

Universidad Nacional
Sede Regional Chorotega
Campus Liberia

“Evaluación fisicoquímica y microbiológica como insumo para el mejoramiento de la gestión socioambiental del recurso hídrico en la parte media y baja de la Cuenca del Río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica”

Informe de proyecto final de graduación presentado en Universidad Nacional, Sede Regional Chorotega, Campus Liberia.

Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Hidrológica

Sustentante:

Keren Daniela Salazar Corrales
305150631

Equipo supervisor:

M.Sc. Anny Guillén Watson

Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe

Dr. Rolando Madriz Vargas

Universidad Nacional, Costa Rica

Liberia, Guanacaste, Costa Rica
Febrero, 2022.

INTEGRANTES DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

La comisión examinadora del proyecto final de graduación titulado “Evaluación fisicoquímica y microbiológica como insumo para el mejoramiento de la gestión socioambiental del recurso hídrico en la parte media y baja de la Cuenca del Río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica” fue integrada por los siguientes profesionales:

M.Sc. Dorian Chavarría López

Representante de Decanatura, Sede Regional Chorotega

M.Ed. Wagner Castro Castillo

Director Académico, Universidad Nacional Campus Liberia

Dr. Rolando Madriz Vargas

Coordinador de la Carrera Ingeniería Hidrológica

M.Sc. Anny Guillén Watson

Lector

M.Sc. Johana Rojas Conejo

Lector

Índice

1. Introducción.....	8
1.1 <i>Objetivos</i>	9
1.1.1 <i>Objetivo General</i>	9
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	9
1.2 <i>Problemática</i>	9
1.3 <i>Justificación</i>	11
1.4 <i>Alcances</i>	12
1.5 <i>Limitaciones</i>	12
Conclusión.....	13
2. Antecedentes.....	13
2.1 <i>Localización de la zona de estudio</i>	13
2.2 <i>Características del área de estudio</i>	14
2.3 <i>Factores socioeconómicos y ambientales</i>	16
2.4 <i>Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe</i>	16
<i>Conclusión</i>	17
3. Marco Teórico.....	18
3.1 <i>Cuenca hidrográfica</i>	18
3.2 <i>Manejo integrado de cuenca hidrográfica</i>	19
3.3 <i>Gestión socioambiental del recurso hídrico</i>	20
3.4 <i>Calidad del recurso hídrico</i>	20
3.5 <i>Factores que influyen en la calidad del agua superficial</i>	22
<i>Conclusión</i>	23
4. Estudios de prefactibilidad	24
4.1 <i>Estudio tecno-económico</i>	24
4.1.1 <i>Costos de inversión para la ejecución del proyecto</i>	24
4.2 <i>Estudio ambiental</i>	26
4.3 <i>Estudio legal</i>	26
4.4 <i>Estudio social</i>	28
<i>Conclusión</i>	28
5. Marco Metodológico.....	28

5.1	<i>Tipo de investigación</i>	28
5.2	<i>Recopilación de información documental y bases de datos</i>	29
5.3	<i>Metodología del proyecto</i>	29
5.3.1	Ubicación de los sitios de muestreo.....	29
5.3.2	Etapas del monitoreo	31
5.3.2.1	Monitoreo fisicoquímico.	31
5.3.2.1.1	Índice Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para Cuerpos Receptores.	32
5.3.2.2	Monitoreo microbiológico.....	33
5.3.3	Procesamiento de los resultados	34
5.3.3.1	Determinación de las zonas con mayor impacto socioambiental.	34
5.4	<i>Conclusión</i>	35
6.	Resultados y discusión	35
6.1	<i>Revisión de literatura sobre calidad hídrica</i>	35
6.2	<i>Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos</i>	36
6.2.1	Ensayos in situ.....	36
6.2.2	Ensayos de laboratorio	41
6.2.2.1	Monitoreo fisicoquímico.	41
6.2.2.1.1	Determinación de sitios con mayor impacto socioambiental a partir del análisis de los indicadores de calidad de agua.	45
6.2.2.1	Monitoreo microbiológico.....	48
6.3	<i>Discusión de principales hallazgos</i>	50
6.4	<i>Discusión sobre objetivos planteados</i>	51
6.5	<i>Discusión sobre el diseño metodológico planteado</i>	52
7.	Conclusiones y recomendaciones	53
7.1	<i>Conclusiones</i>	53
7.2	<i>Recomendaciones</i>	55
	Referencias bibliográficas	58
	Anexos	63

Dedicatoria

A mi madre Kattia Corrales y a mi padre Carlos Salazar, por el sacrificio, entrega, voluntad, paciencia, apoyo y amor que me han brindado a lo largo de mi vida. Han sido mis pilares fundamentales para culminar esta meta.

A mis amigos, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional en las buenas y en las malas.

A los profesores, quienes aportaron su granito de arena, sembrando en mí las bases para concluir la etapa universitaria y dar inicio al ámbito laboral.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, por darme la vida, salud e inteligencia para concluir esta etapa de mi vida.

A mis padres, por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de estos años, gracias a ellos he podido finalizar mis estudios.

A las profesoras Anny Guillén y Johanna Rojas, quienes me acompañaron a lo largo de este proceso, y siempre estuvieron dispuestas a brindarme ayuda.

A mis amigos y compañeros de clases, porque siempre fueron solidarios.

Summary

The Tempisque River Basin (CRT) is the main artery of the province of Guanacaste, being of great importance for the development of the Chorotega region. This document shows the physicochemical and microbiological evaluation in seven sampling sites, located in a stretch of approximately 46 km between the middle and lower part of the Tempisque river basin, starting from the point located at the Puente de Guardia (reference point) and ending at the point located at the bridge of La Amistad, including, in addition, 4 points that correspond to tributary effluents (Canal del Jobo, Río Palmas, Canal Cabeza de Vaca and Río Bebedero) of the Tempisque River in the same sector, specifically in the districts of Palmira, Filadelfia, Bolsón and Quebrada Honda. Its objective is to generate information on the state of the physicochemical and microbiological quality of the water at the monitoring points, which allows the establishment of management recommendations. The methodology followed by the project is through three samples, which were carried out in the rainy season of 2021. The analyses were carried out in situ and in the HIDROCEC-UNA laboratory, these analyses are based on the provisions of the Regulation for Surface Water Quality. From the results obtained, it was established that the points that presented a greater vulnerability were the Cabeza de Vaca Canal and the El Viejo River. It is of great value to manage the information of the states of the bodies of water in the different seasons, to verify the state of these and to foresee events and minimize the environmental impact generated by the different anthropogenic activities, so that there is a correct balance between human needs and biodiversity.

Keywords: Tempisque River Basin, water assessment, sampling, vulnerable areas

Resumen

La Cuenca del Río Tempisque (CRT) es la principal arteria de la provincia de Guanacaste, siendo de gran importancia para el desarrollo de la región Chorotega. El presente documento muestra la evaluación fisicoquímica y microbiológica en siete sitios de muestreo, ubicados en un tramo de aproximadamente 46 km entre la parte media y baja de la cuenca del río Tempisque, partiendo del punto localizado en el Puente de Guardia (punto de referencia) y finalizando en el punto ubicado en el puente de La Amistad, incluyendo, además, 4 puntos que corresponden a afluentes tributarios (Canal del Jobo, río Palmas, Canal Cabeza de Vaca y río Bebedero) del río Tempisque en el mismo sector, específicamente en los distritos de Palmira, Filadelfia, Bolsón y Quebrada Honda. Tiene como objetivo de generar información del estado de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en los puntos de monitoreo, lo que permite el establecimiento de recomendaciones de manejo. La metodología que sigue el proyecto es a través de tres muestreos, los cuales se llevaron a cabo en la época lluviosa del año 2021. Los análisis se desarrollaron *in situ* y en el laboratorio del HIDROCEC-UNA, dichos análisis basados en lo establecido en el Reglamento para la Calidad de Aguas Superficiales. A partir de los resultados obtenidos, se estableció que los puntos que presentaron una mayor vulnerabilidad fueron el Canal Cabeza de Vaca y el río El Viejo. Es de gran valor manejar la información de los estados de los cuerpos de agua en las diferentes estaciones, para verificar el estado de estos y prever eventos y minimizar el impacto medioambiental generado por las diferentes actividades antropogénicas, para que exista un correcto balance entre las necesidades humanas y de la biodiversidad,

Palabras claves: Cuenca del Río Tempisque, evaluación hídrica, muestreo, zonas vulnerables

1. Introducción

El recurso hídrico es el elemento más importante para el desarrollo socio ecológico dentro de las cuencas hidrográficas (Bolaños et al., 2015). El uso y aprovechamiento de los servicios ambientales, surge ante la necesidad de solventar las demandas del ser humano (Faustino y Jiménez, 2000). Sin embargo, durante las últimas décadas han surgido conflictos socio ecológicos, esto debido a la falta de planificación respecto a la construcción y establecimiento del sector agroindustrial y asentamientos humanos, aledaños a los sistemas hidrográficos (Núñez, 2011). En consecuencia, los ecosistemas acuáticos se enfrentan ante una mayor vulnerabilidad, donde la calidad del agua ha sufrido cambios potenciales, como es el caso de la cuenca del río Tempisque (CRT) (Jiménez, 2005).

El deterioro en la calidad del recurso hídrico es también producto del carecimiento del marco político y legal que regule y prevenga la extracción desmedida del recurso hídrico, así como, el vertido y manejo de las aguas residuales, producto de las actividades de origen antropogénico. Lo anterior, ha conllevado al detrimento de la biodiversidad fluvial; así como, a cambios en la geomorfología del cauce esto debido a los represamientos de agua para el uso agroindustrial, impactos negativos en la autodepuración del río. También, se ha expuesto a una mayor vulnerabilidad ante inundaciones (Jiménez y González, 2001).

Por consiguiente, debido a los distintos factores que han influenciado sobre la calidad de agua en la cuenca de río Tempisque, se busca mediante este proyecto evaluar el estado en el que se encuentra la parte media y baja de la cuenca, recomendando medidas basadas en la gestión integral del recurso hídrico, que contribuyan al mejoramiento y prevención de futuros escenarios que comprometan la calidad hídrica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del recurso hídrico en muestras de agua recolectadas en la parte media y baja de la cuenca del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica, a través del monitoreo y ensayos en laboratorio como insumo para el mejoramiento de su gestión socioambiental.

1.1.2 Objetivos Específicos

- 1.1.2.1 Conocer información documental y bases de datos sobre la calidad del recurso hídrico en la parte media y baja de la cuenca del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica, a través de búsquedas bibliográficas que permitan el conocimiento de su estado actual.
- 1.1.2.2 Determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica del recurso hídrico en muestras de puntos críticos identificados en proyectos anteriores ubicados en la parte media y baja de la cuenca el río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica, a través del monitoreo, desarrollo y análisis *in situ* y de laboratorio de parámetros dentro del Reglamento de Calidad de Cuerpos de Agua Superficial.
- 1.1.2.3 Establecer los sitios de muestreo que presentan mayor impacto socioambiental a partir del análisis de los indicadores de calidad de agua realizados en los puntos críticos de la parte media y baja en la cuenca del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica, a través del Índice Holandés.
- 1.1.2.4 Generar recomendaciones que permitan mejorar la gestión del recurso hídrico de la cuenca del Río Tempisque a través del análisis de los resultados obtenidos.

1.2 Problemática

Las cuencas hidrográficas son las unidades territoriales que permiten gestionar el recurso hídrico, donde el ciclo hidrológico influye directamente sobre el funcionamiento de estas, siendo el agua el elemento fundamental para el funcionamiento óptimo del sistema. Sin embargo, la calidad del agua se ha visto afectada por las actividades de origen antropogénico principalmente, a causa de la falta de planificación y manejo respecto al uso de los recursos naturales y después de su aprovechamiento, existe una escasa regulación sobre los residuos generados, los cuales son depositados en cuerpos receptores sin el tratamiento que corresponde y produce una alteración del sistema acuático, donde el mismo va a depender de su propia capacidad de depurarse y de su resiliencia, para poder hacerle frente a la carga de contaminante (Álvarez et al., 2008). Por tanto, la cuantificación científica es una estrategia básica para el mejoramiento de la gestión socioambiental del recurso hídrico (Hakanson et al., 2005).

Las actividades que se desarrollan por parte del sector agroindustrial en la zona han incrementado en los últimos años y a su vez, la cantidad de aguas residuales, lo que ha repercutido sobre las especies de flora y fauna (Jiménez y Gonzáles, 2001). Por lo tanto, en los últimos años se ha podido apreciar una disminución de la biodiversidad de la zona, e incluso se ha reflejado en la mortandad de peces en la parte media de la cuenca, en el período de transición de época seca a época lluviosa, esto se debe al arrastre de los sedimentos provenientes de la zona agrícola, dado a que contienen grandes cantidades de agroquímicos y contaminantes, de manera que se van acumulando en los suelos durante el período seco (Galaviz y Partida, 2020; Masis et al., 2008). El ingreso de estos sedimentos conlleva al aumento de sólidos suspendidos y eleva la cantidad de nutrientes en el agua, generando como resultado una proliferación de algas y macrófitas, las cuales consumen una mayor cantidad de oxígeno; siendo dicho factor reflejado en el deceso de peces (Rojas, 2021).

Sumado a ello, la red fluvial de la cuenca también ha sido impactada por las extracciones para irrigación y uso agroindustrial, con el fin de subsanar la demanda existente por lo que se ha tenido que modificar la geomorfología de la zona en la construcción de canales, los represamientos, los drenajes y rellenos, generando como consecuencia una mayor vulnerabilidad ante los desastres naturales (Jiménez y González, 2001).

1.3 Justificación

En un estudio presentado en el Seminario Universidad en el 2016, por Jafeth Mora, se describe como el río Tempisque es considerado “la principal arteria de la provincia de Guanacaste”, al recorrer los poblados más importantes de la región y sostener las principales actividades económicas, alimentar con sus aguas humedales, parques nacionales y áreas silvestres protegidas, como es el Área de Conservación Tempisque (ACT), ubicando en su cuenca baja.

Sin embargo, pese a su importancia, el constante desagüe de aguas negras, dragas, sobreexplotación de su caudal, deterioro ambiental, presencia de microorganismos patógenos como coliformes fecales, entre otros; producto de un mal manejo del caudal, ha deteriorado la calidad de su efluente generando un serio problema de impacto ambiental; que sumado al hecho de contar cada vez con menos agua, implica que el río esté más contaminado, al haber menos capacidad de diluir los contaminantes generados por estas actividades (Mora, 2016).

Por consiguiente, surge la necesidad e importancia de conservar y mantener la calidad de las fuentes de agua naturales, a través de un monitoreo continuo que permita obtener un perfil o panorama de la realidad en la que se encuentren las fuentes hídricas, de tal manera que se pueda tomar las decisiones para garantizar la sostenibilidad y aprovechamiento para las futuras generaciones.

Por esta razón, es necesario evaluar y monitorear los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos dentro de las distintas zonas de la cuenca, que han sido identificadas como zonas o puntos críticos, esto, principalmente en áreas donde existen plantaciones de caña y arroz, cultivos de peces o piscicultura, y en áreas turísticas. Los datos recolectados a través del monitoreo de estos indicadores proveerán conocimientos para la toma de decisiones con respecto a la gestión del recurso y la gestión de la actividad antropogénica.

1.4 Alcances

El presente estudio se basa en la evaluación de la calidad del recurso hídrico en la parte media y baja de la CRT, mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales permitan determinar si los valores obtenidos son aptos para la conservación del ecosistema fluvial.

El mayor factor contaminante que afecta la calidad del agua proviene de las actividades de tipo antropogénico, por lo que determinar las zonas de mayor impacto ambiental o vulnerabilidad, constituye un factor fundamental para la generación de nuevas propuestas que permitan mantener un equilibrio sobre los recursos naturales.

A partir de los resultados, se propondrán recomendaciones para el mejoramiento de la gestión socioambiental del recurso hídrico en la parte media y baja de la CRT.

