaca la capacidad de amortiguamiento ante las crecidas de los ríos, de esta manera, controlan las inundaciones y permite que las actividades socioeconómicas no presenten daños ni que los procesos ecológicos desarrollen alteraciones que puedan verse afectados negativamente. También, contribuye con el turismo y recreación de la zona, generando a través de este un aumento en la economía local, además, es gran regulador del clima, ya que, absorbe grandes cantidades de dióxido de carbono y libera oxígeno (Convención de los Humedales Ramsar, 2012).

El estado actual que atraviesan los humedales ha desencadenado una serie de repercusiones que afectan la capacidad de resiliencia de estos ecosistemas a situaciones adversas. Los cambios a nivel paisajístico, arrastre de materia sedimentaria a causa de las crecidas periódicas, la acción del oleaje, fenómenos de origen natural, todos estos factores sumados a componentes antropogénicos tienen gran impacto en el desempeño y características de estos sistemas dinámicos y complejos (Arroyo-González, 2012). Aunque toma un papel de amortiguador ante el impacto del cambio climático, se están viviendo tiempos donde la capacidad de carga de estos entornos está siendo superada. Las variaciones en el clima inciden en la disponibilidad de humedad, alteración en las temperaturas y en el volumen del flujo de la corriente, disminuyendo así los niveles de entrada de agua al humedal (Bates et al., 2008).

En consecuencia, en el presente proyecto se proporciona información hidrológica, misma que contribuirá con el rezago que ha presentado en dicho ámbito en los últimos años, cabe mencionar que existe información base en diversos aspectos. No obstante, la entidad gestora no cuenta con los datos necesarios para conocer la oferta hídrica, así como características hidrológicas que funcionen para la elaboración de un modelo hidrológico

conceptual para la visualización del funcionamiento del sistema en sí. Además, considerando que hay dos cuencas hidrográficas que desembocan en el humedal PNPV, se estiman los volúmenes de entrada que recibe el humedal con el fin de contribuir en la toma de decisiones acerca del aprovechamiento del recurso hídrico fundamentados por criterios objetivos obtenidos de este estudio.

1.2 Declaración del Problema

El humedal PNPV, es uno de los 12 sitios catalogados como importancia internacional Ramsar en Costa Rica, no obstante, como se aprecia en la figura 1.1, es el único que está en lista de los humedales amenazados del Registro Montreux, este último “es un registro de los sitios Ramsar en los que se hubieran producido, se estuvieran produciendo o pudieran producirse modificaciones en las condiciones ecológicas” (2020).

Figura 1.1 Lista del Registro Montreux de humedales amenazados en Costa Rica.



Fuente: Orjuela (2023). Nota: los puntos rojos indican que existe degradación de las condiciones naturales del humedal y requieren restauración inmediata, en cambio, los celestes se refiere que presentan condiciones normales y no requieren restauración inmediata.

Además, dentro de las siete prácticas para la restauración de los humedales establecidas por la Convención de los Humedales Ramsar (2023), se encuentra la elaboración de un plan de restauración sobre la rehabilitación de las condiciones de la zona afectada, y para esto, primeramente, se necesita conocer el estado actual del humedal en diversos ámbitos que caracterizan su estado dinámico, en este caso los hallazgos del estudio son importantes para fundamentar los cambios de carácter morfológico e hidrológico. Por otro lado, de acuerdo con la Convención de Humedales Ramsar (2021) en Palo Verde no se cuenta con iniciativas para mejorar la sostenibilidad del uso del agua, esto causa preocupación ya que se evidencia que no se han adoptado medidas de gestión adecuadas en la contribución del desarrollo sostenible de las subcuencas circundantes.

La problemática existente en torno al Humedal del PNPV es un asunto que trasciende más allá a nivel de áreas protegidas y provinciales, dicho en términos, es a nivel país, por lo cual se integran otras instancias en el proceso. Se desconoce de información preliminar técnica de cómo ha cambiado la distribución hídrica dentro del sistema de humedal desde un enfoque de aporte, dado que actualmente se realizan actividades que inciden en el flujo del agua que recibe el área protegida. Las decisiones que se han ido tomando en la gestión de esta área, no cuenta con las indagaciones necesarias sobre lo que enfrenta el ecosistema para satisfacer y procurar mantener sus servicios ecosistémicos más allá de sus límites, donde es importante mencionar que es un sistema dinámico.

1.3 Justificación

En los informes elaborados por la convención de los humedales han descrito el estado de los humedales a nivel mundial, mediante una serie de datos recopilados se comprueban lo sensible que son ante amenazas como el aumento de temperatura, cambios en la hidrología de las aguas, estrés hídrico, sequías, eventos hidrometeorológicos, cambio climático, subida del nivel del mar (Convención de los humedales Ramsar, 2021). El humedal Palo Verde incluido en el Listado de Humedales de Importancia Internacional no está exento ante esta variabilidad, afectando así su estado hidrológico.

El humedal Palo Verde localizado en la provincia de Guanacaste, Costa Rica, se encuentra en el registro de Montreux siendo parte de la Lista Ramsar, mismo que identifica los sitios ecológicamente amenazados. Para el 2012 el gobierno de Costa Rica solicitó a la secretaría de la Convención Ramsar un asesoramiento en el sitio, mismo que evalúa las medidas implementadas para la conservación del humedal, finalmente, se menciona la

necesidad de contar con información de estudios a nivel hidrológico dentro del humedal. Es por esto por lo que instituciones como SINAC con el apoyo técnico de SENARA han unidos esfuerzos para dar seguimiento a las recomendaciones generadas.

El presente proyecto se enfocará en comprender el funcionamiento hidrológico en el humedal, considerando que es un sistema dinámico y que está bajo la influencia de dos cuencas hidrográficas importantes para la Región Chorotega. Este estudio permitirá recolectar datos de insumo relevantes para lograr caracterizar la dinámica de este sistema abierto. Además, ofrecerá estimaciones de volúmenes de entrada que recibe el ecosistema y la variabilidad que ha tenido el espejo del agua en la última década, se mostrará la incidencia de las variables meteorológicas e hidrológicas en el balance de agua presente en el humedal. Aunado a lo anterior se ejemplificará los aportes, variables y estimaciones a través de la elaboración de un modelo hidrológico conceptual, de esta manera se tendrá respaldo hidrológico en cuanto a las acciones a tomar con respecto a las recomendaciones que se han planteadas por la secretaría de la Convención Ramsar en el humedal.

Las condiciones hidrológicas presentes tienen un papel fundamental en las acciones a tomar sobre la protección y gestión del humedal Palo Verde, cuyo ecosistema posee gran valor ecológico, económico y turístico en el ACAT. Por lo tanto, se pretende brindar los principales hallazgos a las instituciones públicas previamente mencionadas como insumo para próximas gestiones/proyectos ejecutados en la zona.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Elaborar un modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica anual del funcionamiento del humedal Parque Nacional Palo Verde en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Describir los cambios en la superficie del agua mediante imágenes satelitales para la comparación de la dinámica estacional que atraviesa el humedal Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste.
- Establecer la delimitación espacial de las subcuencas de influencia mediante sistemas de información geográfica para la estimación de los aportes de agua que recibe el humedal Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste.

- Determinar el comportamiento dinámico mediante la medición de campo de los niveles del agua para la identificación de las condiciones de frontera que rigen en el humedal Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste.
- Analizar las variables meteorológicas mediante métodos matemáticos para estimación de la incidencia sobre el balance de agua del humedal Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste.
- Elaborar un modelo hidrológico conceptual mediante sistemas de información geográfica para la delimitación espacial dinámica del humedal Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances

- La dinámica de un humedal se debe a diversas razones, mediante el presente estudio se demuestra la influencia que tiene la estacionalidad en el cuerpo de agua el cual está regido por dos épocas que caracterizan al sitio, convirtiéndose en un factor determinante en el comportamiento y funcionamiento del ecosistema.
- El régimen de agua de los humedales está influenciado por variables meteorológicas e hidrológicas, por lo cual se pretende generar insumos cuantificables que contribuyan en la estimación del volumen de entrada en el humedal.
- Se busca la estimación de los aportes de caudales de las diferentes subcuencas de influencia mediante el método de traslado de caudales y acudiendo a datos de estaciones fluviográficas, cuantificando así el volumen de agua de las cuencas que inciden en el humedal PNPV.
- Mediante este trabajo se desarrollan productos con información técnica donde se refleje las condiciones hidrológicas que atraviesa el humedal, además, de la elaboración de un modelo hidrológico conceptual que refleje el funcionamiento del sistema hidrodinámico bajo datos teóricos estimados.

1.5.2 Limitaciones

- Al utilizar imágenes satelitales antiguas se dificulta la identificación de características relevantes, ya que, los píxeles son grandes, y se pierde la información detallada, existe menor precisión para interpretar datos espaciales. Además, se encuentra condicionadas por fenómenos de origen climático e imágenes que poseen características espectrales similares.

- Por otro lado, la obtención de imágenes satelitales se requiere acudir a las diversas plataformas que ofrecen este tipo de servicios, para el presente estudio se requirió ampliar la navegación para hacer la descarga de imágenes bajo rigurosos métodos.
- La obtención de datos meteorológicos e hidrológicos y sus costos ha repercutido en el tiempo de elaboración del proyecto, por lo tanto, se acude a fuentes externas para reducir los tiempos de espera en obtención de registros de datos climáticos.
- Las estaciones fluviográficas existentes en las cuencas hidrográficas bajo análisis, presenta desproporción en la distribución del funcionamiento, limitando así el registro de datos de la cuenca hidrográfica del río Tempisque.
- Existen estaciones hidrológicas dentro del humedal administradas por entidades externas, convirtiendo la información que poseen en uso exclusivo para investigaciones propias de la entidad, limitando así el acceso al registro de datos de caudales y mareas dentro del área en estudio.
- El período de los años de análisis se reduce debido a que los datos de las variables meteorológicas e hidrológicas deben coincidir para encontrar la relación entre las mismas.
- El desarrollo de especies invasoras propias de la zona en estudio incide en el registro de niveles del agua del instrumento usado inicialmente, por lo cual se acude a instalar un instrumento artesanal con fácil acceso para la toma de datos.

1.6 Resumen del Reporte

Para realizar el presente informe se siguió la metodología de Evans et al., (2014), el cual, divide el proyecto en 4 partes fundamentales las que denomina secciones; primeramente, está la sección introductoria, que incluye la parte preliminar y el capítulo I. También se desarrolla la sección de contexto, la cual incluye los capítulos II y III. La sección de diseño metodológico se ve contemplada en el capítulo V y finalmente, la sección de síntesis y resultados se presenta en los capítulos VI y VII. A continuación, se describe cada capítulo desarrollado.

Capítulo I – Introducción

En este capítulo se introduce la problemática que existe en el humedal PNPV en cuanto a la escasez de información hidrológica actual. También, se presentan las razones del por qué se debe disponer de datos actualizados que representen la realidad de la zona

en estudio. Por otro lado, se detalla el planteamiento de los objetivos, alcances y limitaciones. Finalmente, se realiza un resumen de cada capítulo.

Capítulo II – Antecedentes

En este capítulo se contextualiza la zona en estudio, generalidades del PNPV en diferentes enfoques, ya sean geográficos e hidrológicos, se describen aspectos importantes de la zona circundante, también, se presentan estudios previos que se han realizado en el área.

Capítulo III – Marco Teórico

En este capítulo se definen conceptos importantes para el presente estudio, aborda la base conceptual sobre el tema, además se presentan estudios previos, todo esto contribuye a la comprensión de la investigación.

Capítulo IV – Estudios de Prefactibilidad

En este capítulo se analiza si la investigación es viable o no en diferentes aspectos ya sean técnicos, legales, financieros, ambientales y sociales. Este análisis permite identificar la factibilidad del proyecto.

Capítulo V – Metodología

En este capítulo se describe minuciosamente el proceso metodológico a seguir para cumplir el objetivo del proyecto. También, se muestran las herramientas a utilizar para cada actividad a realizar.

Capítulo VI – Resultados y Discusión

En esta sección, se presenta los principales resultados, así como la respectiva discusión considerando lo desarrollado en la metodología propuesta con anterioridad. Siguiendo el orden de los objetivos propuestos y su respectivo proceso metodológico se expone y discute el alcance obtenido, las estrategias implementadas para su ejecución, así como los principales hallazgos y las mejoras que se pueden efectuar con respecto a la metodología propuesta en el capítulo V.

Capítulo VII – Conclusiones y Recomendaciones

Para finalizar, a través de lo obtenido en los resultados y las estrategias implementadas para el desenlace de este proyecto se presentan de manera general, así

como una serie de recomendaciones derivadas entre los hallazgos y las principales medidas a considerar para la elaboración de un modelo hidrológico conceptual en términos de hidrología y los parámetros que conlleva el poder realizarlo.

Capítulo

II



Antecedentes

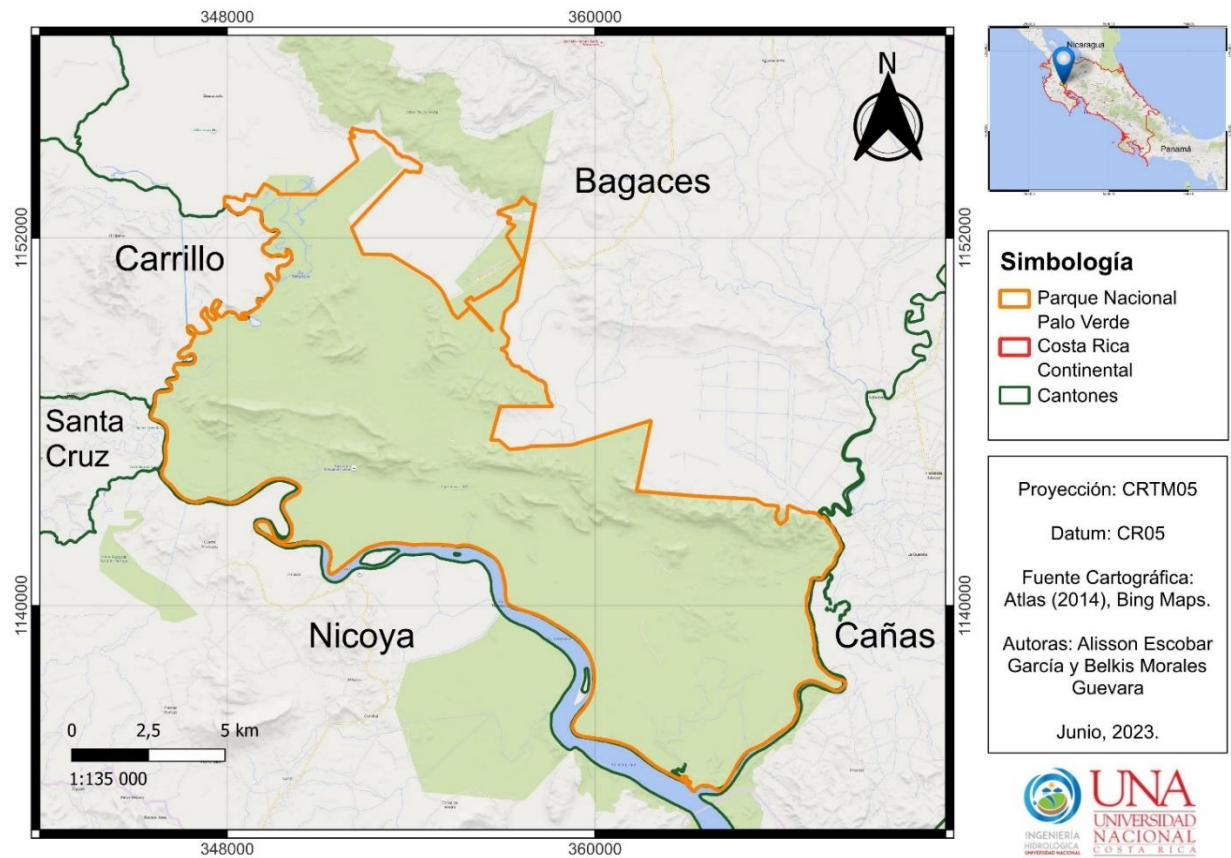
En el presente capítulo se efectúan los antecedentes abarcando generalidades sobre el área bajo influencia de estudio, contemplándolo desde un razonamiento deductivo, bajo esta línea se menciona aspectos como las cuencas hidrográficas que inciden, información geográfica, biofísica, hidrológica y ámbito demográfico, actividades socioeconómicas, además, los humedales relacionados a Ramsar, las instituciones involucradas en brindar apoyo en la ejecución del proyecto y de manera breve se exponen estudios previos sobre elaboración de modelos hidrológicos conceptuales.

2.1 Generalidades del Área de Estudio

2.1.1 Localización Geográfica

La zona de estudio se encuentra en el distrito cabecera y homónimo del cantón de Bagaces, perteneciente a la provincia de Guanacaste, en la parte noroeste de Costa Rica. El PNPV está ubicado a 20km aproximadamente del centro de Bagaces, limita con otros 4 cantones, al Sur con Nicoya, al Este con Cañas y al Oeste con Carrillo y Santa Cruz.

Figura 2.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio.



Fuente: elaboración propia (2023).

2.1.2 Información Biofísica

Al formar parte de las llanuras Guanacastecas, la región cuenta con dos épocas influenciadas por el clima de la Vertiente del Pacífico, las cuales son una estación seca que comprende de diciembre a marzo, siendo abril un mes de transición y una estación lluviosa que va de mayo a noviembre, para los meses de julio y agosto se presenta el fenómeno denominado “canícula” periodo en el cual hay recesión de precipitación (Montero, 2018).

Este territorio posee altitudes desde los 0 m.s.n.m. en las partes bajas, localizadas en el margen derecho del Río Tempisque, mientras que en las zonas montañosas rondan los 2028 m.s.n.m. (Cambroner et al, 2021).

Bagaces recibe un promedio de precipitación anual de 1457 mm, no obstante, al estar dentro de las características climáticas propias de la zona montañosa de la cordilla de Guanacaste se tiene valores que oscilan desde los 1300 mm en partes bajas del distrito de Bagaces, mientras que en las zonas altas posee cifras de hasta 2500 mm anuales que corresponden a los distritos de Mogote, Fortuna y Río Naranjo. La temperatura promedio anual es de 27.9 °C (MAG, 2020).

Según Cambroner et al., (2021) menciona que las condiciones de precipitación, altitud y temperatura permiten que se desarrolle una vegetación asociada a la del bosque tropical seco en la parte media y baja, con presencia de pantanos. La deforestación en la época de 1987 y 2001 presentó pérdida de su cobertura boscosa natural, sin embargo, en años posteriores entre 2001 a 2011 se regeneraron los bosques en el sitio. La amplia biodiversidad de flora y fauna, así como de ecosistemas han permitido la creación de 5 áreas silvestres protegidas: Parque Nacional Palo Verde, Reserva Biológica Lomas Barbudal, Parque Nacional Rincón de la Vieja, Parque Nacional Miravalles - Jorge Manuel Dengo y Reserva Biológica La Virgen.

El PNPV se ubica en la cuenca baja del río Tempisque y dentro de los límites geográficos del ACAT, su clima es característico del Pacífico Norte donde es marcada la época seca. Los montos de precipitación oscilan entre los 1500 mm y 2000 mm, mientras que el promedio de temperatura se aproxima a los 26 °C y 29 °C, donde los valores máximos rondan los 38 °C. Las elevaciones máximas rondan los 268 m.s.n.m. y mínimas de 0 m.s.n.m. Es importante recalcar que desde 1991 es un Sitio Ramsar de importancia internacional esto ha permitido la intervención de los humedales y a la apertura de más de 500 hectáreas de laguna (SINAC, 2013).

2.1.3 Información Hidrológica

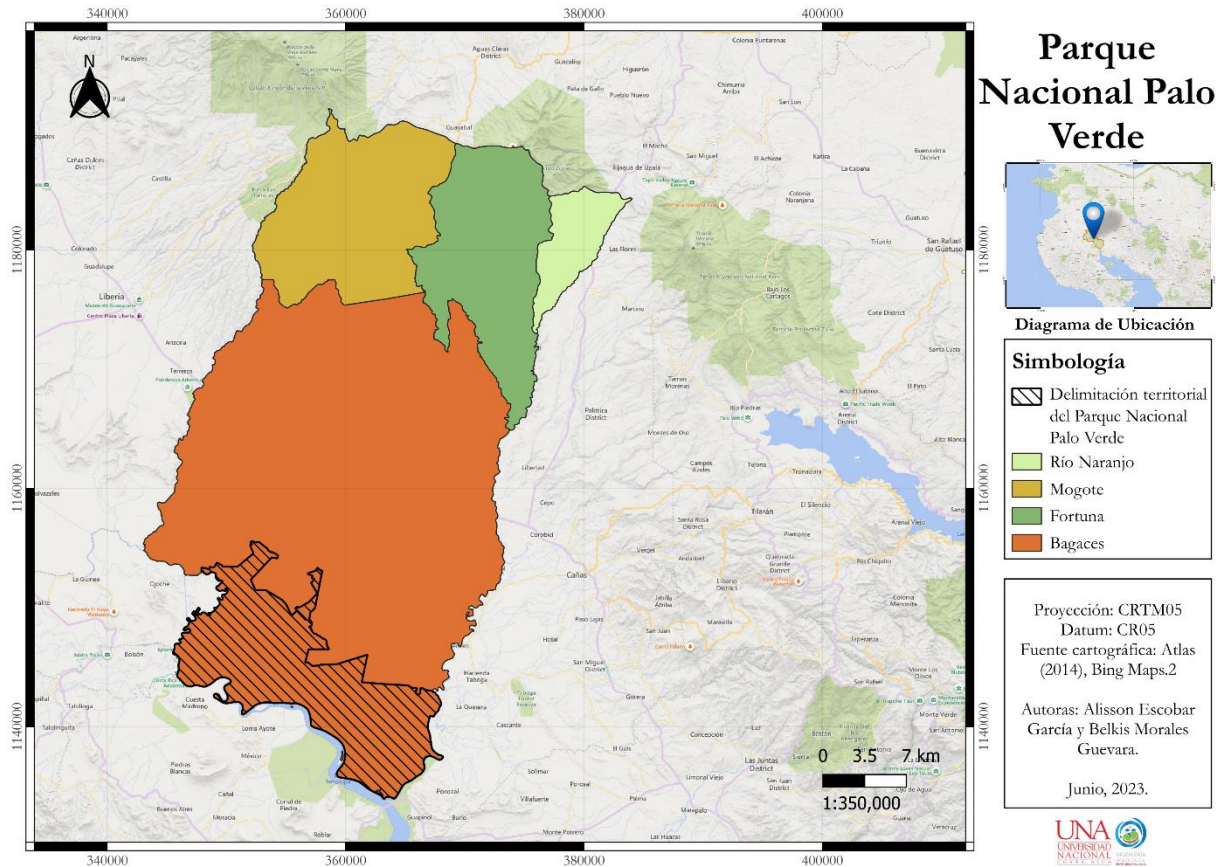
El PNPV se encuentra el bosque tropical seco y sus humedales forman parte de una serie de pantanos, lagunas, esteros, ríos y arroyos en la cuenca baja del río Tempisque, siendo esta cuenca hidrográfica parte de la red hidrológica que alimenta al sistema. El ecosistema acuático se reduce y hasta llega a desaparecer durante la época seca, mostrando una marcada estacionalidad. Se encuentra en la vertiente del Golfo de Nicoya,

sobre la margen izquierda del río Tempisque. Al lado noreste del parque se encuentran humedales que son recorridos por los ríos de la cuenca Bebedero (Convención sobre los Humedales, 1998).

2.1.4 Información Demográfica

Según los resultados generales presentados por el INEC en el censo realizado en el año 2011, en el cantón de Bagaces se contabiliza una población de 19536 habitantes, específicamente para el distrito de Bagaces se cuenta con una población que ronda los 12367 individuos (INEC, 2011). Aunque recientemente se realizó el censo 2022, el INEC avanza con la revisión, validación de la información recolectada ampliando el periodo de publicación de resultados generales para el segundo trimestre del 2023 (INEC, 2022) mismo que aún no ha sido publicado. Sin embargo, con base a las proyecciones registradas en el Sistema de Consulta a Bases de Datos Estadísticos del Centro Centroamericano de Población de la Universidad de Costa Rica, para la proyección distrital de la población de Bagaces se tiene que en el presente año bajo estudio se cuenta con 16760 habitantes (CPP, 2023).

Figura 2.2 Ubicación espacial de los territorios bajo influencia del proyecto.



Fuente: elaboración propia (2023).

2.1.5 Actividades Socioeconómicas

La zona de estudio se encuentra en la región Chorotega específicamente en el cantón de Bagaces las actividades socioeconómicas predominantes en esta zona se encuentran descritas en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Actividades socioeconómicas desarrolladas en el área bajo influencia del estudio.

Actividad	Potencialidad
-----------	---------------

Turismo

En la zona alta de la región se encuentra generación de energía mediante proyectos ecológicos, hídricos, solar, geotérmicos. Aguas termales como actividad recreativa. Mientras que en su parte baja se encuentra importancia de biodiversidad en áreas bajo protección; Reserva Biológica Lomas de Barbudal, Parque Nacional Palo Verde, Río Tempisque.

Ganadería

En el transcurso de los años esta actividad ha tomado auge, dentro de los mecanismos de producción se maneja en 3 sistemas productivos; leche, carne y doble propósito, además, se da la producción de lácteos. Se cuenta con una cámara de ganaderos de Bagaces.

Agricultura

Mediante el Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT) se beneficia del riego por gravedad a los monocultivos como el arroz, caña de azúcar y hortalizas, para este último se realiza riego por goteo.

Comercio y Servicios

La región se caracteriza por presentar uso del suelo con predominancia de vivienda, donde el comercio ha ido prosperando a causa de la creciente demanda de servicios, mismo se refleja en el centro de Bagaces y en las afueras.

Fuente: INDER (2016), MAG (2020) y Montero (2018).

Figura 2.3 Fotografías representativas de las actividades socioeconómicas desarrolladas en el área bajo influencia del estudio.



Nota: A) agricultura, B) ganadería C) y D) Turismo. Fuente: Crespo (2016) y Elaboración propia (2022).

2.2 Amenazas del humedal

La región Chorotega es donde más ocurren incendios forestales, presentan el mayor número de hectáreas afectadas, tanto dentro como fuera de las ASP, entre las tres áreas de conservación que se encuentran en esta región, para la temporada del 2021, representaron un 97% de las áreas dañadas en el país. Bagaces fue de los cantones con mayor afectación, para el mismo año obtuvo un registro de 1200 hectáreas incendiadas (SINAC, 2022). A finales de abril del 2023, ocurrió un incendio que triplica la cantidad de hectáreas del 2021, con más de 3000 hectáreas perjudicadas, lo cual causa preocupación por el impacto que puede llegar a tener (Esquivel, 2023). Por otro lado, entre las causas

más comunes, el 98% son por acción humana a raíz de quemas agrícolas, vandalismo o descuidos (Chacón, 2023), tal fue el efecto que provocó una columna en la Península de Nicoya (IMN, 2023).

También, dentro de las amenazas que afectan al cuerpo de agua, es decir, al humedal Palo Verde, se encuentra la invasión de plantas acuáticas, especialmente de la *Typha domingensis*, conocida como tifa, esto hace que los cuerpos de agua disminuyan, ya que provoca que se cubra gran parte del espejo de agua (Trama et al., 2009). La proliferación de esta especie puede cambiar considerablemente el hábitat disponible, minimiza la diversidad de aves migratorias (Bufford y González, 2012).

Por otro lado, el aumento de temperatura incrementa la aridez en la región, todo esto atribuido al cambio climático, afectando considerablemente a las actividades socioeconómicas como la agricultura y ganadería, asimismo, provoca escasez de agua (Blanco, 2019). Específicamente en el PNPV se proyectan escenarios climáticos referentes al impacto sobre los servicios ecosistémicos, en los que destaca la disminución de lluvia y aumento en la evapotranspiración traerá suelos muy secos y habrá menos agua disponible, también se proyecta que aumente la vulnerabilidad en la zona de ocurrencia de incendios forestales (Moreno et al., 2019).

2.3 Humedales Ramsar

2.3.1 Antecedentes Internacionales

La convención Ramsar es un tratado realizado y aprobado en la ciudad de Ramsar, Irán; inicialmente orientado a la protección de los humedales para la conservación del hábitat de las aves, con el pasar de los años y los múltiples alcances logrados se expandió en la medida de lo posible todo lo que contempla un humedal (Secretaria de la Convención Ramsar, 2016). Según Ramsar (2014), menciona que el objetivo de la Convención Ramsar es; "la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales, gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo".

Ramsar realiza seguimientos en los estados y tendencia de los humedales a nivel mundial, valorando los progresos alcanzados en el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6. Los sitios Ramsar fomentan la prosperidad, como lo es el sitio Ramsar Tubataha Reefs Natural Marine Park, Filipinas área protegida donde los fondos recolectados a nivel de turismo son usados para gestionar el sitio y compensar a los

pescadores por ser zona prohibida de pesca. También está el caso del Sitio Ramsar Laguna y esteros del Iberá, Argentina, las visitas anuales han ayudado a reactivar la economía local y a desarrollar un turismo basado en la conservación entorno al sitio. Dentro de la lista de humedales de importancia internacional sobresalen algunos humedales por sus aportes en una determinada región (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018).

2.3.2 Antecedentes Nacionales

La Convención está vigente en Costa Rica desde el 27 de abril de 1991, y progresivamente se fueron integrando, donde en la actualidad se cuenta con una superficie de 569.742 hectáreas designados como Humedales de Importancia Internacional (sitios Ramsar) (Ramsar, 2014). El 7% del territorio nacional está cubierto por humedales donde solo 12 de ellos son ecosistemas de importancia mundial, estos sitios representativos cumplen funciones ecosistémicas únicas que además brindan una amplia biodiversidad de especies residentes y migratorias. Dentro de los Sitios Ramsar en Costa Rica están: Manglares de Potrero Grande, Refugio Nacional de Vida Silvestre Tamarindo, Humedal Nacional Térraba Sierpe, Refugio Nacional de Vida Silvestre Caño Negro, Embalse Arenal, Humedal Maquenque, Parque Nacional Isla del Coco, Laguna Respingue, Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo, Humedal Caribe Noreste, Turberas de Talamanca y Parque Nacional Palo Verde (Soto, 2015).

