



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL CHOROTEGA, *CAMPUS* LIBERIA.
INGENIERÍA HIDROLÓGICA

Proyecto Final de Graduación:

Determinación de la calidad del agua en la zona marino-costera mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos en Playa Tamarindo, cantón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica

Como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería

Hidrológica

Equipo supervisor:

Dra. Andrea Suárez Serrano

M.Sc. Johanna Rojas Conejo.

Dr. Christian Gólcher Benavides

Sustentantes:

Luis Gabriel Cordero Campos

Céd. N.º 1-1598-0152

Jorge Enrique Angulo Quintero,

Céd. N.º 1-1663-0765

Libera, Guanacaste.

Enero, 2023.

INTEGRANTES DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Proyecto Final de Graduación

El proyecto final de graduación titulado “Determinación de la calidad del agua en la zona marino-costera mediante análisis fisicoquímicos en Playa Tamarindo, cantón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica” fue sometido a la consideración del tribunal examinador integrado por los siguientes representantes.

MSc. Medardo Moscoso Vidal

Representante de Decanatura, Sede Regional Chorotega

Dr. Fernando Gutiérrez Coto

**Representante de Dirección Académica de la Universidad Nacional,
Campus Liberia**

Dra. Andrea Suárez Serrano

Tutora

MSc. Johanna Rojas Conejo

Lector

Dr. Christian Gólcher Benavides

Lector

Resumen

Durante los últimos ochenta años, en Costa Rica se ha presentado un crecimiento turístico que trajo consigo el aumento demográfico, la demanda de servicios y múltiples actividades comerciales, principalmente en la zona costera.

También ha habido un aumento en los vertidos de aguas residuales sin tratamiento a cuerpos de agua superficial y zonas costeras. El caso de Tamarindo, Guanacaste, es uno de los más importantes, dado que son muchas las alcantarillas que descargan aguas en la playa con importantes concentraciones de bacterias y contaminantes fisicoquímicos, lo cual es común observarlo en la zona, pese a que eso afecta directamente al turismo.

Siendo así, los vertidos de aguas residuales en Tamarindo podrían llegar a generar una problemática de salud pública en la zona, pues el grado de contaminación también puede llegar a afectar la salud de los bañistas como consecuencia del deterioro de la calidad del agua.

El objetivo es determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica de la zona marina costera en Playa Tamarindo, asociada con los contaminantes vertidos al alcantarillado, con el fin de contribuir con la planificación de actividades de gestión en la zona.

Abstract

In Costa Rica, during the last 80 years there has been a growth in tourism that brought with it demographic growth, the demand for services and commercial activities, mainly in the coastal zone.

The situation has also generated an increase in untreated wastewater discharges into bodies of surface water and coastal areas. The case of Tamarindo, Guanacaste, is one of the most important, given that there are many sewers that discharge water with significant concentrations of bacteria and physicochemical contaminants onto the beach, which is common to observe in the area, affecting tourism.

Wastewater discharges in Tamarindo could generate a public health problem in the area, since the degree of contamination can affect the health of bathers, in response to the deterioration of water quality.

The objective is to determine the physicochemical and microbiological quality of the coastal marine zone in Tamarindo beach, associated with the pollutants discharged through the sewage, in order to contribute to the planning of management activities in the area.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le agradezco a Dios que nos haya acompañado durante este largo proceso el cual se inició en el año 2016.

A la Universidad Nacional de Costa Rica, al HIDROCEC, que nos dio la oportunidad y la confianza de poder realizar este proyecto con ellos; así como a todos los profesores que han sido una guía en este proceso de aprendizaje.

A las profesoras Andrea Suárez y Johanna Rojas por el apoyo recibido de ellas durante el desarrollo del proyecto.

Gabriel,

En primer lugar agradecer a Dio que me permitió concluir esta etapa de mi vida, ami compañero Jorge que a pesar de las dificultades dadas lo largo del camino nme brindo el apoyo fundamental para terminar este proceso, a mi familia en especial a mi Madre Ana Campos y Padre Luis Cordero los cuales siempre me apoyaron, a mis amigos los cuales fueron un pilar en vida Fabricio Sierra, Kendy Pérez, Sheyris Ortega, Corina Gómez, María Valeria Montiel, Andrea Salazar y Magally Rosales por su amistad y por el apoyo dado en todo este tiempo de carrera y por ultimo a Dinia Navarro Mora, quien ha sido como una hermana para mí y un pilar en mi vida.

Jorge,

Y a mi familia que me ha apoyado a lo largo de este recorrido.

A mi madre, mi padre, hermanas y abuela, quienes siempre me apoyaron durante todo este proceso.

A mi novia Anixa Benavente que en todo momento me apoyó y creyó en mí.

A mis amigos y colegas Francis Quintana, Armando Busto, Kevin Zamora, Javier Quintana

¡Muchas gracias!

DECICATORIA

Dedicado a mi madre (Johanna Quintero), a mi padre (Warner Angulo) y a mi hermano (Warner Quintero) por ser pilares en mi vida.

Jorge Ángulo Quintero

Dedicado a mi madre Ana Campos, a mi padre Luis Cordero, a mis hermanas Jeimmy Cordero Campos, a Maureen Cordero Campos, Karen Cordero Campos, Johanna Villalobos Campos y a mi hermano Breiner Villalobos Campos; a mi abuela Bertilia Mora Piedra, lo mismo que a mi abuelo Rodolfo Campos Valverde (QEDP, que siempre me dio su apoyo incondicional durante todo este proceso.

Gabriel Cordero Campos

Índice	
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	11
1.3 Planteamiento del problema.....	12
1.4 Justificación.....	13
1.5 Objetivos	14
1.5.1 Objetivo general	14
1.5.2 Objetivos específicos.....	14
1.6 Alcances y limitaciones.....	14
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.....	15
2.1. Localización geográfica de la zona de estudio.....	15
2.2 Características generales de la cuenca-río de la Península de Nicoya.	16
2.2.1 Localización	16
2.2.3 Geografía de la cuenca	16
2.2.3 Red hidrográfica	16
2.3.4 Geología	17
2.3.5 Hidrogeología.	17
2.4. Actividades socioeconómicas.	17
2.5. Tipo de suelos.	17
2.6. Clima de la cuenca.	17
CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO.....	19
3.1 Ordenamiento territorial.....	19

3.2 Aguas residuales.....	20
3.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales y sus procesos.	21
3.4 Vertidos.	22
3.4.1 Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, N° 33601.	22
3.4.2 Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertidos, N° 34431. .	23
3.4.3 Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, N° 39887-S-MINAE.	23
3.5 Ecosistemas marinos-costeros.....	23
3.6 Alcantarillado sanitario y pluvial.	23
Tabla 1. <i>Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua para cuerpos receptores.</i>	24
Tabla 2. <i>Cuadro de asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.</i>	25
CAPÍTULO 4. ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD.....	26
Figura 2. Diagrama de flujo para la comparación de viabilidad del proyecto final de graduación.....	26
4.1 Prefactibilidad ambiental	27
4.2 Prefactibilidad legal	27
4.3 Marco legal.....	27
Tabla 3. <i>Marco legal de Costa Rica relacionado con el proyecto final de graduación.</i>	28
4.4 Prefactibilidad social.	30
Tabla 4. <i>Lista de actores sociales vinculados con el Proyecto Final de Graduación.</i>	30
4.4 Prefactibilidad técnico-financiera	33
4.4.1 Prefactibilidad técnica.....	33
Tabla 5: <i>Componentes técnicos para el desarrollo del proyecto</i>	33
4.4.2 Prefactibilidad financiera	34
Tabla 6: <i>Presupuesto global del proyecto</i>	34
4.5 Conclusión general.....	35
CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA	36
5.1 Identificación de vertidos.....	36

5.2 Recolección de muestra.....	36
5.3 Técnicas de muestreo de aguas	37
5.4 Análisis físicos-químicos	37
5.5 Parámetros microbiológicos.....	37
Tabla 7. <i>Puntos de vertidos identificados en Playa Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste.</i>	40
Tabla 8: <i>Identificación de puntos de muestreo para la colecta de muestras en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.</i>	41
<i>Ministerio de Salud</i>	42
<i>Acueducto y alcantarillado</i>	43
<i>ASADA de Tamarindo</i>	43
<i>Municipalidad de Santa Cruz</i>	44
6.2 Resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales y río.....	44
Tabla 8. <i>Parámetros físico-químicos y microbiológicos de las muestras en playa Tamarindo.</i>	45
6.3 Resultados de parámetros fisicoquímicos, parámetros en mar.	46
Tabla 9. <i>Parámetros físicos de las muestras de mar en playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.</i>	46
6.4 Aplicación del índice holandés y del Índice de Calidad de Agua (ICA) para la valoración de la calidad fisicoquímica del agua para cuerpos receptores	52
Tabla 10. <i>Asignación de puntajes según el Índice Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua para las muestras analizadas.</i>	52
Tabla 11. <i>Resultados obtenidos del Índice ICA para la calidad del agua en los puntos de muestreo</i>	53
Tabla 12. <i>Resultados microbiológicos de coliformes fecales y Escherichia coli en las muestras de aguas residuales en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.</i>	54
Tabla 13. <i>Resultados de los análisis microbiológicos de Escherichia Coli en las muestras de mar en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.</i>	55
Tabla 14: <i>Criterios de clasificación de las playas de acuerdo con los niveles de Enterococcus presentes en el agua.</i>	57
Tabla 15: <i>Criterios de clasificación de las playas de acuerdo con los niveles de Escherichia coli presentes en el agua.</i>	57
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
Bibliografía.	61