1.5 Limitaciones

Los análisis de calidad se harán únicamente en la época lluviosa, por lo que limitará la comparación de los parámetros con la época seca a pesar de disponer de estudios en la CRT, e impedirá establecer un comportamiento anual del cauce, por lo que es importante evaluar los cambios en los puntos de muestreo que se han establecido específicamente para el presente proyecto.

La existencia de diversas empresas privadas a lo largo de la cuenca, específicamente en la zona de estudio, implica que la obtención de información sobre la gestión de sus residuos producto de las actividades que se desarrollan, es reducida; por lo tanto, la identificación de las fuentes de contaminación se puede ver limitada.

La extracción ilegal o vertido de aguas residuales en la cuenca del río Tempisque es un factor determinante en la alteración de la calidad del recurso hídrico; factor que no se tiene control ni conocimiento de cuando se lleva a cabo. Ante esta situación, el marco legal para afrontar dicha problemática puede resultar un proceso de mayor extensión temporal, respecto a la elaboración del presente proyecto.

Conclusión

Mediante el presente proyecto se determinará el estado actual de la CRT; para ello, es necesario conocer las características de la zona y lo que se desarrolla dentro de la misma, por lo que en el siguiente capítulo se abordarán los antecedentes, que permitirán conocer con mayor amplitud la CRT.

2. Antecedentes

La CRT se ubica al noreste de Costa Rica, específicamente en la provincia de Guanacaste. Cuenta con un área de 5.460 km² cubriendo aproximadamente el 54% de la provincia de Guanacaste y el 10% del territorio nacional, lo que la convierte en el sistema hidrológico más grande del país. Está conformado por dos subcuencas: a) la subcuenca del río Tempisque y b) la subcuenca del río Bebedero (Gutiérrez et al., 1985; Echeverría, et al., 1998). Al ser un sistema tan extenso, su importancia dentro de las actividades productivas ha sido fundamental para el desarrollo del país (Mora, Portuguez y Brenes, 2002). No obstante, al ser una zona expuesta a las actividades de origen antropogénico, el sistema fluvial se ha visto afectado por la extracción desmedida de agua y el mal manejo de contaminantes que llegan hasta el cuerpo receptor, repercutiendo sobre el funcionamiento del sistema natural (Jiménez, 2005).

2.1 Localización de la zona de estudio

La CRT abarca los siguientes cantones de: La Cruz, Liberia, Bagaces, Cañas, Abangares, Tilarán, Santa Cruz, Carrillo y Nicoya (Jiménez y González, 2001). Está compuesta por las subcuencas del río Tempisque y río Bebedero, la primera con un área de 3.402 km² y la segunda de 2.052 km² (Gutiérrez et al., 1985).

Las aguas de subcuenca del río Tempisque nacen en las faldas del volcán Orosí, en el río Tempisquito, el cual representa el límite al norte de la CRT, y se va extendiendo por la provincia aproximadamente 144 km hasta llegar al sur, donde limita con las filas montañosas costeras, incluyendo Fila Guayabalosa y los cerros Vista de Mar y Carbonera. En la margen derecha de la subcuenca, drenan los ríos Cañas, Palmas y Bolsón, mientras que en la margen izquierda los ríos Ahogados, Colorado, Liberia y El Salto (Chaves, 2008).

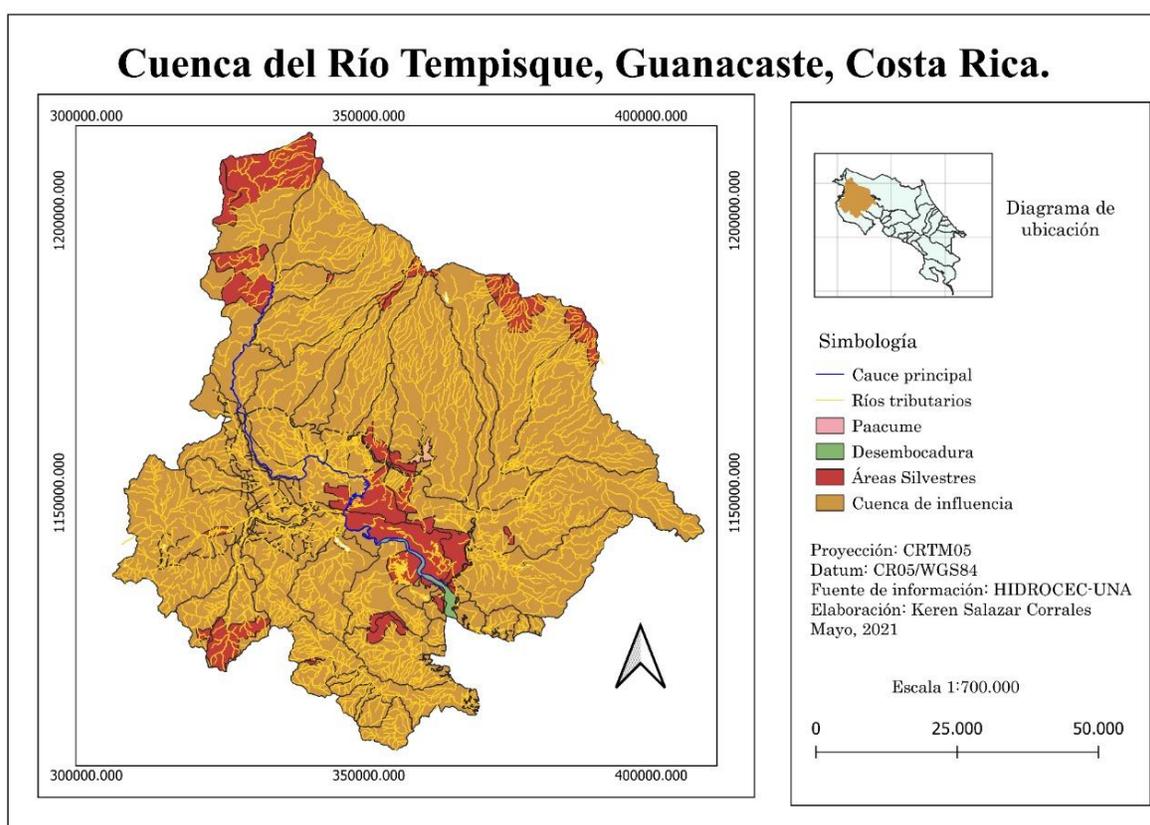
La CRT se extiende al oeste desde los cerros Cerco de Piedra y Poza, hasta la desembocadura del río Bebedero. Mientras que al este recorre desde los cerros Cardones, Barra Honda y

Copal, donde el río Bebedero va recolectando aguas de los efluentes piedras, Tenorio, Cañas y Lajas, y llega hasta limitar con el Golfo de Nicoya, el cual drena las aguas de la cuenca (Mora, Portuguez y Brenes, 2002; Gutiérrez et al., 1985).

El cauce principal de la CRT posee una longitud aproximada de 108 km, desde donde nace en el río Tempisquito hasta la desembocadura en el Golfo de Nicoya (Maldonado, et al., 1995), como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Delimitación de la Cuenca del Río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia (2021).

2.2 Características del área de estudio

Dentro de la zona se ubican 20 áreas silvestres protegidas, las cuales están divididas dentro de tres áreas de conservación: a) Área de Conservación Guanacaste (ACG) la cual abarca la parte alta de la cuenca; b) Área de Conservación Tempisque (ACT) que se posiciona en la

parte media y baja de la cuenca; y c) Área de Conservación Arenal (ACA) ubicada en el límite este de la cuenca (Jiménez y González, 2001).

Las áreas de conservación mencionadas son de gran diversidad topográfica, y tienen como objetivo velar por la conservación y protección de las distintas partes de la cuenca, con la finalidad de impulsar un manejo adecuado en la gestión de los recursos naturales, los humedales, la vida silvestre, el régimen hidrológico, el hábitat marino y terrestre (Villareal, 2000). Sin embargo, se han visto amenazadas debido a la expansión del sector agrícola, donde incluso han llegado hasta los límites de dichas áreas; como consecuencia, la biodiversidad ha sufrido cambios severos (Jiménez y González, 2001).

La cuenca presenta el régimen de precipitación tipo Pacífico, el cual posee la época seca y lluviosa bien definidas, iniciando la temporada seca desde el mes de diciembre y finalizando en el mes de abril, con la entrada a los meses lluviosos, que abarcan desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre (Vaughan et. al., 1994). Durante el periodo de lluvias, las precipitaciones en la zona oscilan entre 1.700 a 2.000 mm con temperaturas entre 25 a 30°C (Cover, 2007).

Respecto a los meses cálidos, la precipitación es mínima, se han registrado datos que van desde los 0,2 a 61 mm, con temperaturas que van desde los 30 a 38°C. La CRT ha presentado déficits hídricos muy marcados en los últimos años, el factor principal se debe al cambio climático, el cual ha repercutido sobre las precipitaciones anuales. Al no existir fuente de humedad se da un medio adiabático, donde los vientos provenientes del Caribe se calientan al pasar las cordilleras (Edelman, 1987; Ahrens y Henson, 2021). Por lo tanto, la problemática vivida en la cuenca ha generado una mayor demanda en el uso y aprovechamiento del agua proveniente del cauce principal y afluentes de la CRT, siendo un factor que ha repercutido sobre la calidad del ecosistema fluvial, esto principalmente en la parte media y baja de la cuenca, donde se encuentran la mayor cantidad de cultivos y la presencia de ganado (Espinoza, 2018)

Respecto a los suelos en la región, destacan los aluviones, los cuales son suelos que presentan gran fertilidad, por lo cual, se pueden observar gran cantidad de sembradíos a lo largo de la parte media y baja de la CRT (Maldonado, et al. 1995).

2.3 Factores socioeconómicos y ambientales

Entre las actividades productivas que destacan en la cuenca está el cultivo de sandía, melón, pastos, caña de azúcar y arroz, siendo estos dos últimos los de mayor producción. También, se da la ganadería extensiva, la cual se ha visto afectada por los efectos del cambio climático y la viabilidad ambiental es casi nula (Crespo, 2016).

Las aguas superficiales proveniente de los afluentes y cauce principal de la CRT son vulnerables ante los posibles cambios en la calidad del recurso hídrico, producto a la extracción desmedida principalmente en la época seca. La capacidad de carga y resiliencia del ecosistema fluvial se ve alterada, y al ser una zona susceptible para ser contaminada por empresas agroindustriales y asentamientos humanos, el cuerpo de agua recibe constantemente la carga de contaminantes producto de las aguas residuales, desechos urbanos, agroquímicos y fertilizantes (Monge y Gómez 2007).

Esto ha influenciado en que los cuerpos de agua de la zona disminuyan el oxígeno disuelto, la cantidad de sedimentos aumenta y con ello la turbidez. Igualmente, existen alteraciones del potencial de hidrógeno (pH), y la demanda bioquímica de oxígeno va aumentando según la contaminación presente en el agua, así como el exceso de nutrientes de fósforo y nitrógeno dentro de la CRT debido a las actividades que se desarrollan, lo que ha generado una eutrofización en la parte media y baja de la cuenca (Fontúrbel, 2005).

2.4 Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe

El Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC-UNA) durante los años 2016 y 2017, desarrolló el proyecto “Implementación de un Sistema de Monitoreo de la Calidad del Agua en Áreas Silvestres Protegidas de la Cuenca Baja del Río Tempisque”, en colaboración con la comisión de cuenca, CIGITEM, y financiado por el Fideicomiso Privado Costa Rica por Siempre, con fondos del II Canje de Deuda por Naturaleza EE.UU.-CR, cuyos resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos evidenciaron una importante contaminación antropogénica producto de la actividad agrícola, industrial y acuícola desarrollada en la cuenca, además de la importancia de continuar con los monitoreos.

Por lo que desde el año 2020 surge la oportunidad de hacerlo a través de la obtención de fondos de los Indicadores Ambientales del Observatorio Ambiental de la Universidad Nacional, a partir del cual surge el presente proyecto, el cual pretende evaluar la calidad del agua en la parte media y baja de la cuenca, con la finalidad de realizar una serie de recomendaciones que impulsen a un mejoramiento de la gestión del recurso hídrico; así como, la búsqueda de un equilibrio en el uso de los recursos naturales dentro de la cuenca, lo cual, es un instrumento clave para la preservación del sistema.

En abril del presente año, el HIDROCEC-UNA realizó un análisis fisicoquímico en la cuenca del río Las Palmas, Ortega, un efluente ubicado en la parte media y baja de la CRT. El análisis se realizó debido a la mortandad de peces en el cuerpo de agua, a partir de los resultados, se obtuvo que el sistema acuático fue influenciado principalmente por los cambios fisicoquímicos, lo cual ocurre con la entrada de la época lluviosa. Esto, se debe al arrastre de los sedimentos provenientes de la zona agrícola, dado a que contienen grandes cantidades de agroquímicos y contaminantes, de manera que se van acumulando en los suelos durante el período seco (Rojas, 2021).

El ingreso de estos sedimentos conlleva al aumento de sólidos suspendidos y eleva la cantidad de nutrientes en el agua, generando como resultado una proliferación de algas y macrófitas, las cuales consumen una mayor cantidad de oxígeno; siendo dicho factor reflejado en el deceso de peces (Ferat, Galaviz & Partida, 2020). Se estableció que el movimiento de mareas que se estaba dando dentro de la cuenca para el mes de abril, repercutió directamente en la re - suspensión de contaminantes en los sedimentos, debido a que las aguas que debían drenar en el cauce principal de la CRT no estaban fluyendo, al contrario, eran devueltas producto de la marea (Medellín et al., 2013; Rojas, 2021). A partir del fenómeno acontecido e investigación previa, influyó en la selección de los puntos de muestreo, los cuales como es en la parte baja del río Las Palmas.

Conclusión

La CRT posee gran influencia por parte de las actividades de tipo antropogénico principalmente en la parte media y baja de la cuenca, donde hay un mayor desarrollo productivo, lo cual ha repercutido sobre la calidad en el sistema acuático; generando como consecuencia, cambios en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, aptos para la

conservación del ecosistema. Ante la problemática existente, debido a la carga de contaminantes que llegan hasta el cuerpo receptor, se desarrollará a través del presente, una propuesta de un plan estratégico de acciones para el mejoramiento de la gestión socioambiental en la CRT, en base a los resultados que se obtengan durante el monitoreo, en áreas identificadas por HIDROCEC-UNA como puntos críticos, considerando también las características que posea la zona y los efectos del cambio climático.

3. Marco Teórico

La gestión integral del recurso hídrico dentro de las cuencas hidrográficas es de especial importancia para lograr un desarrollo sostenible, donde los ecosistemas fluviales puedan conservar las características fisicoquímicas y microbiológicas, con el propósito de preservar la vida acuática de los recursos naturales y los servicios que brinda el sistema. Sin embargo, el déficit hídrico debido a las malas prácticas dentro de los ecosistemas ha influenciado sobre la calidad del agua, lo que conlleva al detrimento de la flora y fauna acuática, y a su vez, repercute a nivel socioeconómico. Por lo tanto, el análisis de los criterios de la calidad del agua permite establecer planes de gestión ambiental, donde se prevenga, reduzca, mitigue y compensen aquellos daños que impactan los recursos naturales, producto de las actividades de origen antropogénico.

De esta forma, para la comprensión de los diversos temas asociados al presente proyecto, es necesario definir algunos conceptos claves, los cuales se indican a continuación.

3.1 Cuenca hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son áreas delimitadas topográficamente por una divisoria de aguas, donde se concentran todos los escurrimientos superficiales, que confluyen y desaguan en una zona en común (Jardí, 1985; Cotler, 2013). Estos sistemas poseen características propias de cada región, las cuales van a depender de la interacción de los procesos socio ecológicos, los cuales están ligados íntimamente entre sí.

Las cuencas hidrográficas se componen de tres partes, la parte alta, media y baja, por lo que cada proceso dentro de la cuenca es dependiente del sector donde se generen las distintas actividades humanas. Por lo general, la parte media y baja son las áreas con mayor vulnerabilidad, debido a que el sector productivo se establece en dichas zonas (Garrido et al.,

2010). La materia orgánica, compuestos organoclorados, metales pesados, sedimentos y nutrientes son los principales aportes negativos que se dan dentro de las cuencas hidrográficas. Como consecuencia, se da un aumento de ríos con alta contaminación y eutrofizados, impactos en los humedales y áreas de protección, déficit hídrico, migración y muerte de especies (Benjumea et al., 2014).