2.4 Institucionalidad

El SINAC es una dependencia del MINAE originado mediante el artículo 22 de la Ley de Biodiversidad N°7788 en el año 1998, dicha institución ejerce sus funciones como sistema de gestión y coordinación de manera desconcentrada y participativa donde integra componentes en ámbitos forestales, vida silvestre, áreas protegidas, protección y conservación del uso de cuencas hidrográficas y sistemas hídricos con el objetivo de dictar políticas, planificar y ejecutar acciones que logren la sostenibilidad en el manejo de recursos naturales del país. Asimismo, bajo un concepto de conservación integral permite desarrollar una gestión pública responsable en participación del Estado, la sociedad civil, empresa privada y todo aquel individuo del país que esté interesado y comprometido en desarrollar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado (SINAC, 2016).

El SENARA creado mediante la Ley N°6877 en el año de 1983, unidad estatal con atribuciones legales que se creó con el propósito del desarrollo agropecuario a nivel nacional mediante la implementación y funcionamiento de sistemas de riego, avenamiento

y protección contra inundaciones, dentro de sus funciones se le asignó proteger y fomentar un uso racional de los recursos hídricos en términos superficiales y subterráneos. Dentro de su marco estratégico trabaja con línea de acciones de acuerdo con cada eje; producción agropecuaria sostenible con riego, prevención de inundaciones y producción agropecuaria sostenible con drenaje, producción agropecuaria sostenible con riego y drenaje: en el distrito de riego Arenal Tempisque, investigación hidrogeológica y gestión hídrica, así como la gestión organizacional (SENARA, 2019).

De acuerdo con los representantes de SENARA y SINAC, (comunicación personal, 31 de marzo de 2023), en los últimos años las decisiones tomadas por el país en mitigar el déficit hídrico en la zona de Guanacaste no han sido contemplados íntegramente en aspectos técnicos, afectando el estado de los ecosistemas terrestres y acuáticos, evidenciando escasez en los sistemas de monitoreo, los cuales son importantes para cuantificar la influencia directa o indirecta a estos entornos. Es por esto por lo que, instituciones públicas como el SINAC en conjunto con SENARA han unido esfuerzos para apoyar en los estudios técnicos que se requieren para la elaboración del presente proyecto.

2.5 Estudios Previos

A continuación, se presentan diferentes estudios previos en cuanto la elaboración de modelos hidrológicos conceptuales o similares a estos.

Tabla 2.2 Documentos de referencia enfocados en modelos hidrológicos conceptuales.

Autoría/Nombre	Principales Hallazgos
Delgado, L., Tironi-Silvab, A., & Marín, V. (2019). Sistemas socio-ecológicos y servicios ecosistémicos: modelos conceptuales para el Humedal del Río Cruces (Valdivia, Chile).	Desarrollan tres modelos conceptuales para una cuenca en estudio, los cuales demuestran las características de su estado ecológico, identificando las principales variables que han sido afectadas por las presiones generadas por la sociedad y su desarrollo y potenciales impactos socio ecológicos.
Triviño, N., & Escobar-Vargas, J. (2018). Un modelo conceptual de la hidrodinámica en humedales tropicales y	Presenta resultados preliminares sobre un modelo conceptual, el cual establece las relaciones socio-hidrodinámicas asociadas a

<p>sus relaciones con dinámicas sociales. Caso de estudio: complejo Cenagoso de la Rinconada (Colombia).</p>	<p>patrones de pesca de la región en estudio. Evidencia las interacciones que existen entre el río, humedal y canales, también, presenta procesos físicos dentro del humedal.</p>
<p>Perdomo, V. & Rojas, C. (2017). Modelo hidrogeológico conceptual a partir de información secundaria, en los alrededores del centro urbano del municipio de Chiquinquirá.</p>	<p>Se realiza un modelo hidrogeológico conceptual, el cual ejemplifica características importantes del municipio en estudio, evidencian el funcionamiento dinámico y las interacciones de los diversos parámetros, además, presentan datos como evapotranspiración, escorrentía, infiltración y recarga potencial</p>

Fuente: elaboración propia (2023).

En consecuente, mediante el capítulo se contextualizaron aspectos que permiten proporcionar información entorno al área de estudio y los diversos ámbitos que influyen en su dinámica espacial y temporal, además, se evidenciaron antecedentes que abordan temáticas relacionadas al presente estudio. En conjunto con lo proyectado en el capítulo 1 sumando a estos antecedentes, facilitarán la comprensión de los términos que se expondrán en el capítulo 3.

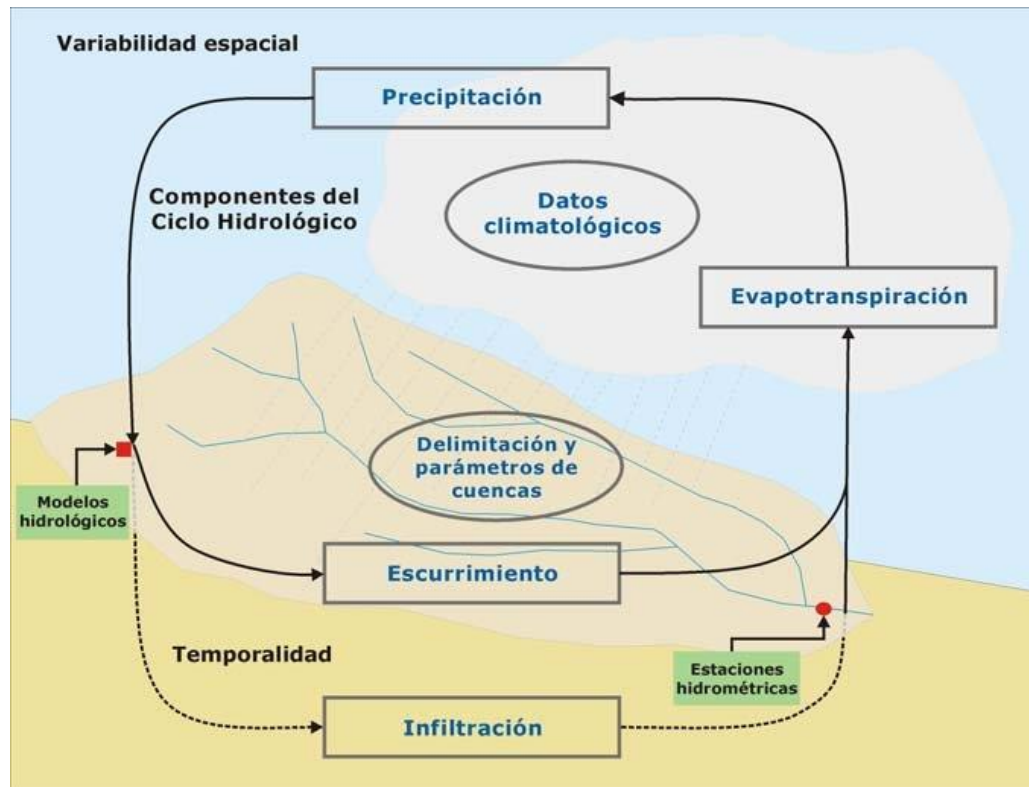
Capítulo III – Marco Teórico

En este capítulo se contempla los tecnicismos que orientan de manera conceptual las bases en los cuales se dispone el presente estudio. La elaboración de un modelo hidrológico conceptual ejemplificando el funcionamiento dinámico del humedal PNPV, es relevante abordar la conceptualización de los elementos teóricos a utilizar y los relacionados; además, se proporciona una visión hacia qué dirección se sitúa el proyecto con base al campo de los conocimientos de la literatura coexistente. En efecto, a continuación, se mencionan aspectos teóricos que propician y enriquecen la comprensión bajo la cual se está dirigiendo el presente estudio abordando términos basados en hidrología.

3.1 Modelo Conceptual

Los modelos conceptuales son representaciones precisas que poseen conocimiento científico, en estos se visualizan fenómenos reales de manera simplificada (Moreira, 1997; Greca et al., 1998).

Figura 3.1 Esquema del modelo conceptual general para evaluar disponibilidad del recurso hídrico.



Fuente: Franco et al., (2008).

3.1.1 Modelo Hidrológico

Estos brindan información sobre el funcionamiento y comportamiento de las diferentes variables del ciclo hidrológico que influyen en una zona de estudio determinada (Cabrera, 2012). Se agrupan en modelos basados en procesos físicos y modelos conceptuales, como bien menciona (Mendoza et al., 2002):

- Los modelos hidrológicos físicos detallan al sistema natural mediante la elaboración de un prototipo, el cual posee representaciones matemáticas.

- Los modelos hidrológicos conceptuales manifiestan la comprensión de un proceso y puede mostrarse mediante un método físico o matemático. Básicamente es una “representación simplificada de una situación real descrita en términos de diagramas, organigramas, relaciones entre variables o leyes naturales” (OMM y UNESCO, 2012, p.60).

3.2 Variación Estacional

Es el movimiento periódico que se produce en un intervalo de tiempo fijo durante el año, el cual se repite anualmente (Hernández, 2015). Esta característica permite analizar la dinamicidad de parámetros importantes en las dos estaciones marcadas que presenta el área en estudio, las cuales son época seca y época lluviosa.

3.3 Sistemas de Información Geográfica

Los sistemas de información geográfica son un conjunto de herramientas que permiten procesar información de datos de tipo espacial usados para la toma de decisiones acerca de ciertos espacios o zonas específicas de la tierra, asimismo, para visualizar de manera general un espacio de acuerdo con la base de datos digitales. El software además de manejar información tiene la capacidad de comprender el funcionamiento de subsistemas que ayudan al manejo eficiente de información y de mapas asociados. El SIG opera un conjunto de subsistemas según las aplicaciones; 1. Procesamiento de datos espaciales de entrada de varios orígenes, 2. Almacenamiento de datos permitiendo recuperar, editar y actualizar información 3. Estimación de parámetros, manipulación, análisis entre subsistemas y funciones modeladas, 4. Muestra gran parte de la base de datos en gráficos, tablas o mapas (Sosa-Pedroza y Martínez-Zúñiga, 2009).

En Costa Rica los SIG según Solano (1993) han tenido auge en la solución de diferentes problemas y están siendo utilizados en diversos campos; en el manejo de cuencas hidrográficas, monitoreo ambiental, manejo y conservación de recursos naturales, levantamientos del uso del suelo. Los SIG útiles para localizar áreas o puntos idóneos para el establecimiento de alguna actividad y conocer los sitios estratégicos de donde se debe ubicar determinadas actividades. Asimismo, los procesos de planificación urbana y en lo que concierna a conservación de recursos naturales, dado que la información obtenida muestra las principales características de un área, misma que puede ser mapeada, almacenada y manipulada mediante softwares de SIG, realizando combinaciones de variables permitiendo el desarrollo de predicciones y su grado de incidencia, lo cual facilita el proceso de toma decisión para las resoluciones de conflictos en menor tiempo.

Las herramientas que proporcionan los sistemas de información geográfica, así como la interpretación de imágenes satelitales, permiten la caracterización espacio temporal de las propiedades morfométricas de las cuencas hidrográficas y de las redes de drenaje. Analizar los parámetros morfométricos de forma, relieve y la red hidrográfica mediante uso de SIG se ha convertido en un instrumento que proporciona información sobre la dinámica que juega el caudal dentro de la cuenca (Gaspari et al., 2012).

3.3.1 Herramientas de Procesamiento

Para el presente estudio se contemplan las siguientes herramientas de procesamiento de datos geospaciales, de acuerdo con Girona (2017) son programas de SIG:

- ArcGis: programa no libre desarrollado por la empresa Esri. Dos aplicaciones principales de SIG son ArcMap y ArcGis Pro en su conjunto forman parte de ArcGis for Desktop, estas aplicaciones cuentan con funciones únicas y se pueden crear desde mapas hasta modelos analíticos complejos.
- QGis: es un software de código abierto licenciado bajo General Public License, soporta y almacena números formatos de datos vectorial, ráster y bases de datos.

3.3.2 Imágenes Satelitales

El análisis y procesamiento de imágenes satelitales tiene múltiples aplicaciones en investigaciones, proyectos y en la evaluación de recursos hídricos, teniendo usos en la determinación de parámetros distribuidos espacialmente e incorporados a modelos matemáticos hidrológicos, el monitoreo temporal tanto de cuerpos de agua como del crecimiento de la vegetación y del estado de humedad del suelo, modificaciones en el uso y manejo de recursos naturales. Estas técnicas de sensoreamiento remoto se potencializa cuando se usa en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica, permitiendo manipular gran cantidad de información distribuida espacialmente de manera rápida y eficaz (Scuderi et al., 2000).

3.3.3 Cartografía 3D en GIS

Estas cartografías muestran los datos geospaciales en tres dimensiones, son de gran ayuda para visualizar información topográfica mediante el análisis de las características del terreno y elementos que se asemejan la realidad (Morales, 2021).

3.4 Delimitación Cuenca Hidrográfica

La delimitación de cuencas se basa en la demarcación de áreas de drenaje superficial, donde las aguas llegan a un mismo punto de salida para la realización de esta, se necesitan insumos de carácter topográfico e hidrográfico (Cotler, 2007), además, al identificar los límites geográficos se puede gestionar de mejor manera el recurso hídrico en cuanto al uso y distribución (Geraldí et al., 2010).

3.5 Parámetros Hidrológicos

Estas variables son utilizadas para caracterizar las zonas de estudio en términos de hidrología, también, son relevantes para cuantificar la disponibilidad del recurso y conocer el comportamiento del sistema hidrológico.

- Precipitación: es el agua que procede de la atmósfera y cae en la superficie terrestre, ya sea en forma de lluvia, nieve o granizo (Gutiérrez, 2014). Es un elemento importante en el ciclo del agua.
- Caudales: Es el volumen de agua que en promedio fluye por el cauce de un río. Factores determinantes son el ritmo y la cantidad de precipitaciones recogidas a lo largo de su curso. En el registro de estaciones de aforo se refiere al volumen de agua que corre por el río en un momento concreto se habla de caudal absoluto (m^3/s), la cantidad de agua recogida en relación con la superficie de la cuenca hidrográfica representa entonces el caudal relativo (l/km^2) (Bateman, 2007).
- Escorrentía: agua que va a escurrir por la superficie del suelo hacia fuente de agua superficial o en el interior del suelo, siendo agua subterránea, se ve reflejada cuando la precipitación supera la capacidad infiltración del suelo (Cáceres et al., 2015).
- Evapotranspiración: Paso del agua de la superficie de la tierra a la atmósfera por evaporación de cuerpos de agua, corrientes, superficie del suelo y por transpiración de plantas. Es el resultado del proceso en el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso directamente o través de la planta y regresa a la atmósfera en forma de vapor (Duarte y Díaz, 2003).

3.5.1 Análisis de Parámetros Hidrológicos

Al realizar un análisis de parámetros hidrológicos en una zona determinada, tanto de su comportamiento como de su caracterización en un tiempo definido, se está ejecutando una evaluación de las condiciones hidrológicas (UNESCO, 1993). Tiene como fin obtener información acerca del recurso hídrico en sí, es de gran valor económico, social,

y científico, especialmente en zonas con características de escasez. El objetivo de estas evaluaciones es comprender las interacciones de los elementos del ciclo hidrológico y para poder realizarlas se necesita la recopilación de datos de precipitaciones, temperatura, mediciones de caudal, entre otros (Rodríguez y González, 2014).

3.6 Estimación de Caudales

La estimación de caudales es la aproximación volumétrica que se calcula en un cuerpo de agua, es importante ya que permite planificar de mejor manera el uso del recurso hídrico (Herencia y Carrera, 2019). Dentro de los diferentes métodos para estimar caudales se encuentra el método racional, el método racional modificado e hidrogramas.

3.6.1 Método Racional

Es un modelo hidrometeorológico de los más usados para la obtención de caudales máximos, está relacionado con la intensidad de lluvia y características físicas de la cuenca (López, 2001). El método asume que la intensidad de la lluvia permanece constante durante toda la tormenta, que el tiempo de concentración obtenido es la duración en que la escorrentía sea transportada aguas arriba hasta el punto donde se requiere instalar el sistema de alcantarillado (Chow, et al, 1994).

3.6.2 Método Traslado de Caudales

Este es uno de los principales métodos de hidrología utilizados para la determinación de los caudales máximos. El método se emplea con el fin de tener una idea preliminar sobre el gasto máximo o en el caso donde no se conocen las características de la precipitación en la zona bajo estudio (Bacuilima y Cedillo, 2013).

3.7 Déficit Hídrico

El déficit del recurso hídrico de acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua (2020); es la escasez o falta de agua para consumo humano y producción en una determinada zona, sus causas están relacionados a una alteración de las precipitaciones debido al fenómeno ENOS. Según lo manifestado por la Presidencia de la República de Costa Rica (2019), en dicho año de publicación se declara estado de emergencia en algunos cantones de 5 provincias de la nación, ante la situación generada por el déficit hídrico que presentaba el país en consecuencia del comportamiento anormal de las lluvias como efecto del fenómeno ENOS, mismo que afecta el agua de consumo humano, el destinado para

actividades agroalimentarias, pesca, ecosistemas acuáticos y terrestres, así como el medio ambiente en general.

Fenómeno ENOS: El Niño/Oscilación del Sur es un fenómeno de origen natural que se caracteriza por una variación de las temperaturas del océano en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial que están asociados a los cambios en la atmosfera. Además, este fenómeno tiene gran influencia en las condiciones climáticas de diferentes partes del mundo, no obstante, gracias a los progresos científicos se han mejorado las predicciones en cuanto a escala temporal del fenómeno, contribuyendo a la humanidad a prepararse para sus efectos en déficit hídrico y fuertes precipitaciones (OMM, 2014).

Figura 3.2 Efecto de la sequía en la provincia de Guanacaste



Fuente: Arrieta (2015).

En consecuencia, mediante el capítulo se describieron términos fundamentales para comprender la naturaleza del estudio en sí. Se realizó una revisión de literatura para poder definirlos y relacionarlos con el tema. Además, con esta recopilación de información se estableció una base conceptual que ayudará a analizar resultados en capítulos futuros.

Capítulo IV - Estudio de Prefactibilidad

En este capítulo corresponde a la prefactibilidad abarcando aspectos que ayudan a determinar si es o no oportuno realizar el proyecto, se tiene como referencia la metodología propuesta por Sapag et al., (2014) mencionan que para realizar un proyecto de debe contemplar una serie de estudios donde se valoren las ventajas y desventajas en diversos ámbitos. De acuerdo con la naturaleza del proyecto se determina la viabilidad de prefactibilidad en términos técnico, legal, financiero, ambiental y social, de esta manera, se realiza un análisis de acuerdo con cada aspecto.

4.1 Prefactibilidad Técnica

El estudio técnico proporciona un panorama cuantificable de los requerimientos y equipos tecnológicos indispensables para determinar las inversiones y costos pertinentes del proyecto. Se suele acudir a los procedimientos y tecnologías modernas, puesto que genera mayor optimización técnica. No obstante, interviene a nivel de monto de inversión para su ejecución (Sapag et al., 2014). Con base a lo mencionado con anterioridad y de acuerdo con las características del proyecto en la figura 4.1 se proporcionan los insumos, así como la materia prima requerida para su ejecución.

Figura 4.1 *Insumos requeridos para desarrollar los objetivos planteados en el proyecto.*



Fuente: elaboración propia (2023).

En consecuencia, se establece que las sustentantes de acuerdo con su grado académico y teniendo un perfil profesional de Ingenieras Hidrológicas poseen la capacidad técnica de integrar los conocimientos adquiridos y plasmarlos en los aspectos que demanda la elaboración del proyecto. Por ende, que este estudio cuenta con la viabilidad técnica necesaria para su ejecución.

4.2 Prefactibilidad Legal

En este apartado se identifican disposiciones legales vigentes los cuales funcionan como base para desarrollar el proyecto en estudio. En este análisis se contemplan aspectos

de carácter legal que son relevantes en diversas actividades del estudio (tabla 4.1), específicamente, se detallan hitos fundamentales que respaldan el desarrollo del estudio.

Tabla 4.1 Marco legal referente al estudio “Elaboración de un modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica anual del funcionamiento del humedal Parque Nacional Palo Verde en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica”

Marco Legal	Hito	Descripción con relación al proyecto
Ley de aguas N° 276	Creación de la ley de Aguas en 1942	Mediante esta normativa se establece el marco legal para la gestión, conservación y uso sostenible de los recursos hídricos en Costa Rica, y al referirse a los humedales como ecosistemas acuáticos que dependen de un suministro adecuado de agua para su funcionamiento, esta ley es de relevancia para gestionar correctamente su uso, de esta manera se estaría evitando impactos negativos en el ecosistema acuático del PNPV, el cual es el humedal.
Convención de Ramsar Ley N° 7224	Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas "Convención de Ramsar" Ley N° 7224	Esta convención considera a los humedales con un gran valor económico, ecológico, social, científico entre otros. Por lo cual, la aprobación de la convención en nuestro país fortalece la gestión del humedal PNPV, en cuanto a protección, manejo, etc. La convención declaró el humedal Palo Verde como área amenazada, por lo tanto, dentro de las recomendaciones que realizan, se encuentra la realización de un plan de restauración, el proyecto en estudio contribuye en términos hidrológicos para la toma de decisiones sobre dicho plan.

<p>Artículo 22 de la Ley de la Biodiversidad N° 7788</p>	<p>Creación del SINAC</p>	<p>El SINAC es el ente encargado de gestionar el PNPV con la colaboración de otras instituciones públicas y privadas. Esta institución tiene un vínculo directo con el proyecto ya que, los resultados se le proporcionarán como insumo fundamental para gestionar el recurso hídrico de la zona en estudio.</p>
<p>Decreto Ejecutivo N° 36427-MINAET</p>	<p>Creación del Programa Nacional de Humedales y Comité Nacional de Humedales</p>	<p>Este programa se creó con el fin de promover, planificar y desarrollar los humedales de Costa Rica. El PNPV es uno de los humedales más importantes del país, por lo tanto, mediante esta institución contribuye en la implementación de medidas de protección, monitoreo y gestión de sus recursos naturales.</p>
<p>Artículos 40, 41, 45, respectivamente de la Ley Orgánica del ambiente N° 7574</p>	<p>Definición de humedales; humedales como interés público; prohibición de las actividades orientadas a interrumpir los ciclos naturales de los ecosistemas de humedal.</p>	<p>Esta ley favorece para establecer mecanismos de protección de la biodiversidad de los ecosistemas del PNPV. El humedal es de interés público ya que es un ecosistema de bien común para los seres vivos y las interacciones de estos con el medio ambiente.</p>
<p>Artículo 18 de la Ley Forestal N° 7575</p>	<p>Prohibición de la corta o el aprovechamiento de los bosques en parques nacionales, reservas biológicas, manglares, zonas protectoras, refugios de vida silvestre y reservas forestales propiedad del Estado.</p>	<p>Con la aprobación de esta ley, se vela por la conservación, protección y administración de los bosques naturales, lo que incluye los ecosistemas presentes en el PNPV.</p>

Ley de Servicios de Parques Nacionales N° 6084	Creación de Servicios de Parques Nacionales	Este servicio se aprobó con el objetivo de desarrollar y administrar los parques nacionales para la conservación natural del país.
--	---	--

Fuente: elaboración propia (2023).

Referente a lo anterior, y a la normativa relevante para la ejecución del proyecto, se determina que no existe prohibición o regulación en cuanto a la Elaboración de un modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica anual del funcionamiento del humedal Parque Nacional Palo Verde en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. Se brindan las bases legales para el desarrollo de investigaciones y proyectos orientados a proteger y estudiar ecosistemas de alta relevancia ecológica, como lo es el humedal del PNPV, que contribuyan a la conservación de este mismo, es por esto por lo que se garantiza la viabilidad legal.

4.3 Prefactibilidad Financiera

El estudio financiero, básicamente abarca la información de carácter monetaria y así identificar los costos o ingresos que le proporcionarán al proyecto (Sapag et al., 2014). A continuación, (tabla 4.2), se detallan todos los elementos que suministran información financiera y el cálculo del monto total, entre los cuales se encuentran equipos del estudio técnico, actividades que se realizan a lo largo del proyecto, servicios para el buen funcionamiento de los equipos, entre otros.

Tabla 4.2 *Presupuesto global del proyecto*

Categoría de costo	Rubro	Observaciones	Cantidad	Monto unitario	Monto Total
Directos	Computadora	Procesamiento de datos	2	₡ 750.000	₡ 1.500.000
	Equipo de protección personal	Botas de hule Bloqueador	2	₡ 25.000	₡ 50.000

	Materiales de campo	Cinta métrica, varillas, estaca, rotulación.	1	₡ 30.000	₡ 30.000
	Información meteorológica	Incluyen los datos meteorológicos del ICE, IMN y SENARA.	3	₡ 100.000	₡ 300.000
	Softwares y aplicaciones	Incluye QGIS, Microsoft 365	2	₡ -	₡ -
Indirectos	Giras de campo	Incluye transporte (₡200 por km), alimentación (tres tiempos regidos por el artículo 18 del Reglamento de gastos de viaje y de transporte para funcionarios públicos)	7	₡ 80.400	₡562.800
	Servicios Internet	Servicios de compañía de telecomunicaciones	2	₡ 23.000	₡ 46.000
	Servicios telefónicos	Servicios de compañía telefónica	2	₡ 12.500	₡ 25.000

	Se rige según Decreto N°43849- MTSS, publicado en la Gaceta N°245, Alcance N°282 del 23 de diciembre del 2022. No obstante, como no es tiempo completo, solo se contabilizan las horas trabajadas.	2	₡2 578 125	₡5 156 250
Servicios profesionales de Ingeniería Hidrológica				
Subtotal			₡7 670 050	
Gastos Administrativos 2%			₡ 37.600	
Otros	Imprevistos 5%		₡ 383.503	
	IVA 13%		₡ 997.107	
Total			₡ 9.088.259	

Fuente: elaboración propia (2023).

4.4 Prefactibilidad Ambiental

La prefactibilidad ambiental radica en la evaluación de diferentes exigencias ambientales que puedan generar impacto económico, de igual manera, se basa en el análisis de las externalidades que pueden producirse en un proyecto al afectar el bienestar de la población (Sapag et al., 2014). Además, se conoce como IA, a la alteración considerable de los diferentes sistemas naturales provocada por actividades antropogénicas, también, mediante el Decreto Ejecutivo N° 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC, el IA “es el efecto que una actividad, obra o proyecto, o alguna de sus acciones y componentes tiene sobre el ambiente o sus elementos constituyentes” (MINAE et al., 2004). Para dicho proyecto no se necesita de un estudio de impacto ambiental, ya que no son necesarios los trámites pertinentes al uso del suelo, permisos constructivos, aprovechamientos de recursos naturales, entre otros. Es decir, no genera modificaciones en la zona de estudio, por lo tanto, el proyecto es viable ambientalmente. Asimismo, en la Resolución N° 1462-2018-SETENA se mencionan las actividades que requieren de

permisos o estudios de impacto, cuyo documento da a conocer que los proyectos que requieren ese proceso son los que producen resultados tangibles en el sistema natural que pueda alterar las condiciones de este.

4.5 Prefactibilidad Social

La viabilidad social de proyectos pretende medir el impacto de su ejecución sobre el bienestar general de la sociedad en una comunidad, región o país, cuáles serían sus impactos si se ejecuta versus no realizarlo. En esencia, la prefactibilidad social de los proyectos determina los beneficios y los costos, si los beneficios exceden a los costos el proyecto es aceptable (Cohen y Franco, 2000). En términos generales, se pretende mencionar la perspectiva que se tiene a nivel social con respecto al presente estudio. Para determinar si los beneficios obtenidos superan los costos se mencionan algunos aspectos importantes para valorar su viabilidad.

A nivel país, Costa Rica ha realizado esfuerzos desde décadas atrás hasta el presente año, mismas que se ven reflejadas en la protección de ecosistemas acuáticos. La acción social tiene gran peso en el estado de los humedales, se han involucrado Universidades Estatales a través de sus programas de investigación, proporcionando información relevante. Asimismo, se han involucrado organizaciones no gubernamentales, comunidades y el apoyo del gobierno mediante el MINAE/SINAC para la conservación y uso racional de estos ecosistemas que tiene gran valor ecológico a nivel nacional e internacional. El país se ha distinguido en acuerdos y convenios relacionados a la conservación de la biodiversidad, el cual se refleja mediante la Convención sobre los Humedales donde es miembro desde 1991. Anteriormente el país ya había iniciado con esfuerzos, pero fue hasta ese entonces que se incorporaron diversos sitios como Humedales de Importancia Internacional. Un detonante en relación con su conservación y uso es la concientización de la población hacia los humedales (MINAE, 2001).

Las funciones sociales de los humedales, en el cual el Humedal del Parque Nacional Palo Verde no es la excepción, están presentes mediante los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación, culturales, turismo y de soporte beneficiando a las regiones circundantes. Actualmente, el Sitio Ramsar Palo Verde no ha podido ser retirado del registro de Montreux, y el gobierno de Costa Rica ha recibido una serie de informes demostrando la realidad que enfrenta, es por esto por lo que el SINAC con el apoyo técnico de SENARA han unidos esfuerzos para dar seguimiento a las recomendaciones con base a los resultados obtenidos de los infórmenos.

En las reuniones sincrónicas, realizadas se ha dado a conocer la posición que tiene los actores claves como el SINAC, SENARA, así como los funcionarios que se encuentran dentro del parque nacional, han demostrado su interés en apoyar la ejecución del proyecto. Desde la perspectiva de la coordinación del Programa Nacional de Humedales del SINAC y los funcionarios del SENARA que han estado presentes desde la propuesta del proyecto han citado la importancia que tiene el realizar estudios de hidrología en el humedal y el aporte que se dará mediante la elaboración del modelo hidrológico conceptual en el humedal PNPV. Los datos de insumos obtenidos del estudio permitirán conocer el comportamiento dinámico del sistema hídrico, de esta manera se tendrá respaldo hidrológico en cuanto a las acciones a tomar con respecto a las recomendaciones que se han planteado mediante los infórmemos mencionados con anterioridad.