Índice de figuras	
Índice de tablas.	9
Figura 2. Diagrama de flujo para la comparación de viabilidad del Proyecto Final de Graduación.	26
Figura 3. Visita a la zona de Playa Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste.	31
Figura 4. Reunión con la Junta Administrativa de la ASADA Tamarindo.	32
Figura 5. Gira de muestreo en la zona marítimo-costera de Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.	32
Figura 8. Muestreo en el punto de vertido Hacienda El Pacífico, Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.	48
Figura 9. Identificación del punto de vertido Porto Fino, Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.	49
Figura 10. Muestreo en el punto de vertido Johnny Tamarindo, Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.	49
Figura 11. Determinación de parámetros fisicoquímicos en laboratorio, HIDROCEC-UNA, Campus Liberia, Universidad Nacional, 2022.	50
Figura 12. Toma de las muestras de agua de mar en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.	57
Índice de tablas.	
Tabla 1. <i>Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua para cuerpos receptores.</i>	24
Tabla 2. <i>Cuadro de asignación de clases de calidad al agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.</i>	25
Tabla 3. <i>Marco legal de Costa Rica asociado con el proyecto final de graduación.</i>	28
Tabla 4. <i>Lista de actores sociales vinculados con el proyecto final de graduación.</i>	30
Tabla 5: <i>Componentes técnicos para el desarrollo de proyecto.</i>	33
Tabla 6: <i>Presupuesto global del proyecto</i>	34
Tabla 7. <i>Puntos de vertidos identificados en Playa Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste.</i>	40

Tabla 8: <i>Identificación de puntos de muestreo para la colecta de muestras en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.</i>	41
Tabla 8. <i>Parámetros físico-químicos y microbiológicos de las muestras en Playa Tamarindo.</i>	45
Tabla 9. <i>Parámetros físicos de las muestras de mar en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.</i>	46
Tabla 10. <i>Asignación de puntajes según el Índice Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua para las muestras analizadas.</i>	52
Tabla 11. <i>Resultados obtenidos del Índice ICA para calidad de agua en los puntos de muestreo</i>	53
Tabla 12. <i>Resultados microbiológicos de coliformes fecales y Escherichia coli en las muestras de aguas residuales en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.</i>	54
Tabla 13. <i>Resultados sobre los análisis microbiológicos de Escherichia coli en las muestras de mar en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.</i>	55
Tabla 14: <i>Criterios de clasificación de las playas de acuerdo con los niveles de enterococcus presentes en el agua</i>	57
Tabla 15: <i>Criterios de clasificación de las playas de acuerdo con los niveles de Escherichia coli presentes en el agua.</i>	57

Índice de anexos.

Anexo 1, Punto de vertidos 1	67
Anexo 2, Vertido Pangas Beach Club	67
Anexo 3, Punto de vertidos N.º 3	67
Anexo 4, Punto de vertidos N.º 4	68
Anexo 5. Punto de vertidos N.º 5	68
Anexo 6, Vertido Wichis Rock.....	68
Anexo 7. Vertido frente al Hotel Marielos.	69
Anexo 8. Vertido de Tamarindo Diría N.º 3.....	69
Anexo 9. Punto de vertido N.º 9.....	69
Anexo 10. Vertido Johnny Tamarindo	70
Anexo 11. Vertido Tamarindo Diría.....	70
Anexo 12. Vertido Porto Fino.....	70
Anexo 13. Vertido circundante a Beach Lya Art.....	71
Anexo 14. Vertido Casa.....	71

Anexo 15. Vertido Bar el Chiringuito	71
Anexo 16. Vertido Casa.....	72
Anexo 17. Vertido the Cost Hotel	72
Anexo 18. Vertido Casa.....	72
Anexo 19. Vertido Blue Loogon.....	73
Anexo 20. Vertido Casa.....	73
Anexo 21. Vertido Hacienda El Pacífico.....	73
Anexo 22. Vertido cercano a casa y Hotel.....	74
Anexo 23. Vertido Manglar Tamarindo.	74

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Las actividades económicas de Costa Rica han venido evolucionando y adaptándose con el paso de los años. Tradicionalmente, la economía costarricense se ha caracterizado por ser una economía agrícola basada en la exportación de café y banano. Sin embargo, desde los años 80 Costa Rica ha venido experimentando un proceso de transformación económica al ir diversificando su economía y evolucionando hacia un sector terciario (Picón, 2007), lo que ha provocado que el sector turístico de Costa Rica presente un auge, el que ha aumentado durante los últimos años.

La provincia de Guanacaste, durante los últimos años, se ha posicionado como un destino turístico de excelencia por su gran belleza natural, así como por el rico tesoro cultural y tradicional que tanto la caracteriza y diferencia del resto del país. Además, ha presentado altos niveles de improvisación y especulación, tanto en la estructura de precios de la tierra como en el propio uso de ella, con efectos negativos para el desarrollo del turismo de largo plazo (Picón, 2007).

Las zonas costeras de esta provincia se han convertido en un foco de inversión, especialmente en Playas del Coco, Playa Hermosa, Playa Conchal, Brasilito, Playa Sámara y Playa Tamarindo, por mencionar algunas. Estas playas han gozado de mucha popularidad en el país e internacionalmente, como la tiene Playa Tamarindo, que es una de las playas con mayor cantidad de visitantes. Tamarindo ha experimentado un acelerado crecimiento debido a su atractivo turístico, económico, social y ambiental. Sin embargo, este crecimiento ha generado una serie de problemáticas cada vez más perniciosas para la población local, para los visitantes y para el ecosistema de la zona marino-costera.

Dentro de los problemas que existen en Playa Tamarindo está la poca planificación territorial existente en esta zona, una realidad que aqueja a todo el país. Sin embargo, según Picón (2007) la falta de ejecución de programas de planificación del turismo en zonas costeras, como las de Santa Cruz de Guanacaste, se manifiestan principalmente en los problemas actuales y en los previsible en el futuro que se relacionan, sobre todo, con los conflictos en zonas públicas y áreas de protección, así como en áreas con problemas de viabilidad ambiental para el desarrollo de infraestructura, tanto privada como pública.

El caso de Playa Tamarindo es muy particular debido a que esta playa es uno de los destinos turísticos más importantes de la Región de Latinoamérica y El Caribe, con su atractivo turístico pero con el crecimiento urbanístico y hotelero descontrolado (Mora,2009). Todo este crecimiento provoca que se den vertidos de aguas residuales en las márgenes de Tamarindo, descargas que son cada vez más grandes y que van en aumento conforme crecen los complejos turísticos. Sumado a esto, los vertidos que se extienden a lo largo de la vertiente de la playa generan un impacto en la calidad del agua que compromete la salud de los ecosistemas costero-marinos.

1.3 Planteamiento del problema

En Costa Rica, la cobertura y el tratamiento están distribuidos. Según Ruiz (2012), 25,56% lo cubre un alcantarillado sanitario, 73,82% cuenta con servicios de saneamiento, como tanques o fosas sépticas, y solo 0,39% no tiene cobertura alguna.

La poca cobertura que hay en Playa Tamarindo de tratamiento de aguas residuales es tan deficiente que, según Mora (2019), Playa Tamarindo mantiene un alto índice de riesgo sanitario en sus aguas para el sector norte de la playa y bajo el sector sur.

En el año del 2007 el Ministerio de Salud, en conjunto con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), realizaron inspecciones sanitarias para finalmente notificar la existencia de 11 puntos de descargas de aguas residuales directamente a la playa. Posteriormente, el Ministerio de Salud emitió órdenes sanitarias a más de 80 establecimientos comerciales y, en consecuencia, se limpiaron los tanques sépticos de la zona (Mora, 2009).

El vertido de aguas residuales en Playa Tamarindo no solo compromete la salud de los bañistas sino que también los ecosistemas de la zona marino-costera se ven afectados. El exceso de contaminación degrada la calidad del agua de la playa y provoca la muerte de peces por falta de oxígeno, y en ese sentido las mareas rojas son una problemática recurrente (Aranda, 2004).

En atención a esta problemática de vertido de aguas residuales en Playa Tamarindo se anunció la ejecución de un programa de saneamiento en zonas prioritarias del Gran Puntarenas, Tamarindo y El Coco – Sardinal. Según el AyA (2020) este proyecto contempla una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), la cual comprende los tratamientos primario, secundario y terciario, cuya descarga final se ubica mar adentro.

Con la construcción de esta PTAR se evita la propagación de enfermedades en las playas y se sacan de operación los tanques sépticos, y así, en cambio, se propicia la protección del ambiente, incluido el ecosistema marítimo (recuperación ambiental), y mejora la percepción del turista desde el punto de vista ambiental, valoración de terrenos, protección de recursos hídricos superficiales y subterráneos, lo que permitiría un desarrollo sustentable.

En función de lo anterior, en este estudio se procura determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica de la zona marino-costera de Playa Tamarindo, con la finalidad de generar conocimiento actualizado de calidad ligada a la situación actual que presenta la problemática de los vertidos de aguas residuales en Playa Tamarindo, y se adquiere mayor conciencia de las implicaciones que generan los vertidos de aguas residuales y de la necesidad de resolver esta problemática con la mayor prontitud.