Las cuencas hidrográficas se componen de cuatro subsistemas: biológico, físico, económico y social. El primero consiste en la integración de flora y fauna y su interacción dentro del sistema. El subsistema físico comprende el suelo, subsuelo, geología, recurso hídrico y clima. El económico se basa en las actividades productivas que se realicen entorno al uso de los recursos que brinda la cuenca. Por último, a nivel social se involucra el establecimiento de los asentamientos humanos, los elementos demográficos, las instituciones que velan por el uso y aprovechamiento de los ecosistemas acuáticos, la salud, la educación y el marco político (Báez, 2014).

3.2 Manejo integrado de cuenca hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son de gran interés socioambiental, debido a los beneficios directos e indirectos que brindan. Según Cotler et al., (2013) se consideran beneficios directos la producción de provisiones como lo son el agua y los alimentos, y a la regulación y mitigación de ciclos como inundaciones, degradación de los suelos e intrusiones salinas. Los beneficios indirectos están relacionados con la mecánica de procesos dentro del ecosistema, donde se incluye la fotosíntesis, la formación y almacenamiento de materia orgánica, el ciclo de nutrientes, el proceso de transformación de energía dentro de la red trófica y la neutralización de contaminantes, los cuales ayudan a que el ecosistema sea apto para el desarrollo de la vida y se puedan dar los servicios ecosistémicos (Cotler et al., 2013; Rojas et al., 2013).

El manejo integral de cuencas hidrográficas busca la resolución de problemas interrelacionados, donde es sustancial la concurrencia, la cooperación y la colaboración de los diversos actores e instituciones con una visión común, a través de un proceso adaptativo (Cotler y Martínez, 2009). Según Cotler et al., (2013) durante el proceso se va construyendo y aprendiendo de las experiencias, sustentado en información temporal y espacial, la cual se respalda con documentos científicos.

El cambio sobre la calidad hídrica y el régimen fluvial, así como la aparición más frecuente de eventos extremos debido al cambio climático, como las sequías que se han observado en la CRT, son elementos de atención y análisis dentro del manejo integral del recurso hídrico en las cuencas hidrográficas.

3.3 Gestión socioambiental del recurso hídrico

Mediante la gestión socioambiental del recurso hídrico se ejecutan planes de prevención, reducción, mitigación y compensación de impactos que pueden generarse en la cuenca hidrográfica, producto de las actividades de origen antropogénico (Hakanson et al., 2005). Las aguas residuales generadas por el sector agrícola de la CRT es la principal amenaza sobre la calidad de agua; la infiltración de aguas contaminadas hacia los acuíferos y el depósito de agua no tratadas en cuerpos receptores implica riesgos ambientales que van a repercutir sobre la sociedad y el ambiente (Jiménez, 2005).

Es necesario conocer los focos de contaminación donde existen irregularidades respecto al vertido de aguas residuales, para implementar un plan de gestión ambiental, el cual es dependiente de datos e información de la región en específico, así como la composición hidrológica y las actividades productivas de mayor peso, como lo es la producción de caña, melón y arroz en la CRT. La evaluación ambiental es un medio para conocer los efectos y las consecuencias de la problemática que se enfrenta, con el fin de establecer un desarrollo sostenible, donde las partes involucradas no sean afectadas y con ello, alcanzar una gestión integrada del recurso hídrico (Lozada, 2009).

La importancia a nivel socioambiental de conocer el estado de un ecosistema acuático radica en que el recurso hídrico es el elemento fundamental para la vida humana, por lo que la implementación de reglamentos en cada país ha sido una forma de mitigar los daños que se han dado por la ingesta de agua contaminadas; además de que es una forma de prevención de mayores daños (Perevochtchikova et al., 2016).

3.4 Calidad del recurso hídrico

La calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que indican el uso que se le puede dar al agua, ya sea para consumo humano, riego, uso industrial o recreación (González et al., 2012). El estudio de la calidad del agua dentro de las cuencas

hidrográficas permite identificar los impactos acumulados debido a las actividades de origen antropogénico, principalmente en la parte media y baja de los sistemas. A su vez, se analiza la capacidad de adaptación del ecosistema, y cómo es el compartimento ante factores externos (Lozada et al., 2009).

Realizar monitoreos de la calidad del agua, permite establecer si existen fuentes de contaminación y qué acciones tomar ante la problemática. El marco legal y las normativas vigentes deben cumplir con la funcionalidad de detener y prohibir todas aquellas actividades que comprometan el bienestar ambiental (Arango et al., 2008).

En Costa Rica se decretó el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, N°33903-MINAE-S, con el fin de reglamentar métodos que permitan determinar el uso que se le puede dar al agua, según el estado que presente. Los parámetros que utiliza el reglamento se basan en el “Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los Cuerpos de Agua Superficiales”. Consiste en un índice de la calidad hídrica, el cual permite determinar y clasificar el estado de un cuerpo de agua superficial, a través de la información de las concentraciones de Porcentaje de Saturación de Oxígeno (PSO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO) y el Nitrógeno Amoniacal. Estos indicadores se catalogan como las variables de mayor importancia, dentro de la valoración de la contaminación orgánica en una corriente de agua (MINAE, 2007).

En la tabla 1 se presenta una descripción de los parámetros solicitados dentro del reglamento.

Tabla 1

Parámetros del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales.

Parámetro	Unidad	Descripción
Turbiedad	UNT	Medida de transparencia del agua, se ve alterada por la presencia de partículas en suspensión
Temperatura	°C	Medida de la energía cinética promedio del agua, varía según la ubicación geográfica de la cuenca

Potencial de Hidrógeno	pH	Grado de acidez o alcalinidad del agua, va a depender de las características de la cuenca hidrográfica y las actividades que se desarrollen en la misma
Nitratos	mg/L	Los nitratos son compuestos inorgánicos derivados del nitrógeno, son contaminantes que puede estar presente en el agua principalmente por el uso de fertilizantes en las zonas agrícolas
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	Es la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos aeróbicos puedan oxidar la materia orgánica a una forma inorgánica estable
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	Se refiere a la cantidad de materia particulada suspendida en la columna de agua
Sólidos Disueltos	mg/L	Son las partículas de menor tamaño presentes en el cuerpo de agua
Sulfatos	mg/L	Por lo general la presencia de este compuesto se debe a la naturaleza del suelo y lechos rocosos de la cuenca hidrográfica; sin embargo, puede presentarse debido a derrames de combustible.
Coliformes fecales	NMP/100 mL	Grupo de microorganismos bacilo gramnegativo no esporulado, que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares; no tienen citocromo oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a temperaturas de 44 o 44,5 °C, en un período de 24 a 48 horas.

Nota: Datos tomados del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (2007).

3.5 Factores que influyen en la calidad del agua superficial

Los ecosistemas fluviales son sistemas abiertos expuestos a una entrada continua de materiales particulados y disueltos, procedentes de los contaminantes generados por parte del sector productivo agroindustrial, aguas servidas domésticas, aguas residuales sin previo tratamiento, lixiviados, derrames de químicos e incluso intrusión salina por las malas prácticas en las zonas costeras (Martí y Sabater, 2009).

Parte del material que entra a estos sistemas son procesados por los microorganismos presentes en el sistema acuático; sin embargo, la parte restante no es procesada y esta queda suspendida en la columna de agua o se sedimenta, siendo un factor que altera significativamente la vida de las especies (Martí y Sabater, 2009); por lo que se puede mencionar que los ecosistemas fluviales se caracterizan por la capacidad de transformar y retener nutrientes, según las características que poseen y la carga de contaminantes que reciben.

Los procesos microbianos remineralizan la materia orgánica que se deposita en los sedimentos, y enriquecen de este modo el cuerpo de agua, con nitrógeno en forma de amonio, nitrito y nitrato, y el fósforo en forma de fosfatos (Real, 1994); compuestos que afectan la calidad hídrica y repercuten directamente sobre la biota del ecosistema acuático. La carga excesiva de macronutrientes implica el crecimiento descontrolado de los productores primarios (fitoplancton, algas bentónicas, macrófitas), y como consecuencia se presenta la disminución de oxígeno disuelto, aumento de la turbidez, cambios en demanda bioquímica de oxígeno, deceso de especies, procesos anaerobios que generan olor y sabor y aumento del costo en los tratamientos de agua para la recuperación del sistema (Álvarez et al., 2008; Benjumea et al., 2014). Mediante las medidas cuantitativas de variabilidad y distribución de nutrientes, se puede establecer la interpretación de los procesos que regulan la producción biológica.

Conclusión

La demanda hídrica continúa aumentando debido al crecimiento poblacional, paralelo a los niveles de contaminación, la escasez de agua y el acceso limitado producto del mal manejo de los recursos naturales. El déficit hídrico para uso doméstico, agrícola e industrial es factor decisivo que limita el desarrollo sostenible en muchas regiones, y la CRT no es la excepción. Para lograr un manejo integral de las cuencas hidrográficas y una gestión integral del recurso

hídrico, es necesario conocer los intereses de los habitantes, industrias, organizaciones e instituciones que están relacionadas en el sistema hidrográfico. Con el fin, de generar planes que promuevan la erradicación de la problemática existente de la calidad hídrica, y se priorice el actuar sobre aquellas zonas con mayor afectación, mediante estrategias de manejo de cuencas.

4. Estudios de prefactibilidad

Los estudios de prefactibilidad son la fase inicial del proyecto, se basan en el análisis sobre la información preliminar, para evaluar si es factible continuar con el mismo, y qué implicaciones pueden generarse durante su ejecución (Corea et al., 2008).

Sapag y Sapag (2014) expresan que, para determinar la viabilidad de un proyecto, se deben considerar las categorías: comercial, técnica, organizacional, legal, ambiental, financiera, vial, ética y social. No obstante, para el presente proyecto se integraron en cuatro categorías: tecno-económica, ambiental, legal y social.

4.1 Estudio tecno-económico

El estudio tecno-económico consiste en el abordaje del análisis de los requerimientos técnicos y económicos, como lo son los instrumentos necesarios para el desarrollo del proyecto, estimando cuánto es el costo de inversión que implica cada actividad ejecutada para cumplir con el objetivo propuesto.

4.1.1 Costos de inversión para la ejecución del proyecto

La ejecución de este proyecto implicó la generación de los siguientes costos de inversión que se detallan a continuación según la actividad que se desarrolló, con el fin de determinar la viabilidad del estudio, enfatizando que los costos de operación fueron solventados por parte del HIDROCEC-UNA. En la tabla 2 se detalla el presupuesto global del presente estudio, donde se indica que el costo total estimado ronda el **¢1.085.735**.

Tabla 2

Presupuesto global para la ejecución del proyecto.

Actividad	Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total
Análisis de parámetros	3	Análisis fisicoquímicos y microbiológicos <i>in situ</i> y en laboratorio	215.245	645.735
Muestreos	3	Muestreos <i>in situ</i>	20.000	60.000
Transporte	3	Transporte para realizar los muestreos	5.000	15.000
Alimentación	3	Alimentación en las giras a campo	5.000	15.0000
Computadora	1	Computadora de trabajo	350.000	350.000
			Total	1.085,735

Nota: Datos generados por elaboración propia con base en los costos brindados por el HIDROCEC-UNA.

Es importante aclarar que el presente proyecto fue desarrollado en el HIDROCEC-UNA como parte del proyecto “Calidad de las aguas del río Tempisque en función de las concentraciones de sólidos, coliformes y conductividad”, con el respaldo económico por parte del Observatorio Ambiental de la Universidad Nacional, lo que permitió que la compra de reactivos para el análisis de agua y algunos suministros fueran adquiridos por esta vía. Igualmente, como contrapartida por parte de HIDROCEC-UNA se permitió costear las horas laborales de los investigadores, las horas-uso de los equipos, la movilización para las giras (en conjunto con la UNA Sede Chorotega campus Liberia) y otros reactivos que no sean posibles adquirirlos con el proyecto del Observatorio. Por lo que, la inversión real para la ejecución de este proyecto asciende mucho más del valor indicado anteriormente.

Igualmente, para la determinación de parámetros *in situ* se hizo uso de un multiparámetro, una sonda multiparamétrica YSI Exo2 y una computadora, los cuales el HIDROCEC-UNA puso a disposición para el desarrollo del proyecto. Asimismo, para los análisis de laboratorio, el centro hídrico mencionado, posee los distintos equipos necesarios para los parámetros solicitados en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales.

Con respecto a la elaboración de estudios geoespaciales, se empleó la plataforma QGIS, la cual es de libre acceso, y la base de datos es proporcionada por parte del HIDROCEC-UNA.

Por lo tanto, se consideró que el proyecto poseía viabilidad en el aspecto tecno-económico, debido a que la institución con la cual se está abordando el presente trabajo, brinda las herramientas necesarias para el análisis de la calidad de agua dentro de la CRT.

4.2 Estudio ambiental

El estudio ambiental se realiza con la finalidad de determinar si el proyecto puede presentar efectos negativos que perjudiquen el ecosistema, y conlleve a daños mayores, por lo que se debe realizar un estudio de impacto ambiental (EsIA) y posterior a ello, la aplicación de un plan de gestión ambiental (PGA). Contrario a que el proyecto no presente impactos potenciales, se excepta de dichos estudios de impacto ambiental.

Es así como, mediante la modificación de la resolución 2373-2016-SETENA de la Comisión Plenaria de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, se establece que el presente proyecto presenta muy bajo impacto ambiental potencial, debido a que consiste en el análisis de la calidad hídrica de un cuerpo de agua, el cual no implica modificaciones ni alteraciones, que vayan a generar daños al ecosistema acuático. Por lo tanto, no se requiere ningún pronunciamiento previo de la SETENA. De acuerdo con lo anterior, al ser un proyecto catalogado de muy bajo impacto, sí se considera factible ambientalmente.

4.3 Estudio legal

Es importante identificar los aspectos legales referentes al tema de estudio para definir si la actividad puede llevarse a cabo o no. A continuación, se muestra la información de gobernanza que se necesita conocer para el desarrollo y posterior análisis de resultados del presente documento.

Tabla 3.

Matriz de gobernanza legal correspondiente al proyecto.

Normativa	Artículo	Relación con el proyecto
------------------	-----------------	---------------------------------

Constitución Política de la República de Costa Rica	50	Todo ciudadano posee derecho de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.
Ley Orgánica del Ambiente N°7554.	1	El ser humano tiene el derecho de un ambiente sano y equilibrado, por lo que se debe buscar el bienestar a través de esta ley, que permita defender y preservar dicho derecho.
Ley Orgánica del Ambiente N°7554.	26	Se debe promover y velar por el control, prevención y difusión de los factores que alteren el equilibrio socioambiental.
Ley Orgánica del Ambiente N°7554.	34	Optar por medidas que prevengan y eliminen el incumplimiento de las normas sobre las áreas silvestres protegidas.
Ley Orgánica del Ambiente N°7554.	46	Se plantea conservar y mejorar el uso del recurso hídrico, como medida de protección sobre la biodiversidad biológica.
Ley Orgánica del Ambiente N°7554.	51	Recuperar y mantener el equilibrio del sistema agua, protegiendo cada uno de los componentes de la cuenca hidrográfica.
Ley Orgánica del Ambiente N°7554.	64	Prever alteraciones en los cuerpos de agua, mediante el análisis de la calidad de agua.
Ley Orgánica del Ambiente N°7554.	67	Mediante el estudio se tiene como objetivo generar un plan que permita brindar medidas de prevención respecto a la contaminación y deterioro de la cuenca hidrográfica.
Resolución 2373-2016-SETENA	4	El presente proyecto se clasifica de bajo impacto ambiental.
Resolución 2373-2016-SETENA	5	Por ser un proyecto de bajo impacto ambiental, no requiere de una Evaluación de Impacto Ambiental.

Nota: Datos generados por elaboración propia (2021).