De acuerdo con los argumentos previamente planteados al desarrollar el proyecto se tendrán beneficios a nivel comunal, regional y país. Asimismo, a través de la información proporcionada se logrará dar respuesta bajo criterios objetivos sobre la dinámica que atraviesa el humedal según su estacionalidad. Bajo este panorama las entidades competentes tendrán respaldo cuantitativo, gestionando con mayor integralidad, de esta manera asegurando recursos a las generaciones presentes y futuras las cuales puedan gozar de manera sostenible y responsable de los servicios ecosistémicos. Por consiguiente, la percepción social del proyecto de acuerdo con los actores claves es socialmente viable.

Finalmente, de acuerdo con los análisis de prefactibilidad técnica, financiera, legal, social y ambiental descritas en el presente capítulo se cuenta con un proyecto viable en cada aspecto mencionado, lo cual es factible desarrollarlo. Por otro lado, en el siguiente capítulo se procede a describir minuciosamente la metodología propuesta con base a cada objetivo planteado.

Capítulo V- Metodología

Este capítulo es la base en la que se fundamenta y se detalla todos los aspectos estratégicos y metodológicos para alcanzar los objetivos propuestos del estudio. Se destacan elementos como el tipo de investigación, los procesos y pasos que se requieren en cada variable considerada para la elaboración del modelo hidrológico conceptual en el humedal PNPV.

5.1. Descripción General de la Metodología

El tipo de investigación de acuerdo con el enfoque planteado para el presente estudio está orientado hacia la investigación cuantitativa y cualitativa, es decir, de método mixto. Según Cedeño (2012), menciona que mediante los estudios mixtos se alcanza una perspectiva más amplia y profunda del fenómeno bajo estudio, permitiendo una mayor comprensión. Por medio de la integralidad sistemática de los métodos cuantitativos y cualitativos se producen datos más ricos y diversos a través de la multiplicidad de observaciones, debido a que se considera diversas fuentes y tipos de datos, contextos y análisis. Además, potencializa la creatividad teórica al contar con amplios procedimientos de valoración, indagar más dinámicamente, contribuir con mayor solidez las inferencias científicas, se desarrolla nuevas destrezas o competencias en materia de investigación al efectuarse indagaciones más dinámicas.

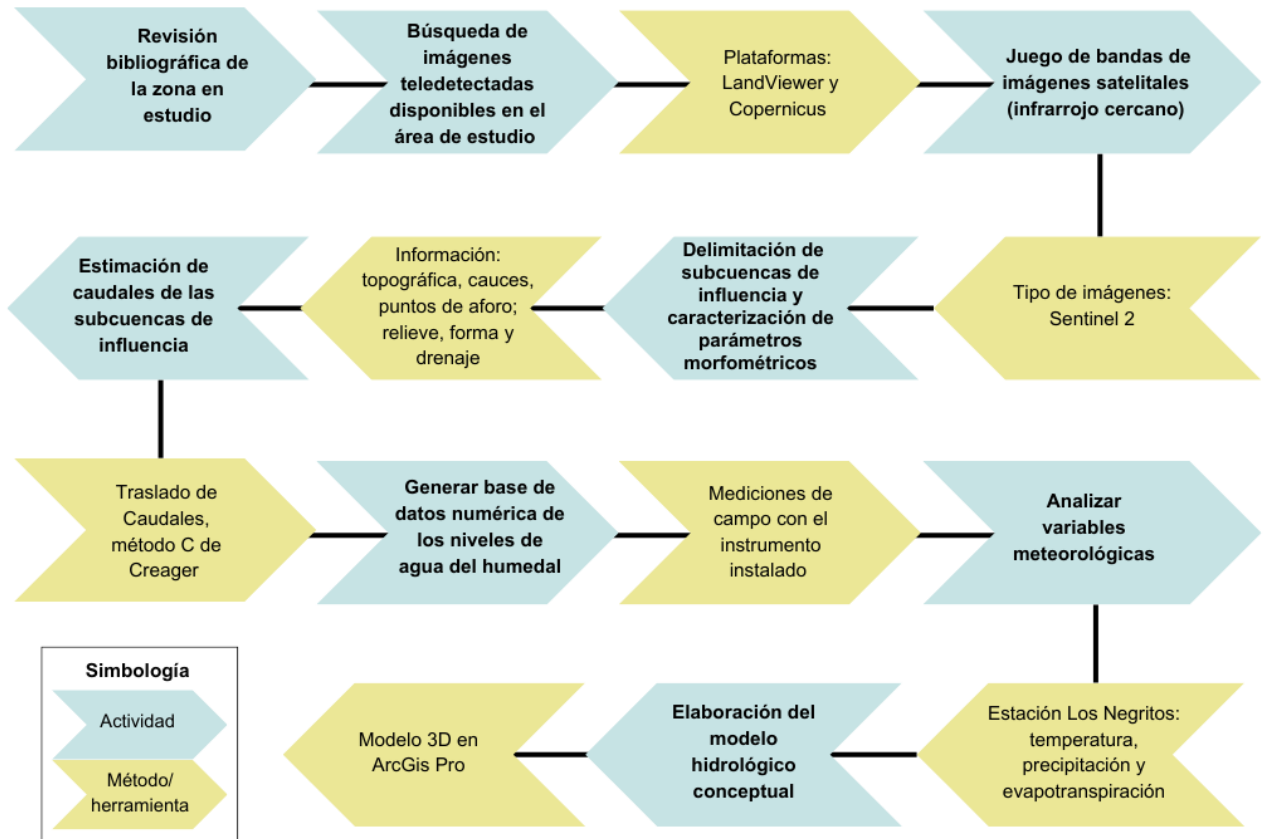
Se identifica una serie de ventajas y/o razonamientos que se obtiene al utilizar investigaciones con enfoque mixto, con base a Collins et al. (2006) menciona las siguientes:

- a. Se cuenta con enriquecimiento de la muestra, puesto que se genera una mezcla de enfoques.
- b. Mayor fidelidad del instrumento, es decir, en la recolección de datos se tiene la posibilidad de escoger las herramientas adecuadas y útiles.
- c. Integralidad en las intervenciones, asegurando una investigación bajo criterio objetivos.
- d. El uso de un diseño mixto aprovecha datos cuantitativos y cualitativos, facilitando mayor perspectiva de los datos, consolidando las interpretaciones. Este método respecto a los demás minimiza las limitaciones en recolección de datos y se rompe con la línea uniforme de las investigaciones.

5.1.1 Proceso Metodológico

La metodología propuesta para ejecutar el proyecto se divide en 8 etapas como se aprecia en la figura 5.1, los cuales están basados en las actividades principales acerca de los objetivos planteados en el capítulo I, mismos que contribuirán con la elaboración del modelo hidrológico conceptual.

Figura 5.1 Diagrama del flujo del proceso metodológico.



Fuente: Elaboración propia (2023).

5.2. Población y Muestra

En el presente estudio, se contempla la población como la totalidad del área protegida del PNPV, la cual es de suma importancia para el proyecto. No obstante, se realiza un muestreo no probabilístico, en el cual, se utiliza el método intencional, donde se seleccionó el cuerpo de agua presente en la zona, por conveniencia y por juicios personales sobre el enfoque de análisis. Es por esto, que solo se contempla el humedal y así identificar la dinámica de su comportamiento, referente a sus entradas y salidas en el marco de la hidrología.

5.3 Métodos y Herramientas Seleccionados

Considerando la magnitud de presente proyecto es necesario acudir a una serie de estrategias que faciliten el proceso para cumplir con los objetivos propuestos, para ello la obtención de los datos se realizara a través de recopilación de antecedentes relacionado a la temática del estudio. Asimismo, acudir a la plataforma LandViewer y Copernicus para

obtención de imágenes satelitales, delimitación de subcuencas de influencia y parámetros morfométricos mediante el programa QGis 3.16.15. Análisis de consistencia de datos de las estaciones meteorológicas e hidrológicas cercanas al área de estudio. Así como la programación de giras de campo para la medición de los niveles de agua dentro del humedal. Todo este proceso, así como las herramientas a utilizar permitirán el desarrollo de un modelo hidrológico conceptual donde se reflejará los datos obtenidos y la validación aplicada a cada proceso requerido para su elaboración.

5.4. Relación del proceso metodológico y los objetivos específicos

5.4.1 Objetivo Específico 1:

“Describir los cambios en la superficie del agua mediante imágenes satelitales para la comparación de la dinámica estacional que atraviesa el humedal”

A continuación, se detallan dos etapas importantes para realizar dicho objetivo:

- Recopilación de información

Se utilizarán imágenes satelitales de distintos periodos, en el cual se tomarán en cuenta los años 2016, 2018, 2019, 2020 y 2022 donde se compararán por su estacionalidad, época seca y lluviosa, por otro lado, se buscarán las de tipo Sentinel-2, donde serán extraídas de las plataformas LandViewer y Copernicus. Luego, se realizará el debido pre-procesamiento en QGIS y así ejecutar ajustes en las capas para analizar el área en estudio.

- Procesamiento de los datos a partir del infrarrojo cercano.

Se calculará el infrarrojo cercano de las imágenes, cual sirve para monitorizar los cambios de contenido en las aguas superficiales. El proceso se emplea para realizar delimitaciones directas de masas de agua, en este caso, el humedal. La combinación de bandas por emplear se detalla a continuación.

$$\text{Infrarrojo cercano (Sentinel 2)} = 8, 4, 3$$

Donde:

Por otro lado, para la interpretación de los datos, los valores positivos se encuentran dentro del rango 0-2, no obstante, existen 4 categorías, las cuales son:

Tabla 5.1 Clasificación de categorías según la tonalidad de colores

Características	Tonalidad
Vegetación sana y bien desarrollada	Rojo
Vegetación menos desarrollada	Rosado
Nula vegetación	Blanco
Presencia de agua	Azul oscuro o negro

Fuente: elaboración propia (2023), a partir de MappingGIS (2019)

5.4.2 Objetivo Específico 2:

“Establecer la delimitación espacial de las subcuencas de influencia mediante sistemas de información geográfica para la estimación de los aportes de agua que recibe el humedal”

Para este objetivo se contemplan tres actividades fundamentales, detalladas a continuación:

- Parámetros morfométricos de las subcuencas

Para delimitar la zona en estudio se utilizarán imágenes con datos SRTM por sus siglas en inglés (Misión de Topografía de Radar del Transbordador), disponibles en USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos), las cuales ofrecen información de elevación digital. El proceso se desarrollará en QGIS, a partir de estos se va a generar curvas de nivel para delimitar las subcuencas de mayor influencia en el humedal PNPV.

Por otro lado, en cuanto al análisis morfométrico, se contemplarán variables de superficies, relieve y drenaje, esto ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica. Específicamente las variables a calcular son:

Tabla 5.2 Descripción de las ecuaciones acerca de los parámetros morfométricos de las subcuencas de influencia.

Variable	Ecuación/Herramienta	Donde:
Área	Calculadora en QGis	-
Perímetro	Calculadora en QGis	-

Factor de forma Horton	$K_f = \frac{A}{L^2}$	A= área (km ²) L= longitud cauce principal (km)
Coeficiente de compacidad	$K_c = \frac{0.028 \times P}{\sqrt{A}}$	A= área (km ²) P= perímetro (km)
Pendiente media del cauce	$S = \frac{H_M - H_m}{L \times 1000}$	H _M = altitud mayor (m), H _m = altitud menor (m), L= longitud cauce principal (km)
Tiempo de Concentración	$T_c = 0.066 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77}$	L= longitud cauce principal (km) S= pendiente media del cauce
Longitud del cauce principal	Calculadora en QGis	-

Fuente: elaboración propia (2023). Nota: la clasificación de las variables se puede identificar mediante los siguientes colores:

Forma	Relieve	Drenaje
-------	---------	---------

- Información estaciones hidrológicas

En cuanto al análisis hidrológico de los caudales, se utilizaron datos proporcionados por el Instituto Costarricense de Electricidad.

Tabla 5.3 Identificación de estaciones fluviográficas con registro mensual que inciden en el Humedal PNPV.

Coordenadas Geográficas			
Código	Nombre	Latitud / Norte	Longitud / Oeste
20-01	Corobicí	376266,89	1156044,03
20-04	Tilarán	382813,51	1156813,83
20-14	Paso Hondo	370983,56	1148615,98

20-03	Rancho Rey	372775,43	1157644,06
19-05	La Guinea	335999,84	1152829,07
20-05	Bebedero	368924,12	1147188,52

Fuente: elaboración propia (2023).

- Cálculo de caudales

Referente a la estimación de caudales, se utilizará el método de traslado de cuenca denominado Método de Creager, este método implica trasladar datos de una cuenca a otra que no posea información de caudales, la fórmula expresada (1), donde Q es el caudal máximo en m³/s, A es el área de la cuenca con caudal conocido en km². De esta manera, para cuantificar el caudal en la cuenca con desconocimiento del dato se utiliza la misma fórmula, solo se despeja (2)

$$C_c = \frac{Q}{1.30 * \left(\frac{A}{2.59}\right)^{0.936 * A^{-0.048}}} \quad (1)$$

$$Q = 1.3 \times C_c \times \left(\frac{A}{2.59}\right)^{0.936 * A^{-0.048}} \quad (2)$$

5.4.3 Objetivo Específico 3:

“Determinar el comportamiento dinámico mediante la medición de campo de los niveles del agua para la identificación de las condiciones de frontera que rigen en el humedal”

Para esta etapa es necesario la visita de campo al área bajo estudio, siendo necesaria para alcanzar el objetivo propuesto, por lo cual se detalla a continuación el proceso;

- Cuantificación de los niveles de agua en el humedal

La medición de los niveles de agua presentes en el humedal PNPV actualmente no se lleva un registro de mediciones diarias, por parte de las unidades encargadas del área de conservación. No obstante, la herramienta se encuentra en un estado óptimo para ser utilizadas como se aprecia en la figura 5.2. A través de la visita de campo para el desarrollo de la metodología de la medición de los niveles de agua se considerará dicho equipo. El sitio donde se encuentra está posicionado en las coordenadas geográficas (WSG84)

10°20'33.37" N 85°20'31.59" O. Es importante mencionar que el punto preciso de medición no posee acceso directo, debido a que fue colocado en el centro del humedal rodeado de la biodiversidad que caracteriza a la zona, para determinar la medida con la mayor precisión posible se usara binoculares. Para contar con un registro se pretende realizar visitas de campo mensualmente para cuantificar los niveles y tener una base de datos donde se tenga el control, misma que se realizará en el software Microsoft Excel, el tiempo establecido va de acuerdo con la duración del presente trabajo los cuales comprende de junio 2023 a enero del 2024.

Figura 5.2 *Instrumento de medición de los niveles de agua del humedal PNPV.*



Fuente: elaboración propia (2023).

Al contar con este registro se tendrá información base para determinar el comportamiento hidráulica de la zona bajo condiciones de estacionalidades que se vayan a presentar en dichos meses establecidos, esto permitirá identificar las condiciones de frontera en las cuales se rige el humedal según la época en curso.

5.4.4 Objetivo Específico 4:

“Analizar las variables meteorológicas mediante métodos matemáticos para estimación de la incidencia sobre el balance de agua del humedal”

Para este objetivo se contemplan dos actividades importantes, detalladas a continuación:

- Identificación de estaciones meteorológicas

Se identifican una serie de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, mismas que poseen parámetros como la precipitación máxima mensual en milímetros, temperatura en grados Celsius. Para la elección se considera la distancia existente (metros) entre la estación y el humedal, así como las condiciones climáticas similares al humedal. En la tabla 5.4 se muestran una lista de estaciones que poseen influencia dentro de la zona de estudio. No obstante, para el desarrollo del estudio se utiliza la estación con el código 74077.

Tabla 5.4 *Identificación de estaciones meteorológicas cercanas al Humedal PNPV.*

Estaciones meteorológicas			Coordenadas Geográficas	
Código	Propietario	Nombre	Latitud / Norte	Longitud / Oeste
74061	IMN	El Corral, Palo Verde	371042	1144490
76059	IMN	Hda, Taboga, Cañas	368588	1144230
74067	IMN	Miel, La Guinea	338688	1155213
76055	IMN	Hacienda Mojica	372425	1156056
74077	IMN	Puesto Negritos, P.N Palo Verde	354957	1149739
74075	IMN	Sitio La Cruz, Bagaces, Guanacaste	345186	1159517
74008	IMN	Pelón de la Bajura	345461	1159792
74014	SENARA	Quebrada Honda	358646	1125933

Fuente: elaboración propia (2023).

- Cálculo de Evapotranspiración

La estimación de la evapotranspiración se determinará mediante métodos indirectos, por otro lado, la faltante de disponibilidad de información en ciertos parámetros

necesarios para aplicar los métodos de cálculo de la evapotranspiración limita el método a utilizar. Por lo cual se utilizará el de Thornthwaite, el cual toma en cuenta temperaturas (°C) y precipitaciones (mm). Al aplicar dicho método se realizarán las correcciones necesarias, así como el cálculo de variables para la estimación de la evapotranspiración real que incide en el área de estudio.

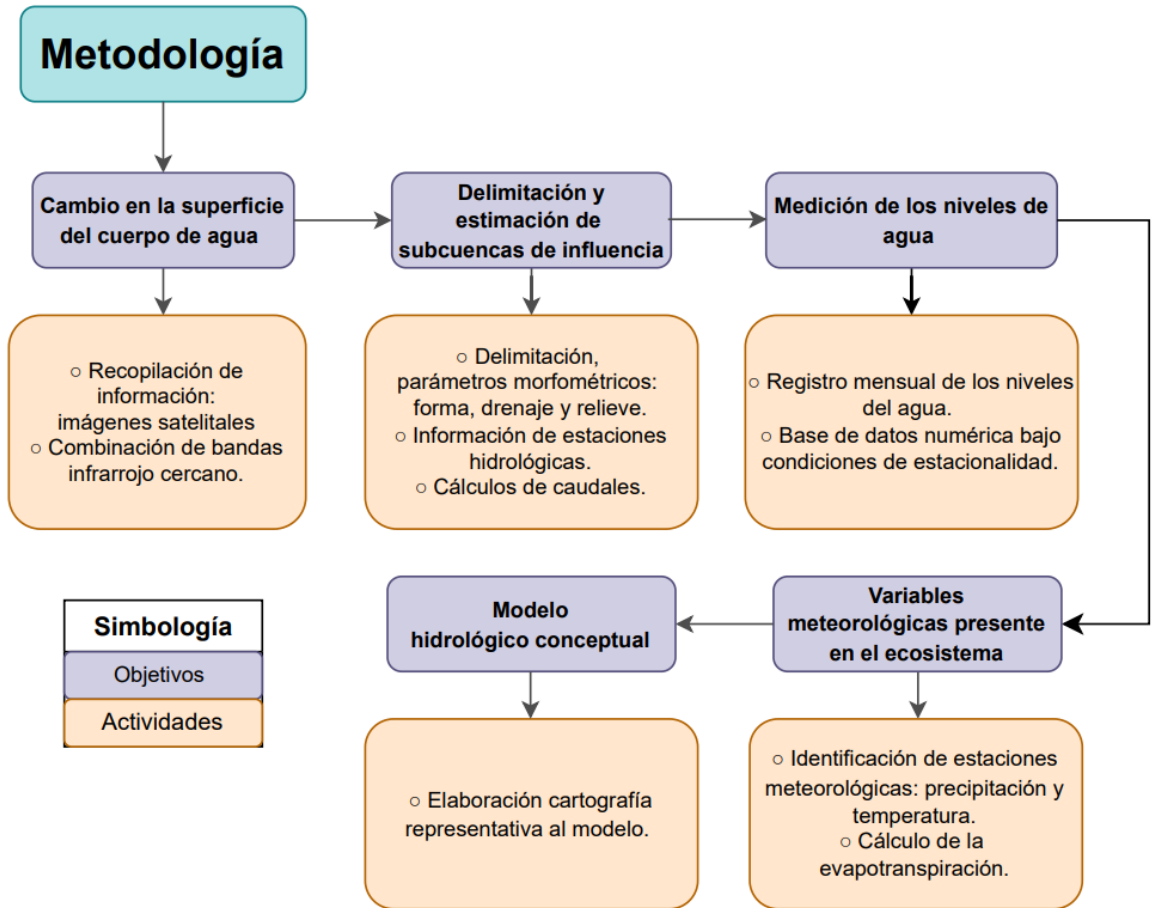
5.3.5 Objetivo Específico 5:

“Elaborar un modelo hidrológico conceptual mediante sistemas de información geográfica para la delimitación espacial dinámica del humedal”

Referente al modelo hidrológico conceptual, se realizará una cartografía 3D mediante ArcGis Pro, contando con la capacidad de herramientas para pasar a la dimensión deseada, representando así las diversas variables que fueron obtenidas en los objetivos anteriores. De acuerdo con las capas a utilizar están; red hídrica, subcuencas de influencias generadas mediante la delimitación, datos hidrológicos e hidrometeorológicos, entre otros.

Finalmente, en el resumen planteado en la figura 5.3 se aprecia la correlación existente entre cada objetivo puesto que mediante métodos diferentes se pretende visualizar la incidencia que tienen estas variables sobre el funcionamiento de la dinámica del flujo del agua en el humedal.

Figura 5.3 Resumen de la metodología con relación a los objetivos específicos que se utilizará en la ejecución del proyecto.



Fuente: elaboración propia (2023).

5.5 Otros aspectos a considerar

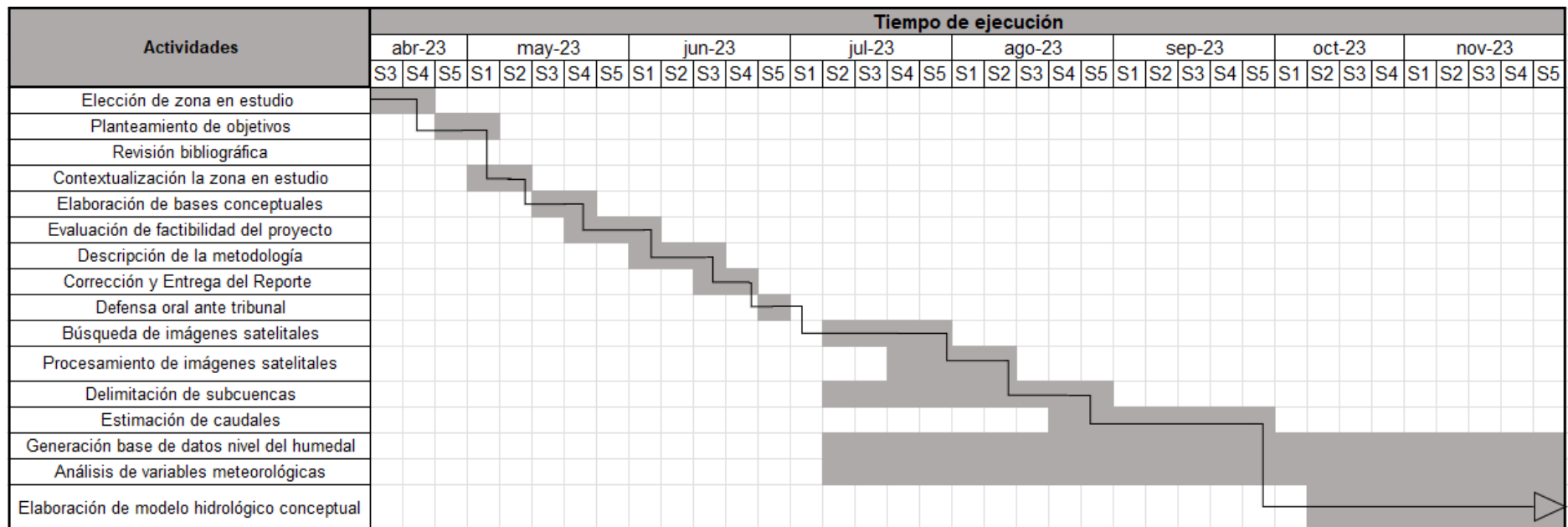
5.5.1 Presupuesto

Con respecto al presupuesto se muestra la cantidad de dinero que se requiere para la realización de las diversas etapas del proyecto, para esto se estimó un valor aproximado de ₡ 5.363.884. Para mayor precisión de cada monto distribuido de acuerdo con los requerimientos de cada apartado planteado para la ejecución de los objetivos, se encuentra en la sección del capítulo IV correspondiente a los estudios de prefactibilidad.

5.5.2 Cronograma de actividades

En la siguiente figura 5.4, se presenta el cronograma de las actividades del proyecto, evidenciando el tiempo utilizado para cada una de estas, desde que comienza hasta que finaliza la tarea. Esta planificación contribuye a la claridad del proceso y de los plazos que se requieren. También, se visualiza la ruta crítica, la cual representa a la duración secuencial para lograr finalizar el estudio. Es importante seguir y administrar el tiempo de la ruta crítica, de esta manera nos aseguramos cumplir con los objetivos y tener éxito en el proyecto.

Figura 5.4 Diagrama de Gantt y ruta crítica del proyecto.



Fuente: elaboración propia (2023). Nota: la letra S representa a la semana.

5.5.3 Ética en la Investigación

El presente estudio se rige en el marco de la ética profesional, todo trabajo y actividad se realiza con honestidad y transparencia. Nosotras como investigadoras nos apegamos al principio que se refiere a la obligación que existe de contribuir al bienestar humano, a la sociedad en sí, dando importancia a la protección de la vida, y al ambiente natural mediante el uso adecuado de los recursos que este provee y conservar el ambiente a partir de la prevención de los impactos ambientales negativos (CFIA, 2013).

A modo conclusivo del capítulo, se detallaron los pasos de todo el proceso a realizar en el proyecto, dicha metodología propuesta es fundamental para garantizar el cumplimiento de los objetivos y así obtener resultados significativos del área en estudio. Por otro lado, en el siguiente capítulo se describirán los resultados y el análisis de estos mismos.

Capítulo VI - Resultados y Discusión

En este capítulo se muestran los principales resultados con su respectivo análisis que se desarrollan a través de lo propuesto en la metodología del capítulo V, tomando en cuenta el orden de cada objetivo propuesto.

6.1 Análisis de Resultados según objetivos

6.1.1 De acuerdo con Objetivo 1

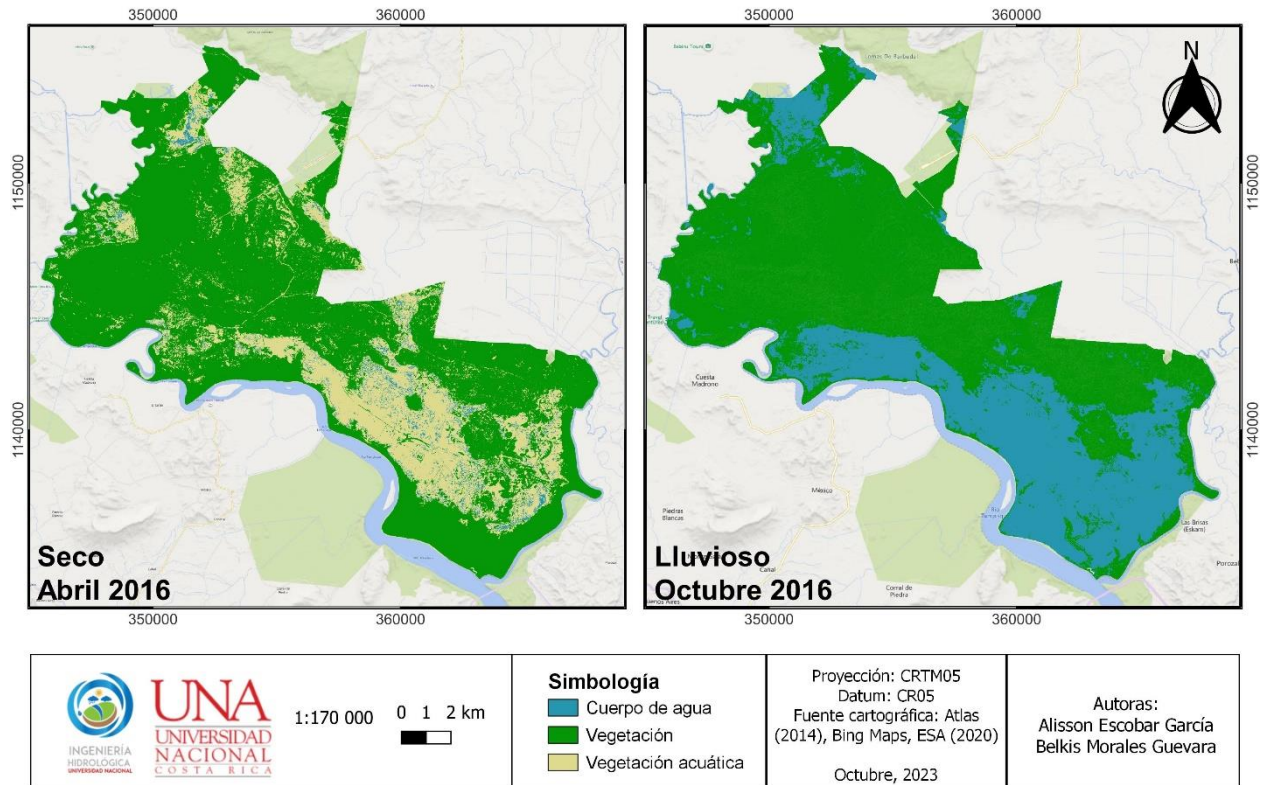
“Describir los cambios en la superficie del agua mediante imágenes satelitales para la comparación de la dinámica estacional que atraviesa el humedal Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste.”