1.4 Justificación

El crecimiento poblacional que se ha dado en la zona de Playa Tamarindo, en cuanto a la inversión en la construcción de complejos turísticos como hoteles, sitios de entretenimiento y comercios, trae consigo un posible aumento de aguas residuales y desechos sólidos que, de no recibir un adecuado tratamiento, pueden llegar a afectar la zona costera, por lo que es importante conocer la calidad del agua en la zona costera de Playa Tamarindo.

Sin embargo, el aumento del sector turístico no es el único responsable de la posible contaminación que pueda darse en la playa, pues, la población local también forma parte de las problemáticas de contaminación ambiental, dado que muchas personas vierten las aguas de sus hogares en la playa, o tienen tanques sépticos los cuales en su mayoría no cuentan con las especificaciones establecidas por el AyA.

De igual forma, la poca planificación territorial que existe en Playa Tamarindo ha permitido que muchas construcciones se realicen al margen de la zona costera, lo que pone en peligro a la infraestructura, y también eso se convierte en un posible foco de contaminación.

El estudio generará resultados sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de algunas alcantarillas que se descargan en la playa y otros sitios en la zona marino-costera más cercanos a los bañistas. El estudio permitirá identificar diferentes focos de contaminación. Es determinante que la población de interés, que son los visitantes y residentes de la comunidad de Playa Tamarindo, conozcan el estado actual de la calidad del agua en esta playa.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la afectación de efluentes de aguas residuales de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua costera de Playa Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste, como medida para la planificación de actividades comerciales en la zona.

1.5.2 Objetivos específicos

Caracterizar las fuentes puntuales de vertidos de aguas residuales en el litoral de Playa Tamarindo, como insumo para el diagnóstico de la problemática y su influencia en la calidad de las aguas.

Analizar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua costera de Playa Tamarindo para el establecimiento de su nivel de contaminación y deterioro por medio de la aplicación de índices de calidad del agua.

Identificar las zonas con mayor afectación en la Playa Tamarindo para la aplicación de medidas que faciliten la correcta planificación de las actividades comerciales en los niveles municipal y de ASADA.

1.6 Alcances y limitaciones

- Se plantea poder llegar a conocer, por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, el grado de contaminación causado por los vertidos de agua residual a la costa de Playa Tamarindo.
- Se espera poder determinar los tipos de contaminantes que se presentan en la zona marino-costera de Tamarindo y cómo altera el ecosistema de Playa Tamarindo.
- Por medio de los resultados esperados se pretende hacerle llegar la información a los personeros de la ASADA de Tamarindo, para que puedan dar a conocer el grado de contaminación de la zona marino-costera en estudio.
- Se requiere llegar a adaptar una tabla de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para poder tener una base que permita determinar los valores máximos y mínimos de las muestras.
- Una limitación presente es la falta de un reglamento hecho en Costa Rica para poder determinar los valores máximos y mínimos de contaminantes fisicoquímicos y biológicos, para tomar decisiones.
- El logro de los objetivos se puede ver afectado por el corto tiempo que se tiene para realizar el proyecto. Para afrontar este inconveniente se plantea distribuir el tiempo de manera que se puedan alcanzar todos los objetivos.
- La zona en estudio se encuentra a mucha distancia, por lo cual la visita hasta ahí se verá reducida y así no se podrá estar en constante observación de cómo cambia el panorama con respecto a puntos de vertidos y otros aspectos.

- La falta de presupuesto fue limitante ya que, aunque el HIDROCEC-UNA cubrió gastos de muestreos y análisis de muestras, motivo por el cual no se pudieron realizar más muestreos, y habrá que limitarse solo a los muestreos que se realicen en conjunto con ellos. Asimismo, los costos de viajes en lancha a la zona de estudio son muy costosos, pero fueron cubiertos por el HIDROCEC.
- Falta de registro de información por parte de la Municipalidad de Santa Cruz y el Ministerio de Salud Pública.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

En el presente capítulo se contextualizan las principales características de Playa Tamarindo por medio de una concisa descripción de información, que se aborde bajo el de un punto de vista focal de la zona en la que se desarrolla el estudio.

2.1. Localización geográfica de la zona en estudio

La zona en estudio, según la división territorial de Costa Rica, está localizada en Playa Tamarindo, Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. Playa Tamarindo, junto con Playa Grande, forman Tamarindo (Campos, 2008), que se encuentra dentro del corredor turístico de estadía Guanacaste norte. A continuación, en la figura 1, se muestra el área de estudio.

En el área de estudio se identificaron 20 puntos de vertidos que desfogan en la playa Tamarindo, pero se seleccionaron únicamente 4, incluido el río San Andrés.

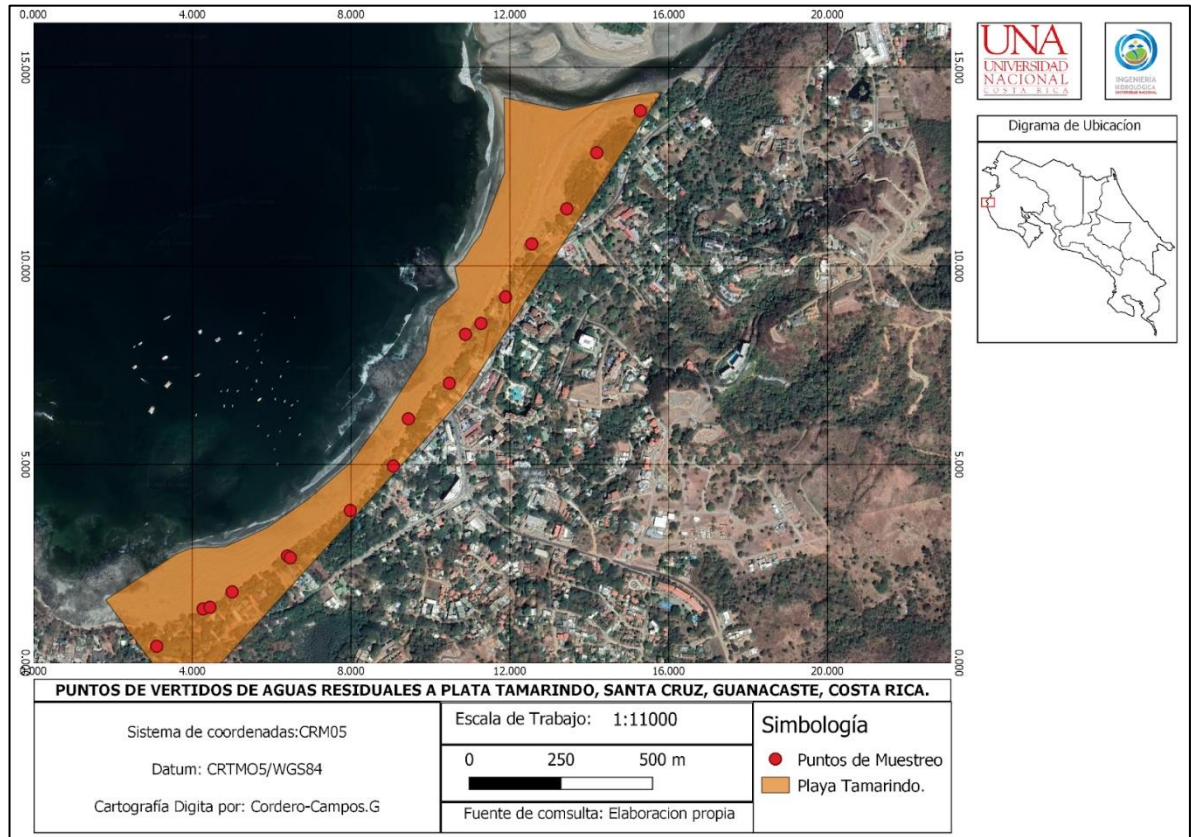


Figura 1: Ubicación geográfica de puntos de vertidos en Playa Tamarindo.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.2 Características generales de la cuenca de río de la Península de Nicoya

2.2.1 Localización

Playa Tamarindo se encuentra en la cuenca llamada Ríos Península de Nicoya. Según Rojas (2011), esta cuenca tiene un área de drenaje de 4.205,38 km², lo que corresponde a 8,30% de la superficie nacional. Según la delimitación de la cuenca esta se ubica entre las coordenadas planas 171.500 - 346.800 de latitud norte y 322.700 - 441.500 de longitud oeste.

2.2.3 Geografía de la cuenca

Según Rojas (2011), la cuenca tiene una distribución que abarca ocho cantones, siete de ellos pertenecientes a la provincia de Guanacaste (Liberia, La Cruz, Carrillo, Santa Cruz, Nicoya, Hojancha y Nandayure), y el último cantón perteneciente a la provincia de Puntarenas (Puntarenas).

2.2.3 Red Hidrográfica

De acuerdo con Rojas (2011), la cuenca de los ríos de la Península de Nicoya está recorrida por una amplia cantidad de ríos, dentro de los que se destacan el San Pedro y el Morote, que desembocan en el Golfo de Nicoya. Otros afluentes presentes en la cuenca son

Jabillo, Ora, Buena Vista, Nosara, Montaña, Cuajinicuil, Tabaco, Andamojo, San Francisco, Nisperal, Potrero Grande. Estos desembocan en el Océano Pacífico.