4.4 Estudio social

La CRT destaca por ser un sistema extenso, por lo que su importancia dentro de las actividades productivas ha sido fundamental para el desarrollo del país y en general los habitantes que viven en la zona se han visto beneficiados, entre ellos la oportunidad laboral, las mejoras de la infraestructura vial, la inversión de más comercios (Mora, Portuguez y Brenes, 2002). Sin embargo, la expansión de las actividades de origen antropogénico, han generado modificaciones a lo largo del cauce fluvial, lo que ha conllevado a preocupaciones a los ciudadanos que viven en la zona, lo que implica un temor de que en un futuro la disponibilidad de agua sea escasa. Por lo que realizar el presente proyecto genera información que permita establecer medidas de prevención y mitigación de daños medioambientales en proyectos sucesores.

Conclusión

El proyecto sí es viable, por lo que se desarrollará una metodología donde se cumpla con los objetivos planteados y se puedan abarcar aquellas áreas de interés social y ambiental en la CRT.

5. Marco Metodológico

El presente capítulo caracteriza el tipo de investigación y metodología que se desarrolló en el proyecto. También, se mencionan las etapas que se llevaron a cabo antes, durante y después de la evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del recurso hídrico, a partir de los objetivos planteados en la investigación.

5.1 Tipo de investigación

Las investigaciones se rigen bajo métodos que permitan alcanzar los objetivos planteados, los cuales se enfocan en aspectos tales como: diseños de investigación, estrategias a utilizar, muestras a estudiar, métodos empleados, técnicas y criterios de análisis (Binda y Balbastre, 2013).

El tipo de investigación del presente estudio fue **aplicada**, lo que consistió en la búsqueda de generación de conocimiento con aplicación a los problemas (Lozada, 2014) relacionados a

la calidad del recurso hídrico en la parte media y baja de la CRT, fundamentando el enlace entre la teoría y el producto.

La investigación se desarrolló mediante el **método cuantitativo**, debido a que, como indican Pita y Pértegas (2002), se midieron, evaluaron y analizaron parámetros respecto a la calidad del agua, así como el análisis de correlación entre variables. No obstante, también se aplicó el **método cualitativo**, en cuanto a la forma de selección de los puntos de monitoreo.

Los hechos se explicaron siguiendo principios e investigaciones similares a las del tema abordado.

5.2 Recopilación de información documental y bases de datos

El primer paso que se realizó en esta investigación aplicada fue la recopilación de información documental y bases de datos que permitieron analizar y comparar la información que se llegó a obtener.

La información de estudios previos en la zona fue facilitada por el HIDROCEC-UNA, lo cual fue utilizado para un análisis comparativo en la fase de interpretación de resultados.

5.3 Metodología del proyecto

A continuación, se citan los pasos a seguir para el desarrollo de la metodología del presente proyecto. Los pasos se establecieron acorde a los objetivos planteados.

5.3.1 Ubicación de los sitios de muestreo

Los sitios de muestreo son los puntos donde se realizó el monitoreo de los indicadores de la calidad hídrica. Dichas áreas, hicieron referencia de acuerdo con Tovar y compañeros (2008), al comportamiento que poseen los cuerpos de agua según la ubicación en la que se encuentren, debido a la influencia directa e indirecta que poseen y ante las actividades que se realicen cercanas al ecosistema acuático.

Seleccionar los puntos de muestreo permitió establecer un análisis comparativo, respecto al comportamiento de la calidad del recurso hídrico a lo largo de la zona de estudio. Para el presente proyecto se contó con siete puntos de muestreo, los cuales se detallan en la tabla 4, y hacen referencia a los puntos seleccionados por investigadores de HIDROCEC-UNA como

puntos críticos para el monitoreo, a raíz del análisis de resultados obtenidos en el proyecto anterior 2016-2017 y 2020, los cuales abarcan siete ubicaciones distintas a lo largo de la parte media y baja de la CRT (ver figura 2).

Tabla 4

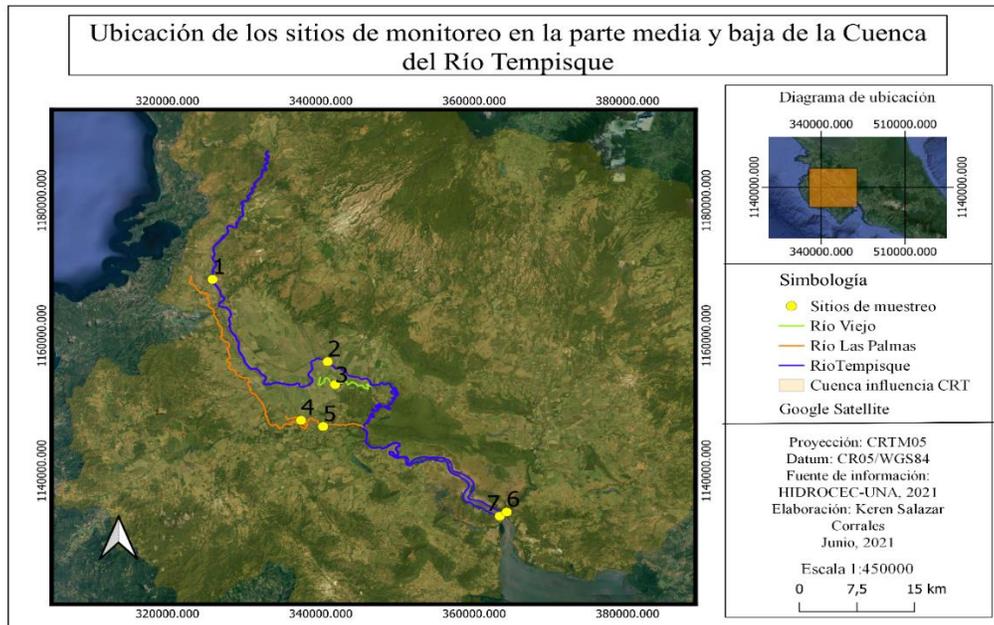
Ubicación de los sitios seleccionados para el monitoreo de la calidad del agua en la CRT.

Punto de muestreo	Descripción del sitio	Abreviación
1	Puente de Guardia	PG
2	Vado El Viejo	VV
3	Río El Viejo	RV
4	Canal Cabeza de Vaca	CCV
5	Río Las Palmas	RP
6	Desembocadura Río Bebedero	DRB
7	Puente La Amistad	PA

Nota: Datos tomados del HIDROCEC-UNA (2021).

Figura 2

Georreferenciación de los sitios monitoreados en la Cuenca del Río Tempisque para el presente estudio.



Fuente: Elaboración propia (2021).

5.3.2 Etapas del monitoreo

El monitoreo de la calidad de agua del presente proyecto se basó en lo estipulado en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (decreto N°33903-MINAE-S). El Reglamento establece que, para la valoración de la calidad de agua se deben considerar los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en el decreto, los cuales se monitorearon *in situ* y en laboratorio, según lo requerido.

5.3.2.1 Monitoreo fisicoquímico.

Dentro del monitoreo fisicoquímico se establecieron los parámetros que se cuantificaron según el decreto N° 33903-MINAE-S y así poder clasificar el estado en el que se encontraba el cuerpo de agua. A partir de la clasificación de los cuerpos de agua superficial, se pudo establecer el uso que se le puede dar al agua y si requería de tratamiento o no para tal fin.

Para la medición de los parámetros *in situ* se utilizó un multiparámetro y una sonda multiparamétrica YSI Exo1, los cuales son instrumentos que cumplen la función de brindar los datos inmediatamente, debido a las características o inestabilidad del elemento que se

buscaba analizar. Los indicadores que se determinaron bajo los ensayos *in situ* fueron: **turbiedad, temperatura, potencial de hidrógeno (pH), porcentaje de oxígeno y oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y salinidad.**

Los parámetros ensayados en laboratorio se desarrollaron bajo la metodología de muestreo y análisis descrita en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), ajustando las cantidades y materiales según hiciera falta. Una vez, tomada las muestras en campo, estas eran almacenadas en hieleras, y transportadas lo más pronto posible al Laboratorio Físico Químico de Aguas del HIDROCEC-UNA, ubicado en Liberia, Guanacaste. En el laboratorio se llevaron a cabo los análisis de: **sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno amoniacal (N-NH₄), fosfatos, amonio.**

La determinación de los sitios más vulnerables fue analizado y comparado de acuerdo con los parámetros establecidos en el Índice Holandés, el cual se detalla a continuación.

5.3.2.1.1 Índice Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para Cuerpos Receptores.

La aplicación del Índice Holandés se realiza a través del análisis de tres indicadores: a) Porcentaje de Saturación de Oxígeno, b) Demanda Bioquímica de Oxígeno y c) Nitrógeno Amoniacal. La metodología, tanto para el análisis como para el muestreo de los parámetros se realizó de acuerdo con lo establecido en el Método Estándar (APHA, 2017).

En la aplicación de este índice se requirió otorgar puntuación a los tres indicadores a partir de la concentración que se obtuvo, considerando para ello los datos de la tabla 5.

Tabla 5

Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físicoquímica del Agua para cuerpos receptores.

Puntos	Porcentaje de Saturación de Oxígeno (%)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal (mg/L)
1	91 – 100	≤ 3	< 0.50

2	71 – 90	3.1 – 6.0	0.50 – 1.0
	111 – 120		
3	51 – 70	6.1 – 9.0	1.1 – 2.0
	121 – 130		
4	31 – 50	9.1 – 15	2.1 – 5.0
5	≤ 30 y > 130	> 15	> 5.0

Nota: Datos tomados del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (2007).

Seguidamente, se procedió a sumar los puntos correspondientes en cada uno de los ámbitos respectivos, y de la suma obtenida se comparó con un código de colores que clasifica la calidad del agua del cuerpo receptor de acuerdo con el grado de contaminación propio, el cual va desde 1 hasta 5 indicando el estado de calidad no contaminada hasta aquel totalmente contaminado (ver tabla 6).

Tabla 6

Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.

Clase	Puntaje	Código de color	Interpretación de calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4 – 6	Verde	Contaminación incipiente
3	7 – 9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10 – 12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13 – 15	Rojo	Contaminación muy severa

Nota: Datos tomados del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (2007).

5.3.2.2 Monitoreo microbiológico

El determinar la presencia de microorganismos patógenos en el agua, permite establecer la calidad microbiológica del ecosistema acuático, en vista de que la CRT es un cuerpo receptor de aguas residuales.

Este estudio se realizó mediante el monitoreo de un parámetro expuesto en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales: **coliformes fecales**, el cual es considerado un grupo de microorganismos indicadores de la calidad del agua. Para llevarlo a cabo se realizó la colecta de muestras de agua en los sitios establecidos empleando frascos estériles de 100 mL, e inmediatamente después fueron conservados y almacenados en frío (hieleras) hasta su traslado al Laboratorio de Microbiología Ambiental del HIDROCEC-UNA, ubicado en Liberia, Guanacaste. Una vez en el laboratorio las muestras se procesaron en menos de 24 horas desde su colecta aplicando la metodología 9223B de Sustrato Enzimático descrita en el Método Estándar (APHA, 2017).

Los resultados del análisis microbiológico fueron analizados comparándolos con las clases establecidas en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (Clase 1 a clase 5) así como la clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial y tratamiento que requiera, lo cual permite clasificar los sitios muestreados de acuerdo con los niveles de contaminación fecal.

5.3.3 Procesamiento de los resultados

Los resultados obtenidos durante el monitoreo fueron evaluados para determinar el estado en el que se encontraban los puntos de muestreo seleccionados con base en Calvo y Araya (2018). Por lo cual, el primer paso a seguir antes del análisis de los indicadores fue el procesamiento de información mediante la digitalización de los datos. La herramienta que se utilizó para este proceso fue Excel Office 365, donde a través del programa se realizaron cuadros y gráficas que expresaran las diferentes magnitudes y unidades que diferían entre sí junto con diferentes comportamientos, en términos de su relación concentración-impacto.

5.3.3.1 Determinación de las zonas con mayor impacto socioambiental.

Acorde a los resultados obtenidos durante el procesamiento de la información, se realizó un análisis de los indicadores establecidos para el desarrollo de la investigación. Se evaluó la calidad del agua de los distintos sitios de estudio, a partir de los valores indicados en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales antes descritos, tanto para los parámetros fisicoquímicos como los microbiológicos.

5.4 Conclusión

El capítulo hace referencia a las metodologías que se van a desarrollar, lo cual se elaboró en función a los objetivos de la investigación. La implementación de pasos a seguir en un estudio permite el abordaje de los escenarios que se desean analizar, desde una perspectiva científica-documental. La evaluación de la calidad de un cuerpo de agua superficial a través de los reglamentos, como lo es el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales en Costa Rica, permite gestionar el recurso hídrico entorno a las necesidades de cada zona. Por lo tanto, el monitoreo de indicadores es una herramienta que permitirá establecer propuestas de mejora referentes a la conservación de los ecosistemas fluviales, específicamente en la CRT.

6. Resultados y discusión

A lo largo de este capítulo se mostrarán los principales resultados obtenidos durante la ejecución del presente proyecto.

6.1 Revisión de literatura sobre calidad hídrica

Al ser la cuenca de gran extensión, ha generado que se desarrollen diversas actividades productivas, muchas de ellas sin poseer regulaciones de las aguas generadas, las cuales se vierten al cuerpo de agua sin mayor control. Esto ha repercutido sobre la calidad hídrica, ya que estudios demuestran que hasta la fecha no se tienen ubicados los focos de contaminación puntual, las áreas posibles de contaminación difusa, ni tampoco el contenido contaminante del agua, aspecto importante para la elaboración de políticas y estrategias tendientes a mitigar sus efectos en la vida humana y en los ecosistemas asociados al río Tempisque (Mora, et al. 2002).

Un estudio realizado por el HIDROCEC-UNA, en el año 2020 y principios del 2021, el cual se basó en la calidad fisicoquímica de las aguas de la parte baja de la cuenca del río Tempisque en función de las concentraciones de sólidos (sólidos totales disueltos, sólidos totales sedimentables y sólidos totales suspendidos), coliformes (fecales y *E.coli*) y la conductividad eléctrica; estimó que las concentraciones de sólidos suspendidos (> 50 mg/l) registradas durante la época lluviosa, permitieron determinar que la calidad del agua en el sector de estudio era de clase 3, lo que estaba relacionado con las cargas orgánicas

contaminantes (>300 ton/día) provenientes de las actividades en suelos erosionados y su posterior distribución espacial en el río, asociado con el ciclo de mareas del Golfo de Nicoya; lo que también afectaba los valores de las conductividades eléctricas de las aguas. Incluso, las concentraciones de coliformes fecales (>200.000 NMP) registradas durante la época seca, representaban una alta descarga de contaminación de origen fecal en la zona.