En cuanto a la descripción de los cambios que ha presentado el humedal PNPV en la superficie del agua a través del uso de imágenes satelitales fue necesario establecer un periodo según la disponibilidad de imágenes encontradas en la plataforma. A su vez se contempla los meses de época seca y lluviosa que caracteriza a la vertiente del Pacífico Norte, según lo anterior se consideran los años 2016, 2018, 2019, 2020 y 2021 distribuidos en dos imágenes satelitales por año según la estacionalidad del área de estudio. Por otro lado, los usos identificados hacen énfasis de acuerdo con el objetivo propuesto sobre los cambios de la superficie del agua bajo la dinámica estacional por lo cual se identifica vegetación, humedal referente a su espejo de agua y vegetación acuática. Sin embargo, una de las imágenes en época lluviosa de acuerdo con el mes seleccionado detectó nubes.

Es importante mencionar que la clasificación de vegetación acuática encontrada mediante las imágenes satelitales son características propias del ecosistema del humedal PNPV de acuerdo con lo mencionado por SINAC (2016) el humedal del PNPV, en Guanacaste se encuentra una gran variedad de especies de plantas acuáticas como la tifa (*Typha domingensis*), presenta una sobre abundancia, sustituyen así coberturas naturales como los espejos del agua en los humedales, asimismo, se encuentra la planta platanilla (*Thalia geniculata*). Estas dos especies mencionadas fueron visualizadas tras realizar las visitas de campo en el sector del puente elevado.

Con respecto a los resultados obtenidos, primeramente, en el año 2016, referente a los análisis realizados, durante la época seca el 75.3% del área se encuentra cubierta por vegetación, el 21.9% corresponde a vegetación acuática y el 2.8% restante es cuerpo de agua. Por otro lado, durante la época lluviosa, el 65.1% es vegetación y 34.9% son cuerpos de agua. En la figura 6.1 se visualiza notablemente el cambio que existe entre las estaciones, donde hay un incremento del cuerpo de agua en la época lluviosa.

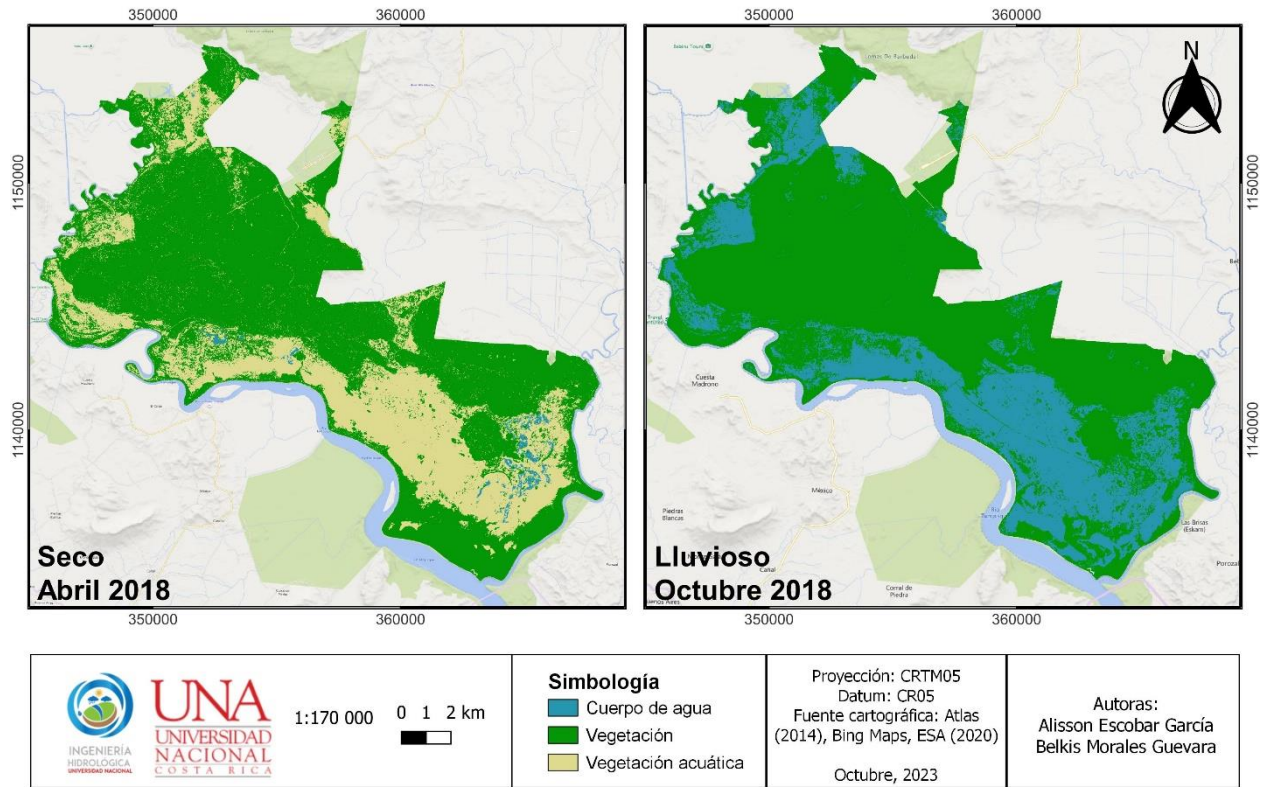
Figura 6.1 Estacionalidad del PNPV en el periodo del 2016.



Fuente: elaboración propia (2023).

Por otro lado, en el año 2018, se observó un cambio en la época seca respecto al año 2016, donde el área de la vegetación acuática representa el 30.4% lo cual aumentó, mientras que la vegetación más intensa (verde) es de 68.5% disminuyendo considerablemente al año 2016. También está la época lluviosa donde el humedal tiene una presencia del 30.7% y la vegetación abarcando un área de 69.3%, en la figura 6.2 se muestra la estacionalidad presente en el área bajo estudio para el año 2018.

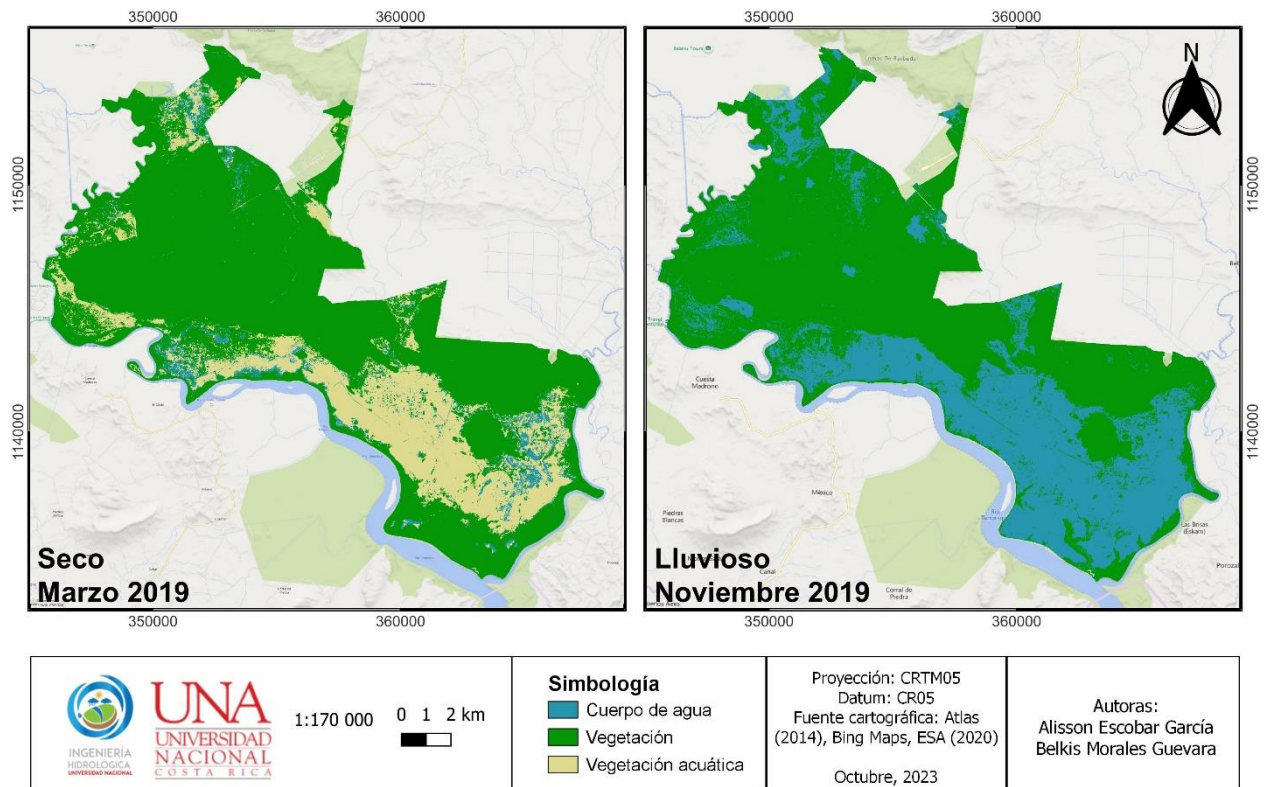
Figura 6.2 Estacionalidad del PNPV en el periodo del 2018.



Fuente: elaboración propia (2023).

En cuanto al 2019 (ver figura 6.3), año en el cual la vegetación acuática representa un 19.3% en la época seca, mientras que la vegetación se intensificó en un 71.5% y menor presencia del humedal en 9.2%, se le atribuye el hecho de la estacionalidad característica a la época. Asimismo, en la época lluviosa el humedal se encontraba en un 35.5% mientras que la vegetación rondaba los 64.5%. El humedal fue descendiendo su porcentaje respecto al año anterior.

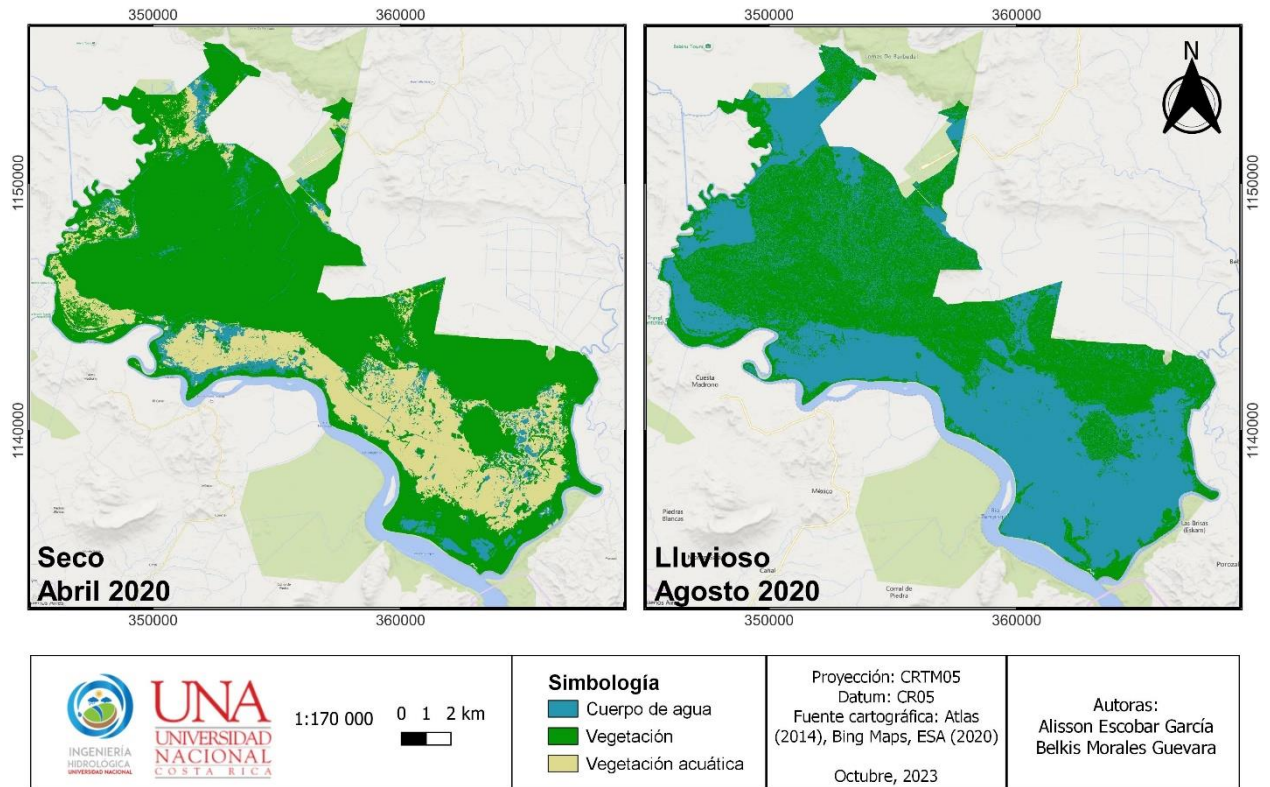
Figura 6.3 Estacionalidad del PNPV en el periodo del 2019.



Fuente: elaboración propia (2023).

En el 2020, de acuerdo con las observaciones realizadas, durante la época seca, aproximadamente el 69.4% de la superficie se encuentra cubierta por vegetación, mientras que un 23.8% está constituido por vegetación acuática, en contraste, solamente un 6.8% de la superficie refleja el cuerpo de agua. Por otro lado, durante la época lluviosa, se percibe un cambio notable en la distribución de las superficies, en este caso, el 48% de la superficie está cubierta por vegetación, mientras que el 52% corresponde al cuerpo de agua según la figura 6.4.

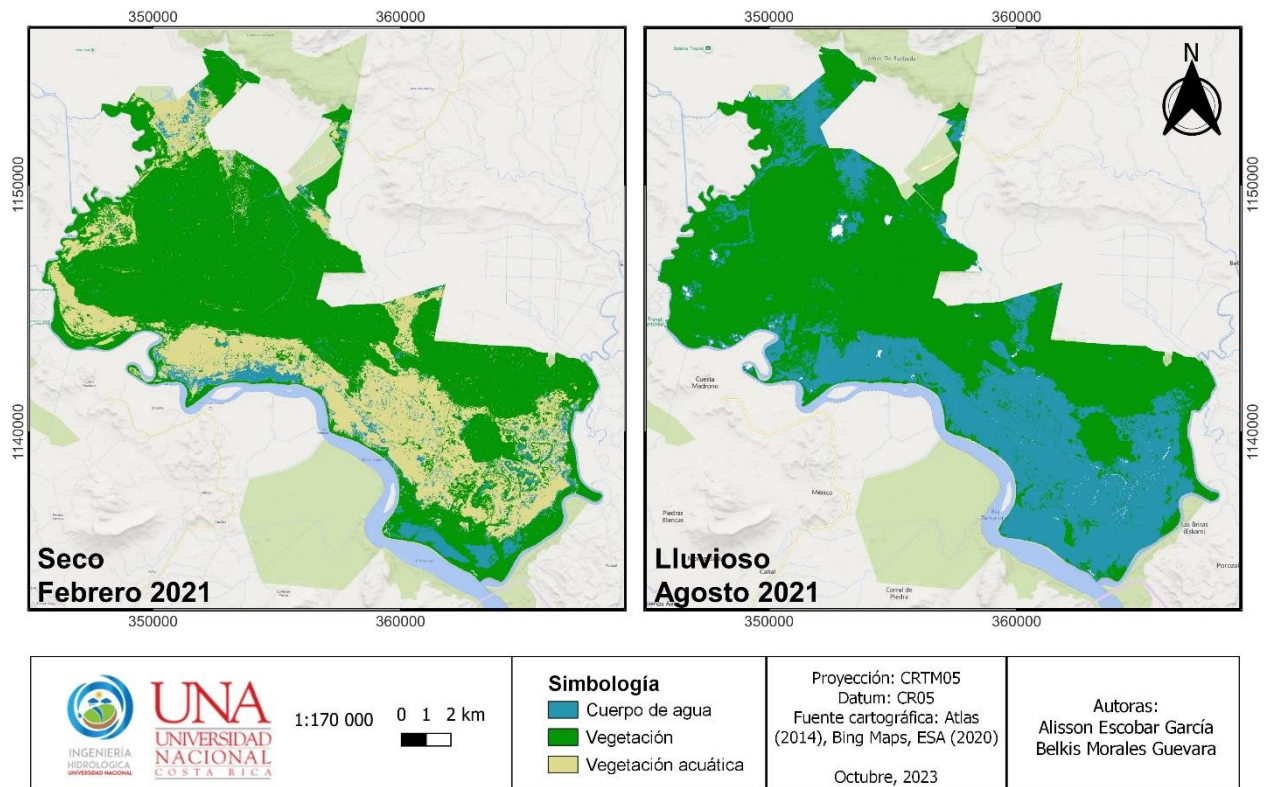
Figura 6.4 Estacionalidad del PNPV en el periodo del 2020.



Fuente: elaboración propia (2023).

En el 2021 (ver figura 6.5), durante la época lluviosa, el 62.6% está cubierta por vegetación, mientras que el 36.8% son cuerpos de agua, representativos al humedal, cabe destacar que el 0.6% son nubes, ya que, la imagen satelital y el proceso de teledetección también hace lectura de estos elementos atmosféricos. Con respecto a la época seca, el 64% es vegetación, 6.7% cuerpo de agua y 29.3 es vegetación acuática.

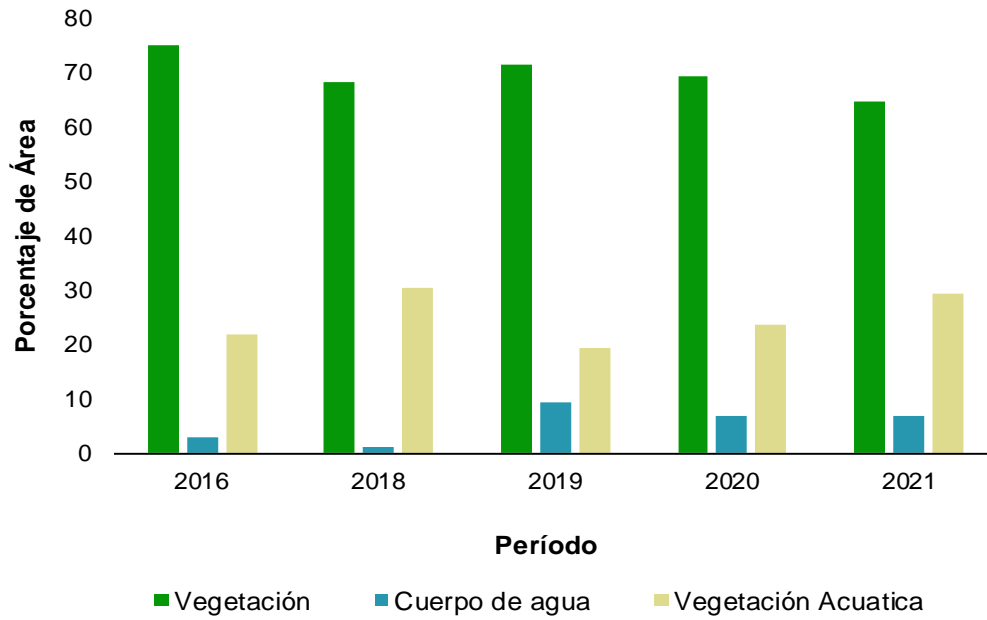
Figura 6.5 Estacionalidad del PNPV en el periodo del 2021.



Fuente: elaboración propia (2023).

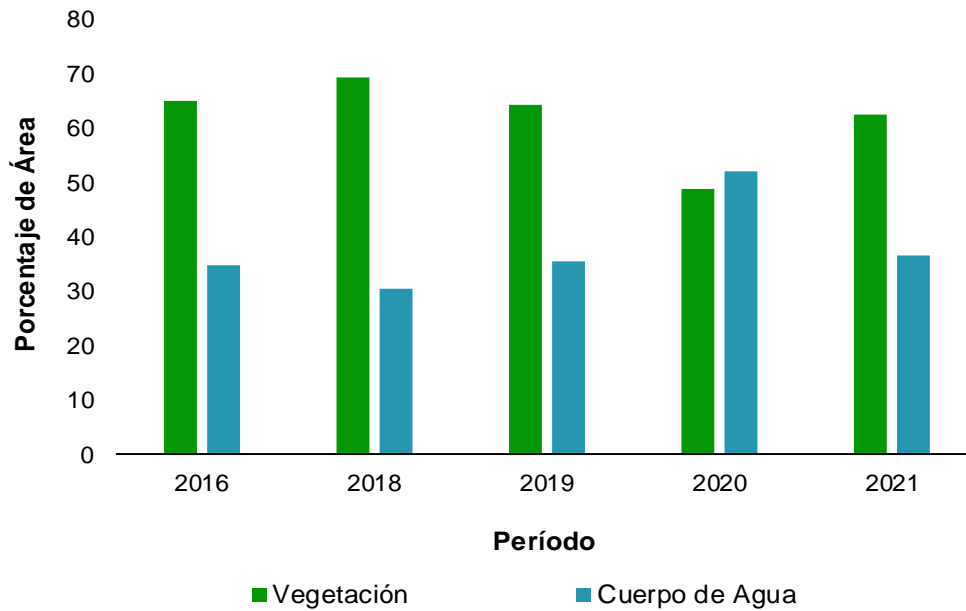
Finalmente, realizando una descripción general de los años analizados, se visualiza en la figura 6.6 y figura 6.7 así como en el anexo 6.1 A, el cambio que existe entre la estacionalidad, obteniendo mayor porcentaje de área de cuerpos de agua en la época lluviosa. A continuación, se presenta las comparaciones que existen entre los periodos analizados.

Figura 6.6 Comparación dinámica entre los diferentes años de la época seca.



Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6.7 Comparación dinámica entre los diferentes años de la época lluviosa.



Fuente: elaboración propia (2023).

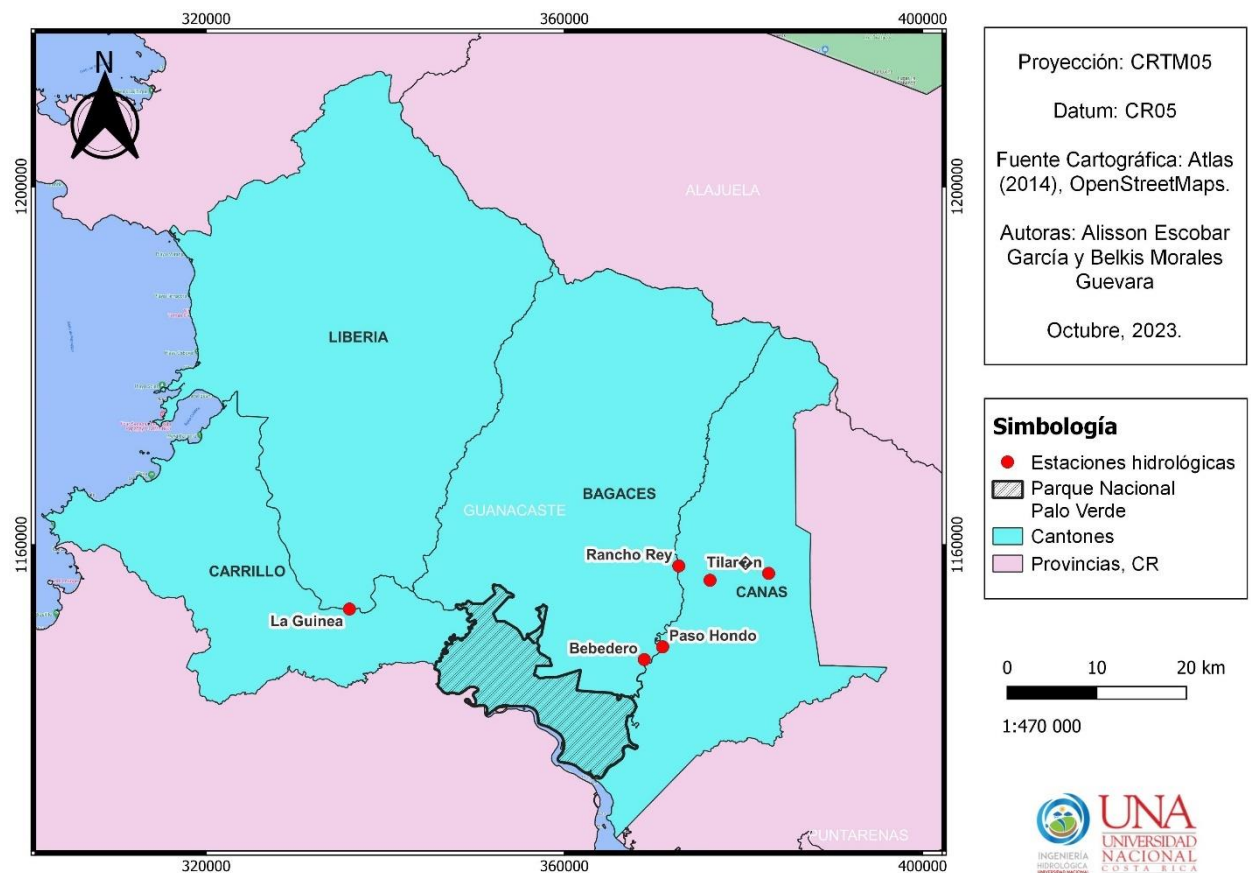
6.1.2 De acuerdo con Objetivo 2

“Establecer la delimitación espacial de las subcuencas de influencia mediante sistemas de información geográfica para la estimación de los aportes de agua que recibe el humedal Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste.”

- Datos de estaciones fluviográficas

Las estaciones fluviográficas con incidencia en el área de estudio se encuentran distribuidas en las cuencas hidrográficas del río Tempisque y la del río Bebedero, mismas que son gestionadas por el ICE. En la figura 6.8 se presenta su ubicación espacial.

Figura 6.8 Localización de estaciones fluviográficas seleccionadas para el proyecto.



Fuente: elaboración propia (2023).

Con base a los datos de las estaciones obtenidas por la institución correspondiente se utilizaron por conveniencia y facilidad aquellas que tenían en común la periodicidad de los datos de registro, a partir de lo anterior, las estaciones 741905 - La Guinea, 762014 - Paso Hondo y 762005 - Bebedero cumplen con lo mencionado, donde poseen registro

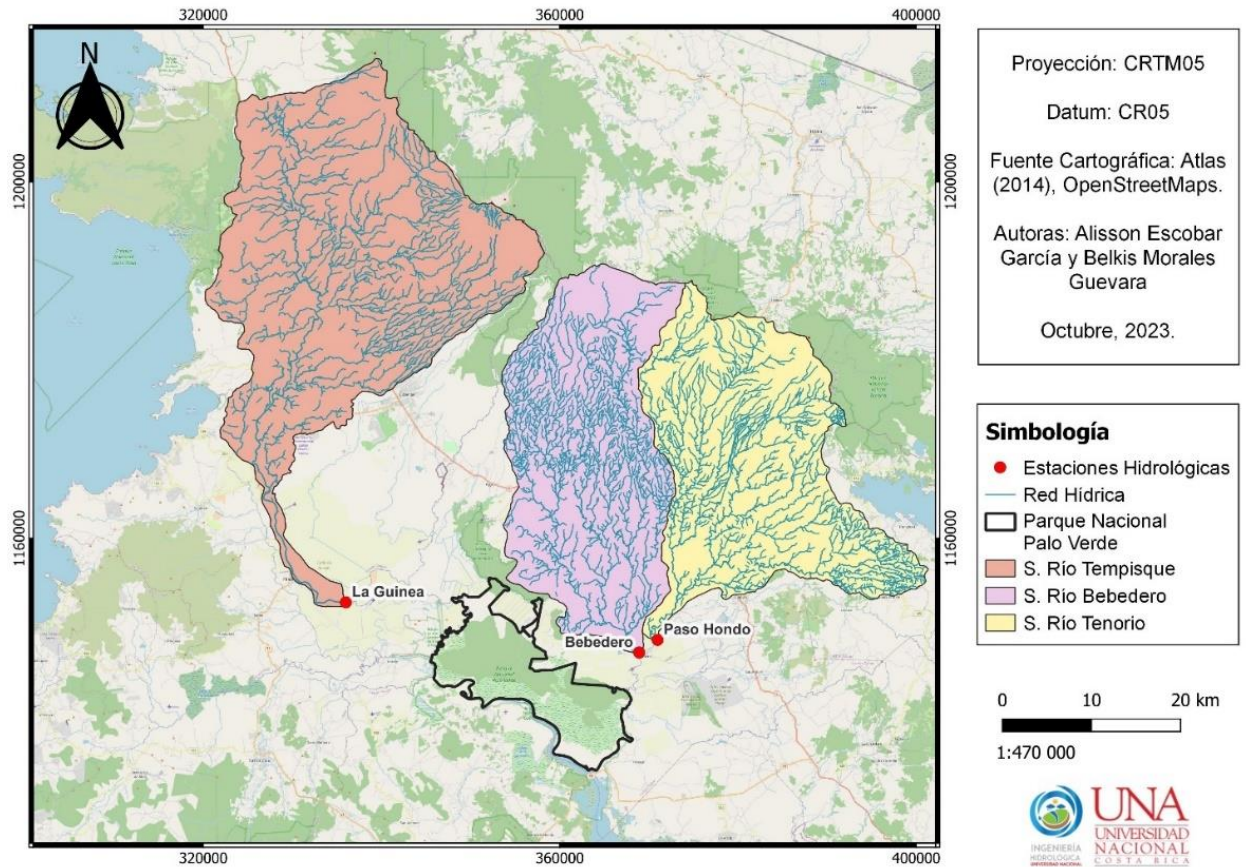
desde 2016-2022. La estación La Guinea, pertenece a la cuenca hidrográfica del río Tempisque, mientras que las estaciones Paso Hondo y Bebedero se ubican en el río Bebedero.

La estación fluviográfica 762014 tiene como río principal el río Tenorio, mediante el registro de caudales se aprecia que esta estación posee un caudal considerable, además, cuenca arriba de esta se encuentran las estaciones 762001- Corobicí, 762003 - Rancho Rey, 762004 -Tilarán, por lo tanto, se analiza que la estación de Paso Hondo almacena los caudales de estas últimas mencionadas, aunado a lo anterior se consideró dicha estación, además, de la estación 762005 – Bebedero pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Bebedero.