2.3.4 Geología

La cuenca de los ríos de la Península de Nicoya presenta una geología que, según Rojas (2011), está compuesta por una amplia gama de rocas. En la parte sur se encuentran rocas ígneas submarinas e intrusivas del Cretácico, así como rocas sedimentarias marino profundo (Jurásico Cretácico Superior, Cretácico Superior – Paleoceno y Cretácico Inferior). En la parte norte y media de la cuenca existen rocas ígneas submarinas (Cretácico), intrusivas (Jurásico-Cretácico, Cretácico Superior y Cretácico Inferior) y piroclásticas (Mioceno). Además de rocas sedimentarias marino profundo (Jurásico – Cretácico), plataforma (Cretácico Superior y Paleoceno), talud continental (Paleoceno-Eoceno).

2.3.5 Hidrogeología.

La cuenca cuenta con una gran red de acuíferos los cuales abastecen a la población de agua potable. Sin embargo, la explotación tan intensa de estos acuíferos ha provocado la salinización de estos. Según Rojas (2011), algunos de los acuíferos que se encuentran en la cuenca del acuífero de Tambor son Paquera, Sámara, Nosara, Marbella, Tamarindo, Brasilito y Bahía Salinas.

2.4. Actividades socioeconómicas

Según Rojas (2008), dentro de las principales actividades productivas se destacan la del sector turístico y el cultivo de papaya y mango; ganado, pesca, cultivo de camarón y producción de sal de mesa.

Entre las principales actividades productivas que se dan dentro la zona de estudio están las ligadas al sector turístico, enfocado en el hospedaje en grandes hoteles, así como las construcciones de grandes condominios y el intercambio de bienes y servicios presentes en Playa Tamarindo. Además de los servicios ofrecidos por los grandes hoteles. También se encuentran los servicios turísticos ofrecidos por los residentes, como la venta de artesanías y paseos a caballo y masajes corporales ofrecidos a lo largo de la playa, especialmente por mujeres; además de bares y restaurantes presentes en la zona en estudio.

2.5. Tipo de suelos

Entre las características de la cuenca están los tipos de suelos que la caracterizan, ya que a lo largo de la cuenca existen diferentes tipos de suelo (Rojas, 2011); la mayor parte de la cuenca está compuesta por suelos del tipo anisol, con sectores de suelos del tipo inceptisol y entisol. También se encuentra una zona cubierta por suelos del tipo vertisol. Esta área se ubica cerca de la colindancia con el Golfo de Nicoya

2.6. Clima de la cuenca

La cuenca, al igual que el resto del país, cuenta con las estaciones seca y lluviosa. En el caso de la estación seca, esta presenta una menor cantidad de meses con respecto a la

lluviosa. Según Rojas (2011), en la cuenca se presenta una estación seca en los meses de noviembre que dura hasta el mes de abril y la estación lluviosa abarca generalmente desde el mes de mayo hasta noviembre, con una precipitación aproximada de 1.800 mm/año (Morera y Matamoros, 2003).

CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1 Ordenamiento territorial

En América Latina el ordenamiento territorial ha sido un problema trascendental debido a que se ha generado una mayor inestabilidad en los territorios, ocasionada por el crecimiento demográfico exorbitante de las ciudades que se evidenció notoriamente desde los años 90 en la región, que afecta directamente la calidad de vida de sus habitantes. Este concepto se fundamenta en integrar las áreas rurales, los sistemas ecológicos y la escala regional por medio de la participación de todos los actores sociales y la utilización eficiente de los recursos (Montes, 2001). El ordenamiento territorial es una herramienta para solucionar problemas y desafíos de la sociedad en dónde actualmente es más intrincado producir, distribuir y consumir bienes y servicios. Por esta razón es de suma importancia tomar en cuenta aspectos como la pobreza, la equidad, la productividad de los asentamientos humanos, el ambiente, la prevención de desastres naturales, la gobernabilidad, la participación, la eficiencia de las políticas y la gestión de los recursos naturales (Montes, 2001).

El ordenamiento territorial y las cuencas hidrográficas en Costa Rica en los últimos 35 años ha sido un proceso en el cual se han aplicado la Ley de Planificación Urbana y su principal instrumento, los planes reguladores municipales (IPN del 2008, citado por el SINAC, 2022). El agua como servicio ecosistémico representa un beneficio de suma importancia para la sociedad, como la generación de bienes y servicios, como lo es el consumo humano. La Ley Orgánica del Ambiente, N.º 7554 del año 1995, establece en su artículo VI los principios básicos para el ordenamiento territorial, desde el punto de vista del desarrollo sostenible:

- Ubicar de forma óptima, dentro del territorio nacional, las actividades productivas, los asentamientos humanos, las zonas de uso público y recreativo, las redes de comunicación y transporte, las áreas silvestres y otras obras vitales de infraestructura, como unidades energéticas y distritos de riego y avenamiento.
- Servir de guía para el uso sostenible de los elementos del ambiente.
- Equilibrar el desarrollo sostenible de las diferentes zonas del país.
- Promover la participación de los habitantes y la sociedad organizada en la elaboración y aplicación de los planes de ordenamiento territorial y en los planes reguladores de las ciudades; todo esto para lograr el uso sostenible de los recursos naturales.

En Costa Rica existe el Plan Nacional de Ordenamiento Territorial (PLANOT) el cual se estableció del año 2014 al 2040 y en él se busca, como país, enfrentar los procesos circunstanciales del mundo que no se pueden dejar de lado, como la incorporación al mercado global de forma competitiva, los cambios climáticos y el desarrollo de asentamientos

humanos inclusivos y sostenibles. Bajo esta estrategia se plantean una serie de metas por alcanzarse desde una perspectiva de corto, mediano y largo plazos. Esta funciona como instrumento interinstitucional en el que se contemplan políticas, proyectos de ley, proyectos de ordenamiento territorial regionales, leyes y reglamentos; todo esto con el fin de establecer asentamientos humanos en equilibrio con el ambiente (PNOT, 2012).

3.2 Aguas residuales

Es el agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes. Se genera por la combinación de líquidos y sólidos acarreados por el agua, cuya cantidad ha sido degradada por la incorporación de dichos agentes contaminantes. En Costa Rica los cuerpos acuáticos superficiales presentan un importante número de contaminación proveniente en 20% de aguas residuales urbanas, 40% de desechos sólidos e industriales, y 40% se origina del sector agrícola, y únicamente 3% de los efluentes producidos son tratados. Estas actividades contaminan los cuerpos de agua por procesos de percolación de tanques sépticos y alcantarillados sanitarios; además, por inexistentes o ineficientes procesos de tratamiento de las aguas residuales (Solano, 2011).

La cobertura de los servicios de saneamiento en Costa Rica están a cargo de AyA, la municipalidad de Alajuela, la municipalidad de Cartago- JASEC, ESPH, ASADAS, el MSP y, en un menor grado de operadores privados. Estos prestan el servicio de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales y excretas en el país. Cubren 25,56% de la población con su servicio. Setenta y tres coma ochenta y dos por ciento (73,82%) cuenta con servicios de saneamiento, como tanques o fosas sépticas, y letrinas; no obstante, solo 0,39% no tiene cobertura alguna (Ruiz, 2012).

Se reconocen dos tipos de aguas residuales según el Reglamento para la calidad del Agua Potable en Costa Rica, las aguas residuales de tipo ordinario y las de tipo especial. El agua residual de tipo ordinario se define como el agua residual generada por las actividades domésticas del hombre, como por ejemplo el uso de inodoros, duchas, lavatorios, fregaderos, lavaderos de ropa, etc. Los parámetros obligatorios por analizar según la normativa vigente son:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Grasas y aceites (GyA)
- Sólidos sedimentables (SSed)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Coliformes fecales (CF)

Por otro lado, el agua residual de tipo especial son las aguas desechadas por las industrias, como por ejemplo las papeleras, minerías, cervecerías, textileras, etc, Los parámetros obligatorios de analizar son:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Grasas y aceites (GyA)
- Sólidos sedimentables (SSed)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Temperatura (T)

En Costa Rica se utilizan dos tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales: individuales y colectivos. Los sistemas colectivos requieren la construcción de sistemas de alcantarillado sanitario para la recolección y el transporte de las aguas residuales, desde las viviendas o núcleos de población hasta la planta de tratamiento de aguas residuales. Por su parte, con los sistemas individuales se trata el agua residual de un inmueble (vivienda o local comercial, por ejemplo) y son instalados en las inmediaciones de dicho inmueble, por lo que no se requiere alcantarillado sanitario. El sistema individual de tratamiento de aguas residuales por excelencia en Costa Rica es el tanque séptico con drenaje (Contraloría General de la República, 2017).

3.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales y sus procesos

Existen diferentes formas de conseguir un agua más limpia a partir de los procesos que ocurren en las plantas de tratamiento de aguas residuales, que se rigen a partir del cumplimiento de ciertos parámetros establecidos por la normativa vigente en Costa Rica. Los tratamientos de aguas residuales son procesos por medio de los cuales se eliminan los residuos químicos, físicos y biológicos presentes en el agua, los cuales pueden causar daño a la salud del ser humano y a los ecosistemas. Por ende, el objetivo principal de dichas plantas es eliminar todos los agentes contaminantes que puedan ocasionar algún tipo de alteración en la salud, y así estas aguas puedan ser vertidas a un cuerpo de agua sin generar ningún tipo de repercusión, o puedan ser reutilizadas en actividades como el riego de cultivos o zonas verdes.