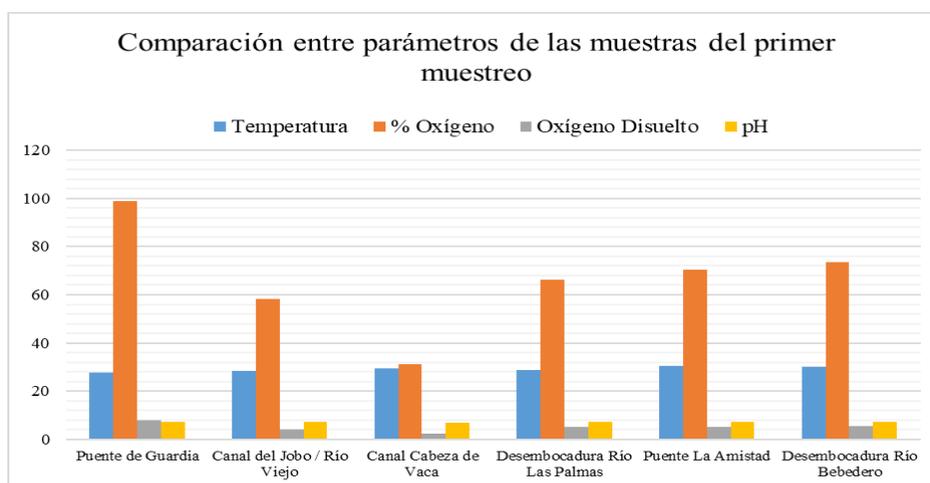
6.2 Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos

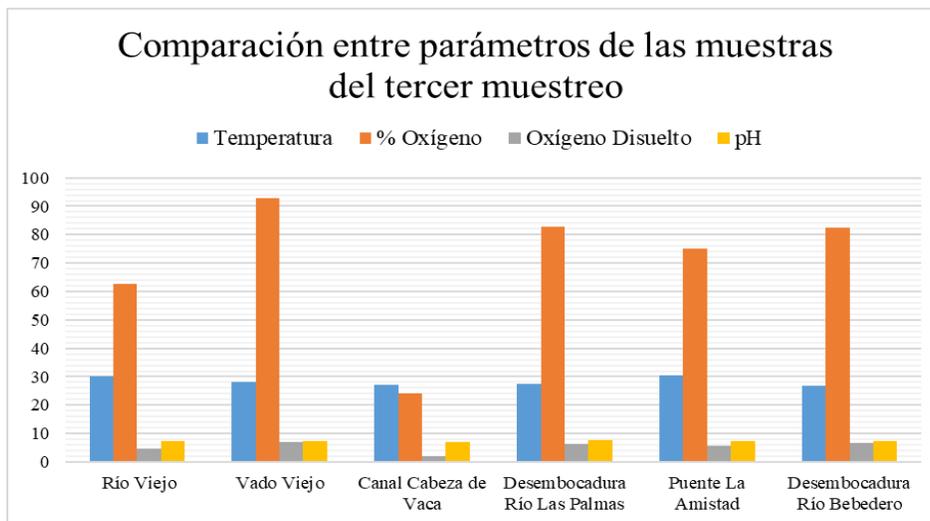
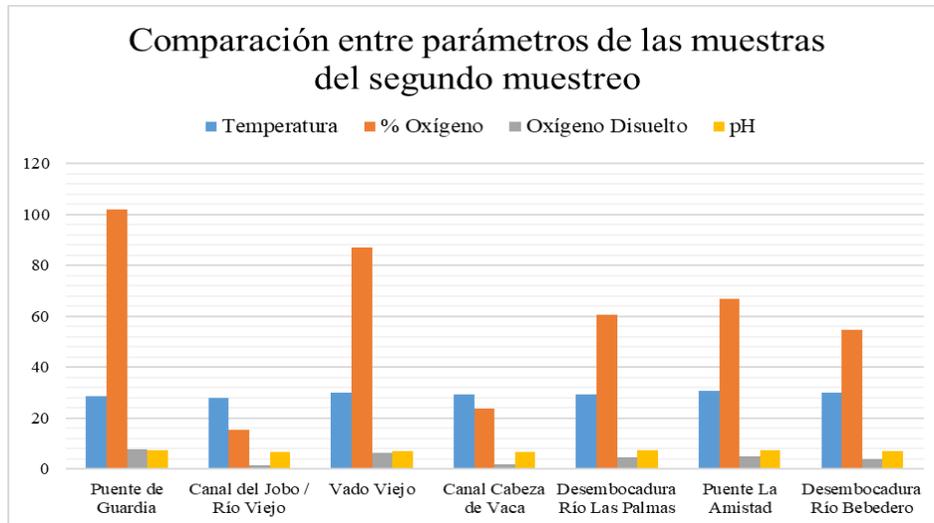
6.2.1 Ensayos *in situ*

A partir de los resultados obtenidos (ver figura 3), se demuestra que las muestras recolectadas en el Canal del Jobo, Río Viejo y Canal Cabeza de Vaca, en los tres muestreos, presentan valores que comprometen el desarrollo de las especies en el ecosistema. En el segundo muestreo las muestras de la Desembocadura del Río Las Palmas y Río Bebedero, presentaron valores inferiores al mínimo recomendado; sin embargo, esto pudo ser producto a la materia orgánica en descomposición, la cual influye en el oxígeno disponible.

Figura 3

Resultados obtenidos de la medición de temperatura, pH, porcentaje de oxígeno y oxígeno disuelto en los distintos sitios seleccionados durante los tres muestreos (A: primero, B: segundo y C: tercero).





Fuente: Elaboración propia, 2021.

La comparación entre los indicadores mostrados en las figuras 3, son de relevancia ambiental debido a la relación que existen entre sí. En el caso del oxígeno disuelto, la solubilidad aumenta cuando se disminuye la temperatura, lo que repercute directamente sobre el porcentaje de saturación óptimo de oxígeno en un cuerpo de agua. El oxígeno disuelto es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos (Roldán, 1992), es necesario para la supervivencia de la gran mayoría de animales marinos y niveles muy bajos pueden ser indicativos de altas concentraciones bacterianas (Rogers *et al.* 2001).

Las variables fisicoquímicas como el oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, la temperatura y el pH, son de gran importancia en procesos como la fotosíntesis, la remineralización de la materia orgánica, liberación de nutrientes y metales desde los sedimentos (Bostrom et al., 1988; Harris, 1999). En los casos donde las aguas poseen bajas concentraciones de los indicadores mencionados, se puede dar una transformación de metales, como el hierro y los compuestos de nitrógeno y fósforo (Chulgoo *et al.*, 2006), lo que influye negativamente sobre los cuerpos de agua; por lo tanto, hacer el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos descritos en la gráfica anterior, es de importancia socioambiental, ya que es una herramienta que permite establecer medidas (Santiago & Vignatti, 2009).

Los desechos antrópicos como los fertilizantes, aguas no tratadas y la propia deposición atmosférica del CO₂ son la causa de la eutrofización (Rabalais et al., 2014). El exceso de nutrientes provoca que se generen floraciones algales, y por consiguiente re - mineralización de la materia orgánica. En este proceso de respiración, se consume oxígeno y se genera CO₂, lo que disminuye el pH en las aguas subsuperficiales, siendo un factor que influye directamente sobre las comunidades macro bentónicas. Sin embargo, el pH se mantuvo casi constante, esto puede ser debido al periodo lluvioso ya que se da una mayor influencia del agua de precipitación.

La presencia o ausencia de oxígeno es un indicador que influye en la mayoría de los procesos vitales de los organismos, así como en variados factores bióticos del ecosistema (Betancourt et al., 2009). La concentración de oxígeno disuelto en bajos niveles, es considerado un indicador de contaminación por causa de la materia orgánica, la cual puede ser proveniente principalmente de descargas de aguas residuales agroindustriales y domésticas (Roldán, 1992). Las concentraciones bajas de oxígeno disuelto pueden localizarse donde la materia orgánica está en descomposición, lo que significa que las bacterias utilizan el oxígeno para descomponer el desecho, también son bajas en aguas de lento movimiento (Rogers *et al.* 2001).

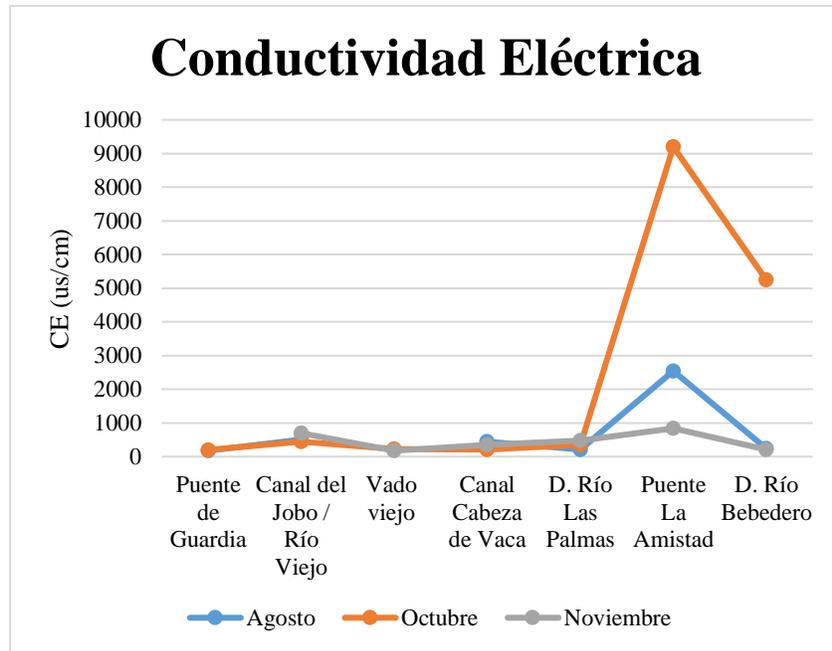
Los valores de porcentaje de oxígeno deben ser superiores a 70% para que las especies que habitan en el cuerpo de agua puedan sobrevivir, valores menores al indicado desarrollan riesgos para la vida acuática y afecta directamente en la actividad fotosintética, generando así un problema ecológico de consideración.

Se debe resaltar que el Canal Cabeza de Vaca presentaba gran cantidad de macrófitas, las que posiblemente se están comportando como procesadoras de nutrientes en las zonas donde el agua queda retenida por la presencia de una compuerta, una alcantarilla o un montículo de tierra, de donde igualmente se infiltra el agua residual hacia el río Las Palmas. También, puede ser producto del arrastre del escurrimiento de sedimentos que contienen de los fertilizantes usados en los cañales, por lo que poseen nutrientes. Bajo estas condiciones, el número y el tamaño de las plantas acuáticas aumenta en gran cantidad. La presencia de estas plantas también acelera el proceso de agotamiento del oxígeno en el agua que será descargada al río.

La conductividad eléctrica, otro parámetro *in situ*, puede verse alterado debido a la presencia de aguas salobres, como es el caso del Puente La Amistad, en donde el valor sobresale de manera significativa, en comparación del resto de sitios (ver figura 4). Cabe resaltar que para el primer muestreo la marea estaba baja, y según los resultados obtenidos, se demostró que la intrusión salina se da tanto en pleamar como en bajamar (Medellín et al., 2013). Según el Reglamento de Calidad de Agua Potable N°32327 de la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud, la conductividad se encuentra en el primer nivel de control de calidad y se le establece un valor recomendado de $400\mu\text{S}/\text{cm}$. Cabe destacar que, el sitio de muestreo en el Puente La Amistad se deriva que la influencia por parte de las aguas salobres del Golfo de Nicoya, influyen sobre la calidad hídrica tanto en pleamar como en bajamar, lo que causa el aumento de las conductividades del agua del río y las concentraciones los sólidos disueltos, asimismo se asume que por la mezcla salina de mar estos valores van a verse considerablemente afectados con rangos variables según la condición del océano o dependiendo de las precipitaciones de la zona.

Figura 4

Resultados obtenidos de la medición de la conductividad eléctrica en los tres muestreos realizados.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

La salinidad, otro parámetro es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua, las cuales se descomponen en iones cargados positiva y negativamente. La salinidad y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas. Las sales disueltas en agua se descomponen en iones cargados positiva y negativamente. Los nitratos y fosfatos no contribuyen de forma apreciable a la conductividad, pero son indicio de la presencia de alguna acción natural o de origen antropogénico muy probablemente.

Así como también, se puede observar la diferencia que existe entre el Puente de la Amistad, en comparación de los sitios restantes (ver figura 5). Cabe resaltar que el primer muestreo se realizó en época lluviosa, por lo que se genera dilución de las sales disueltas. Se denota que luego del paso de las aguas por la zona agrícola, las cargas en la conductividad aumentan por lo que se podría vincular a la acción agrícola y la incorporación de sustancias inorgánicas que aumentan la conductividad, aparte de la salmuera agregada por el mar, pero a la hora de que se mezclan las aguas en las desembocaduras, se complica la identificación de la procedencia de los causantes del aumento de la conductividad presente.

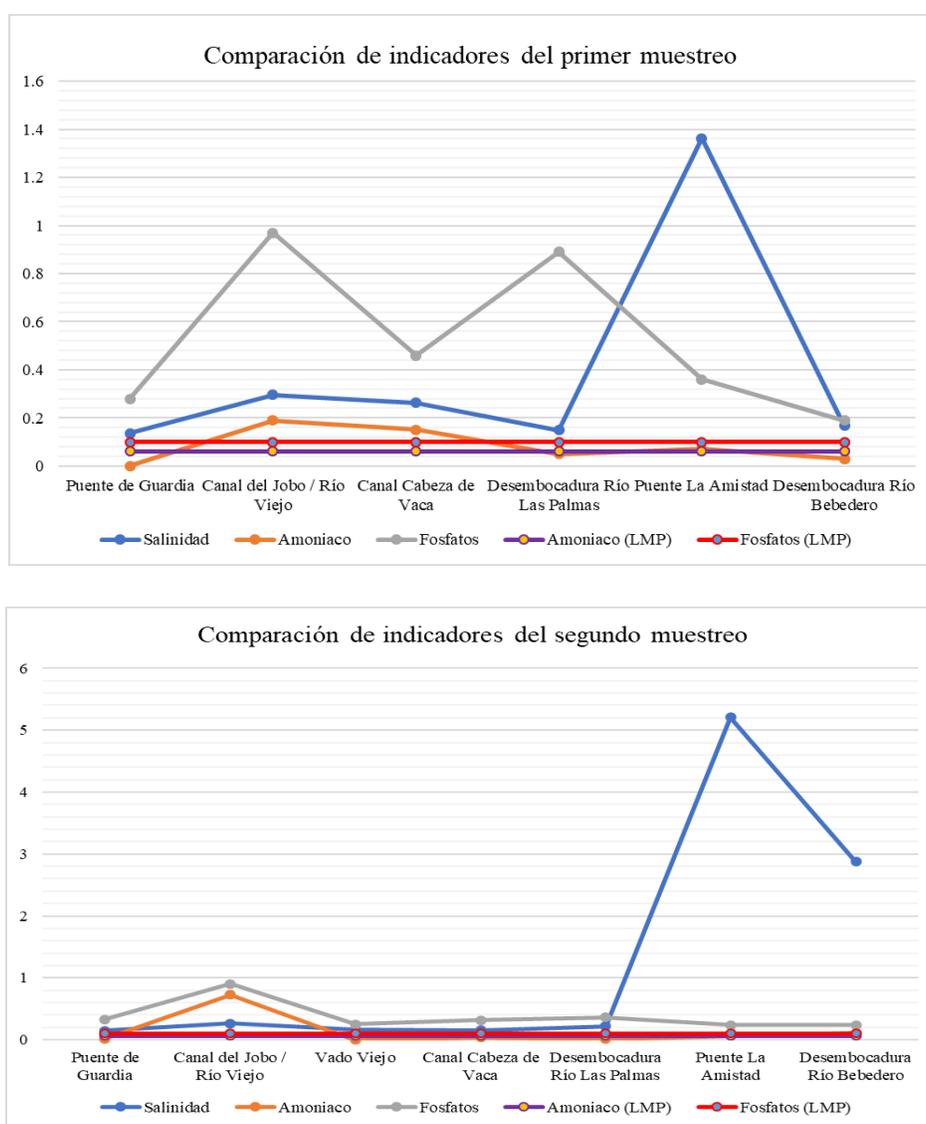
6.2.2 Ensayos de laboratorio

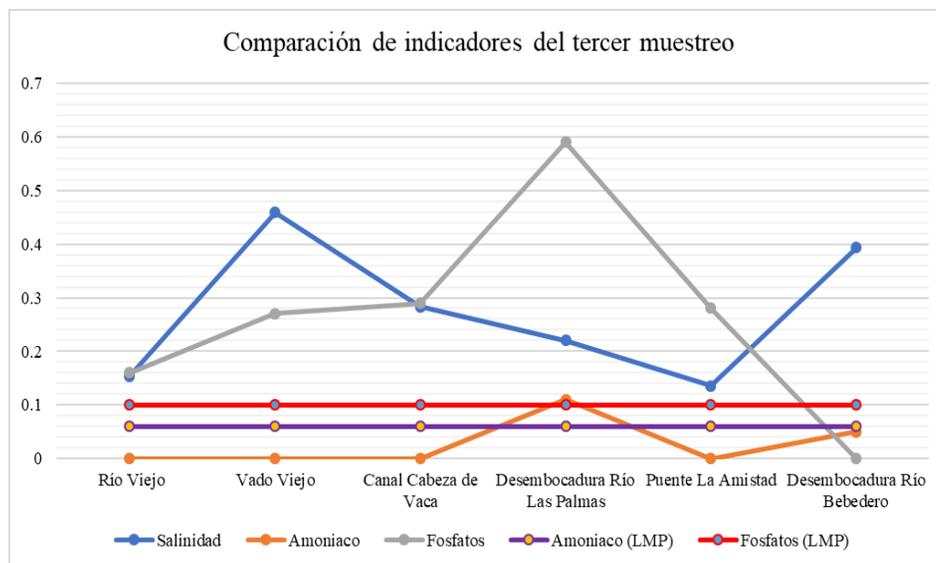
6.2.2.1 Monitoreo fisicoquímico.