- Delimitación de subcuencas a partir de línea base

En la delimitación de las subcuencas de incidencia en el área de estudio se tomó en cuenta primeramente las estaciones fluviográficas como punto de aforo para aquellas cuencas que ya contaban con registro de datos de caudales (anexo 6.2 A), para este caso se considera solamente la estación 762014 - Paso Hondo, 762005 - Bebedero y 740975 - La Guinea como únicas cuencas con registro de datos de información. A continuación, en la figura 6.9 se muestran las cuencas delimitadas según el punto de aforo.

Figura 6.9 Subcuencas obtenidas a partir de los puntos de aforo.



Nota: la "S" representa Subcuencas. Fuente: elaboración propia (2023).

En la tabla 6.1 se muestra las características morfométricas determinadas a partir de cada punto de aforo de las cuencas de línea base, donde se ha establecido parámetros de forma, relieve y drenaje.

Tabla 6.1 *Parámetros morfométricos de las subcuencas de línea base.*

Parámetro Morfométrico	Unidad	S.Tempisque	S.Bebedero	S.Tenorio
Área	km ²	1020,87	634,93	659,78
Perímetro	km	192,511	125,794	144,524
Coefficiente de Compacidad	sin unidad	1,69	1,40	1,58
Elevación Máxima	m s. n. m	1280	599	1211
Elevación Mínima	m s. n. m	10	10	10
Factor de Forma Horton	sin unidad	0,06	0,19	0,23

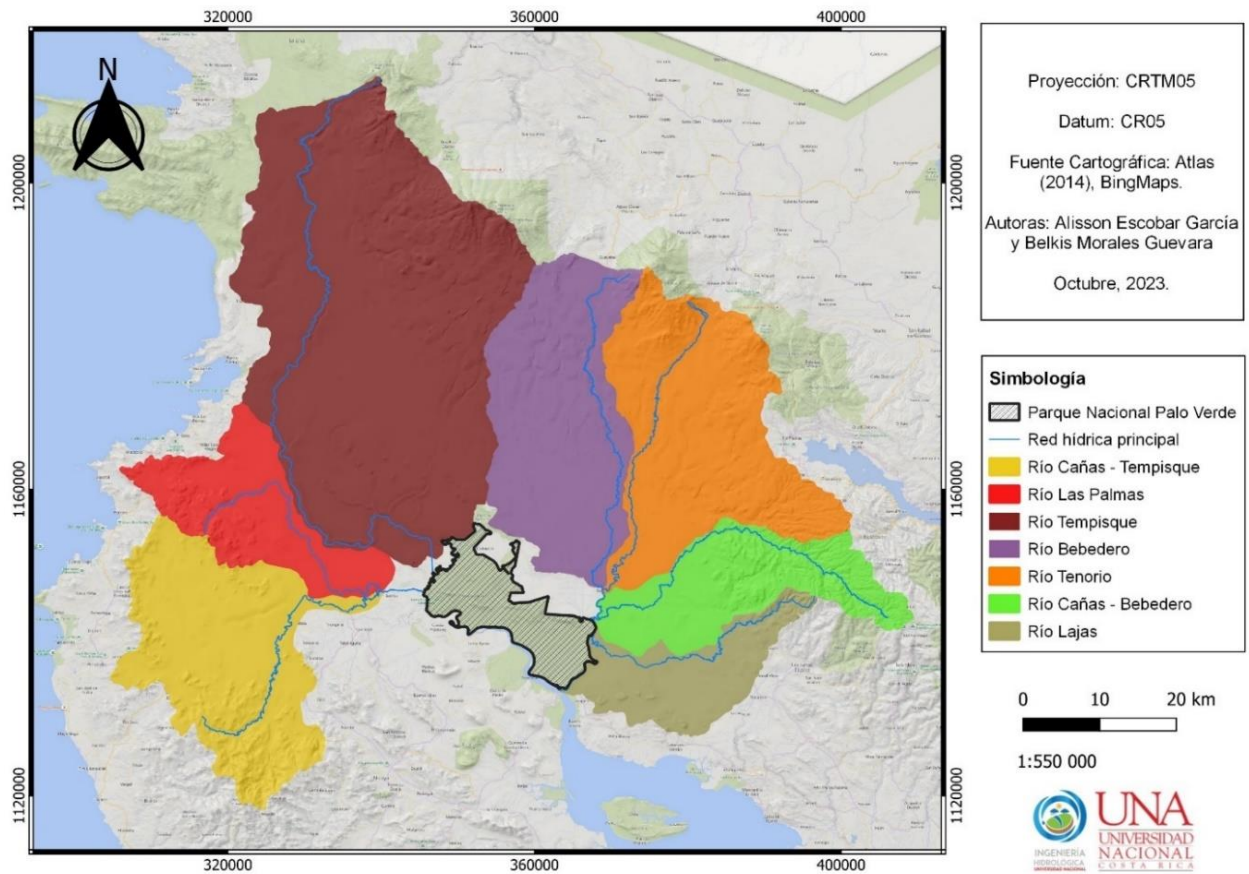
Longitud del Cauce Principal	km	131,72	58,17	54,11
Pendiente Media Río	%	9,6	10,1	22,2
Tiempo de Concentración Kirpich	Hr	3,65	1,58	1,09

Fuente: elaboración propia (2023).

- Delimitación de subcuencas de influencia

Las subcuencas se delimitan bajo criterio hidrológico mediante la red hídrica de los ríos que se encuentran en las cuencas hidrográficas del río Tempisque y río Bebedero, cuencas que escurren sus aguas en el margen izquierdo y derecho del humedal PNPV y desembocan en el Golfo de Nicoya. Se analizó la dinámica de la red hídrica de las cuencas grandes, así como la topografía del terreno facilitando así el proceso de delimitación de las subcuencas que se encuentra en su interior. A partir de lo anterior se delimitan 7 subcuencas, como se muestra en la figura 6.10, de las cuales 3 escurren sus ríos principales y tributarios en el margen izquierdo del humedal siendo estas las del río Cañas, Las Palmas, Tempisque, pertenecientes a la cuenca del río Tempisque. Mientras que en el margen derecho se encuentran río Bebedero, Tenorio, Cañas y Lajas, formando parte de la cuenca del río Bebedero.

Figura 6.10 Subcuencas de influencia al PNPV.



Fuente: elaboración propia (2023).

Los SIG, son herramientas que facilitaron los procesos de delimitación, así como la determinación del área de cada subcuenca, elevaciones y demás parámetros que permitieron caracterizar las subcuencas desde su morfología. En el análisis hidrológico de cuencas según Ramírez-Granados (2021) los datos obtenidos mediante los parámetros morfométricos son una herramienta que permite comprender el funcionamiento del sistema hidrológico debido a que se conoce el tamaño de la cuenca, la red de drenaje, pendientes, entre otros aspectos que influyen en el comportamiento hidrológico. A través del uso de SIG y sus elementos es una manera más precisa de llegar a obtener las variables.

En la tabla 6.2 se evidencia las características morfométricas determinadas de las delimitaciones de cada punto de aforo de influencia al área en estudio, donde se ha establecido parámetros de forma, relieve y drenaje. Aunado a lo anterior, se refleja que la subcuenca de mayor área es la del río Tempisque, misma tiene el río principal con mayor longitud, por ende, obtiene el tiempo de concentración más prolongado. Por otro lado, con

respecto al coeficiente de compacidad, la subcuenca del río Las Palmas es la que posee el valor más alto, determinándola como rectangular. Además, refiriéndose al factor de forma, de acuerdo con Zhica (2020), todas se caracterizan por ser alargadas, ya que son menores a 1. Por otra parte, siguiendo el criterio de Baldeon (2016), las subcuencas que se encuentran en la cuenca del río Bebedero son las que presentan las pendientes más altas, siendo la más considerable la del río Tenorio y río Cañas.

Tabla 6.2 *Parámetros morfométricos de las subcuencas de influencia*

Parámetro Morfométrico	Unidad	S. Tempisque	S. Las Palmas	S. Cañas (Tempisque)	S. Bebedero	S. Tenorio	S. Cañas (Bebedero)	S. Lajas
Área	km ²	1659,44	336,61	618,456	634,93	698,2	368,43	264,57
Perímetro	km	192,642	133,5	64,6	125,794	147,573	117,252	106,253
Coeficiente de Compacidad	sin unidad	1,32	2,04	0,73	1,40	1,56	1,71	1,83
Elevación Máxima	m s. n. m	1280	555	546	599	1211	1344	923
Elevación Mínima	m s. n. m	52	3	4	10	2	3	6
Factor de Forma Horton	sin unidad	0,07	0,17	0,15	0,19	0,20	0,12	0,06
Longitud del Cauce Principal	km	150,81	44,07	64,6	58,17	58,397	54,62	67,99
Pendiente Media Río	%	8,1	12,5	8,4	10,1	20,7	24,6	13,5
Tiempo de Concentración Kirpich	Hr	4,46	1,11	1,89	1,58	1,21	1,06	1,66

Nota: la "S" representa Subcuencas. Fuente: elaboración propia (2023).

- Estimación de caudales

Para determinar los caudales en cuencas donde no se posee información de registro de estaciones fluvigráficas es necesario acudir a métodos hidrológicos. Para la estimación de los aportes de volúmenes de agua que recibe el humedal y tras la delimitación de las subcuencas de línea base de las estaciones que sí poseen información de caudales, se realiza un traslado de caudales mediante la C de Creager, método descrito en el capítulo III, este método se realiza mediante la obtención del área de las subcuencas y usando el factor Cc adimensional, el cual estima los caudales en m³/s que aporta al área bajo estudio según los periodos escogidos.

A los datos de caudales de las estaciones de subcuencas de línea base se les aplicó dicha metodología a aquellos meses del año que no fueron registrados por la estación o

bien al año de la estación que estaba incompleto. Siendo la estación La Guinea la que posee menores datos de registro en los años bajo análisis, por ende, se acude a un proceso de calibración, cuyo factor es necesario para obtener datos más precisos. Y, una vez obtenidos los caudales mensuales y el factor Cc en los 5 años de análisis, se realiza un promedio anual de ambas variables en las estaciones Bebedero, La Guinea y Paso Hondo mostrada en la memoria de cálculo del anexo 6.2 B.

Partiendo de los promedios anuales de las 3 estaciones en los años 2016-2022 se determina los caudales promedios anuales de las subcuencas de influencia. La estimación fue realizada a partir de las subcuencas de línea base de la figura 6.9 mediante los datos de las estaciones hidrológicas, a partir de estos se determinan volúmenes que escurren en las 7 subcuencas como se aprecia a continuación.

Tabla 6.3 Caudales de las subcuencas de influencia en el humedal PNPV.

Cuenca Hidrográfica	Subcuenca	Caudal (m ³ /s)						
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	Río Tempisque	19,18	80,43	20,63	50,96	10,84	29,95	25,31
Río Tempisque	Río Las Palmas	8,69	36,43	9,34	23,08	4,91	13,56	11,46
	Río Cañas	11,95	50,12	12,85	31,75	6,75	18,66	15,77
	Río Bebedero	52,0	49,6	63,10	68,23	34,80	34,76	47,31
Río Bebedero	Río Tenorio	35,14	40,38	40,23	33,75	36,50	36,46	49,62
	Río Cañas	25,23	28,99	28,89	24,23	26,21	26,18	35,63
	Río Lajas	21,05	24,19	24,10	20,22	21,86	21,84	29,72

Fuente: elaboración propia (2023).

A pesar de que la subcuenca del río Tempisque posee mayor área (tabla 6.2) con respecto a las demás subcuencas, sus caudales estimados (tabla 6.3) fueron menores a la subcuenca del río Tenorio que es la segunda que posee mayor área, lo cual indica que esta subcuenca recibe menos entradas de agua anualmente. Entre la subcuenca de río Cañas al tener un área mayor de acuerdo con la subcuenca del río Las Palmas se evidenció la influencia del área en los resultados obtenidos, donde sus aportes de agua superficial son

superiores a la del río Las Palmas. Considerando las 3 subcuencas pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Tempisque en el año 2017, se mostraron los valores más altos de caudales entre los 5 años de análisis, seguido del año 2019 y 2021.

De acuerdo con el registro de caudal más alto para el año 2017, este es dado por la formación de la depresión #16 que se intensificó al grado de tormenta tropical llamada Nate en la costa Noroeste de Nicaragua, cuyo sistema mantuvo su influencia indirecta sobre ciertos sectores del país, lo cual generó fuertes lluvias y constantes en la región de Guanacaste, los acumulados para dicho sector fue de 300 mm; ver anexo 6.2 C. Este evento hidrometeorológico fue catalogado como uno de los más críticos en la historia del país (IMN, 2017). Por lo tanto, las precipitaciones registradas ante dicho evento incidieron en los caudales registrados para el año.

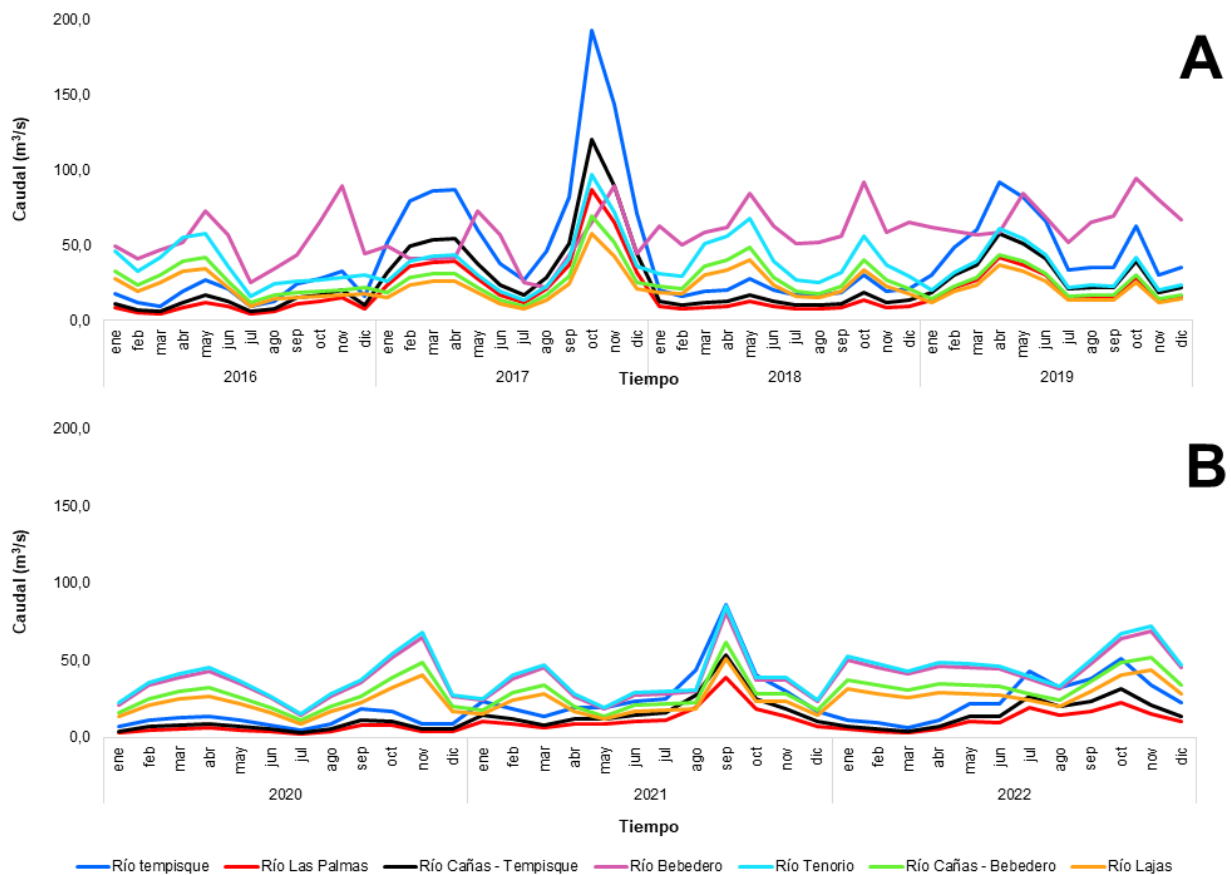
En la cuenca hidrográfica del río Bebedero se encuentra la subcuenca del río Bebedero, que posee mayores caudales en los 5 años bajo análisis comparadas a las subcuencas del río Tenorio, la cual posee mayor área, indicando que la diferencia de área no tiene incidencia, por ende, tiene mayor entrada de aguas en su interior. Mientras que las subcuencas del río Tenorio, Cañas y Lajas sus caudales varían de acuerdo con el área que tienen, es decir, a mayor área, aumentan los volúmenes de caudales.

Aunado a lo anterior, se obtienen los promedios mensuales del comportamiento según el periodo en análisis, en la figura 11, se denota la tendencia del caudal a través de los 12 meses que contempla cada año. El comportamiento para el año 2017 (A) los caudales en los meses lluviosos, donde la tendencia alza en el mes de octubre es la más apreciable en las 7 subcuencas de influencia, no obstante, en el río Tempisque los volúmenes de agua son mayores. En el periodo de 2016 al 2019 es apreciable la estacionalidad en los meses secos y lluviosos incidiendo en el caudal. Por otro lado, en la gráfica (B) del periodo del 2020 al 2022 la secuencia gira entorno a estacionalidad, mermando los caudales en los meses secos y aumentando en temporada lluviosa.

Es importante recalcar que las cuencas hidrográficas en análisis son regidas por la climatología de la zona, de acuerdo con Ramírez (1996) la región del Pacífico Norte se rige por la precipitación característica del Pacífico, marcado por la presencia de periodo seco y lluvioso bien definidos. Además, se genera una interrupción de la estación lluviosa en la Vertiente del Pacífico fenómeno conocido como “Veranillo”, causando una disminución de las precipitaciones entre los meses de julio y principios de agosto. El nombre se debe a que

en la época lluviosa se dan un lapso de unos cuantos días, condiciones propias de la época seca. La variabilidad climática de las precipitaciones incide en los volúmenes de caudales de entrada que reciben las subcuencas según el mes (anexo 6.2 D).

Figura 11. *Tendencia de los caudales en las subcuencas de influencia.*



Fuente: elaboración propia (2023).

6.1.3 De acuerdo con Objetivo 3

“Determinar el comportamiento dinámico mediante la medición de campo de los niveles del agua para la identificación de las condiciones de frontera que rigen en el humedal Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste.”

Para comprender el comportamiento dinámico en el cual se rige el humedal PNPV se acude a mediciones de campo de los niveles de agua que recibe. Dentro del humedal

se cuenta con un instrumento de barra de medición del nivel del agua como se observa en la siguiente figura.

Figura 6.12 *Instrumento de barra de medición del humedal PNPV.*

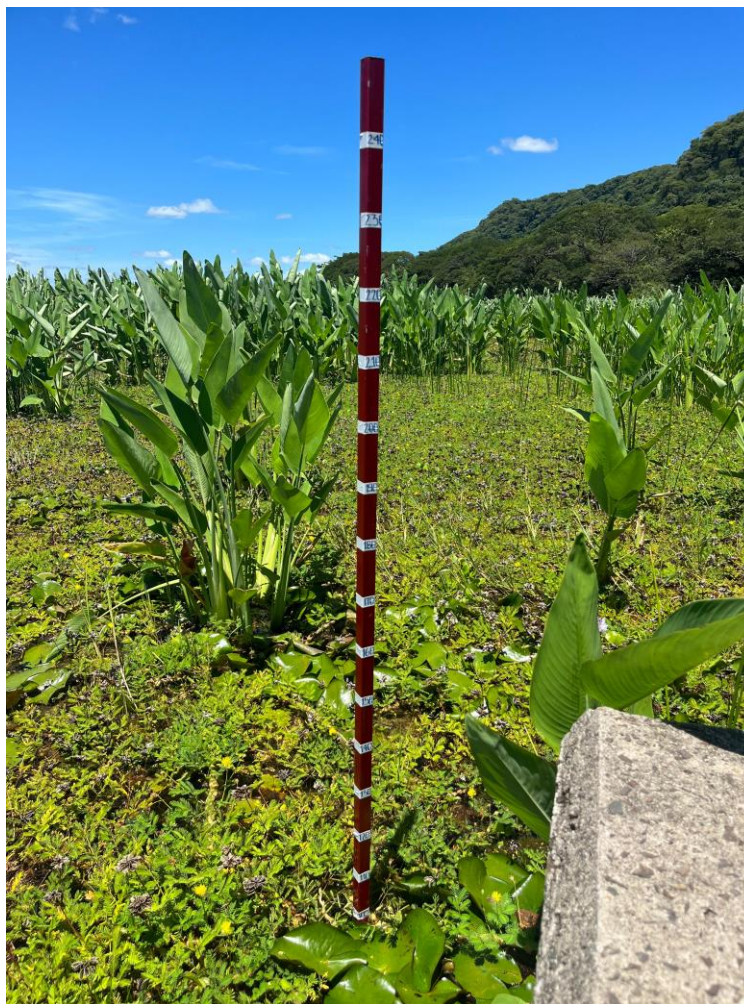


Fuente: elaboración propia (2023).

El artefacto está localizado a las cercanías del sendero elevado donde los visitantes se acercan para conocer el humedal, dicha barra tiene una línea de aforo máximo de 250 cm, este se diferencia cada 10 cm por una cinta de color roja y blanca intercaladas. Para realizar la lectura se acudió a binoculares de propiedad del SINAC para tener mayor precisión. A partir de ello se hizo un registro de dichas mediciones de acuerdo con las giras de campo realizadas al área de estudio.

No obstante, es importante mencionar que el humedal presentó cambios en su entorno, aunado a esto, en las giras realizadas se observó la presencia de plantas invasoras que fueron creciendo y obstaculizando el espejo de agua (anexo 6.3 A) y a su vez cubriendo la barra de medición (anexo 6.3 B), por lo que se acude a un plan estratégico para que no se interrumpiera el registro del nivel del agua que se llevaba hasta la fecha. El plan consistió en la realización de un nuevo instrumento, el cual tiene una longitud de 250 cm y demarcada cada 10 cm con una línea de aforo de 30 cm, es decir, que a partir de cada lectura tomada se realizó la diferencia entre lo que se observaba en la barra y la línea de aforo. En la figura 6.13 se muestra la barra de medición colocada en un punto estratégico a las cercanías del puente para facilitar la lectura y así no acudir a medios externos para visualizar con precisión.

Figura 6.13 Barra nueva de medición del nivel del agua instalada.



Fuente: elaboración propia (2023).

Los registros iniciaron en junio, momento donde se realizó la primera gira de campo a la zona de estudio, se hizo lectura a partir del instrumento que estaba en el sitio desde tiempo atrás. Las siete lecturas seguidas se siguieron midiendo con este, sin embargo, la registrada el 02 de septiembre fue la última que se utilizó con dicho equipo de medición. A partir del registro 8 y los siguientes se usó la barra de medición nueva, aunado a lo anterior, para realizar la calibración del instrumento del SINAC con el de nuestra autoría, básicamente lo que se realizó fue medir la diferencia que existe entre ellas, refiriéndose a la profundidad (figura 6.14), por lo que se determinó que esta era de 3 cm.

Figura 6.14 *Medición para la calibración de instrumentos.*

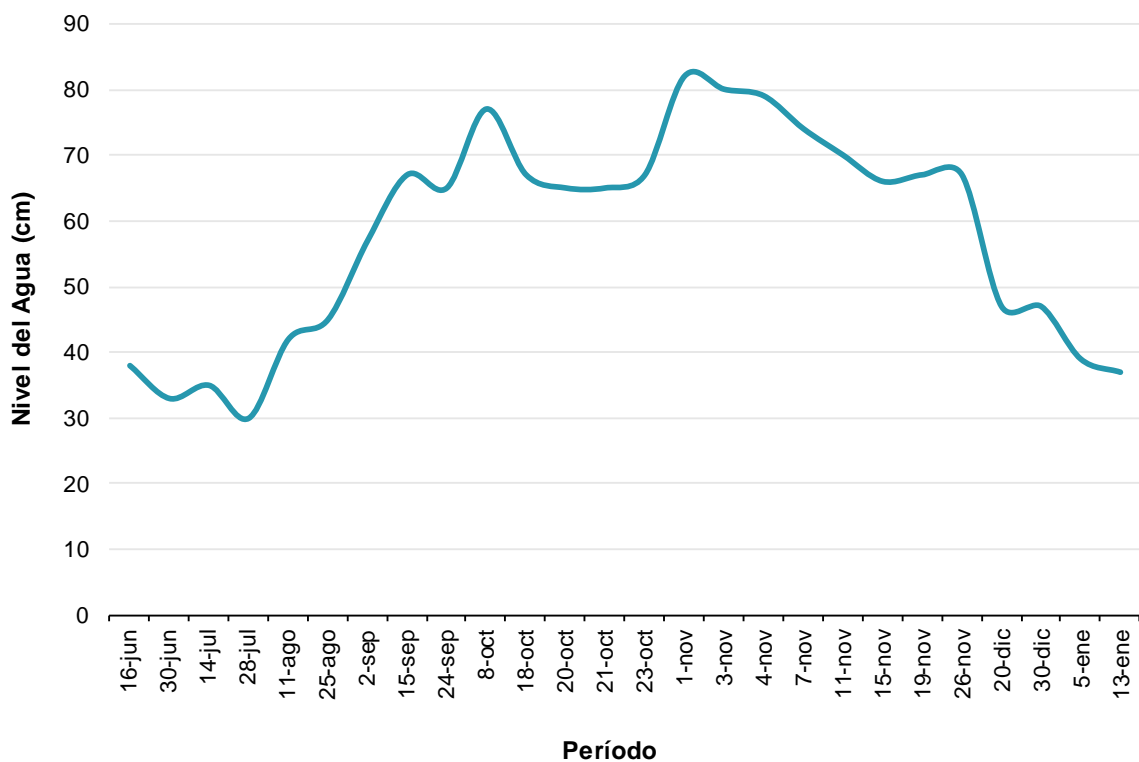


Fuente: elaboración propia (2023).

Por otra parte, tras la falta de frecuencia del ingreso al PNPV, se tomaron medidas para poder seguir monitoreando el registro a distancia, mediante la tecnología y la colaboración de visitantes, practicantes y personal administrativo del SINAC. La medida empleada fue la elaboración de carteles que muestren el objetivo de la barra de medición y así las personas que tengan voluntad en colaborar puedan enviar su aporte de información al instante a través de Google Forms o directamente al WhatsApp (anexos 6.3 C – G).

En la figura 6.15 se muestra las fechas de registro desde junio del 2023 hasta el mes de enero del 2024, los días varían de una medición a otra, además de los respectivos niveles de mediciones, es importante mencionar que los niveles del agua en centímetros fueron ascendiendo en su mayoría, tomando en consideración que las giras de campo se desarrollaron en la época lluviosa.

Figura 6.15 Registro de medición de los niveles del agua.



Fuente: elaboración propia (2023)

Con respecto a la figura 6.15 y el anexo 6.3 H, se observa que el nivel de agua más alto fue el primero de noviembre, el cual se relaciona con la intensidad de lluvia que se

presentó en la provincia de Guanacaste debido a la influencia indirecta de la tormenta Pilar, aunado a las crecidas de los ríos de influencia al humedal. Asimismo, en ese periodo también se presentaba marea alta en el Pacífico (IMN, 2023).

Por otro lado, se considera como parámetros las mareas que inciden en el comportamiento de los niveles del agua, siendo la estación del sector de Puntarenas la más cercana al área del humedal PNPV de acuerdo con su ubicación (anexo 6.3 I); a partir de las fechas de registro de medición y de los pronósticos de oleaje emitido por el MIO en el 2023 (anexo 6.3 J). El humedal al encontrarse en un sitio donde recibe entrada de aguas dulces por medio de las cuencas hidrográficas, se le suma las aguas saladas provenientes de las mareas que suben a través del Golfo de Nicoya, convirtiéndolo las aguas del humedal en tipo salobres.

6.1.4 De acuerdo con Objetivo 4

“Analizar las variables meteorológicas mediante métodos matemáticos para estimación de la incidencia sobre el balance de agua del humedal Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste.”