Existen diferentes tipos de tratamientos de aguas residuales como convencionales, constituidas por sistemas aeróbicos y anaeróbicos. Por otro lado, los no convencionales se conforman por biodigestores, biojardineras, letrinas secas y tanques sépticos.

En los sistemas de aguas residuales aeróbicos y anaeróbicos se aplican los siguientes niveles de tratamiento, que dependen del tipo de agua residual que se vaya a tratar:

- **Tratamiento preliminar:** Consiste en la remoción de material flotante presente en las aguas residuales, grasa, y arena, los cuales pueden provocar problemas de operación y mantenimiento de las unidades de tratamiento siguientes.
- **Tratamiento primario:** Remoción de una porción de sólidos suspendidos y materia orgánica utilizando sedimentadores primarios.
- **Tratamiento secundario:** Se remueve la materia orgánica biodegradable que se encuentra disuelta o en suspensión, además de sólidos suspendidos. Las tecnologías utilizadas en este nivel del tratamiento generalmente son sistemas biológicos que pueden utilizar oxígeno (sistemas aerobios) aplicado en forma mecánica o natural, y otros que no necesitan del oxígeno para su funcionamiento (sistemas anaerobios).
- **Tratamiento secundario con remoción de nutrientes:** Remoción de materia orgánica biodegradable, sólidos suspendidos y nutrientes como el nitrógeno, fósforo, o ambos. Estos nutrientes pueden ser eliminados biológica o químicamente.
- **Tratamiento terciario:** Remoción de sólidos suspendidos residuales generalmente por un medio de filtración granular o microtamices. La desinfección y la remoción de nutrientes están típicamente incluidos en este nivel de tratamiento.
- **Tratamiento avanzado:** Remueve material suspendido o disuelto remanente después del tratamiento biológico, generalmente requerido en aguas residuales industriales o cuando se requieren condiciones especiales para diferentes tipos de reutilización de aguas tratadas.

3.4 Vertidos

Se definen dos tipos de vertidos según el destino y las técnicas utilizadas, los cuales se denominan vertidos directos e indirectos. Los vertidos directos se consideran como vertido directo a la transmisión directa de contaminantes a los cuerpos de agua superficial de dominio público, sin dejar de lado las aguas subterráneas. Por otro lado, los vertidos indirectos se definen como los ejecutados por las redes de desagües de aguas residuales o aguas pluviales (Gobierno de España, 2022).

En Costa Rica existen diferentes reglamentos para regular estos vertidos los cuales se describirán a continuación:

3.4.1 Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, N° 33601.

Indica quiénes deben tratar las aguas residuales generadas, de previo a su disposición, y quiénes deben presentar reportes operacionales. Además, indica el procedimiento por

seguir para la elaboración y la frecuencia con que se deben presentar. También, todo ente generador debe llevar una bitácora de manejo de aguas residuales.

Establece los parámetros de análisis obligatorios para vertidos de aguas residuales y sus límites para el vertido según la actividad desarrollada, y si se disponen en el alcantarillado sanitario o en cuerpo receptor. Define los métodos que se deben seguir para el análisis de las muestras y la frecuencia con que se deben hacer.

3.4.2 Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertidos, N° 34431.

Este Reglamento tiene como objetivo regular el canon por introducir contaminantes en cuerpos de agua debido al vertido de aguas residuales. Incluye cómo se debe calcular el monto por pagar, cómo serán distribuidos los fondos recolectados por el canon, y todo lo concerniente a la adquisición del permiso de vertidos.

3.4.3 Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, N° 39887-S-MINAE.

Define los requisitos para la construcción y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales (información y documentos necesarios). Determina los retiros entre los diferentes sistemas de tratamiento y los linderos de la propiedad de la cual forman parte; también entre los sistemas de tratamiento y pozos de extracción de agua. Así mismo, indica las obligaciones del ente generador.

3.5 Ecosistemas marino-costeros.

Los ecosistemas marinos se encuentran interconectados por una red de corrientes superficiales y profundas ubicados en la mayor parte de la superficie de la tierra, es decir, que abarcan 70,8% de la superficie total, que equivalen a 362 millones de km². Esto hace que sean ecosistemas altamente dinámicos. Parámetros como la temperatura y la salinidad de las aguas propician la formación de capas estratificadas y corrientes. Cabe recalcar que los océanos benefician en gran manera el desarrollo de la vida, debido a que son determinantes en el clima y el tiempo, ya que estos transportan el calor y el agua a la atmósfera. Son pieza fundamental en el ciclo hidrológico y, por ende, aportan enormemente a la biodiversidad del planeta (Lara *et al*, 2008).

3.6 Alcantarillado sanitario y pluvial

La red de la alcantarillado sanitario y pluvial la compone un conjunto de tuberías que recogen y transportan las aguas de origen residual y pluvial hasta el punto de vertido. Normalmente, estas tuberías se ubican bajo las vías públicas. Estas redes de tuberías se consideran muy importantes debido a que ayudan en la salud pública a prevenir enfermedades. No obstante, en países en desarrollo como Costa Rica existe un gran problema relacionado con esto debido a que gran parte de este alcantarillado ya se encuentra fuera de su vida útil (GSC, 2015).

Para lograr un diseño óptimo del sistema de captación y evacuación pluvial y sanitaria es fundamental el cálculo de caudales máximos que se pueden generar en el área de interés, esto mediante la determinación de los escurrimientos superficiales que se encuentran ligados a la magnitud de la precipitación pluvial. Por esta razón los estudios inician desde la obtención de datos de precipitación para estimar los gastos de diseño que permiten dimensionar las obras de alcantarillado pluvial, siempre y cuando en todo se cumpla con la normativa existente en Costa Rica (Comisión Estatal de Aguas, 2013).

La normativa mencionada anteriormente se denomina “Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial”, la cual, según el AyA (2017) ,establece que le corresponde al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), como ente rector en materia de servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento y sistemas pluviales, la elaboración y actualización de la normativa y reglamentación técnica por la que se rigen el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y el control de estos sistemas dentro del territorio nacional.

3.7 Índice Holandés

Para clasificar un agua superficial se requiere sumar los puntos correspondientes, en cada uno de los ámbitos respectivos, de cada una de las variables, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Tabla 1. *Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua para cuerpos receptores.*

Puntos	Porcentaje de Saturación de Oxígeno (%)	Demanda de Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Nitrógeno de Amoniacal (mg/L)
1	91 – 100	≤ 3	< 0.50
2	71 – 90	3.1 – 6.0	0.50 – 1.0
3	111 – 120 51 – 70 121 – 130	6.1 – 9.0	1.1 – 2.0
4	31 – 50	9.1 – 15	2.1 – 5.0
5	≤ 30 y > 130	> 15	> 5.0

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, 2007.

Una vez realizada la sumatoria de puntos se traslada con una tabla con códigos de colores para poder interpretar la calidad del cuerpo de agua superficial, que va de “sin contaminación” hasta contaminación muy severa.

Tabla 2. Cuadro de 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	Sumatoria de puntos	Código de color	Interpretación de calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4-6	Verde	Contaminación incipiente
3	7-9	Amarrillo	Contaminación moderada
4	10-12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13-15	Roja	Contaminación muy severa

Fuente. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, 2007.

El Índice Holandés ayudó a interpretar la calidad del agua para los vertidos ya que este índice es un indicador de calidad de agua y para río San Andrés.

CAPÍTULO 4. ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD

En este apartado se hace un análisis de un estudio de prefactibilidad basado en la clasificación y de acuerdo con la metodología de Sapag (2014). Para la descripción del proyecto se hace un análisis de la prefactibilidad socioambiental, legal, económica y financiera y un análisis individual de cada una de clases en que concluye si el proyecto es viable (Figura 2)