Las altas concentraciones de nitrógeno en forma de amonio (ver figura 5) también se relacionan con las bajas concentraciones de oxígeno en el río, y los procesos de descomposición de materia orgánica (Ávila et al., 2007).

Figura 5

Resultados obtenidos de la medición de salinidad, amoníaco y fosfatos en los distintos sitios seleccionados durante los tres muestreos (A: primero, B: segundo y C: tercero).





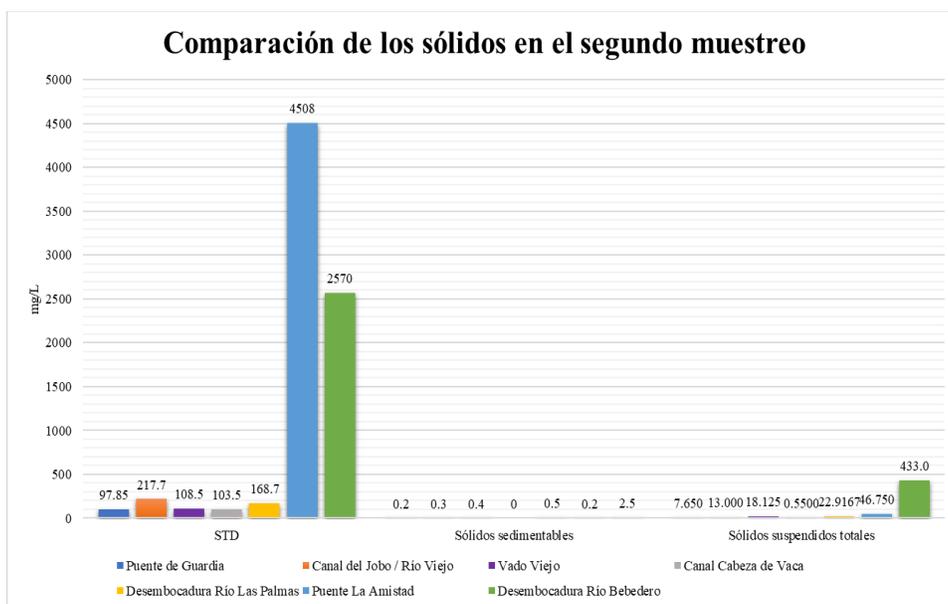
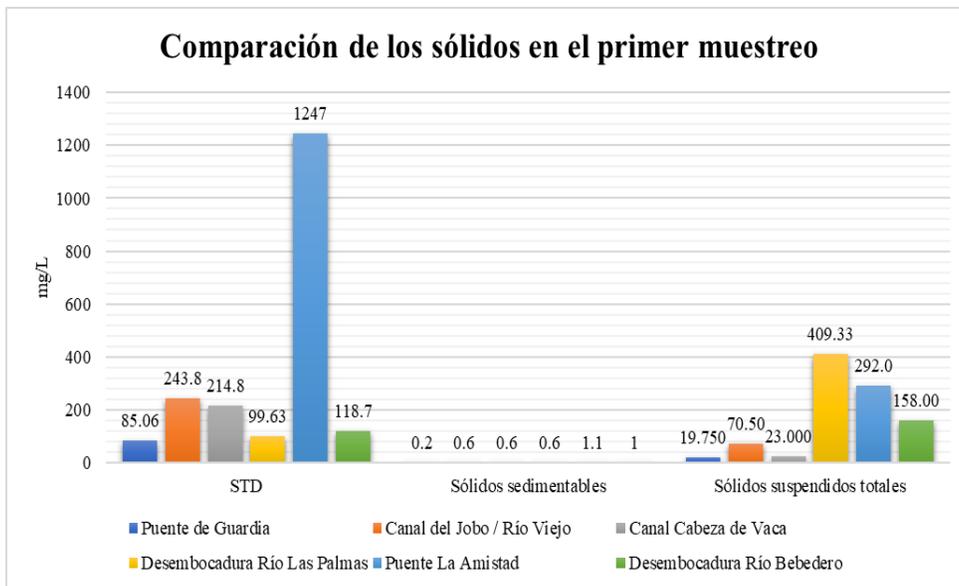
Fuente: Elaboración propia, 2021.

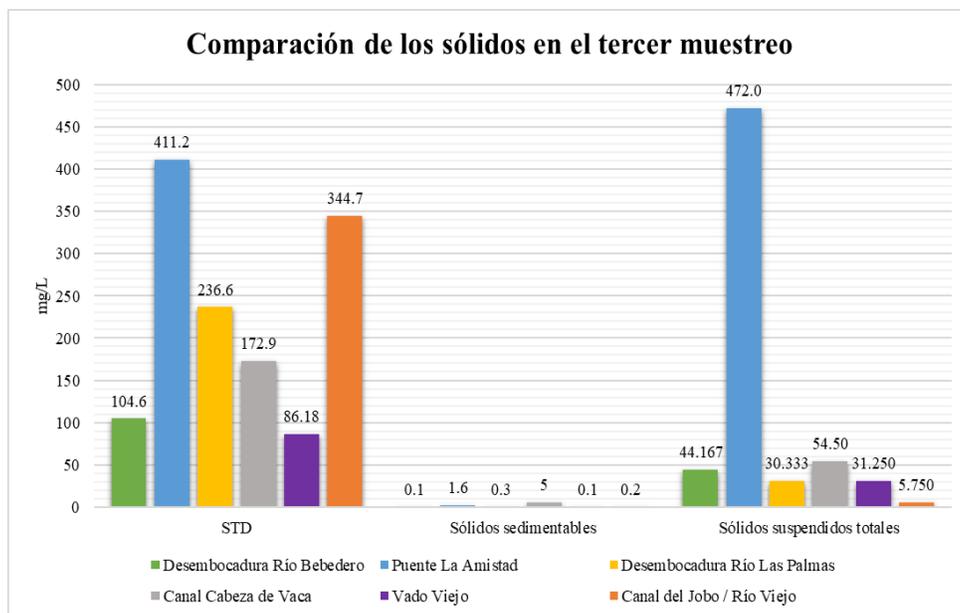
Para el análisis del nitrógeno amoniacal y fósforo se realizó una comparación entre los límites máximos permisibles (LMP) (Gráficas 4, 5 y 6) descritos en la norma de referencia de México nombrada Criterios Ecológicos de Calidad del agua para la protección de la vida acuática CE- CCA-001/89 (SEGOB 1989), se aclara al lector que en Costa Rica no existe norma para referenciar dichos valores, por lo que se utiliza la nombrada anteriormente. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal superan por mucho los límites máximos permisibles (0.06 mg/ L); y los índices de fósforo total (0.1 mg/L), esto a pesar de que el fósforo cuantificado (PO₄-ortofosfato) corresponde sólo a una fracción del fósforo total. En el Canal El Jobo y la Desembocadura Río Las Palmas se reportan las concentraciones de fosfatos más altas, y esto merece especial atención.

Los valores de sólidos disueltos totales (SDT) (ver figura 6) y la conductividad eléctrica (CE) (ver figura 4) son parámetros que indican una importante relación con el transporte de sales disueltas, como las aplicadas en los suelos de cultivo como fertilizante, las cuales son transportadas por los canales a los ríos a través de las escorrentías superficiales. Sin embargo, los distintos puntos de muestreo a excepción del Puente de La Amistad obtuvieron resultados con valores aceptables en lo que respecta a los STD, esto debido a que las muestras fueron recolectadas en época lluviosa, por lo que no se ve reflejado el aporte de los suelos aledaños a los cuerpos de agua estudiados, dado a que estos dan su aporte al río en las primeras lluvias del año, producto de la escorrentía superficial.

Figura 6

Resultados obtenidos de la medición de sólidos totales disueltos, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales en los muestreos (A: primero, B: segundo y C: tercero).





Fuente: Elaboración propia, 2021.

Un estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), menciona la recomendación de los niveles de sólidos disueltos totales debe poseer un límite máximo permisible de 900 mg/L; sin embargo, en lo que respecta al Puente de La Amistad, los valores de sólidos disueltos totales en la primera y segunda fecha de muestreo superan dicho valor (ver figura 6A y 6B respectivamente), esto debido a que las muestras fueron recolectadas en alta mar, por lo tanto existe un gran aporte de iones debido a la influencia del agua salobre. No obstante, la tercera fecha de muestreo se realizó en bajamar, por lo que las concentraciones se ven disminuidas significativamente.

Los sólidos en suspensión de la muestra de la Desembocadura del Río Las Palmas (ver figura 6A) y Vado Viejo (ver figura 6C) presentaron las concentraciones de mayor valor, siendo esto un factor que puede perjudicar de manera significativa los procesos que se desarrollan en los cuerpos de agua, dado a que los sólidos pueden depositarse en el fondo, cubriendo organismos acuáticos, larvas y/o huevos de macroinvertebrados. Este depósito puede impedir la transferencia de oxígeno y resultar en la muerte de los organismos enterrados bajo esta capa.

Los sólidos suspendidos totales en general, pueden tener su origen por posible contaminación de aguas residuales agrícolas. La principal problemática asociada al aumento de este

parámetro es que puede ocasionar turbiedad en el agua, además de una disminución en el paso de luz solar a través del agua, impidiendo o reduciendo la actividad fotosintética de organismos acuáticos, de gran importancia para la producción de oxígeno disuelto. Sin embargo, hay dos muestras que destacan, los cuales son la Desembocadura del Río Las Palmas (Gráfica 8) y Puente de La Amistad (Gráfica 10), dichos puntos presentaron las concentraciones de mayor valor, siendo esto un factor que puede perjudicar de manera significativa los procesos que se desarrollan en los cuerpos de agua, dado a que los sólidos pueden depositarse en el fondo, cubriendo organismos acuáticos, larvas y/o huevos de macroinvertebrados. Este depósito puede impedir la transferencia de oxígeno y resultar en la muerte de los organismos enterrados bajo esta capa.

6.2.2.1.1 Determinación de sitios con mayor impacto socioambiental a partir del análisis de los indicadores de calidad de agua.

La determinación de las muestras que presentaron valores con mayor impacto ambiental, se realizó a partir de la valoración del grado de contaminación para las muestras analizadas, a través de la aplicación del Índice Holandés, el cual se desarrolló con los indicadores del porcentaje de saturación de oxígeno, nitrógeno amoniacal y la demanda bioquímica de oxígeno, en donde se les asignó un puntaje según la concentración de cada parámetro, como indica el reglamento (ver tabla 5 y 6).

La calidad del agua de acuerdo con los distintos parámetros de medición de este índice cuantifica el grado de alteración de las cualidades naturales y se la clasifica para un uso determinado, es por ello que se aplicó el Índice Holandés para el presente estudio. En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7

Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua para las muestras analizadas.

Fecha de Muestreo	Sitio de muestreo	PSO (%)	DBO (mg/L)	N-NH₄ (mg/L)	Puntuación
--------------------------	--------------------------	----------------	-------------------	--------------------------------	-------------------

18/08/2021	Puente de Guardia	99	21	<0.04	7
	Río Viejo	58.2	21	0.19	9
	Canal Cabeza de Vaca	31.2	56	0.15	10
	Desembocadura Río Las Palmas	66.4	20	0.05	9
	Puente La Amistad	70.5	7	0.07	7
	Desembocadura Río Bebedero	73.5	7	0.03	6
06/10/21	Puente de Guardia	101.9	1.4	0.02	3
	Canal del Jobo / Río Viejo	15.4	2.74	0.73	8
	Vado Viejo	87.2	5.94	ND	5
	Canal Cabeza de Vaca	237	0.54	0.04	7
	Desembocadura Río Las Palmas	60.7	1.03	0.01	5
	Puente La Amistad	67	2.84	0.06	5
3/11/2021	Desembocadura Río Bebedero	54.6	3.02	0.11	5
	Canal del Jobo / Río Viejo	62.7	0.56	0.05	3
	Vado Viejo	92.7	0.39	<0,04	7
	Canal Cabeza de Vaca	24	1.93	0.11	5

	Desembocadura Río Las Palmas	82.7	594	<0,04	4
	Puente La Amistad	75	1.56	<0,04	4

Nota: Datos generados por elaboración propia (2021).

De acuerdo con estos resultados, se encontró evidencia de que el recurso hídrico está expuesto a niveles moderados a severos de contaminación, los cuales se obtuvieron a través del Índice Holandés. Para los seis sitios de muestreo se observaron potenciales riesgos de contaminación, los cuales pueden afectar la calidad hídrica, la biota acuática, se pueden presentar más casos de muerte de peces, e incluso hay puntos que pueden llegar a presentar problemas debido a la eutrofización, como son el punto Canal Cabeza de Vaca.

Este sitio, podría presentar una presión antropogénica, donde cabe la posibilidad de que haya un vertido de aguas negras, aguas grises, aguas residuales industriales, aguas residuales agrícolas sin previo tratamiento. Dicho punto se encuentra en un rango de contaminación moderada a contaminación severa de acuerdo con la tabla 7, y si se observan los parámetros de porcentaje de oxígeno disuelto, se distingue un valor muy bajo que puede deberse a eutrofización o gran cantidad de bacterias descomponiendo materia orgánica presente en el cauce.

En los puntos Río Viejo, Puente de Guardia, desembocadura del Río Las Palmas se presenta una contaminación severa según la clasificación del Índice Holandés durante el primer muestreo, y solo en la Desembocadura del Río Bebedero se presenta una contaminación incipiente, pero está propensa en volverse severa. Este hecho es preocupante debido a que estas muestras se tomaron al inicio de los meses más lluviosos donde debería haber mayor dilución de los contaminantes, por lo que se infiere que con la escorrentía se acarrean contaminantes a los cauces.

Igualmente, se aprecia que los valores a partir del segundo muestreo empiezan a disminuir considerablemente, lo que puede deberse a que ya ha pasado gran cantidad de agua por los cauces. De igual manera se ve una disminución considerable en los valores de los resultados del Índice Holandés de los muestreos realizados en el tercer muestreo (noviembre) cuando hay menos precipitaciones.

6.2.2.1 Monitoreo microbiológico.

En lo que respecta a la calidad microbiológica, el estudio se llevó a cabo mediante el análisis de coliformes fecales presentes en las muestras recolectadas, los cuales se aprecian a continuación.

Tabla 8

Resultados obtenidos de la medición de coliformes fecales en los distintos puntos ubicados en la parte media y baja de la CRT durante los tres muestreos.

Sitio de muestreo	Coliformes Fecales (NMP/100mL)		
	Primer muestreo (18-08-2021)	Segundo muestreo (06-10-2021)	Tercer muestreo (04-11-2021)
Puente de Guardia	4.1x10 ²	6.3x10 ²	N/A
Canal El Jobo/Río Viejo	9.7x10 ²	1.6x10 ³	1.1x10 ⁴
Vado Viejo	N/A	2.6x10 ³	8.4x10 ³
Canal Cabeza de Vaca	7.4x10 ²	5.2x10 ²	8.1x10 ³
Desembocadura Río Las Palmas	5.2x10 ³	1.7x10 ³	1.8x10 ⁴
Puente La Amistad	5.2x10 ²	2.0x10 ³	1.7x10 ⁴
Desembocadura Río Bebedero	2.0x10 ³	3.1x10 ³	1.3x10 ⁴

Nota: Datos generados por elaboración propia (2021).