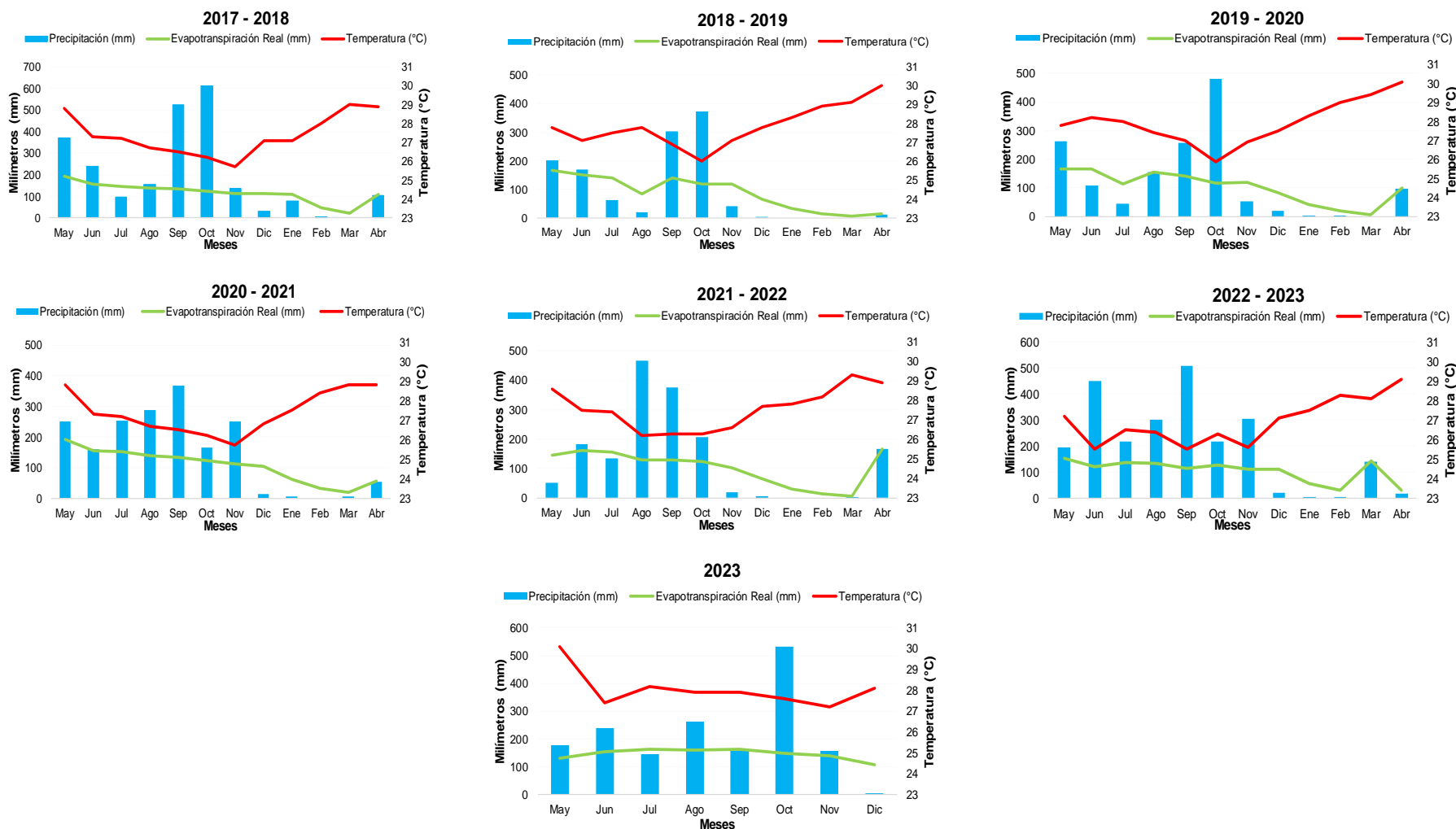
En cuanto al análisis de elementos meteorológicos, se considera el periodo 2017-2023, donde se observa que las precipitaciones más altas son las del año 2017 (figura 6.15 y anexo 6.4 A) específicamente en septiembre y octubre, cuyo año coincide con el caudal más alto registrado en la sección 6.1.2, debido al evento extremo denominado Tormenta Tropical Nate.

Por otro lado, se observa que la temperatura no varía considerablemente de un mes a otro, no obstante, las precipitaciones son muy marcadas debido a la estacionalidad que posee el área en estudio (anexo 6.4 A). Tras realizar un análisis de correlación entre las variables, se determinó que existe relación directa entre la temperatura y evapotranspiración, ya que, los meses con mayor temperatura presenta la tasa de evapotranspiración alta, cuyas características se visualizan de mejor manera en la época seca, un ejemplo específico es el mes de marzo del 2021. De igual manera se observa en la época lluviosa del 2023, donde la evapotranspiración más alta se encuentra en el mes más cálido, cuyo reflejo es mayo.

Las barras de precipitación mostradas en los gráficos (figura 6.16) posee un comportamiento característico de precipitaciones de tipo convectiva, donde según Brenes

y Saborío (1995) este tipo de precipitación está más asociada a zonas llanas, el aire de esa zona se convierte más cálido y ligero que el aire alrededor, lo cual hace que ascienda como una columna vertical, la temperatura de ese aire elevado llega a ser igual o superior al aire circundante, cuando eso sucede se detiene y empieza a condensarse, las gotas de la precipitación se caracteriza por ser gruesas y caen de forma rápida, esto causa un gran impacto en el suelo y desprende partículas en todas direcciones. La velocidad del ascenso convectivo es proporcional a la caída de la gota. La región Chorotega en sus partes llanas se caracteriza por presentar este tipo de precipitación.

Figura 6.16 Relación de variables meteorológicas, periodo 2017-2023.



Fuente: elaboración propia (2023)

6.1.5 De acuerdo con Objetivo 5

“Elaborar un modelo hidrológico conceptual mediante sistemas de información geográfica para la delimitación espacial dinámica del humedal Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste.”

Con base a los resultados que se obtuvieron en los objetivos anteriores se desarrolla el modelo hidrológico conceptual del humedal, como se muestra en la figura 6.17, se detallan las variables que funcionan como entradas y salidas, siendo el caudal, precipitación y mareas las entradas, mientras que la evapotranspiración y mareas son las salidas.

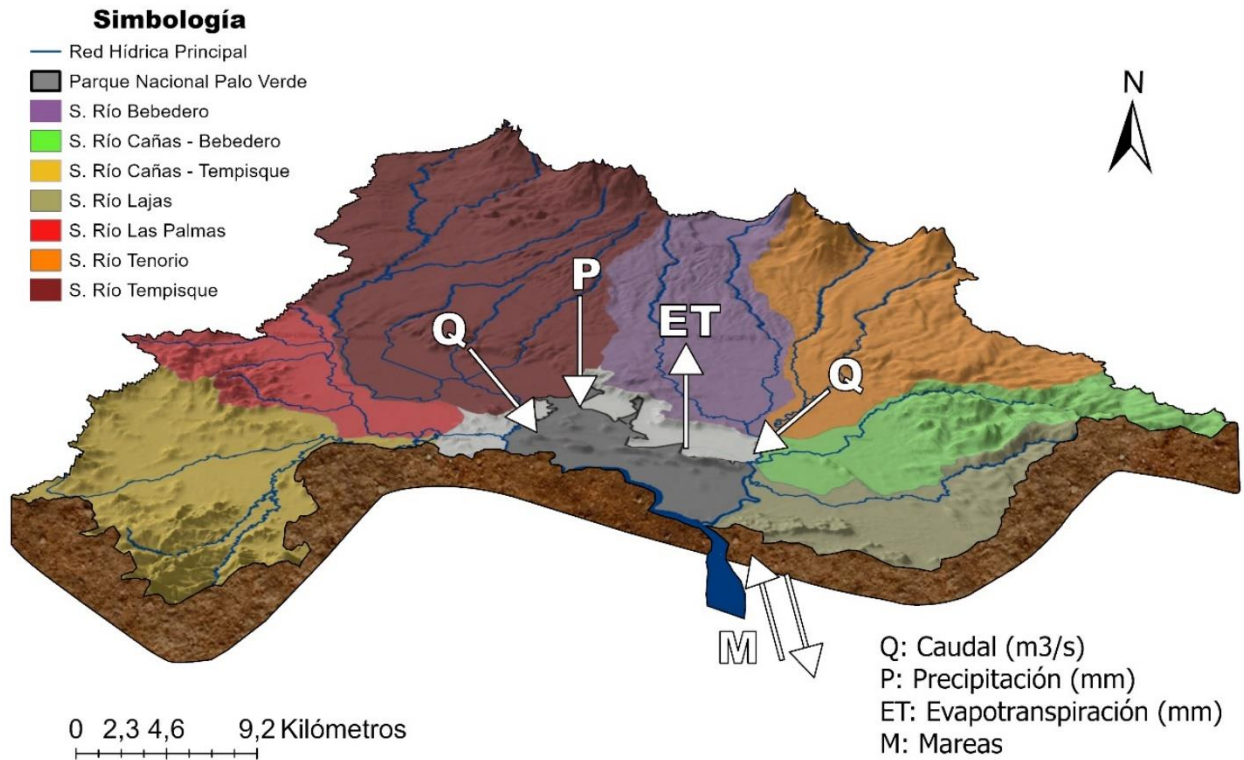
Los humedales, son sistemas ecotonos dinámicos y complejos que, a través de la hidrología y el ciclo hidrológico, permiten el desarrollo de procesos cíclicos entre la zona continental y marítima al funcionar como fronteras entre estas zonas. Según Guizada (2018) los principales componentes de aporte hidrológico de un humedal son la precipitación, evapotranspiración, las inundaciones y las mareas. El componente biológico de un humedal va a depender del comportamiento hídrico, involucrando procesos de entrada, movimiento y salida del agua a través del sistema, por lo tanto, conocer los aspectos hídricos que predominan en el sistema es fundamental en el estudio de la hidrología. Los humedales presentes en el PNPV por su naturaleza son estacionales y la interacción climática e hidrológica determinan el volumen y la profundidad del humedal, lo cual se ve reflejado en los niveles del cuerpo del agua.

Comprender el funcionamiento de la dinámica anual del humedal PNPV entorno a su sistema de hidrología es complejo, debido a la serie de variables que interviene en este sistema abierto, aunado a lo anterior mediante el modelo hidrológico conceptual, se muestran los parámetros que determinan el volumen de agua dentro del humedal. Al ubicarse el humedal en la desembocadura de dos cuencas hidrográficas importantes para la región Chorotega se obtuvieron las subcuencas delimitadas en la sección 6.2, estas aportan un determinado caudal (Q) de entrada a través de sus afluentes, es decir, agua superficial que llega a incidir en el sistema.

De igual manera, está la influencia directa de la precipitación (P) tomada de la estación meteorológica más aledaña al humedal, luego se observa tanto la entrada como la salida de mareas (M) provenientes del Golfo de Nicoya. Con respecto a esta última, mediante giras de campo realizadas en la desembocadura del río Tempisque (anexo 6.5 A) así como la visita a puerto Chamarro (anexo 6.5 B), se corroboró que la dirección de la

corriente del río se rige de acuerdo con la entrada de las mareas, teniendo incidencia en las partes aledañas al manglar. Por otro lado, de acuerdo con lo mencionado por Fallas (2023) encargado del departamento de hidroclimatología del ICE la estación pluviográfica 762005 del río Bebedero, sus registros son afectados por las mareas. Asimismo, se contempla como salida la evapotranspiración (ET) que se genera en el humedal.

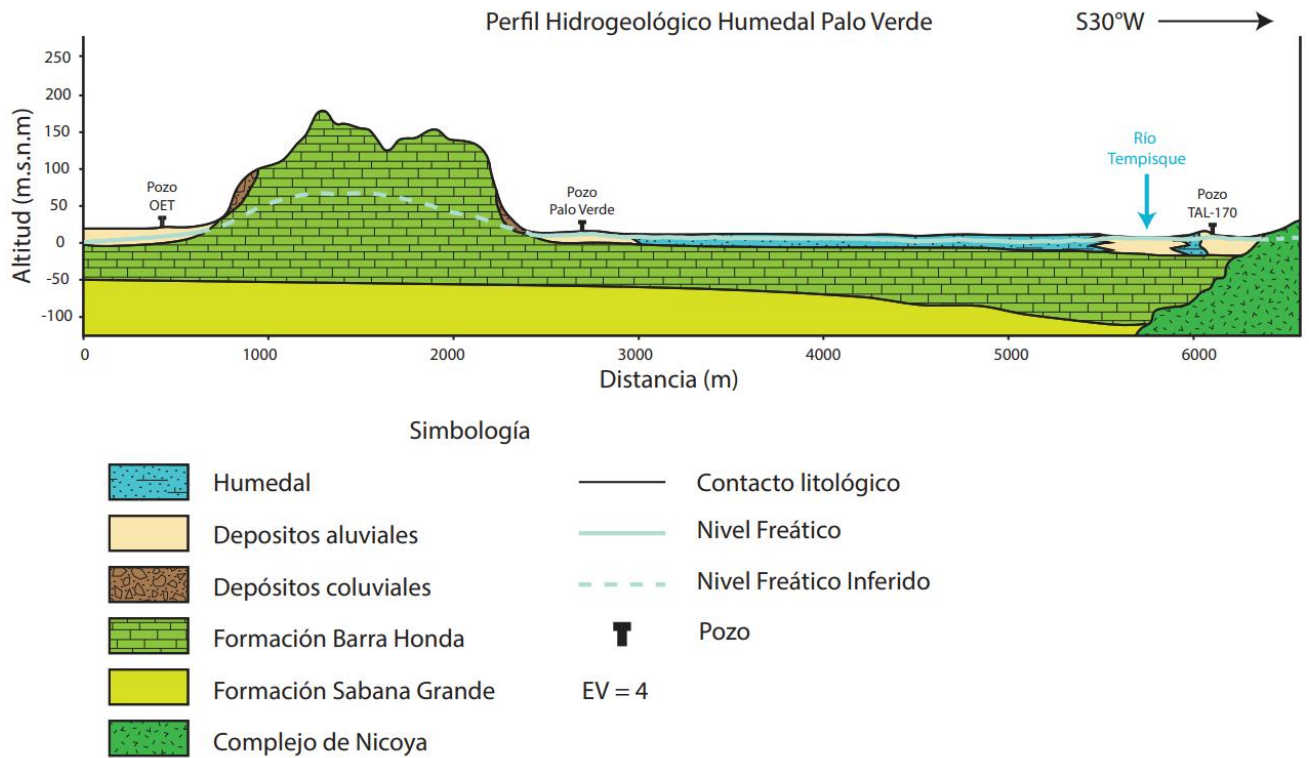
Figura 6.17 Modelo Hidrológico Conceptual del humedal del PNPV.



Fuente: elaboración propia (2023)

Aunado a lo anterior, otra variable importante a mencionar es el agua subterránea (AS), ya que, al realizar un perfil hidrogeológico de acuerdo con los pozos localizados en la cercanía del área de estudio se determinó la influencia que esta tiene en el humedal, como se evidencia en la figura 6.18, el nivel freático presenta variaciones de 2-5 m, lo cual constituye un valor relativamente cercano a la superficie, por lo tanto, aporta al nivel del humedal.

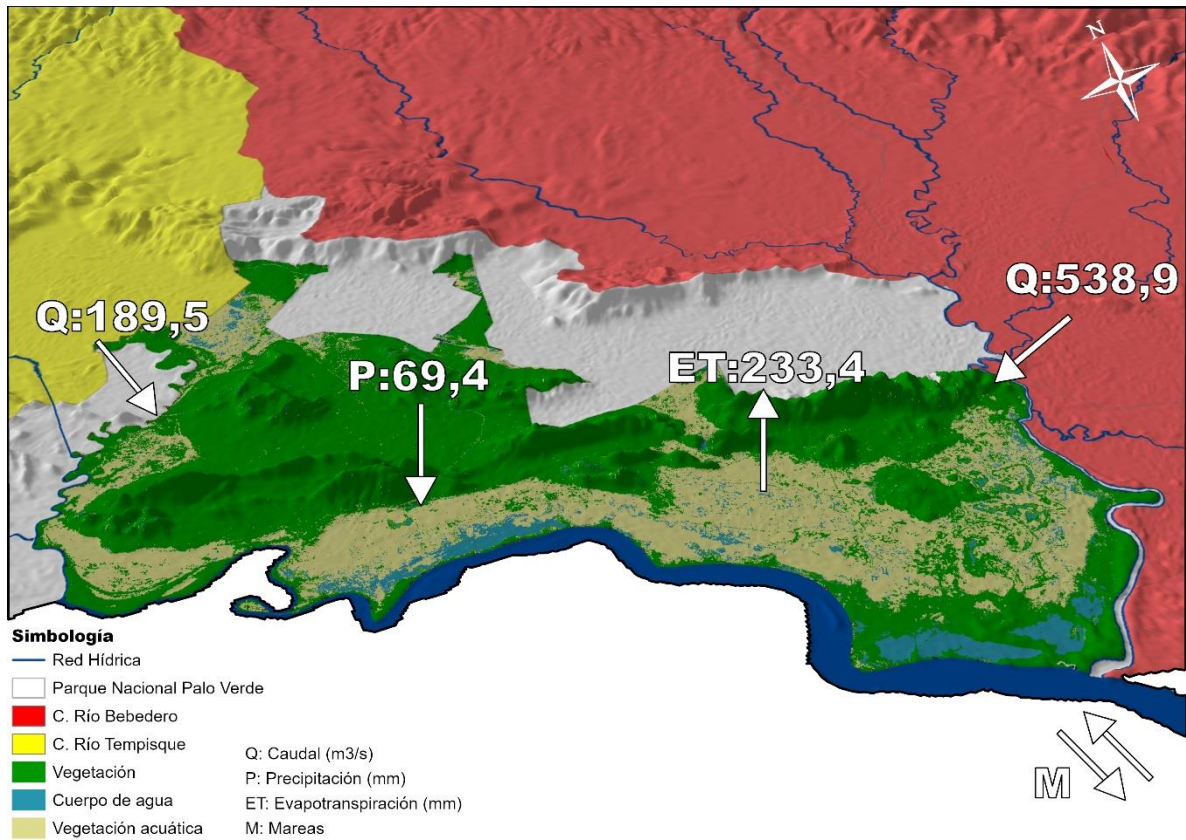
Figura 6.18 Perfil Hidrogeológico del humedal del PNPV.



Fuente: Masís (2024)

Por otro lado, se analiza el modelo hidrológico conceptual a partir de las estaciones climáticas que presenta el humedal, primeramente, se observa el funcionamiento de la época seca (ver figura 6.19), con los respectivos datos teóricos, los cuales muestran una dinámica regida principalmente por las mareas y la evapotranspiración. No obstante, con referente a los caudales de los ríos al mermar sus volúmenes, producto de las características climáticas de la región, el aporte que recibe el humedal disminuye y a su vez el nivel del cuerpo de agua se modifica.

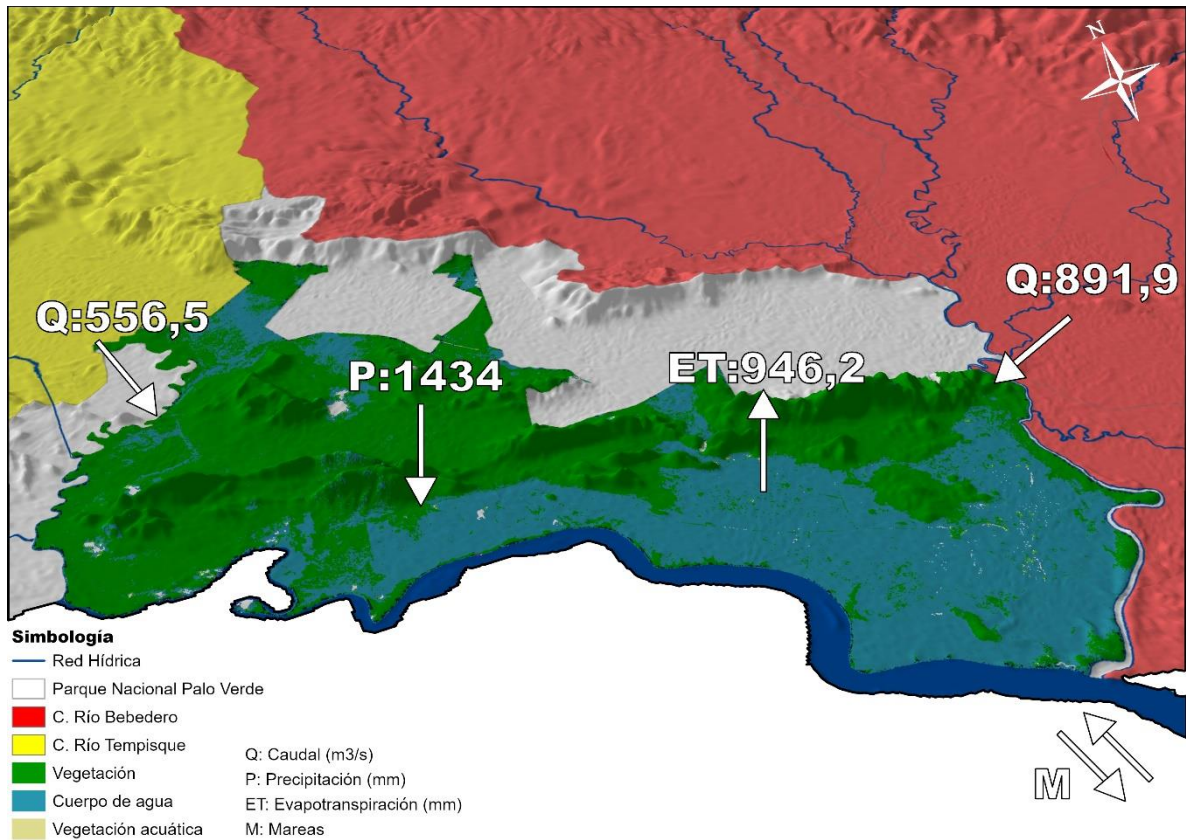
Figura 6.19 Modelo Hidrológico Conceptual del humedal del PNPV, estación seca 2021.



Fuente: elaboración propia (2023)

Al realizar una comparación entre los dos modelos se comprueba que el humedal es estacional, cuya dinámica en la época lluviosa, es más evidente que la seca, ya que los volúmenes de entrada y salida son significativos, además, se comprueba mediante las imágenes satelitales que el cuerpo de agua posee mayor área, producto de todas sus entradas. En el caso del modelo de la época lluviosa (figura 6.20), las precipitaciones aumentan alrededor de 20 veces más que en la época seca, con respecto a los caudales, el volumen del río Tempisque es aproximadamente el triple, mientras que el río Bebedero aumenta alrededor de un 60%.

Figura 6.20 Modelo Hidrológico Conceptual del humedal del PNPV, estación lluviosa 2021.



Fuente: elaboración propia (2023).

6.2 Discusión de resultados

En este apartado se procede a discutir los diferentes resultados obtenidos en el estudio, realizando un análisis detallado de los mismos, ejemplificando los principales hallazgos y sobre el cumplimiento de los objetivos.

6.2.1 Discusión de principales hallazgos

La presente sección refleja la discusión de los diferentes hallazgos obtenidos en el estudio, los cuales se describen a continuación:

- *Riqueza y distribución de datos hidrometeorológicos*

Se observa mayor variabilidad de opciones para la integración de información meteorológica requerida para el estudio, debido a que, inicialmente se contemplaban el acceso a las estaciones del IMN, no obstante, a lo largo de la investigación se logra obtener

acceso información de SENARA e ICE. Esta adición enriquece la base de datos permitiendo obtener información precisa y confiable con respecto a datos hidrometeorológicos.

Por otro lado, en cuanto a datos hidrológicos, se identifica un hallazgo con respecto a la riqueza de datos de caudales en diversas estaciones hidrológicas operadas por el ICE, estas mismas se encuentran distribuidas en varios ríos de relevancia para la zona en estudio, por lo tanto, amplía la diversidad de datos que inicialmente se poseían tanto en cantidad como en actualización de periodo. Además, se destaca la importancia de la colaboración de instituciones públicas en la obtención de datos confiables que fortalecen el análisis.

- *Imprecisión en los resultados de campo*

Las estimaciones de los resultados en campo de este estudio presentan variabilidad debido a la ausencia de un registro histórico de los datos del nivel del humedal, esta falta de antecedentes imposibilita comparar datos, por ende, dificulta la obtención de resultados precisos.

- *Poca capacidad técnica para aprovechamiento de la estación meteorológica*

En el PNPV precisamente dentro de las oficinas del SINAC se encuentra el sistema computacional que recibe señal directa de la estación meteorológica cercana a dicho sitio, tomando en consideración que la estación en el tiempo que se realizó el presente estudio se encontraba en funcionamiento, la misma no se le saca el aprovechamiento adecuado para monitorear los datos climáticos que ofrece, puesto que no se cuenta con la capacidad técnica para poder manejar la estación desde dichas oficinas, es por esto que se determina como una desventaja ya que tiene gran peso el hecho de tener una estación alejada que se puede operar directamente por el ente favorecido.

- *Dificultad en la teledetección del espejo del agua*

En las visitas de campo realizadas en el humedal PNPV en el mes de junio, es importante mencionar que este último es un mes donde las precipitaciones merman considerablemente puesto que está cercano al fenómeno “canícula”, se observa aguas adentro la incidencia de la planta acuática *Typha Domingensis* (tifa) esta cubre gran parte del humedal reduciendo así el espejo del agua notablemente. Por otro lado, la especie invasora *Thalia Geniculata*, conocida como Platanilla, que se encuentra presente en el humedal, según las visitas de campo realizadas en los meses lluviosos ha repercutido en el espejo del agua de igual manera. Para el cumplimiento del objetivo, lo anterior ha influido

en la teledetección para distinguir la presencia de agua con respecto a la vegetación existente en el humedal, esto dificulta la detección de sistemas acuáticos.

- *Se requiere más información de caudales en el río Tempisque*

Al realizar la búsqueda de información hidrológica de las cuencas hidrográficas, se observa que existe mayor monitoreo en la cuenca río Bebedero que en el río Tempisque, se asume que se deba por el interés socioeconómico de por medio sobre los canales de riego del DRAT y el proyecto hidroeléctrico Arenal, mismo que es operado y administrado por el ICE, es por esto por lo que se requiere tener un mayor control sobre estos ríos. No obstante, se plantea que, aunque la cuenca del río Tempisque es la que abarca mayor área del sector de Guanacaste no tiene el debido monitoreo de mediciones de caudales con respecto a la cuenca del río Bebedero aledaña, por lo tanto, para obtener resultados más precisos es necesario que exista mayor instrumentalización hidrológica.

- *Limitación en la disponibilidad y acceso de datos hidrológicos en el PNPV*

Se descubre que la Estación Biológica Palo Verde administrada por la OET cuenta con diversos instrumentos hidrológicos que monitorean el flujo del agua que recibe y sale del humedal, no obstante, la misma organización hace constar que no poseen registro de dichos datos actualizados y en caso de estar disponibles, son de carácter confidencial por parte de una universidad extranjera, lo cual impide su divulgación y uso. Por ende, se resalta la importancia de mejorar la gestión de la información científica, potencializando el área investigativo del PNPV en pro del medio ambiente. De igual manera, es necesaria la instrumentalización hidrológica dentro del PNPV en puntos estratégicos y que sea operada por el SINAC, así se obtienen los resultados de primera mano para poder tomar decisiones basadas en la realidad que presenta la zona en estudio.

6.2.2 Discusión sobre Cumplimiento de Objetivos

- *Primer Objetivo Específico*

Tras realizar la metodología para obtener los resultados, se seleccionó periodos de estudio a conveniencia, específicamente los años 2016, 2018, 2019, 2020, 2021 y así comparar los cambios que obtuvo el cuerpo de agua, como se evidencia en la sección 6.1.1 (figuras 6.1-6.5) y en el anexo 6.1 A; por lo tanto, este objetivo se cumplió según lo esperado.

- *Segundo Objetivo Específico*

En cuanto a la delimitación de las subcuencas de influencias que inciden en el humedal fue necesario acudir a métodos cuantitativos para lograr estimar los caudales que aportan estas subcuencas al humedal (tabla 6.3 y anexo 6.2 B), lo cual se toma como punto de partida las estaciones fluviográficas del Instituto Costarricense de Electricidad, entidad que facilitó dicha información. La delimitación de las subcuencas que se encuentran dentro de las cuencas hidrográficas del río Tempisque y río Bebedero se hicieron bajo riguroso criterio hidrológico contemplando la red hidrográfica y la topografía del sitio. Además, la herramienta de SIG facilitó los procesos de análisis de la morfología de las subcuencas, así como la delimitación (ver figura 6.10 y tabla 6.2). Por otro lado, se utilizó el método de traslado de caudales siendo este uno de los más utilizados en gran medida para la estimación de caudales en el país; por lo tanto, el objetivo se cumplió según lo esperado.

- *Tercer Objetivo Específico*

Con respecto a la determinación del comportamiento dinámico se utilizó la estrategia comparativa de niveles de agua in situ como se discute en la sección 6.1.3. A través de los registros, así como las estrategias implementadas para obtenerlos se logra tener un registro de 7 meses abarcando época seca y lluviosa. De esta manera se comprueba su comportamiento dinámico regido por la estacionalidad, cumpliendo así con el objetivo propuesto.

Por otro lado, con respecto al registro de los niveles de agua del humedal, este se logró mediante la utilización de un instrumento perteneciente al SINAC (ver figura 6.11), el cual ya estaba establecido en el PNPV por dicha administración. No obstante, debido a la presencia de la vegetación acuática, se procedió a instalar un nuevo instrumento artesanal (ver figura 6.13), realizado por nuestra autoría con el fin de seguir monitoreando los niveles de agua del humedal, como se evidencia en la figura 6.15 y anexo 6.3 H.

- *Cuarto Objetivo Específico*

Los datos de las variables meteorológicas y el acceso a la información fueron facilitados por el Instituto Meteorológico Nacional entidad que gestiona la estación los Negritos ubicada en la entrada del Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste. Mediante los datos en términos mensuales del periodo del 2016 - 2023 acerca de parámetros de precipitación (mm) y temperatura (°C) se logra determinar la evapotranspiración que tiene el humedal, como se evidencia en la figura 6.16 y anexo 6.4 A. Por ende, el objetivo se cumplió según lo esperado.

- *Quinto Objetivo Específico*

De acuerdo con el modelo hidrológico conceptual elaborado a través de los parámetros obtenidos en los objetivos del 1 al 4 se realizan tres modelos conceptuales, el primero en términos generales de las variables involucradas en las entradas y salidas del sistema, el segundo bajo la estacionalidad de la época seca y el tercero la ejemplificación de la época lluviosa ambos con sus respectivos datos teóricos, como se evidencia en las figuras 6.17, 6.18, 6.19 y 6.20 de la sección 6.5. Por lo tanto, el objetivo se cumplió según lo esperado.

Capítulo VII - Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se muestran las principales conclusiones y recomendaciones del presente estudio, cuyas sugerencias se enfocan en mejorar el análisis dinámico hidrológico del humedal Parque Nacional Palo Verde.

7.1 Conclusiones

7.1.1 Generales

La elaboración del modelo hidrológico conceptual en el humedal PNPV fue realizado bajo parámetros hidrológicos atmosféricos y volúmenes de agua superficiales, siendo estas variables parte de la dinámica del ciclo hidrológico, asimismo de la variable hidrogeológica. Se identifica la complejidad entre las interacciones de estos factores dentro del humedal, lo cual los datos generados en el modelo muestran una interpretación descriptiva y cuantitativa teóricos del funcionamiento del humedal bajo la estacionalidad del lugar.

La información obtenida cualitativa y cuantitativamente a través del modelo conceptual sobre el funcionamiento del sistema hidrodinámico del humedal funciona como línea base para la elaboración de un futuro balance hídrico en la zona, dado que los datos permiten comprender hidrológicamente tanto las entradas como las salidas del recurso hídrico existentes dentro del humedal.