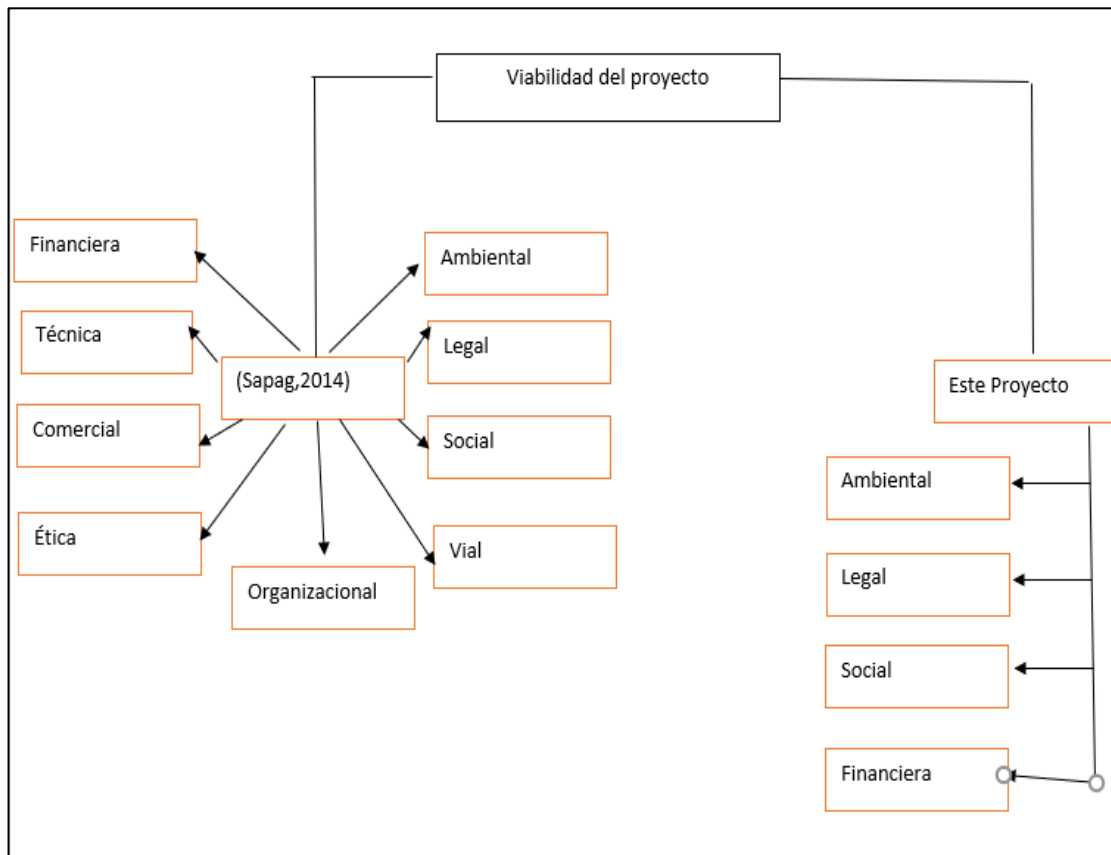


Figura 2. Diagrama de flujo para la comparación de viabilidad del proyecto final de graduación.

Fuente. Sapag, 2014

De acuerdo con el diagrama anterior se mostrará la relevancia en cada una de las partes y cómo pueden influir o no en el proyecto como se muestra continuación.

4.1 Prefactibilidad ambiental

La evaluación ambiental (EIA) es uno de los principales instrumentos preventivos para el ambiente, el cual se trata de un procedimiento administrativo para el control de los proyectos que se apoyan en estudios técnicos, como lo son los estudios de impacto ambiental. Este estudio ayuda a evaluar el daño que se puede generar y determina la viabilidad del proyecto antes de realizarlo (Domingo, 2002).

En el artículo 5, específicamente, la Resolución N° 713-2002-SETENA, 2016, específicamente para la realización de este proyecto no requiere un estudio de evaluación ambiental.

4.2 Prefactibilidad legal

Para determinar la viabilidad del proyecto se hizo una búsqueda del marco legal de Costa Rica, para lo que se consultaron leyes que son de interés para la determinación de la calidad del agua en la zona marino-costera y para la salud pública.

4.3 Marco legal

El marco legal de este trabajo está constituido bajo una estructura de pirámide jerárquica de leyes dada por Hans Kelsen, “la cual está dividida por niveles, donde tenemos la Constitución Política como norma suprema del Estado. Seguidamente, seguido de tratados y Convenios internacionales, leyes, decretos, reglamentos y normas (Kelsen, H. 2021.)

Debidamente se presenta una tabla con el orden jerárquico visto anteriormente, en la cual la información presente establece marco legal de interés para el proyecto:

Tabla 3. Marco legal de Costa Rica relacionado con el proyecto final de graduación.

Jerarquía	Artículo	Detalle
Constitución Política de Costa Rica	50	Establece que toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, por lo cual este trabajo consiste en determinar los contaminantes presentes en la zona marino-costera de Playa Tamarindo y, asimismo, cómo este afecta a la salud pública y al ambiente.
Ley de la Zona Marítimo- Terrestre, N°6043	12	En la zona marítimo-terrestre es prohibido, sin la debida autorización legal, explotar la flora y fauna existentes, levantar edificaciones o instalaciones, cortar árboles, extraer productos o realizar cualquier otro tipo de desarrollo, actividad u ocupación.
Ley Orgánica del Ambiente, N°7554	66	En cualquier manejo y aprovechamiento de agua susceptibles de producir contaminación, la responsabilidad en el tratamiento de los vertidos corresponderá a quien produzca la contaminación. La autoridad competente determinará la tecnología adecuada y establecerá los plazos necesarios para aplicarla.
Ley Orgánica del Ambiente, N°7554	65	Las aguas residuales de cualquier origen deberán recibir tratamiento antes de ser descargadas en ríos, lagos, mares y demás cuerpos de agua. También deberán alcanzar la calidad establecida para el cuerpo receptor,

según su uso actual y potencial y para su utilización futura en otras actividades

Ley General
de la Salud,
N°5395 275

Queda prohibido a toda persona natural o jurídica contaminar las aguas superficiales, subterráneas y marítimas territoriales, directa o indirectamente, mediante drenajes o la descarga o almacenamiento, voluntario o negligente, de residuos o desechos líquidos, sólidos o gaseosos, radiactivos o no radiactivos, aguas negras o sustancias de cualquier naturaleza que, alterando las características físicas, químicas y biológicas del agua, la hagan peligrosas para la salud de las personas, de la fauna terrestre y acuática o inservible para usos domésticos, agrícolas, industriales o de recreación.

Ley General
de la Salud,
N°5395 276

Solo con permiso del Ministerio podrán las personas naturales o jurídicas hacer drenajes o proceder a la descarga de residuos o desechos sólidos o líquidos u otros que puedan contaminar el agua superficial, subterránea, o marítima, estrictamente bajo las normas y condiciones de seguridad reglamentarias y con apego a los procedimientos especiales que el Ministerio imponga en el caso particular para hacerlos inocuos.

Ley de 19
Planificación
Urbana,
N°4240

Cada municipalidad emitirá y promulgará las reglas procesales necesarias para el debido acatamiento del Plan Regulador y para la protección de los intereses de la salud, la seguridad, la comodidad y el bienestar de la comunidad.

Se concluye que existe una prefactibilidad legal para el desarrollo del proyecto en cuestión puesto que, no se encuentran lineamientos que impidan la realización de este.

4.4 Prefactibilidad social

La viabilidad social de un proyecto requiere la intervención de los actores que tienen interés, ya sea de forma directa o indirecta, para que estos actores estén relacionados entre sí en el proyecto (Sobrero, 2009). Seguidamente se presentan los actores sociales involucrados:

Tabla 4. *Lista de actores sociales vinculados con el proyecto final de graduación.*

Vinculación con el proyecto	Actores sociales
Directo	Turistas nacionales y extranjeros
Directo	Comunidad de Playa Tamarindo
Directo	Asada de Tamarindo
Indirecto	Universidad Nacional (HIDROCEC)
Indirectos	Municipalidad de Santa Cruz
Indirectos	Ministerio de Salud Pública

Fuente: Elaboración propia, 2022

Como primera parte se identificaron los actores sociales involucrados y, asimismo, se hizo una visita para determinar los puntos de vertidos y generación de mapas de estudio. Además, se le solicitó información a la Municipalidad de San Cruz y al Ministerio de Salud.



Figura 3. Visita a la zona de playa tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste.

Fuente. Elaboración propia, 2022

Como actores principales se tiene a la ASADA de Playa Tamarindo, turistas, comercios y negocios y habitantes de Playa Tamarindo, que se verían beneficiados al conocer cuál es el estado actual de la zona marino-costera, ya que al presentarse algún tipo de anomalía en la calidad del agua se dará a conocer el estado actual, lo que trae repercusiones sociales y económicas.



Figura 4. Reunión con la junta administrativa de la ASADA de Tamarindo.

Fuente. Elaboración propia, 2022

El Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC) de la Universidad Nacional (UNA) colaboró en cuanto a giras, muestreos, análisis e interpretación de datos.



Figura 5. Gira de muestreo en la zona marítimo-costera de Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.

Fuente. Elaboración propia, 2022.

Se evidenció una actitud positiva de las partes directas e indirectas en brindar información y colaborar con el desarrollo de proyecto durante todas sus etapas, y, al no haber ningún lineamiento que impida el desarrollo del proyecto, se determinó viabilidad social del proyecto.

4.4 Prefactibilidad técnico-financiera

En este apartado se hace un estudio técnico-financiero, ya que se tienen en cuenta ambos aspectos, que requieren la inversión necesaria para la ejecución del proyecto, como a continuación se detalla:

4.4.1 Prefactibilidad técnica

Para tener la viabilidad técnica del proyecto se estimó el costo de las herramientas tecnológicas por utilizar, así como de materiales, para poder generar los datos y procesar la información necesaria para el trabajo, como se muestra a continuación:

Tabla 5: *Componentes técnicos para el desarrollo del proyecto.*

Herramientas	Cantidad
Microsoft Excel	2
Software de sistemas de información geográfica (QGIS)	2
Insumos	
Recopilación de información sobre la población de Playa Tamarindo	1
Recopilación de información sobre ordenamiento territorial y vertidos en la municipalidad de Santa Cruz.	1
Recopilación de información sobre denuncias ante el Ministerio de Salud Pública.	1
Equipos	
Teléfono celular	2
Computadora	2
Otros	

Giras de campo (transporte y alimentación)	4
--	---

Fuente: Elaboración propia, 2022.