En general las muestras presentaron valores muy altos en lo que respecta a coliformes fecales, de acuerdo con el Reglamento sobre la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (decreto N°33903-MINAE-S), especialmente en los sitios muestreados

en noviembre, lo que los clasifica tipo 5 (> 5000 NMP/100 mL), es decir, que ni siquiera son aptos para actividades de contacto primario (ej. abastecimiento de agua para consumo, actividades industriales, actividades pecuarias, recreativas, entre otros) (ver tabla 9).

Tabla 9

Sitios de muestreo y su correspondiente clasificación de acuerdo con los niveles de contaminación fecal ubicados en el Río Tempisque, provincia de Guanacaste, Costa Rica, durante el monitoreo del indicador.

Gira de muestreo	Clasificación de CF (33903-MINAE-S)	Sitio muestreado						
		Pte. Guardia	Canal Jobo	Vado Viejo	Cabeza Vaca	D.R. Palmas	Pte. La Amistad	D.R. Bebedero
Primera (18-08-2021)	Clase 1							
	Clase 2	X	X		X		X	
	Clase 3			NA				X
	Clase 4							
	Clase 5					X		
Segunda (06-10-2021)	Clase 1							
	Clase 2	X			X			
	Clase 3		X			X	X	
	Clase 4			X				X
	Clase 5							
Tercera (04-11-2021)	Clase 1							
	Clase 2							
	Clase 3	NA						
	Clase 4							
	Clase 5		X	X	X	X	X	X

Nota: Datos generados por elaboración propia (2021). NA: No aplica.

Estos resultados de la tabla 8 y 9, pueden estar ligado con el aumento de las escorrentías superficiales, dado que, en esas fechas, las lluvias arrastran una mayor carga de contaminantes orgánicos desde los suelos y de esta forma influyen en la concentración de microorganismos patógenos. El riesgo que conlleva altas concentraciones en coliformes fecales, se debe a las enfermedades que se pueden dar producto a la ingesta o contacto con aguas contaminadas. La salud es un derecho fundamental, por lo que se deben tomar acciones para evitar enfermedades, siendo una de ellas, el monitoreo poblacional para consultar si han

poseído algún síntoma o virus, el cual se pueda relacionar con aguas contaminadas por excretas.

Otro aspecto que se identificó, es que en general, se observa que la mayor afectación y cargas se dan cuando los cauces pasan por sectores de producción agrícola, en segundo lugar por áreas de población que no es urbana pero de igual manera generan presiones considerables y que una vez llegados a la desembocadura del Tempisque mucho se ha diluido pero siempre llega contaminación al mar, el cual es un ecosistema frágil que debe ser preservado ya que no solo es sustento para las especies animales y vegetales sino que también es sustento para una gran cantidad de población humana.

6.3 Discusión de principales hallazgos

6.3.1. Luego de realizar la investigación se encontró evidencia de que el recurso hídrico está expuesto a niveles moderados a severos de contaminación (ver tabla 8) por aguas residuales agroindustriales y pecuarias. El nivel de contaminación de cada punto de estudio se obtuvo a través del Índice Holandés. Para los siete sitios de muestreo se observaron potenciales riesgos de contaminación, los cuales pueden afectar la calidad hídrica, la biota acuática, se pueden presentar más casos de muerte de peces, hay puntos que pueden llegar a presentar problemas debido a la eutrofización, como el punto Canal Cabeza de Vaca.

6.3.2. Los resultados de las muestras analizadas en el puente sobre el río Tempisque, ubicado en el poblado conocido como Guardia, perteneciente al cantón de Liberia; presentan valores que cumplen con la calidad fisicoquímica y microbiológica, según lo establecido en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Sin embargo, estos resultados no reflejan el efecto de las aguas drenadas por el río Liberia hacia el río Tempisque. Esto debido a que el río Liberia no desemboca en las cercanías de Guardia sino aguas abajo del sitio muestreado. Por lo tanto, la carga orgánica es menor con respecto al resto de las muestras analizadas.

6.3.3. Los coliformes fecales en las muestras analizadas presentan valores muy altas en comparación con lo que establece el Reglamento sobre la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (> 5000 NMP/100 mL) (ver tabla 9), lo cual es un posible indicador de vertido de aguas negras al cuerpo receptor o en los suelos, y estos están siendo arrastrados al río, por escorrentía, las misma va afectar en su totalidad la biota

de la zona incluyendo a la población humana, se debe recordar que estas zonas son llanuras aluviales, por lo que mucha del agua disponible para consumo por no decir toda se obtiene de las infiltraciones, por tanto, en las épocas de alta precipitación se pueden dar infiltraciones importantes de patógenos y coliformes fecales en las fuentes de agua de la población teniendo consecuencias perjudiciales para los mismos

6.3.4. El sitio Canal Cabeza de Vaca posee una significativa presión antropogénica, cabe la posibilidad de que haya un vertido de aguas negras, aguas grises, aguas residuales industriales, aguas residuales agrícolas sin previo tratamiento, en el cuerpo de agua Canal Cabeza de Vaca, debido a que estudios anteriores demuestran los cambios abruptos en la calidad hídrica, lo cual ha generado deceso de peces. En el estudio realizado para el presente proyecto, los indicadores siguiendo el Índice Holandés, señalan una contaminación severa, lo que puede influir sobre la biota acuática. Los monitoreos constantes en distintos puntos estratégicos pueden ayudar a determinar de dónde es proveniente la carga orgánica.

6.3.5. Los sitios de muestreo en el Puente La Amistad y en la desembocadura del río Bebedero poseen influencia por parte de las aguas salobres del Golfo de Nicoya, lo cual implica cambios sobre la calidad hídrica tanto en pleamar como en bajamar, lo que causa el aumento de las conductividades del agua del río y las concentraciones los sólidos disueltos. A pesar de que estos indicadores superan lo establecido por el Reglamento, no se puede establecer con certeza el estado del río en su parte más baja, dado a las condiciones que influyen sobre los parámetros a causa de la ubicación geográfica.

6.3.6. Los análisis se realizaron en puntos ubicados cerca del cauce principal y sobre él, por consiguiente, las aguas provenientes de ríos tributarios se diluyen con las aguas del río Tempisque, lo que genera que los parámetros fisicoquímicos se encuentran en los rangos cercanos a los establecidos por el Reglamento. Lo cual implica una falta de información referente a la carga contaminante real que poseen los ríos que desembocan en el río Tempisque.

6.4 Discusión sobre objetivos planteados

Los objetivos planteados en el presente proyecto fueron abordados según el cronograma de actividades (ver anexo 2) elaborado para la segunda etapa del estudio. Primeramente, se recopiló información documental y bases de datos sobre la calidad del recurso hídrico en la

parte media y baja de la cuenca del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica, a través de búsquedas bibliográficas; sin embargo, la información encontrada fue muy general, no existen estudios publicados que demuestren resultados de los sitios abordados en este proyecto. Por tanto, no se pudo hacer una comparación con datos previamente analizados.

En lo que respecta al segundo objetivo, se logró realizar el análisis de la calidad fisicoquímica y microbiológica del recurso hídrico en las muestras de los puntos críticos estudiados, a pesar de que los datos sólo representan valores del comportamiento de los cuerpos de agua en época lluviosa, se puede dar inicio a una base de datos, a partir de los futuros análisis que se realicen por parte del HIDROCEC-UNA y/u otras instituciones que vayan a llevar a cabo monitoreos en las zonas críticas de la parte media y baja de la CRT.

Por último, el tercer objetivo planteado el cual se basaba en la determinación de las muestras con mayor impacto socioambiental a partir del análisis de los indicadores de calidad de agua, se abordó mediante la aplicación del Índice Holandés, y se pudo establecer cuáles fueron los sitios que presentaron mayor vulnerabilidad.

6.5 Discusión sobre el diseño metodológico planteado

El análisis de la calidad hídrica es necesario realizarlo en época seca y en época lluviosa, para establecer los cambios que se pueden dar entre parámetros y transiciones. Cuando se realizan en época lluviosa, influye la dilución de las aguas superficiales, producto a la entrada de agua precipitada. El diseño metodológico se puede reforzar mediante la implementación de análisis mediante sistemas de información geográfica, en donde se pueden describir con mayor profundidad características de la cuenca. Asimismo, se pueden buscar nuevos sitios que estén vulnerables a la contaminación, y se pueden desplazar los puntos que en este estudio no presentaron concentraciones significativas. Un aspecto muy importante, es dar inicio al estudio de los efluentes, debido a que son más representativos con lo que sucede en las cercanías, mientras que si se estudian puntos que están en las desembocaduras, los parámetros son menos confiables, esto producto de mezcla de aguas.

6.7. Conclusión

El monitoreo de las fuentes de agua se convierte en una herramienta de gran importancia para su vigilancia. Los indicadores ambientales nacen como respuesta a la necesidad de obtener información, lo que permite la detección temprana de cambios en la

calidad del recurso. Es de vital importancia monitorear en las diferentes temporadas estacionales para obtener una visión global de los impactos que puedan estar afectando los cuerpos de agua, es importante recalcar que no van existir las mismas condiciones en el caudal de estiaje que en el caudal de época lluviosa y valerse de herramientas que conecten las distintas variables que se pueden encontrar, como el Índice Holandés que provee una visión global de los estados del agua. A la vez es importante en redes hídricas como la del Tempisque obtener una visión detallada de los componentes para identificar las fuentes puntuales de contaminación, ya que así se puede encontrar soluciones puntuales a la problemática, cabe resaltar que la gran mayoría de impactos se generan por acción antropogénica y derivados de las actividades y estilos de vida, para encontrar soluciones se debe primero educar a las poblaciones en la conservación y uso sostenible del recurso asimismo como en crear conciencia que los cauces no son depósitos de nuestros desechos sino más bien son una red que sustenta la vida y si esa red se daña nosotros nos veremos afectados también.

7. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se muestran las conclusiones obtenidas de los hallazgos descritos con anterioridad en el capítulo 6, y a partir de las conclusiones se plantean las recomendaciones que se pueden implementar ante la problemática existente en los puntos de monitoreo, así como las implicaciones que conlleva la aplicación de las distintas recomendaciones.

7.1 Conclusiones

Los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos analizados permitieron determinar que hay evidencia de contaminación en los sitios de muestreo, principalmente en el primer muestreo, en donde los valores indicaron contaminación severa y moderada (ver tabla 7), producto de la escorrentía superficial a causa de las primeras lluvias.

El sitio de muestreo en el Puente de Guardia presentó valores que cumplen con la calidad fisicoquímica y microbiológica, según lo establecido en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, y este no posee influencia por parte de las aguas drenadas del cantón de Liberia. Por lo tanto, el punto puede ser tomado como una zona de control, para referenciar los cambios a lo largo de la cuenca, según un

análisis comparativo entre las condiciones iniciales del cuerpo de agua y las modificaciones sobre los indicadores de la calidad, según el área de ubicación a lo largo de la cuenca.

Los coliformes fecales en los sitios de muestreo presentaron valores de alta significancia, a causa de las altas concentraciones estimadas, lo que implica que las aguas no son aptas para actividades de contacto primario, dado a que pone en riesgo la salud pública. El arrastre de contaminantes orgánicos a través de la escorrentía superficial puede ser una de las principales causas que genera el elevado número de coliformes fecales en los sitios estudiados. También, existe la posibilidad del vertido de aguas negras al cuerpo receptor o en los suelos, la misma va a afectar en su totalidad la biota de la zona incluyendo a la población humana. Se debe recordar que estas zonas son llanuras aluviales, por lo que la mayoría del agua disponible para consumo se obtiene de las infiltraciones, por tanto, en las épocas de alta precipitación se pueden dar infiltraciones importantes de patógenos y coliformes fecales en las fuentes de agua de la población teniendo consecuencias perjudiciales para los mismos

Al encontrarse los distintos puntos estudiados en una región donde hay alto desarrollo agrícola, pero con poblaciones rurales, existe poca fiscalización de cómo las personas se deshacen de las diferentes aguas de residuales que se producen, o muchas veces esta fiscalización no sucede debido a intereses mayores por parte de la industria que logra evitar los controles propuestos por la legislación comprando voluntades. También, la falta de información de los pobladores, los cuales poseen escaso o nulo conocimiento sobre el daño que causan, siendo así mismos el gran causante de estos males.

Pese a ello, la naturaleza por sí misma posee un grado de homeostasis con el cual se autorregula y busca el equilibrio de las diferentes condiciones presentes, como se observó con el índice holandés del segundo y tercer muestreo. Lamentablemente, muchas veces este equilibrio no es necesariamente favorable para el desarrollo antropogénico, en el caso de la desembocadura del río Bebedero y el sitio ubicado en el Puente de La Amistad, esto se vuelve un inconveniente para determinar las cargas contaminantes que el río pueda arrastrar por lo que complica el trabajo de campo de los hidrólogos que buscan determinar la calidad de las aguas.

Finalmente, el cauce principal de la CRT es de gran extensión y muy caudaloso, por lo que las aguas que llegan al río Tempisque se diluyen y, por tanto, los indicadores de la calidad

hídrica señalan valores que no catalogan al ecosistema acuático con una alta o moderada contaminación, esto genera una falta de conocimiento en lo que respecta el estado real del aporte que poseen los ríos tributarios sobre el río principal de la cuenca. Esto implica la generación de un ambiente deteriorado en la parte baja de las microcuencas, porque no se han establecido medidas de mitigación ante cambios abruptos por contaminantes, lo cual está reflejándose en problemáticas que van desde descenso en la biodiversidad, degradación del espacio natural y los seres vivos que la habitan, hasta la aparición de enfermedades que pueden llegar afectar incluso al ser humano y en algún punto extremo volver no habitable un lugar por falta de recursos o el alto grado de contaminación de los mismos aunque el ser humano si tiene una alta capacidad de adaptación, el vivir así acarrea consecuencias a la salud y al bienestar.

7.2 Recomendaciones

7.2.1. En primera instancia se sospecha que el origen de la contaminación proviene de la actividad agroindustrial y pecuaria que se desarrolla en las zonas aledañas. Sin embargo, se necesita realizar más estudios, que permitan establecer cuáles son las fuentes de contaminación puntuales y definir las fuentes difusas a través de conocer cuáles sustancias están presentes en el agua y asociar las mismas a fuentes puntuales de contaminación. Para determinar las fuentes de contaminación y las sustancias asociadas, se deben realizar monitoreos de la calidad hídrica, en puntos estratégicos, que permitirán establecer cuál es el estado del sitio de estudio. A través del apoyo de la CIGITEN, se puede desarrollar un plan de muestreo y análisis hídrico. El muestreo se debe realizar en época seca y época lluviosa para tener un panorama más claro de la situación, y en donde se debería analizar una vez al mes, de ser necesario. El estudio que se debe realizar es el N1 y los indicadores que se analizan a través del Índice Holandés, dado a que son los parámetros que solicita el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (N°33903-MINAE-S), con un enfoque en el tipo de contaminación, lo que permitirá la búsqueda de soluciones ante la problemática existente.

7.2.2. A partir de los resultados obtenidos, se puede establecer el sitio de muestreo en el Puente de Guardia como el punto de control durante los monitoreos. Cada vez que se realicen los estudios de la calidad hídrica en la parte baja de la CRT, es necesario realizar un análisis

fisicoquímico y microbiológico en el Puente de Guardia. A partir de la comparación, se pueden determinar posibles fuentes de contaminación, en donde se incluyen distintos factores, como las aguas residuales y otros desechos de los sectores productivos de la zona, ríos tributarios, la escorrentía e incluso la sedimentación, producto de materiales utilizados en obras o trabajos desarrollados en las cercanías del cuerpo receptor. El monitoreo sobre este punto de control podría ser realizado por la CIGITEM, debido a que es la organización encargada por velar a nivel ambiental por la Cuenca del Río Tempisque. En forma complementaria, algunas instituciones como las universidades, institutos de investigación, ONG y empresas de consultoría ambiental, pueden realizar estudios cualitativos y cuantitativos sobre los resultados de los muestreos, con lo que respecta al estado de cuerpos de agua superficial. El trabajo se debe desarrollar preferiblemente una vez al mes, a través de ensayos de laboratorio e *in situ*, siguiendo el N1 e Índice Holandés, el cual puede tener un costo de ₡220.000 colones por cada muestra, lo cual sería una inversión anual de aproximadamente ₡2.640.000 por sitio muestreado.