La instrumentación hidrológica dentro del humedal PNPV necesaria para el desarrollo de este tipo de investigación se vio limitada en cuanto a base de datos de monitoreo en puntos estratégicos que permitirían tener un registro en valores numéricos de las fuentes de entradas de aguas superficiales del río Tempisque y Bebedero, así como el ingreso de mareas.

Luego de realizar las estimaciones de caudales de las subcuencas de influencia en el humedal se determina la importancia que tienen los ríos, ya que los volúmenes son significativos. Además, se reconoce la complejidad que posee el área en estudio ya que se encuentra dentro de dos grandes cuencas hidrográficas las cuales son río Tempisque y río Bebedero, cuyas cuencas son de gran extensión. No obstante, esta última aporta mayor caudal, dadas sus condiciones topográficas, morfométricas y atmosféricas en la zona, refiriéndose mayormente a la precipitación.

Este estudio confirma la discontinuidad de monitoreo en cuanto al registro de información de estaciones fluviográficas en la cuenca del río Tempisque, donde únicamente se contó con la información de la estación La Guinea. Se recopiló datos con intervalos de años y meses sin registro, dejando en desventaja el monitoreo que recibe la cuenca, considerando que la estación existe desde hace 52 años.

Tras el análisis de datos meteorológicos y observaciones de campo, se determina que al existir influencia directa o indirecta de eventos meteorológicos extremos comunes de acuerdo con la estación lluviosa, el nivel del humedal cambia significativamente dadas las crecidas de los ríos de subcuencas circundantes y las lluvias directas del humedal. Aunado a lo anterior, bajo estas condiciones, específicamente por la influencia indirecta de la tormenta Pilar, se presentó el mayor registro del nivel de agua, el cual fue de 82 cm.

Se identifican variaciones extremas en el cuerpo de agua debido a la estacionalidad característica de la zona, en el cual, durante la época seca la presencia de dichos cuerpos es escaso, mientras que en la temporada lluviosa aumenta significativamente. O como es el caso del año 2020, donde en época seca era de 6.8% mientras que en época lluviosa fue de 52%.

Este estudio demuestra la importancia de contar con la disponibilidad de datos meteorológicas de influencia directa, como la proporcionada por la estación existente dentro del PNPV misma que tiene el equipo tecnológico dentro las oficinas del SINAC. No obstante, esta no recibe el aprovechamiento necesario para monitorearla en tiempo real, aunado a lo anterior se está perdiendo información climatológica de primera mano, misma que puede ser usada para iniciar con el registro de parámetros que contribuyan a comprender la dinámica del humedal bajo condiciones extremas.

7.1.2 Por hallazgos

La integración de información meteorológica e hidrológica proporcionada por el IMN, SENARA e ICE permitió la riqueza, diversidad y actualización de la base de datos, permitiendo la realización del estudio. Por lo tanto, se determina la importancia de las gestiones realizadas por instituciones públicas que contribuyeron con datos precisos de parámetros necesarios para la elaboración de estudios académicos.

Organización privada dentro del PNPV, dispone de información científica relevante del área en estudio, no obstante, esta misma no es de carácter público, es confidencial, administrada por una universidad extranjera, lo cual perjudica la gestión del humedal. Por ende, sin acceso a datos actualizados se dificulta la toma de decisiones informadas, además, limita la capacidad para atender las necesidades del humedal.

La iniciativa desarrollada en cuanto a la medición de los niveles de agua del humedal es un punto de partida de registro para monitorearlo en tiempo real, no obstante, al no

contar con una base histórica de registro genera desventaja comparativa lo cual queda en plano descriptivo la determinación del comportamiento dinámico.

7.2 Recomendaciones

7.2.1 Generales

Este tipo de estudio de carácter hidrológico funciona como referencia para que sea utilizado por estudiantes universitarios en carreras afines a los recursos naturales, asimismo, dar continuidad sobre el análisis dinámico del humedal PNPV o temas ligados que beneficien a este sitio Ramsar relevante del país.

Se recomienda en un futuro cercano invertir en equipo necesario para que el SINAC, cuya entidad encargada de gestionar el humedal PNPV, tengan a mano los datos de volúmenes que recibe el humedal en las diferentes épocas del año y así poder comprender de mejor manera a través de datos precisos el comportamiento hídrico del humedal.

Los datos generados de índole hidrológico en el estudio, así como la metodología utilizada para la generación de datos de caudales en las dos cuencas hidrográficas pueden llegar a ser utilizados como medio comparativo de futuras investigaciones desarrolladas en el sitio. De igual manera esta iniciativa de estudio y los datos de caudales encontrados en el año 2016 al 2022 funcionan como registro histórico cuantitativo de las aguas superficiales que escurren hacia las diversas zonas que integran el humedal.

Se recomienda monitorear continuamente los caudales de la cuenca del río Tempisque, ya que esta es de las más importantes para la provincia de Guanacaste, de esta manera, con los registros, se pueda facilitar la comprensión del comportamiento hidrológico con datos actualizados. Además, servirían para usarse en diversas investigaciones que respondan a problemáticas de la región, implementando soluciones en la gestión del recurso hídrico en la cuenca como tal.

Se sugiere acceder a distintas plataformas que brinden servicios de información geográfica para encontrar imágenes satelitales de acuerdo con la época de interés, asimismo, hacer uso de fotografías aéreas con precisión que permitan visualizar la diferencia entre las estaciones del año que caracterizan a la zona de estudio.

Es recomendable que el equipo de administración del Parque Nacional Palo Verde cuente con la capacidad técnica necesaria para asegurar un uso eficiente del sistema

operativo de la estación meteorológica. De este modo, podrán llevar a cabo una gestión más efectiva que garantice un acceso preciso al monitoreo en tiempo real de la zona.

7.2.2 Por hallazgos

Se debe mejorar la gestión de información científica, con el fin de impulsar las investigaciones del PNPV, y así compartir datos con la institución responsable de la administración, cuya entidad es SINAC, de esta manera se tendría una gestión efectiva. La colaboración y disponibilidad de esta información relevante contribuiría en la toma de decisiones para implementar estrategias en pro del ecosistema acuático y terrestre.

Se recomienda mantener el monitoreo del nivel de agua del humedal y así establecer un registro de datos históricos, con el fin de crear un archivo que proporcione una base de gran valor para llevar a cabo análisis hidrológicos, permitiendo una comprensión detallada sobre el comportamiento dinámico del área en estudio. De igual forma, facilitaría las tendencias de los posibles factores de cambio del humedal.

Referencias Bibliográficas

Referencias Bibliográficas

- Arrieta-Pérez, C. (9 junio 2015). *Diputados preocupados por la sequía en Guanacaste*. EIPaís.cr. <https://goo.su/nmwew>
- Arroyo-González., (2012). Esbozo histórico de la geomorfología y su papel como ciencia aplicada en el contexto de los peligros naturales y los planes reguladores. *Revista Geográfica de América Central*, 1(48), 15-34. <https://bit.ly/3Euujda>
- Autoridad Nacional del Agua. (2020). *Déficit hídrico (infografía)*. [Archivo PDF]. <https://goo.su/rXledZ>
- Bacuilima, M. y Cedillo, P. (2012). Estudio hidrológico para el diseño de una obra de drenaje mayor. Universidad de Cuenca. [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. <https://goo.su/X5U19>
- Baes, B., Kundzewicz, Z., Wu, S. y Palutikof, J. (2008) Cambio Climático y agua. Documento Técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Ginebra. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3O7yI4>
- Baldeón, J. (2016). *Modelamiento Hidrológico de la Subcuenca del Río Achamayo*. [Tesis de Posgrado, Universidad del centro del Perú.] <https://bit.ly/3hZWiby>
- Bateman, A. (2007). *Hidrológica básica y aplicada*. [Archivo PDF]. <https://goo.su/LF2v>
- Blanco, P. (10 julio 2019). Guanacaste en la encrucijada frente al clima. *Universidad de Costa Rica*. <https://goo.su/FiP0>
- Brenes y Saborío (1995). Elementos de Climatología su Aplicación Didáctica a Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. <https://goo.su/emcWd03>
- Buenfil., (2009). Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología. <https://bit.ly/3ekjob6>
- Bufford, J., & González, E. (2012). Manejo del humedal Palo Verde y de las comunidades de aves asociadas a sus diferentes hábitats. *Revista De Ciencias Ambientales*, 43(1), 5-16. <https://doi.org/10.15359/rca.43-1.1>
- Cabrera, J. (2012). Modelos hidrológicos. Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Ni-o, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú, 8.

- Cáceres, C., Lanza, G., Adame, S. y Hernández, S. (2015). *Diccionario de hidrología y ciencias afines*. Universidad de Baja California. <https://goo.su/6d8sb>
- Cambroner, A., Porras, R. y Valverde, N. (2021). *Plan Estratégico Municipal de Bagaces 2022-2026*. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/42UVyHe>
- Cedeño, N. (2012). La investigación mixta, estrategia andragógica fundamental para fortalecer las capacidades intelectuales superiores. [Archivo PDF]. <https://goo.su/57ziT>
- Centro Centroamericano de Población. (2023). Sistema de Consulta a Bases de Datos Estadísticos. CPP y UCR. Recuperado el 21 de mayo de 2023. <https://bit.ly/3oul4ns>
- Chacón, V. (24 abril 2023). Mil hectáreas del humedal arden en el Parque Nacional Palo Verde. *Semanario Universidad*.
- Chow, V. Maidment, D., Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Mc. Graw Hill. Colombia
- Código de ética profesional del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA). Artículo 1. 01 julio del 2013.
- Cohen, R. y Cohen, E. (2000). *Evaluación de Proyectos Sociales*. Siglo Veintiuno Editores. <https://goo.su/ruUp2>
- Collins, K., Onwuegbuzie, A. y Sutton, I. (2006). Un modelo que incorpora la justificación y el propósito para realizar investigaciones de métodos mixtos en educación especial y más allá. *Revista Contemporánea*, 4(1), 67-100. <https://goo.su/LSFRt5p>
- Contraloría General de la República. (2011). Informe de los resultados de la auditoría operativa acerca del cumplimiento por parte del estado de las medidas de protección y conservación de los humedales de importancia internacional (Convención Ramsar). [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3tRRd7N>
- Convención de Humedales Ramsar. (2012). Misión Ramsar de Asesoramiento No. 73 Humedal de Importancia Internacional Palo Verde, Costa Rica.
- Convención de Humedales Ramsar. (2020). Lista de Humedales de Importancia Internacional incluidos en el Registro de Montreux. <https://bit.ly/42s39g5>
- Convención de Humedales Ramsar. (2021). Informe Nacional sobre la aplicación de la Convención de Ramsar sobre los humedales. <https://bit.ly/3pDfkbx>

- Convención de Humedales Ramsar. (2023). 7 buenas prácticas para la restauración de humedales. <https://bit.ly/3nUWiNk>
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3BNcljs>
- Convención sobre los Humedales. (1998). *Procedimiento de Orientación para la Gestión. Informe Final*. [Archivo PDF]. <https://goo.su/Chd85>
- Cotler H., Garrido A., Mondragón R., Díaz A. 2007. Delimitación de cuencas hidrográficas de México, a escala 1: 250,000, INEGI-INE-CONAGUA. Documento técnico. México. 35 pp.
- Crespo, A. (9 junio 2016). Ganaderos guanacastecos enfrentan las consecuencias del cambio climático. *La Voz de Guanacaste*. <https://goo.su/RohYT>
- Del Angel, E. (2014). Hidrodinámica. [Archivo PDF]. <https://goo.su/SR6Vf0>
- Delgado, L. E., Tironi-Silva, A., & Marín, V. H. (2019). Sistemas socioecológicos y servicios ecosistémicos: modelos conceptuales para el humedal del Río Cruces (Valdivia, Chile). *Naturaleza en sociedad: Una mirada a la dimensión humana de la conservación de la biodiversidad*, 177-205.
- Duarte, O. y Díaz, E. (2003). *Evaporación y evapotranspiración*. [Archivo PDF]. <https://goo.su/AT05P>
- Esquivel, N. (26 abril 2023). Incendio en Palo Verde cubre de humo a la Península de Nicoya y deja tortugas muertas. *La Voz de Guanacaste*.
- Fallas, B. (2023). Consulta de Estaciones de Caudales [beFall@ice.go.cr].
- Franco, R., Quentin, E. y Díaz, C. (2008). *Concepción e implementación de un módulo hidrogeomático para la evaluación de disponibilidad de recursos hídricos*. [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <https://goo.su/uFtV5Y>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, M. y Besteiro, S. (2012). Características morfométricas de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Revista Augmdomus 4*, 143-158. <https://goo.su/YIQJE4>

- Geraldj, A. M., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. (2010). Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (52), 215-225.
- Girona, U. (08 de mayo 2017). ¿Qué software y herramientas de SIG utilizamos? UNIGIS. Recuperado el 28 de mayo 2023. <https://goo.su/oeENpE>
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno catarinense de ensino de física*. Florianópolis. Vol. 15, no. 2 (ago. 1998), p. 107-120.
- Guizada, L. (2018). *Integridad ecológica de humedales de la cuenca baja del río Tempisque, caso Humedal Protegido Internacional Palo Verde, Costa Rica*. [Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Escuela de Posgrado]. <https://goo.su/WycRtPa>
- Gutierrez, C. (2014). Hidrología básica y aplicada. <https://goo.su/INRLza7>
- Herencia-Félix, B., & Carrera-Saavedra, C. (2019). Estimación caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*.
- Hernández, S. (2015). Análisis de series de tiempo. <https://goo.su/nVnB4>
- Instituto de Desarrollo Rural. (2016). *Plan de Desarrollo Rural Territorial: Abangares-Cañas-Bagaces-Tilarán*. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3OvvpKt>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2017). Resumen meteorológico de octubre de 2017. [Archivo PDF]. <https://goo.su/YUTTMe>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2023). #IMN_Imágenes (10:30 a.m.) Nubes dispersas en el Pacífico. Un foco de calor con presencia de columna de humo hacia la península de Nicoya. Facebook. <https://bit.ly/3BMOvV6>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (09 de diciembre 2022). *INEC divulgara resultados generales del censo 2022 en el segundo trimestre de 2023*. INEC. Recuperado el 21 de mayo de 2023. <https://bit.ly/3orlbAb>

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011). *Resultados Generales censo 2011*. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3MOijqL>
- López, R. (2001). Propuesta de modificación del método racional. <https://goo.su/UYLOuQR>
- Masís, J. (2024). Perfil Hidrogeológico Humedal Palo Verde.
- MappingGis. (2019). Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel. <https://goo.su/nC1wKk>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Mendoza, M., Bocco, G., Bravo, M., Siebe, C., & Ortiz, M. A. (2002). Modelamiento hidrológico espacialmente distribuido: una revisión de sus componentes, niveles de integración e implicaciones en la estimación de procesos hidrológicos en cuencas no instrumentadas. *Investigaciones geográficas*, (47), 36-58. <https://goo.su/FQ9zZ>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). *Caracterización del área de influencia de la agencia de extensión agropecuaria*. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/41V9Q9u>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2001). Política de Humedales de Costa Rica. [Archivo PDF]. <https://goo.su/zqly>
- Ministerio Nacional de Ambiente y Energía, & Secretaría Técnica Nacional Ambiental. Resolución N° 1462-2018-SETENA. <https://goo.su/xQ8pJ>
- Ministerio Nacional de Ambiente y Energía, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Ministerio de Agricultura y Ganadería, & Ministerio de Economía, Industria y Comercio: (2004). Decreto Ejecutivo N° 31849. Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).
- Módulo de Información Oceanográfica. (2023). Pronósticos locales de oleaje y viento en Puntarenas. Universidad de Costa Rica. <https://goo.su/xRsZF>
- Montero, M. (2018). *Potenciador de desarrollo local y cultural de Bagaces. Propuesto de sectorización para un circuito turístico sostenible y centro de visitación y capacidad*. [Tesis de Grado, Universidad de Costa Rica]. <https://bit.ly/45oEUI0>
- Morales, A. (2021). Cómo crear mapas 3D en QGIS con el Plugin Qgis2threejs.

- Moreira, M. (1997). Modelos mentais. *Investigações em ensino de Ciências*.
- Moreno, M., Hidalgo, H., & Alfaro, E. (2019). Cambio climático y su efecto sobre los servicios ecosistémicos en dos parques nacionales de Costa Rica, América Central. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 30(1), 16-38. <https://goo.su/WSht>
- Organización Meteorológica Mundial, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2012). Glosario Hidrológico Internacional. <https://goo.su/zs4Hv6J>
- Organización Meteorológica Mundial. (2014). *El Niño/Oscilación del Sur*. [Archivo PDF]. <https://goo.su/dr4hB>
- Orjuela, L. (2 de febrero de 2023). Pese a tener el humedal más grande de la región, Costa Rica no cuenta con ley para protegerlo. Teletica.com. <https://bit.ly/3M6XLrS>
- Perdomo-Melo, V y Rojas-Leguizamón, C. (2017). Modelo hidrogeológico conceptual a partir de información secundaria, en los alrededores del centro urbano del municipio de Chiquinquirá. <https://goo.su/UltL>
- Presidencia de la República de Costa Rica. (2022). Día mundial de los humedales 2022: Costa Rica exhorta a intensificar acciones para la conservación, inversión y restauración de humedales. <https://bit.ly/41GJYhb>
- Presidencia de la República de Costa Rica. (23 de julio 2019). *Ejecutivo decreta emergencia por déficit hídrico en guanacaste y otras regiones del país*. Recuperado el 28 de mayo de 2023. <https://goo.su/K8NyMx>
- Programa Estado de la Nación; Consejo Nacional de Rectores. (2022). Informe Estado de la Nación 2021. <https://bit.ly/41C2w28>
- Quevedo, F. (2005). Diccionario Didáctico de Ecología. Editorial de la Universidad de Costa Rica. <https://goo.su/ZBhM>
- Ramírez, P. (1986). Estudio Meteorológico de los veranillos en Costa Rica. IMN, MAG. <https://goo.su/3qhg0lJ>
- Ramírez-Granados, P., Alfaro-Jiménez, K., Alvarez-Jiménez, M., Solís-Torres, L. y Castro-Solís. (2021). Morfometría de la subcuenca hidrográfica del río Páez, Cartago, Costa Rica. *Geografía de America Central*, 66(1). <https://goo.su/WWrra7x>

- Ramsar. (2014). La Convención sobre los Humedales y su Misión. *Ramsar*.
<https://bit.ly/3hUcKK7>
- Rodríguez, M. & González, I. (2014). Evaluación de las principales variables hidrológicas en la cuenca del río san diego hasta el embalse la Juventud, Pinar del río, Cuba. *Revista Geografía e Pesquisa, Ourinhos*.
- Sapag. (2014). Preparación y Evaluación de Proyectos (Sexta Edición). McGrawHill.
<https://goo.su/c84gM>
- Scuderi, M., Stenta, H., Riccardi, G., Zimmermann, E., Basile, P., García, M. y Retería, J. (2000). Uso de imágenes satelitales y SIG en la generación de mapas de CN y evaluación de la agregación espacial de este parámetro mediante modelación. [Archivo PDF]. <https://goo.su/t0gYz6>
- Secretaría de la Convención Ramsar. (2016). *Introducción a la Convención sobre los Humedales*. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3gAadVm>
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento y Sistema de Áreas de Conservación (31 de marzo de 2023). *Comunicación personal*.
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. (2019). *Memoria Institucional 35 Aniversario*. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/45omb8O>
- Sistema de Áreas de Conservación. (18 de febrero 2016). *Misión y Visión del Sistema de Áreas de Conservación Costa Rica*. SINAC. Recuperado el 21 de mayo de 2023.
<https://bit.ly/45jnAh8>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2001). Ficha Técnica para ampliación del sitio Ramsar Palo Verde, Costa Rica. [Archivo PDF]. <https://goo.su/iZpL>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2022). Comunicado de prensa. Inicia temporada de incendios forestales en Costa Rica. <https://bit.ly/42XkCxc>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2023). *Plan General de Manejo. Parque Nacional Palo Verde 2014-2024*. [Archivo PDF]. <https://goo.su/tutLsb>
- Solano, M. (1993). Los Sistemas de Información Geográfica: Conceptos y Utilización. *Revista Geográfica* 27, 123-135. <https://goo.su/CqONc>

- Sosa-Pedroza, J. y Martínez-Zúñiga, F. (2009). Los sistemas de información geográfica y su aplicación en enlaces de comunicaciones. *Científica*, 13(1), 27-34. <https://goo.su/KL0UkEx>
- Soto, M. (2015). Costa Rica posee 12 humedales de importancia mundial. Grupo Nación. Recuperado el 21 de mayo de 2023. <https://bit.ly/2IS8BjH>
- Trama, F.A, Rizo Patrón V., F.L, & Springer, M. (2009). Macroinvertebrados bentónicos del humedal de Palo Verde, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57(Supl. 1), 275-284. Retrieved June 18, 2023, from <https://goo.su/CiK1hQN>
- Triviño, N., & Escobar, J. (2018). Un modelo conceptual de la hidrodinámica en humedales tropicales y sus relaciones con dinámicas sociales. Caso de estudio: Complejo cenagoso de la Rinconada (Colombia).
- UNESCO. (1993). Evaluación de los recursos hídricos. Manual para un estudio de apreciación de las actividades nacionales. <https://goo.su/tT2zW>
- Zhica, J. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio Hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, Cantón Gualaceo*. [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiano]. <https://bit.ly/3EndRtj>

Anexos

Anexos sobre la sección 6.1

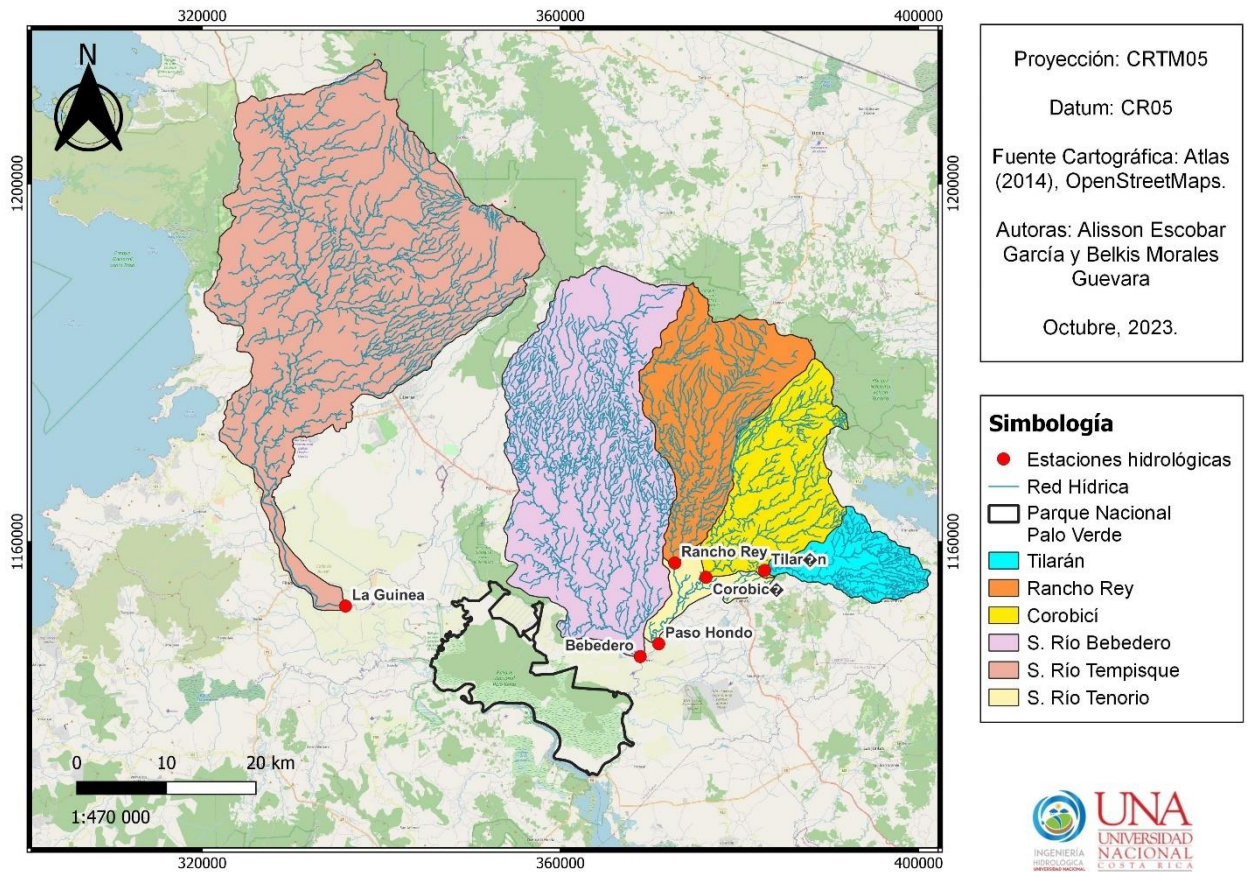
Tabla 6.1 A Comparación entre los diferentes años y las estaciones climáticas respectivas

Año	Época seca			Época lluviosa	
	Vegetación	Cuerpo de agua	Vegetación acuática	Vegetación	Cuerpo de agua
2016	75,3%	2,8%	21,9%	65,1%	34,9%
2018	68,5%	1,0%	30,4%	69,3%	30,7%
2019	71,5%	9,2%	19,3%	64,5%	35,5%
2020	69,4%	6,8%	23,8%	49,0%	52,0%
2021	64,9%	6,7%	29,3%	62,6%	36,8%

Fuente: elaboración propia (2023).

Anexo sobre la sección 6.2

Figura 6.2 A Delimitación de subcuencas de acuerdo con el punto de aforo



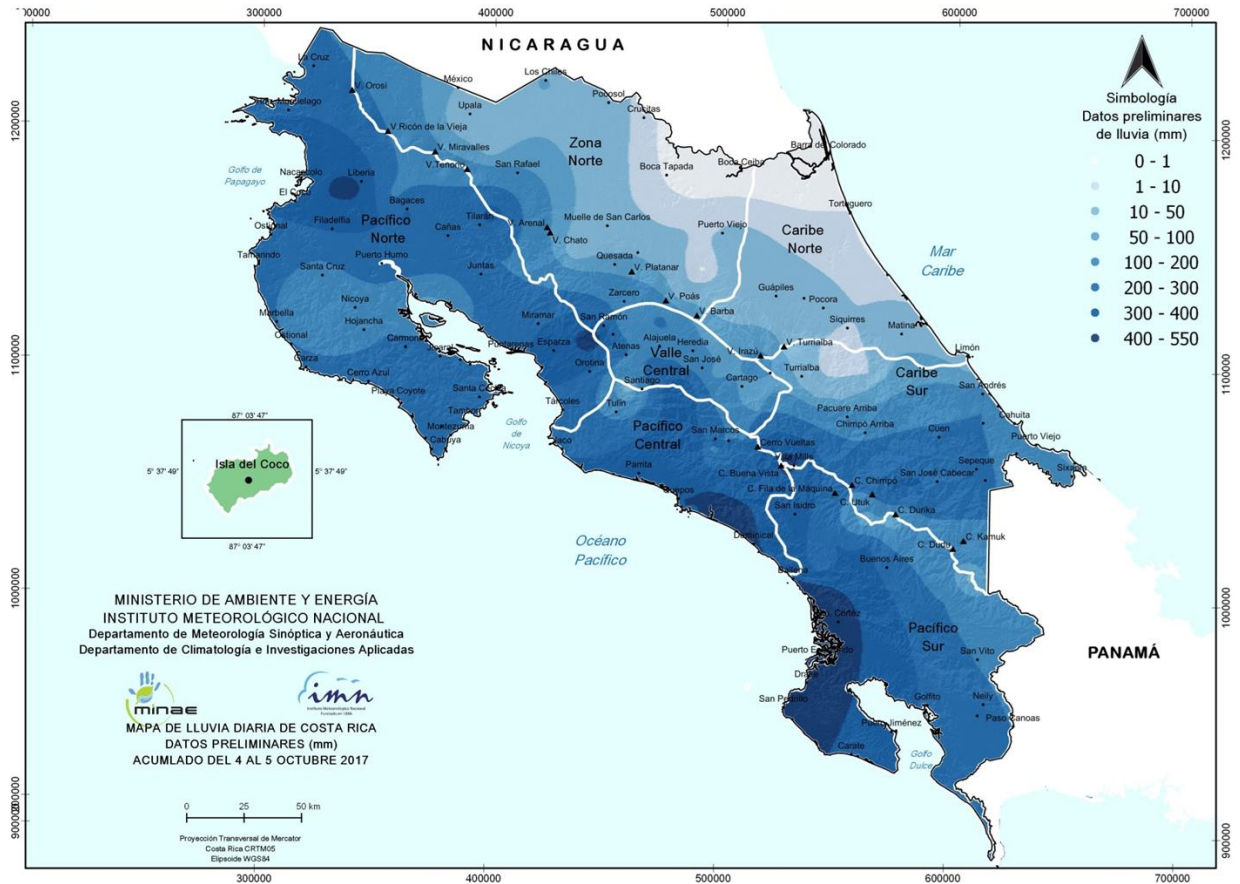
Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6.2 B Ejemplo Memoria de cálculo de traslados de caudales de subcuencas de línea base

Año 2018									
Estación Bebedero			Estación La Guinea				Estación Paso Hondo		
Área km ²	634.93		Área km ²	1020.87			Área km ²	659.78	
Mes	Caudales m ³ /s	Cc	Caudales La Guinea reales o calculados	Caudal con Cc (m ³ /s)	Factor Calibración	Promedio Calibración	CC	Caudales m ³ /s	CC
ene-18	63.1	1.11	16.5	79.8		0.21	0.23	30.6	0.5
feb-18	50.4	0.89	13.1	63.6			0.18	29.0	0.5
mar-18	58.5	1.03	15.3	73.9			0.21	49.5	0.9
abr-18	62.2	1.09	16.2	78.6			0.23	54.8	0.9
may-18	84.9	1.49	22.1	107.2			0.31	65.6	1.1
jun-18	63.0	1.11	16.4	79.5			0.23	38.7	0.7
jul-18	51.3	0.90	13.4	64.7			0.19	25.9	0.4
ago-18	51.7	0.91	13.5	65.3			0.19	24.6	0.4
sep-18	56.1	0.99	14.6	70.9			0.20	31.2	0.5
oct-18	92.2	1.62	24.0	116.5			0.33	54.5	0.9
nov-18	58.7	1.03	15.3	74.1	0.21		0.21	36.3	0.6
dic-18	65.1	1.14	17.0	82.2		0.24	28.6	0.5	
Promedio	63.1	1.11	16.5				0.23	39.1	0.7
	Caudal real								
	Caudal calculado								

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6.2 C Acumulados de precipitación del 4-5 de octubre del 2017



Fuente: IMN (2017).