De acuerdo con los datos de la Tabla 3 y la Tabla 4, las herramientas de trabajo, equipos de trabajo y comunicación, insumos en la recolección de datos y otros, se estima que sería posible llevar a cabo el proyecto, por lo cual se determina que el proyecto es viable técnicamente y no presenta impedimento para ejecutarlo.

4.4.2 Prefactibilidad financiera

La última etapa del análisis de viabilidad financiera de un proyecto es el estudio financiero, la cual tiene como objetivo ordenar y sistematizar la información de carácter monetario (Sapag, 2014).

Por tanto, se procede a evaluar la rentabilidad del proyecto en cuanto a costos directos e indirectos generados por las actividades.

a. Costos de inversión

Los costos de inversión corresponden a todo lo que se necesita para la obtención de activos que permitan poner en marcha el proyecto (Ensa, 2016).

b. Costos indirectos

Son todas aquellas erogaciones o desembolsos necesarios, como alquiler y servicios públicos para la realización del proyecto (MONTROYA, 2010).

Tabla 6: *Presupuesto global del proyecto*

Categoría de costo	Desglose	Valor Unitario ¢	Cantidad	Unidad de referencia	de	Valor total ¢
Directos	Servicios	1.122.000	3	Gestión y otros.		3.625.000
	Materiales y suministros	1.800.000	2	Químicos, reactivos y otros.		3.600.000
	Equipos	3.000.000	1	Equipos de medición de agua residual.		3.000.000

Indirectos	Asistentes	500.000	2	Pago de dos estudiantes.	1.000.000
	Datos	50,000	4	Vista de zona, ASADA y otros.	200.000
	Servicios profesionales	567.000	2	Servicios profesionales	1.134.000
Otros	Imprevistos	5%	1	Costos D+I	627,950
	IVA	13%	1	Impuestos	1.714,30
					3.5
		Total			14.901,2
					53.5

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En la Tabla 4 se determinó un total de 14.901.253,5 millones de colones para el desarrollo del proyecto, de los cuales el HIDROCEC-UNA se hace cargo del costo de 13.567.253,5 millones de colones, y los estudiantes de un total de 1.334.000 de colones a lo largo de la realización del proyecto. Este beneficio y la colaboración permite dar el paso porque el trabajo es viable financieramente, y el HIDROCEC es la entidad que cubrirá el mayor costo del proyecto.

4.5 Conclusión general

De acuerdo con el análisis de viabilidad legal, ambiental, social y técnico-financiero descrito en el presente capítulo se considera que existe viabilidad del proyecto en cada una de las áreas importantes para ejecutarlo.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

5.1 Identificación de vertidos

Para la identificación de los puntos de vertidos en Playa Tamarindo se procedió a realizar un recorrido de norte a sur en la playa, con la finalidad de ubicar los límites de playa. Así mismo, se identificaron los puntos de descarga de aguas residuales que son vertidos directamente a la playa. Una vez identificados los puntos de vertidos se procedió a realizar la georreferenciación por medio del Mobile Topographer, el cual genera un archivo csv.

Una vez obtenido el archivo csv por medio de la aplicación del Mobile Topographer, el siguiente paso fue cargar dicho archivo al software Qgis; esto con la finalidad de obtener una visión espacial de la ubicación de los puntos de vertidos en la playa Tamarindo.

Para realizar la recolección de muestras de los vertidos lo primero que se hizo fue identificar los puntos de vertidos que presentan un flujo de agua constante, haciendo un recorrido desde la playa hasta el mar, dejando de lado a los que tienen un flujo de agua intermitente; esto dado que su flujo no llega hasta el mar.

5.2 Recolección de muestra

Se seleccionaron siete puntos basados en la inspección preliminar sobre la playa, en base a la ubicación de los posibles desfuegos de aguas residuales que contaminen desde la parte costera hacia el mar. Luego de ello se celebró una reunión con especialistas en oceanografía y con los especialistas del HIDROCEC-UNA, con la finalidad de poder analizar el comportamiento de las corrientes marinas en la playa Tamarindo.

Una vez determinados estos aspectos del muestreo se procedió a realizar los muestreos de agua de mar y alcantarillas o ríos identificados. El muestreo en agua de mar se realizó utilizando una lancha contratada. Se tomaron las muestras antes del rompimiento de las olas, y para los muestreos en alcantarillas se hizo el recorrido caminando hasta los sitios.

El muestreo correspondiente a las aguas residuales de los desfuegos en la costa y las aguas marinas se realizó con botellas de vidrio con tapa hermética de 500 mL y botellas plásticas ámbar (DBO5) de 1 L, previamente rotuladas con el dato del parámetro por analizar y la información de la muestra (sitio, fecha, hora). La recolección de muestras de agua para el análisis de coliformes fecales se realizó en frascos de plástico estériles de 100 mL.

Los puntos muestreados en tierra corresponden a las alcantarillas ubicadas cerca de la Hacienda Pacífico y Jonny Tamarindo, tubo que está cerca de porto fino y el Rio San Andrés. En la zona marítima se muestrearon tres puntos. Durante el muestreo también se llevaron a cabo mediciones *in situ* utilizando equipos multiparámetros y una sonda EXO1. Las muestras recolectadas fueron transportadas en hieleras con hielo a temperatura $<4^{\circ}\text{C}$, hasta su entrega en el laboratorio.

5.3 Técnicas de muestreo de aguas

Técnica de muestreo de agua de mar

Las muestras de agua marina se recolectaron en una distancia aproximada de 2 km de la playa. Las muestras se recolectaron utilizando una botella de muestreo profundo, la cual se dejó hundir abierta en el agua a una profundidad aproximada de 1 m. La botella se cierra y se sube a la lancha, en donde se procedió a llenar las botellas etiquetadas. Una vez tomadas las muestras estas se guardan en una hielera con hielo a una temperatura de 4 °C a 5 °C. Seguidamente, se miden los parámetros de campo: pH, conductividad eléctrica, temperatura, clorofila, turbiedad, oxígeno y materia orgánica.

Técnica de muestreo de agua residual y río

En cada punto de muestreo se procedió a llenar las botellas en una dirección contraria a la corriente de agua. Una vez llena, la botella se almacenó en una hielera con hielo a una temperatura de 4 a 5°C. Las muestras para el análisis fisicoquímico se enjugan tres veces con el agua de la fuente y las muestras para el análisis microbiológico no se enjuagaron dado que están estériles. Además, estas botellas no se abren por completo a la hora de tomar la muestra y se deja un espacio sin completar con muestras para permitir la agitación de la muestra en el laboratorio, de previo al análisis.

5.4 Análisis físicos-químicos

Los análisis fisicoquímicos realizados en las muestras de agua residual recolectadas fueron llevados a cabo en el Laboratorio Físico Químico de Aguas del HIDROCEC. En este laboratorio se realizaron los métodos 4110 B. Determinación de aniones en cromatografía iónica para determinar nutrientes (nitratos y fosfatos) y cloruros, según el método 5210B. Demanda bioquímica de oxígeno para la prueba de cinco días del método, y se utilizó un equipo colorímetro portátil para la medición de nitrito y amonio. Todos los métodos utilizados en el laboratorio corresponden a los registrados en el libro de Standard Methods The Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

5.5 Parámetros microbiológicos

Se escogieron dos grupos de indicadores de contaminación fecal en agua marina en la que, según Suárez (2002), los enterococos y los estreptococos son más resistentes que los grupos de coliformes fecales. Así mismo, son elegidos a un tiempo o distancia considerable entre la fuente de contaminación fecal y el área de baño, además de que existe una correlación con enfermedades contra la salud pública, como son los problemas gastrointestinales y las infecciones de piel y oídos.

Metodología para la determinación de *Enterococcus*

Para poder determinar la presencia de *Enterococcus* se tomaron las muestras de agua de mar y río, respectivamente. Con una micropipeta se tomaron 90 mL de muestra de agua de río y 9 mL de muestra de agua de mar; esto para poder contar con un factor de dilución NMP/100mL para las muestras de agua de río y NMP/10mL en la muestra de mar. Estas muestras fueron conservadas una vez recolectadas con ayuda de una hielera, la cual estaba a una temperatura de 4 °C a 5 °C. Las muestras se transportaron en la hielera con la finalidad de conservar las muestras de agua. Una vez que las muestras se entregaron al HIDROCEC estas se trasladaron a una refrigeradora para la conservación de las muestras y así mismo para ser procesadas en el laboratorio de microbiología del HIDROCEC-UNA.

Una vez tomadas las muestras tanto de mar como de río se procedió a agregar 10 mL de agua desionizada a la muestra de agua de río y 1 mL de desionizada a la muestra de agua de mar.

Una vez terminado este procedimiento se procedió a agregar el sustrato de *enterolett* a las muestras con la finalidad de hacer crecer colonias de *enterococcus*, agitando las muestras para disolver todo el sustrato.

Con el procedimiento de los pozos múltiples, haciendo uso de bandejas multipocillos desechables esterilizadas (51 pocillos), se vierte la muestra con el sustrato, se sella la bandeja y se hace la incubación por 24 horas a una temperatura con un rango de 30 a 35°C.

Una vez finalizada la incubación se retiraron las bandejas y se observaron bajo luz ultravioleta con la finalidad de poder terminar con la presencia de colonias de *enterococcus* en que media la bioluminiscencia.

Metodología para determinar la presencia de coliformes fecales y *E coli*.