7.2.3. A través de un estudio de la disposición de las aguas residuales se puede establecer si el tratamiento que se le brinda al agua es apto para prevenir el aumento de la contaminación orgánica. Asimismo, se debe cuantificar las zonas que poseen sistemas de tratamiento de aguas residuales, a partir del estudio, se debe hacer un plan de monitoreo para las aguas servidas tratadas, con la finalidad de identificar las posibles zonas de contaminación. El estudio de aguas residuales tratadas por las industrias ubicadas a las cercanías del cauce es un arduo trabajo por el hecho de que los permisos son difíciles de obtener y las empresas poseen poca comunicación con profesionales externos. Durante la ejecución del presente proyecto se trató de gestionar visitas a distintos ingenios de la región de estudio; sin embargo, las empresas no brindaron los permisos correspondientes. Por lo tanto, lo primero que se debe realizar es confeccionar cartas dirigidas hacia cada industria cercana a donde se están presentando los problemas de contaminación sobre el recurso hídrico, en donde se indiquen los riesgos que están aconteciendo y las implicaciones que conlleva dicha problemática. Según las respuestas que se obtengan, se tomarán las medidas necesarias para iniciar con el análisis de la calidad hídrica. Lo anterior, puede ser abordado por la CIGITEM y/u otras organizaciones que velen por el recurso hídrico. Referente a los recursos económicos que se

necesitarán para el estudio, se pueden buscar ayudas de centros especializados en la protección del preciado elemento.

7.2.4. Se debería delimitar el sector poblacional el cual cuenta con menor acceso a la información, como el caso de los adultos mayores, en donde la prioridad sea informar a las personas de los retos y oportunidades que se pueden desarrollar para hacerle frente a la crisis a causa de la contaminación de los ríos de la zona. Por consiguiente, iniciar un plan en donde se abarquen temas de comunicación de riesgos comunitarios y cómo enfrentarlos, así como charlas sobre la gestión de residuos, donde los pobladores se informen sobre los patrones que deben seguir referente a la disposición de desechos orgánicos e inorgánicos. Mediante voluntariados se pueden organizar este tipo de actividades, los cuales se pueden organizar por medio de las universidades u organizaciones del estado y/o no gubernamentales. El costo va a depender de dónde se trasladan las personas, la alimentación y en caso de ser profesionales el costo que implica la ejecución de proyectos comunitarios como el mencionado.

7.2.5. El río Bebedero se podría muestrear más arriba de su desembocadura, en donde las aguas no se hayan diluido con las provenientes del cauce principal de la cuenca, a partir de ello, determinar la carga real que aportan las aguas provenientes del río Bebedero sobre el río Tempisque. Las muestras que se analicen del río Bebedero deben ser muestreadas preferiblemente 300 a 500 metros antes de la desembocadura, con el fin de establecer la carga que aporta el mismo, y determinar si está influyendo sobre la calidad hídrica del cauce principal del río Tempisque. En caso de ser un punto que presente de moderados a altos niveles de contaminación, se deben monitorear zonas vulnerables para establecer los posibles focos de descarga de materia orgánica. El monitoreo primeramente mencionado se debe hacer una vez al mes como mínimo, en caso de que los valores indiquen un aporte de contaminantes se puede llevar a cabo un plan de estudio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. El costo monetario va a depender de la cantidad de muestras, en donde los indicadores que se estudien sean los descritos en el Decreto N°33903-MINAE-S.

7.2.6. Es fundamental iniciar el monitoreo de la calidad hídrica en los ríos tributarios aledaños a la CRT, para dar a conocer con mayor certeza el estado en el que se encuentran. A partir de la determinación de los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos se pueden establecer

planes para el mejoramiento de los ecosistemas acuáticos, así como medidas de mitigación para evitar daños a futuro. El plan de monitoreo en los efluentes es un proyecto de gran necesidad medioambiental, porque a partir de la generación de resultados, se puede determinar los posibles contaminantes y su influencia sobre los cuerpos acuáticos. El estudio puede ser realizado bajo proyectos que protejan el recurso hídrico, como por ejemplo la Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica, en conjunto con otros centros que posean un objetivo afín, como el HIDROCEC-UNA, o en proyectos de las distintas universidades, que se centran en la gestión del recurso hídrico.

Referencias bibliográficas

- Ahrens, C. & Henson, R. (2021). *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment* (13ed). Estados Unidos: Cengage learning.
- Álvarez, J., Panta, J., Ayala, C., & Acosta, E. (2008). Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica del Río Amajac. *Información tecnológica*, 19(6), 21-32.
- Arango, M., Álvarez, L., Arango, G., Torres, O. & Monsalve, A. (2008). Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista Eia*, (9), 121-141.
- Báez, W. (2014). Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de recursos naturales. *Revista Chapingo*, 13(2), 39-45.
- Benjumea, C., Bedoya, C. & Álvarez, D. (2014). Nutrients load evolution of high mountain rivers flowing into a reservoir, Magdalena-river mid-basin. *Revista EIA*, (22), 77-91.
- Binda, N., & Balbastre, F. (2013). Investigación cuantitativa e investigación cualitativa: buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación. *Revista de Ciencias económicas*, 31(2), 179-187.

- Bolaños, J., Montero, N., Rodríguez, N., & Sánchez, A. (2015) Calidad de aguas superficiales: estudio de la Quebrada Estero, ubicada en San Ramón. *Revista Pensamiento Actual*, 15 (61-76), 25.
- Bostrom, B., Andersen, S., Flescher, A. & M. Jansson. (1988). Exchange of phosphorus across the sediment–water interface. *Hidrobiología* 179: 229–244.
- Calvo-Brenes, G., & Araya-Ulloa, A. (2018). Evaluación de dos índices de calidad del agua en varios sitios de la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(4), 73-83.
- Chaves, E. (2008). Valoración del agua en la cuenca del Río Tempisque: Un ejemplo sobre el método de valoración contingente. *Uniciencia*, 22(1-2), 19-31.
- Corea, L., Zamora, M., & Flores, A. (2008). *Manual para realizar Estudios de Prefactibilidad y Factibilidad*. Managua: Ministerio de transporte e infraestructura.
- Cotler, H., & Martínez, C. (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México* (1ed.). Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cotler, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R., & Ríos, E. (2013). *Cuencas Hidrográficas. Fundamentos y Perspectivas para su Manejo y Gestión* (1ed). Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cover, A. (2007). Conflictos socioambientales y recursos hídricos en Guanacaste; una descripción desde el cambio en el estilo de desarrollo (1997-2006). *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 359-385.
- Crespo, A. (09 de junio de 2016). Ganaderos guanacastecos enfrentan las consecuencias del cambio climático. *La Voz de Guanacaste*. <https://vozdeguanacaste.com/ganaderos-guanacastecos-enfrentan-las-consecuencias-del-cambio-climatico/>

- Echeverría, A., Echeverría, J., & Mata, A. (1998). Plan de acción para la cuenca del río Tempisque. Antecedentes del estudio y resumen ejecutivo. *Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica*.
- Edelman, M. (1987). El distrito de riego de Guanacaste (Costa Rica) y la política del agua. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 95-111.
- Faustino, J., & Jiménez, F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Ferat, M., Galaviz, I., & Partida, S. (2020). Evaluación de nitrógeno y fósforo total en escorrentías agropecuarias en la cuenca baja del río Usumacinta (Tabasco, México). *Ecosistemas*, 29(1).
- Franco, D., Manzano, J., Cuevas, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, 78(1), 25-33.
- García, J. (1999). *Análisis preliminar del uso de plaguicidas en la Cuenca del Río Tempisque*. Revista Acta Académica, Universidad Autónoma de Centro América, 25, pp 51-62, ISSN 1017-7507.
- Garrido, A., Pérez, J., & Enríquez, C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*. Instituto de Ecología de México Press, México, 14-17.
- González, S., Ramírez, Y., Meza, A., & Díaz, L. (2012). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 16(2), 135-148.
- Hakanson, L., Mikrenska, M., Petrov, K., & Foster, I. (2005). Suspended particulate matter (SPM) in rivers: empirical data and models. *Ecological Modelling*, 183(1), 251-267.
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje: análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 19(1), 42.

- Jiménez, J. (2005). *Conceptualización de caudal ambiental en Costa Rica: determinación inicial para el Río Tempisque*. IUCN.
- Jiménez, J., & González, E. (2001). *La cuenca del río Tempisque: una perspectiva para un manejo integrado (1ed)*. San José, Costa Rica: Organización para Estudios Tropicales.
- López, R., & Patrón, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*.
- Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50.
- Lozada, P., Vélez, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín*, 8(15), 3.
- Maldonado Ulloa, T., Bravo, J., Castro, G., Jiménez, Q., Saborío, O., & Paniagua, L. (1995). *Evaluación ecológica rápida, región del Tempisque, Guanacaste, Costa Rica*. Fundación Neotrópica, San José (Costa Rica). Centro de Estudios Ambientales y Políticas.
- Martí, E., & Sabater, F. (2009). Retención de nutrientes en ecosistemas fluviales. Conceptos y técnicas en ecología fluvial: 117-132.
- Medellín, G., Mariño, I., Pedrozo, A., Enríquez, C. & González, F. (2013). Influencia de la marea en la hidrodinámica del sistema Mechoacán-río González, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(2), 71-90.
- Medellín, G., Mariño, I., Pedrozo, A., Enríquez, C., González, F. (2013). Influencia de la marea en la hidrodinámica del sistema Michoacán-río González, México. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(2), 71-90.
- MINAE. (2011). Estudio de las cuencas hidrográficas de Costa Rica. Recuperado de <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/EstudioCuencas/EstudioCuencas-cuencaRioTempisque.pdf>

- Monge, J. & Gómez, P. (2007). *Tempisque: una cuenca de alta de alta diversidad ecológica en el noroeste de Costa Rica*. Revista Biocenosis, 20(1-2), 1.
- Mora, D., Portuguez, C. & Brenes, G. (2002). *Evaluación de la contaminación fecal de la cuenca del río Tempisque 1997-2000*. Revista Costarricense de Salud Pública, 11(20), 1.
- Mora, J. (2016). El Tempisque, un gigante que muere en silencio. *Seminario Universidad*. Recuperado de <https://semanariouniversidad.com/pais/tempisque-gigante-muere-silencio/>
- Núñez, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual*, 5(1), 1.
- OECD. (1982). *Eutrophication of waters: monitoring assessment and control*. Organisation for Economic and Cooperative Development, Paris, France.
- Perevochtchikova, M., Aponte, N., Zamudio, V., & Sandoval, G. (2016). Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua: caso Ajusco, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 5-23.
- Pita Fernández, S., & Pértegas Díaz, S. (2002). Investigación cuantitativa y cualitativa. *Cad Aten Primaria*, 9(1), 76-78.
- Real, E. (1994). Flujos de amonio, nitrito, nitrato y fosfato a través de la interfase sedimento-agua, en una laguna tropical. *Ciencias Marinas*, 20(1), 65-80.
- Reglamento de Calidad de Agua Potable, N°32327, de La Presidencia de la República y El Ministerio de Salud.
- Rogers, C.S., G. Garrison, R. Grober, Z.M. Hillis & M.A. Franke. 2001. Manual para el monitoreo de arrecifes de coral en el Caribe y el Atlántico occidental. T.N.C. y W.W.F., Islas vírgenes, EE UU.
- Rojas, J, Pérez, M., Malheiros, T., Madera, C., Prota, M., & Santos, R. (2013). Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico

en Suramérica: los casos de Brasil y Colombia. *Revista Ambiente & Agua*, 8(1), 73-97.

Rojas, J. (2021). *Mortandad de peces en aguas de la cuenca del río Las Palmas*, Ortega. HIDROCEC-UNA.

Roldán, G. (1992). *Fundamentos de limnología neotropical*. Ed. Univ. Antioquía, Medellín, Colombia.

Sapag, N., & Sapag, R. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. Mc Graw Hill Interamericana.

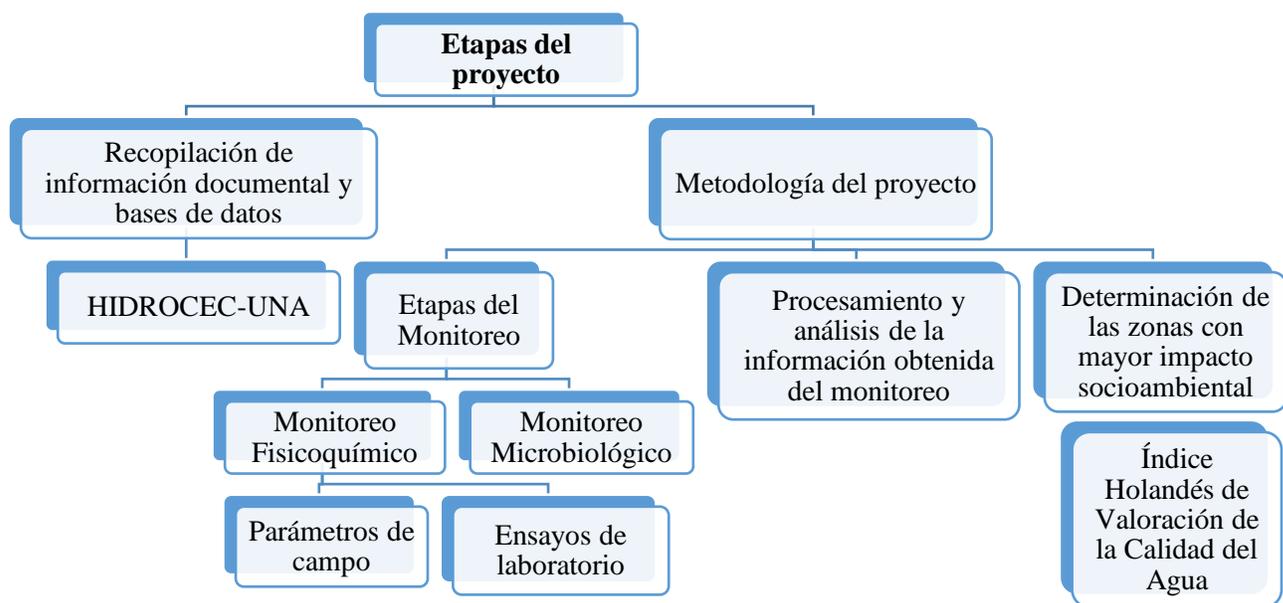
Tovar, A., Botero, M., & Carvajal, L. (2008). Revisión de criterios y metodologías de diseño de redes para el monitoreo de la calidad del agua en ríos. *Avances en recursos hidráulicos*, (18), 57-68.

Vaughan, C., McCoy, M., Fallas, J., Chaves, H., Barboza, G., Wong, G., & Carbonell, M. (1994). *Plan de Manejo y Desarrollo Parque Nacional Palo Verde y Reserva Biológica Lomas Barbudal*. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Villarreal, J. (2000). Tamaño poblacional, reproducción y hábitat del jabirú (*Jabiru mycteria*) en el área de conservación Tempisque, Costa Rica. *Ministerio del Ambiente y Energía (Área de Conservación Tempisque), Instituto Nacional de Biodiversidad, Organización para Estudios Tropicales y American Bird Conservancy. San José, Costa Rica.*

Anexos

Anexo 1. Etapas para la realización del proyecto.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Anexo 2. Cronograma de actividades del desarrollo del proyecto

Actividad	Agosto					Setiembre					Octubre				Noviembre			
	W19	W20	W21	W22	W23	W24	W25	W26	W27	W28	W29	W30	W31	W32	W33	W34	W35	W36
Revisión bibliográfica																		
Capítulo 6																		
Capítulo 7																		
Visitas de campo																		
Tomas de muestras																		
Desarrollo de los objetivos																		
Objetivo 1																		
Objetivo 2																		
Objetivo 3																		
Últimos detalles																		
Presentación del proyecto																		

Fuente: Elaboración propia, 2021.