Tabla 6.2 D Caudales mensuales de las subcuencas de influencia

Año	Mes	Caudales m ³ /s						Río Lajas
		Río tempisque	Río Las Palmas	Río Cañas - Tempisque	Río Bebedero	Río Tenorio	Río Cañas - Bebedero	
2016	ene	18.2	8.2	11.3	49.8	45.8	32.9	27.4
	feb	11.8	5.3	7.3	41.2	33.0	23.7	19.8
	mar	9.6	4.3	6.0	46.8	41.8	30.0	25.0
	abr	19.3	8.7	12.0	52.4	55.0	39.5	32.9
	may	26.9	12.2	16.8	73.2	57.9	41.6	34.7
	jun	21.0	9.5	13.1	57.2	36.1	25.9	21.6
	jul	9.3	4.2	5.8	25.2	16.5	11.8	9.9
	ago	12.6	5.7	7.9	34.3	24.1	17.3	14.4
	sep	24.4	11.1	15.2	43.4	25.8	18.5	15.5
	oct	27.7	12.5	17.2	65.7	27.4	19.6	16.4
	nov	33.0	14.9	20.6	89.7	28.3	20.3	16.9
	dic	16.4	7.4	10.2	44.6	30.1	21.6	18.1
2017	ene	51.6	23.4	32.2	49.8	25.9	18.6	15.5
	feb	79.1	35.8	49.3	41.2	39.7	28.5	23.8

	mar	86.1	39.0	53.6	41.2	43.2	31.0	25.9
	abr	87.2	39.5	54.3	41.7	43.8	31.4	26.2
	may	60.7	27.5	37.8	73.2	30.5	21.9	18.2
	jun	38.1	17.3	23.7	57.2	19.1	13.7	11.5
	jul	26.8	12.2	16.7	25.2	13.5	9.7	8.1
	ago	46.0	20.8	28.7	22.0	23.1	16.6	13.8
	sep	81.8	37.0	50.9	43.4	41.0	29.5	24.6
	oct	192.8	87.3	120.1	65.7	96.8	69.5	58.0
	nov	143.7	65.1	89.6	89.7	72.2	51.8	43.2
	dic	71.3	32.3	44.4	44.6	35.8	25.7	21.4
	ene	20.6	9.3	12.9	63.1	31.5	22.6	18.9
	feb	16.5	7.5	10.3	50.4	29.8	21.4	17.9
	mar	19.1	8.7	11.9	58.5	50.9	36.6	30.5
	abr	20.3	9.2	12.7	62.2	56.4	40.5	33.8
	may	27.7	12.6	17.3	84.9	67.5	48.5	40.4
2018	jun	20.6	9.3	12.8	63.0	39.8	28.6	23.8
	jul	16.8	7.6	10.4	51.3	26.6	19.1	15.9
	ago	16.9	7.7	10.5	51.7	25.3	18.2	15.2
	sep	18.4	8.3	11.4	56.1	32.1	23.1	19.2
	oct	30.1	13.7	18.8	92.2	56.0	40.2	33.6
	nov	19.2	8.7	12.0	58.7	37.4	26.8	22.4
	dic	21.3	9.6	13.3	65.1	29.4	21.1	17.6
	ene	30.5	13.8	19.0	61.6	20.2	14.5	12.1
	feb	48.3	21.9	30.1	59.7	32.0	23.0	19.2
	mar	59.9	27.1	37.3	57.1	39.7	28.5	23.8
	abr	92.4	41.8	57.6	58.3	61.2	43.9	36.7
	may	82.2	37.2	51.2	84.4	54.5	39.1	32.6
2019	jun	66.1	29.9	41.2	68.5	43.8	31.4	26.2
	jul	33.3	15.1	20.7	52.2	22.1	15.8	13.2
	ago	35.4	16.0	22.0	65.2	23.4	16.8	14.0
	sep	34.9	15.8	21.7	69.6	23.1	16.6	13.8
	oct	63.0	28.5	39.2	94.4	41.7	30.0	25.0
	nov	30.1	13.6	18.7	80.7	19.9	14.3	11.9
	dic	35.4	16.0	22.1	67.1	23.5	16.8	14.1
	ene	6.9	3.1	4.3	21.3	22.3	16.0	13.4
	feb	10.9	4.9	6.8	33.7	35.3	25.3	21.1
	mar	12.7	5.8	7.9	39.2	41.1	29.5	24.6
	abr	14.0	6.3	8.7	43.1	45.2	32.4	27.1
	may	11.2	5.1	7.0	34.4	36.1	25.9	21.6
2020	jun	8.4	3.8	5.2	25.8	27.0	19.4	16.2
	jul	4.7	2.1	3.0	14.6	15.3	11.0	9.2
	ago	8.7	3.9	5.4	26.7	28.0	20.1	16.8
	sep	18.2	8.2	11.3	35.8	37.6	27.0	22.5
	oct	16.8	7.6	10.5	51.8	54.3	39.0	32.5
	nov	9.2	4.1	5.7	65.0	68.2	49.0	40.9

	dic	8.5	3.9	5.3	26.3	27.6	19.8	16.5
	ene	23.4	10.6	14.6	24.0	25.2	18.1	15.1
	feb	18.7	8.5	11.6	38.2	40.1	28.8	24.0
	mar	13.3	6.0	8.3	44.9	47.1	33.8	28.2
	abr	19.1	8.7	11.9	26.6	27.9	20.0	16.7
	may	19.5	8.8	12.1	18.6	19.5	14.0	11.7
2021	jun	23.4	10.6	14.6	27.5	28.8	20.7	17.3
	jul	25.3	11.5	15.8	28.4	29.8	21.4	17.9
	ago	43.5	19.7	27.1	29.6	31.1	22.3	18.6
	sep	85.8	38.9	53.5	81.3	85.3	61.2	51.1
	oct	40.7	18.4	25.4	37.2	39.1	28.0	23.4
	nov	29.8	13.5	18.6	37.3	39.2	28.1	23.5
	dic	16.7	7.6	10.4	23.3	24.4	17.5	14.6
	ene	11.4	5.2	7.1	49.8	52.2	37.5	31.3
	feb	9.5	4.3	5.9	45.3	47.6	34.1	28.5
	mar	6.5	2.9	4.0	40.9	42.9	30.8	25.7
	abr	11.6	5.2	7.2	46.2	48.4	34.8	29.0
	may	22.1	10.0	13.8	45.2	47.4	34.0	28.4
2022	jun	22.0	10.0	13.7	44.2	46.4	33.3	27.8
	jul	43.1	19.5	26.9	38.1	39.9	28.7	23.9
	ago	32.1	14.5	20.0	31.9	33.4	24.0	20.0
	sep	38.0	17.2	23.7	48.0	50.3	36.1	30.2
	oct	50.8	23.0	31.6	64.1	67.2	48.3	40.3
	nov	34.3	15.5	21.3	68.9	72.3	51.9	43.3
	dic	22.4	10.2	14.0	45.1	47.3	34.0	28.3

Fuente: elaboración propia (2023).

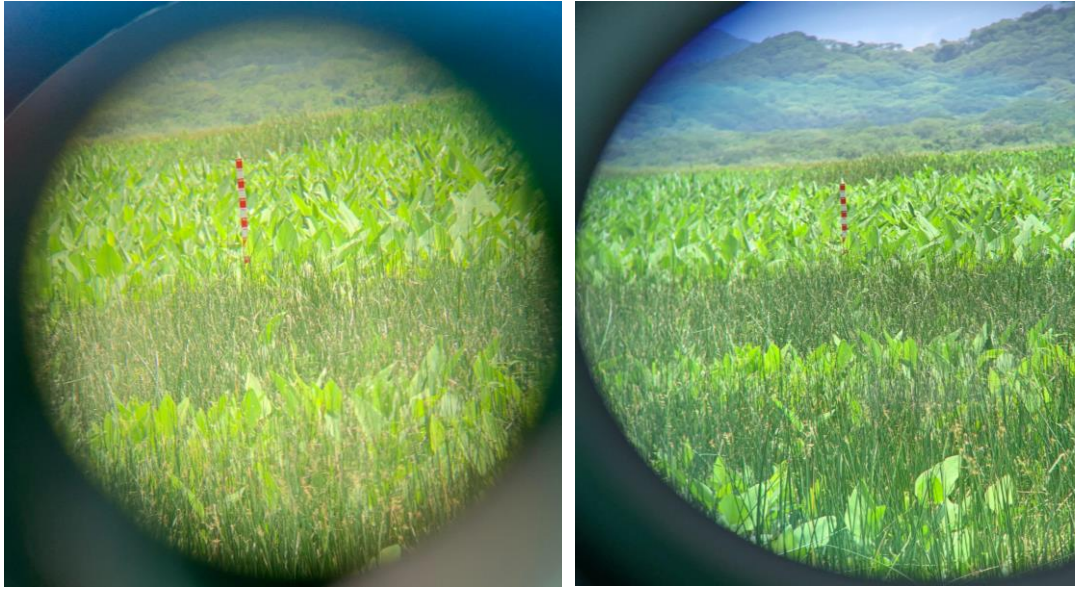
Anexos sobre la sección 6.3

Figura 6.3 A Evidencia del cambio del espejo del agua a causa de plantas invasoras



Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6.3 B Barra de medición rodeada de plantas invasoras vista desde binoculares



Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6.3 C Barra de medición y carteles para la colaboración información del nivel del humedal



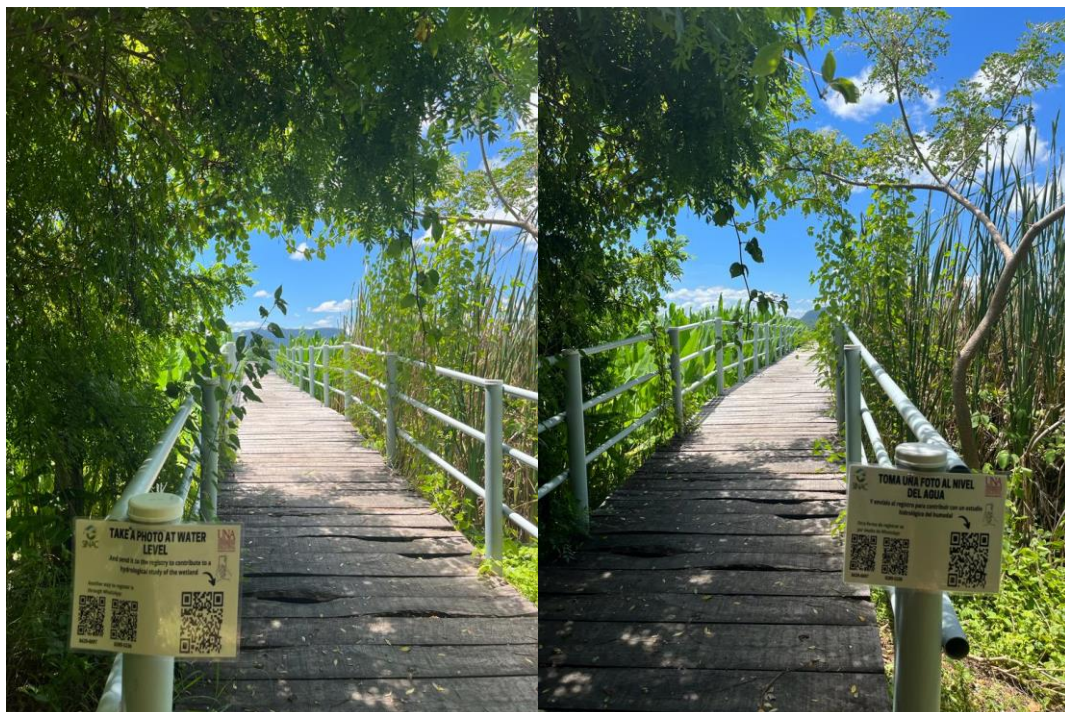
Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6.3 D Carteles para la colaboración información del nivel del humedal



Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6.3 E Carteles para la colaboración información del nivel del humedal



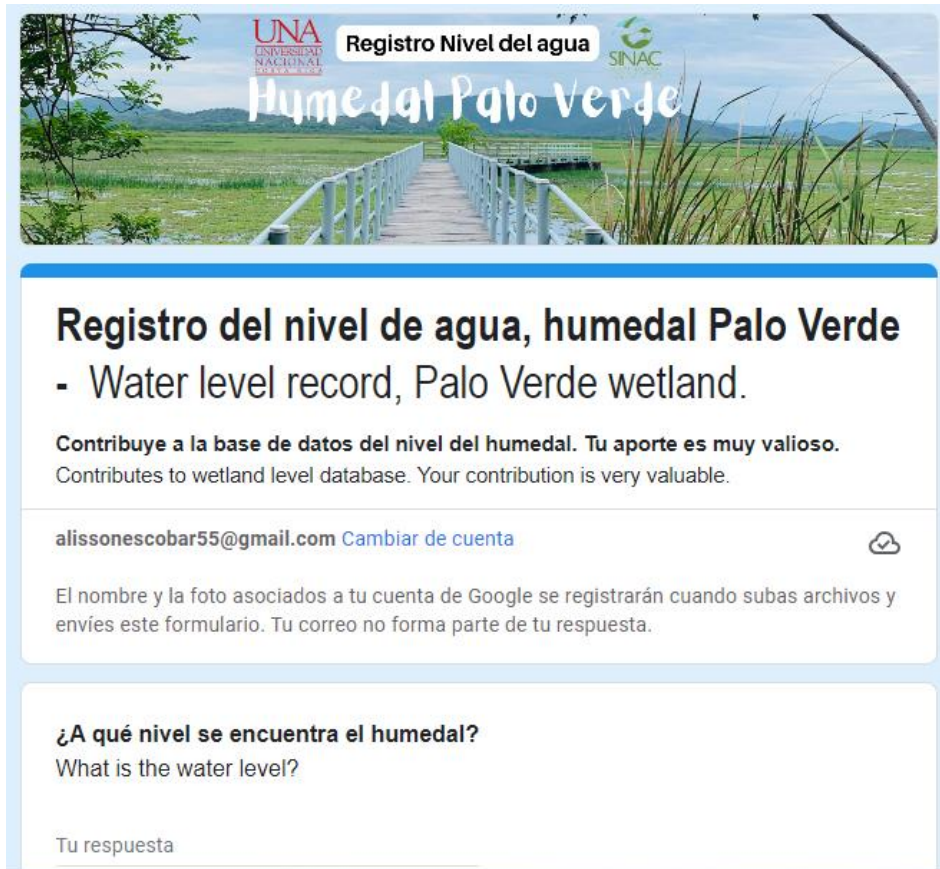
Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6.3 F Carteles para la colaboración información del nivel del humedal



Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6.3 G Portada del Google Forms para el registro del nivel de agua



UNA UNIVERSIDAD NACIONAL
SINAC

Registro Nivel del agua
Humedal Palo Verde

Registro del nivel de agua, humedal Palo Verde
- Water level record, Palo Verde wetland.

Contribuye a la base de datos del nivel del humedal. Tu aporte es muy valioso.
Contributes to wetland level database. Your contribution is very valuable.

alissonescobar55@gmail.com [Cambiar de cuenta](#)

El nombre y la foto asociados a tu cuenta de Google se registrarán cuando subas archivos y envíes este formulario. Tu correo no forma parte de tu respuesta.

¿A qué nivel se encuentra el humedal?
What is the water level?

Tu respuesta

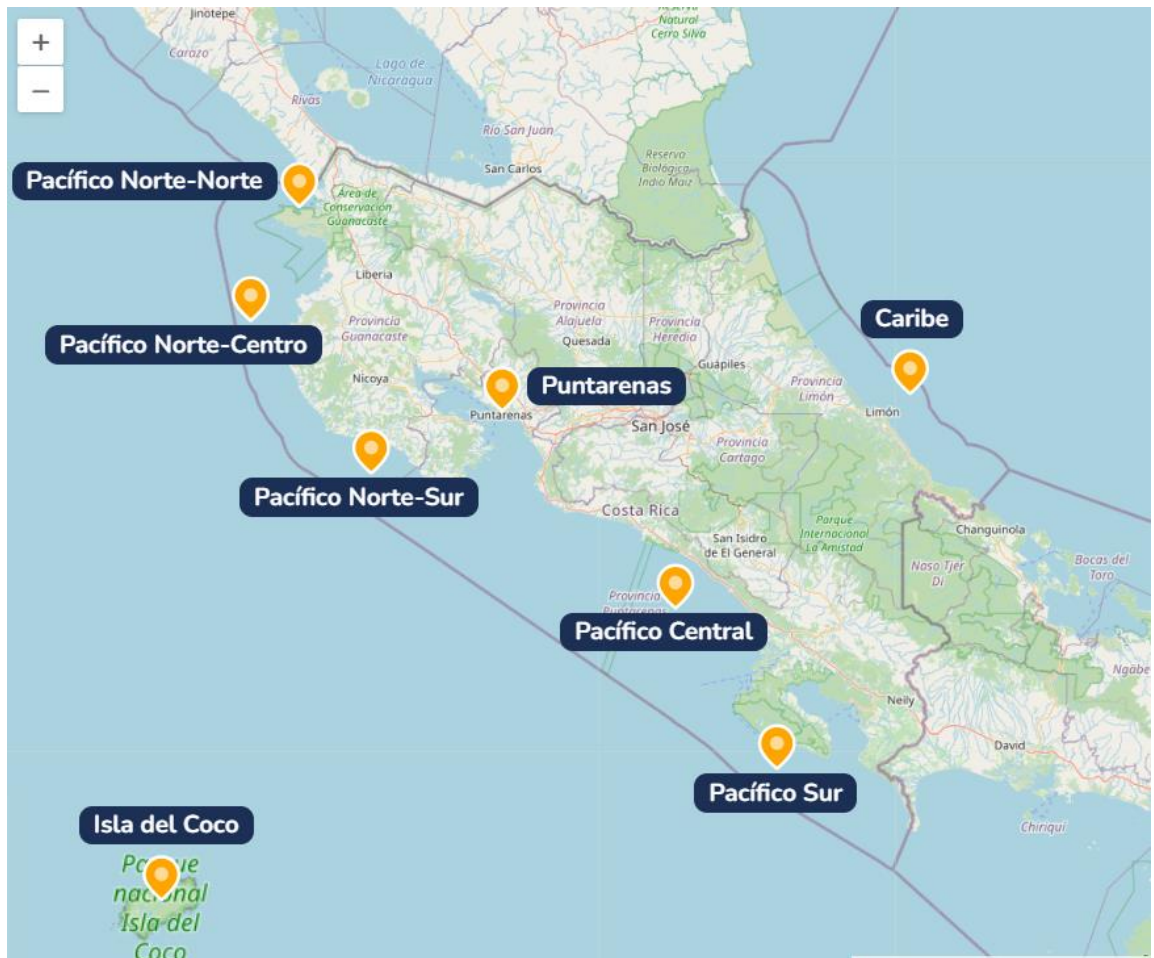
Fuente: elaboración propia (2023). Nota: el enlace es <https://forms.gle/9c26rySBF3yVjmfuZ>

Tabla 6.3 H *Registro de medición de los niveles del agua*

Número	Fecha	Hora	Nivel del Agua (cm)
1	16/6/2023	12:00	38
2	30/6/2023	12:00	33
3	14/7/2023	12:00	35
4	28/7/2023	12:00	30
5	11/8/2023	12:00	42
6	25/8/2023	12:00	45
7	2/9/2023	12:00	57
8	15/9/2023	12:00	70
9	24/9/2023	12:00	68
10	8/10/2023	12:00	80
11	18/10/2023	11:00	67
12	20/10/2023	12:00	65
13	21/10/2023	12:00	65
14	23/10/2023	13:00	67
15	1/11/2023	08:00	82
16	3/11/2023	08:30	80
17	4/11/2023	11:20	79
18	7/11/2023	10:45	74
19	11/11/2023	11:00	70
20	15/11/2023	10:00	66
21	19/11/2023	6:45	67
22	26/11/2023	13:13	67
23	20/12/2023	6:32	47
24	30/12/2023	14:20	47
25	5/1/2024	11:35	39
26	13/1/2024	13:11	37

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6.3 | Pronóstico de oleaje de mareas de acuerdo con MIO



Fuente: MIO (2023)

Tabla 6.3 J Pronóstico del Oleaje Puntarenas, Puntarenas, Costa Rica

Junio			Septiembre			Noviembre		
Fecha	Hora	Metros	Fecha	Hora	Metros	Fecha	Hora	Metros
Viernes 16	01:13	2.42	Viernes 15	03:36	2.64	Miércoles 01	04:45	2.96
	07:08	0.4		09:41	0.23		11:00	-0.1
	13:28	2.74		15:52	2.6		17:16	2.68
	19:50	0.18		21:51	0.14		23:13	0.18
Viernes 30	05:23	00:59	Domingo 24	02:46	0.55	Viernes 03	06:16	2.58
	11:53	02:56		09:17	02:36		12:31	0.23
	18:14	00:39		15:37	0.53		18:54	2.38
Julio			22:06	2.13		00:50	0.54	
Viernes 14	05:50	2.34	Octubre			Sábado 04	07:07	2.38
	06:49	0.58	Domingo 08	03:27	0.81		13:21	0.41
	13:09	2.58		09:49	2.1		19:50	2.24
	19:33	0.3		16:10	0.65		04:03	0.80
03:40	0.64	22:41		2.07	10:16	2.05		
Viernes 28	10:13	2.49	Miércoles 18	04:42	2.81	Martes 07	16:24	0.66
	16:36	0.46		10:55	0.03		22:55	2.20
	22:54	2.21		17:19	2.52		01:10	2.55
Agosto			23:02	00:23		07:24	0.31	
Viernes 11	04:20	0.66	Viernes 20	06:02	2.62	Sábado 11	13:36	2.38
	10:49	2.41		12:18	0.21		19:29	0.38
	17:16	0.54		18:36	2.34		03:39	2.87
	23:35	2.14		00:32	0.43		09:59	-0.04
Viernes 25	02:05	0.57	Sábado 21	06:52	2.48	Miércoles 15	16:10	2.60
	08:38	2.41		13:09	0.33		22:02	0.20
	14:55	0.54		19:31	2.26		05:50	2.68
	21:12	2.07		02:40	0.59		12:05	0.12
Septiembre			09:04	2.27		18:27	2.51	
Sábado 02	04:06	3.2	Lunes 23	15:19	0.47			
	10:15	-0.21		21:51	2.28			
	16:28	3.05						
	22:33	-0.31						

Fuente: elaboración propia (2023) y MIO (2023).

Anexos sobre la sección 6.4

Tabla 6.4 A Datos meteorológicos del humedal PNPV

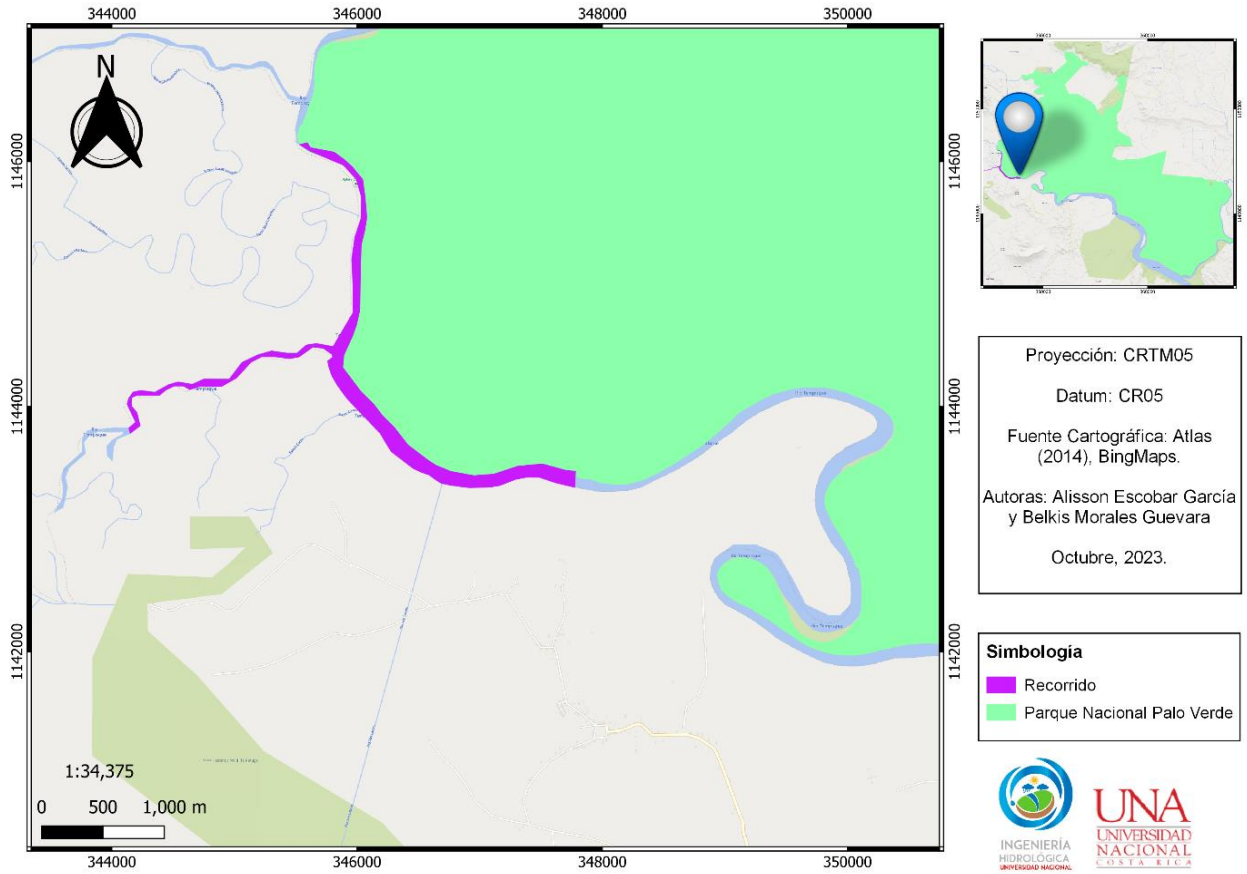
Parámetro	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
2017 - 2018												
P (mm)	370.9	239.8	95.0	154.4	524.2	610.6	136.0	30.0	76.6	0.6	0.0	104.2
T (°C)	28.8	27.3	27.2	26.7	26.5	26.2	25.7	27.1	27.1	28.0	29.0	28.9
ETR (mm)	191.7	156.0	145.0	139.9	133.1	123.4	111.9	114.0	107.6	47.6	23.0	110.2
2018 - 2019												
P (mm)	201.2	169.8	63.0	19.4	302.8	372.4	41.8	0.6	0.0	0.0	0.0	10.0
T (°C)	27.8	27.1	27.5	27.8	26.9	26.0	27.1	27.8	28.3	28.9	29.1	30.0
ETR (mm)	165.6	150.1	139.0	84.4	140.0	117.6	118.8	65.6	33.0	15.0	6.0	13.0
2019 - 2020												
P (mm)	262.2	109.2	44.2	155.0	255.8	479.2	53.6	20.4	0.8	0.2	0.0	97.0
T (°C)	27.8	28.2	28.0	27.4	27.0	25.9	26.9	27.5	28.3	29.0	29.4	30.1
ETR (mm)	165.4	167.2	112.2	154.0	141.8	115.3	119.6	83.4	40.8	19.2	7.0	99.0
2020 - 2021												
P (mm)	251.2	158.8	254.2	287.8	367.6	164.2	251.2	13.0	5.0	0.0	5.6	52.8
T (°C)	28.8	27.3	27.2	26.7	26.5	26.2	25.7	26.8	27.5	28.4	28.8	28.8
ETR (mm)	191.7	155.9	151.5	139.9	133.1	123.3	111.8	103.0	61.0	31.0	19.6	56.8
2021 - 2022												
P (mm)	50.6	183.6	133.2	465.4	375.4	207.6	18.2	6.0	0.0	0.0	0.2	165.2
T (°C)	28.6	27.5	27.4	26.2	26.3	26.3	26.6	27.7	27.8	28.2	29.3	28.9
ETR (mm)	145.6	160.3	155.2	128.9	128.4	124.6	103.2	65.0	31.0	14.0	6.2	166.2
2022 - 2023												
P (mm)	196.2	449.6	218.0	302.4	509.2	216.8	306.6	19.2	0.4	0.4	140.8	18.4
T (°C)	27.2	25.5	26.5	26.4	25.5	26.3	25.6	27.1	27.5	28.3	28.1	29.1
ETR (mm)	153.1	120.4	138.4	135.1	115.8	126.7	111.8	110.2	57.4	30.4	142.8	30.4
2023												
P (mm)	178.0	238.0	145.2	261.8	157.6	531.6	155.4	1.4				
T (°C)	30.1	27.4	28.2	27.9	27.9	27.6	27.2	28.1				
ETR (mm)	130.0	154.8	163.2	158.6	162.6	147.2	139.2	107.4				

Nota: "P" representa la precipitación media, "T" representa la temperatura media y ETR es la evapotranspiración real.

Fuente: elaboración propia (2023)

Anexos sobre la sección 6.5

Figura 6.5 A Recorrido realizado en lancha en la desembocadura del río Tempisque



Fuente: elaboración propia (2023)

Figura 6.5 B Visita a Puerto Chamarro, PNPV



Fuente: elaboración propia (2023).