La determinación de coliformes fecales y *E. coli* se realizó tomando las muestras de agua de mar y río, respectivamente. Con una micropipeta se tomaron 90 mL de muestra de agua de río y 9 mL de muestra de agua de mar; esto para poder tener un factor de dilución NMP/100mL para las muestras de agua de río y NMP/10mL en la muestra de mar. Estas muestras fueron conservadas una vez recolectadas con ayuda de una hielera la cual estaba a una temperatura de 4 °C a 5 °C. Las muestras se transportaron en la hielera con la finalidad de conservar las muestras de agua a una temperatura de °C. Una vez que las muestras se entregaron al HIDROCEC. Estas se trasladaron a una refrigeradora para su conservación, y, así mismo, para ser procesadas en el laboratorio de microbiología del HIDROCEC-UNA.

Una vez tomadas las muestras tanto de mar como de río se procedió a agregar 10 mL de agua desionizada a la muestra de agua de río y 1 mL de desionizada a la muestra de agua de mar.

Una vez terminado este procedimiento se procedió a agregar el sustrato de colilert a las muestras, esto con la finalidad de hacer crecer colonias de coliforme fecales y *E coli*, agitando las muestras para disolver todo el sustrato.

Con el procedimiento de los pozos múltiples y haciendo uso de bandejas multipocillos desechables esterilizadas (51 pocillos), se vierte la muestra con el sustrato, se sella la bandeja y se procede a realizar la incubación por 24 horas, a una temperatura con un rango de 30 a 35°C.

Una vez finalizada la incubación se retiraron las bandejas y se observaron bajo luz ultravioleta, con la finalidad de poder determinar la presencia de colonias de *E.coli* si media la bioluminiscencia. Los pocillos que presenten una coloración amarilla son positivos en coliformes fecales.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Seguidamente se presentan los principales resultados de la investigación:

Dentro de las visitas que se realizaron a Playa Tamarindo se logró identificar diferentes puntos de vertidos de aguas residuales que realizan una descarga directa en el litoral de Playa Tamarindo. Estos puntos de vertidos tienen su origen en los diferentes comercios los cuales están presentes a lo largo de la playa y generan un fuerte olor a cloaca y malestar en los visitantes de la playa. Así mismo, se identificaron veintidós puntos de vertido, los cuales presentan un flujo constante de agua residual en la playa. Es por ello que se seleccionaron cuatro puntos de interés para realizar los muestreos, los cuales son Porto Fino, Hacienda Pacífico, Johnny Tamarindo y el río San Andrés.

Tabla 7. *Puntos de vertidos identificados en Playa Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste.*

Punto de vertido	Latitud	Longitud
Vertido hacienda del Pacífico	10.29383647	-85.84886379
Blue Lagoon	10.29475170	-85.8477078
TAMAE SURF	10.29479163	-85.84753783
Surf Coach Tama	10.29516789	-85.84698376
Casa salida de tubo	10.29600253	-85.84553623
Casa salida de tubo	10.29604851	-85.84560721
Manglar Tamarindo	10.29716102	-85.84404505
Costa Rica Stand up Paddle adventures	10.29824881	-85.84297313
Porto Fino	10.29940437	-85.84259921
Jonny Tamarindo	10.30027525	-85.84158006
Descarga Tamarindo Diría 2	10.30147132	-85.84117839
Descarga Tamarindo Diría 3	10.30174114	-85.84079225
Descarga frente al hotel Marielos	10.30238812	-85.84018025
Beach Parking	10.30368389	-85.8395296
Casa Aura's	10.30454368	-85.83865652

RED DOOR	10.30591696	-85.83791014
Pangas Beach club	10.30694353	-85.83682533
The Beache House	10.29432741	-85.84982242
bar el chiringuito	10.29791826	-85.84312173
Descarga de agua pluvia	10.29863716	-85.8427038
Rio San Andrés	10.81450000	-85.8416000
Vertido Tamarindo Diría 1	10.30119289	-85.84122168
Descarga casa arriba	10.30775319	-85.83530436

Fuente. Elaboración propia, 2022.

De igual forma, los puntos escogidos para muestrear fueron vertido Hacienda del Pacífico, Porto Fino y Jonny Tamarindo, por el hecho de que estos presentaban características particulares, como mal olor, color peculiar (blanco, café y gris). Además de que estos presentaban en ese momento descarga continua de agua, la cual para la identificación de la muestra se determinó como:

Tabla 8: *Identificación de puntos de muestreo para la colecta de muestras en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.*

Punto de muestreo	Código ID laboratorio
Hacienda El Pacífico	180
Porto Fino	181
Jonny Tamarindo	182
río San Andrés	183

Fuente. Elaboración propia, 2022.

Se determinó este número de identificación a la hora de realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, tanto de playa como de mar.

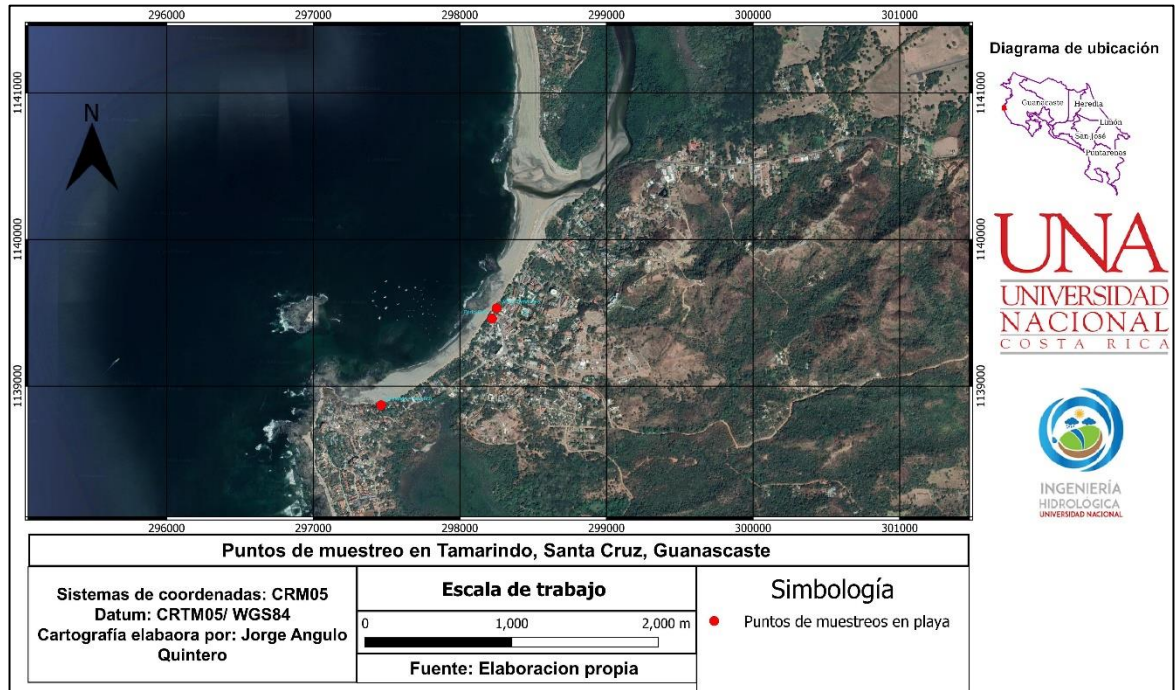


Figura 6: Ubicación de los puntos de muestreo: Hacienda Pacífico, Porto Fino, Jonny Tamarindo y Río San Andrés en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.

Fuente Elaboración propia, 2022.

Para complementar la investigación se les consultó a las siguientes entidades acerca de la situación presente en Tamarindo:

Ministerio de Salud

Se hallaron varias denuncias por incumplimiento por parte de los locales con el depósito de aguas residuales. Se encontró un recurso de amparo ante tal situación porque el Ministerio de Salud no estaba dando respuestas. Es el caso de la Sentencia N.º 2020015129 de la Sala Constitucional, 2020.

Se determinó, por medio de los gestores ambientales, que estos introducían un tubo fluorescente en los tanques de agua residual de los comercios para determinar, por medio de la descarga, si esa agua residual iba a parar a alguna alcantarilla pluvial y si posteriormente se descargaba en la playa.

Se encontró que varios restaurantes se cambiaban el nombre para dificultar las labores del personal del Ministerio de Salud.

Se encontró también que esta era la solución planteada en vez de construir una planta de tratamiento de aguas residuales, tal como que se requiere en la zona de Playa Tamarindo.

Las entidades consultadas fueron:

Acueducto y Alcantarillado

Se encontró que se estaba planteada la solución de la plateada de tratamiento, pero estaba apenas en desarrollo y estaba prevista para el 2026, por lo que por el momento o existe un plan de acción real que ayude a mitigar dicha problemática.

Como se muestra en la Figura 7, donde se observa el comienzo y fin la realización de tareas para la construcción de la planta de tratamiento.

Donde consiste en un diseño final con una duración de 25 años y proyectado hasta el 2047 para que sea necesario implementar un alcantarillado sanitario, planta de aguas residuales y dar finalidad al vertido de acuerdo con lo que se expuso en el ministerio de salud

Programación del Proyecto BPIP 002500 Construcción del Sistema de Saneamiento para la comunidad de Tamarindo, Guanacaste

Nombre de la Tarea	Comienzo	Fin
Pre-inversión	01-10-2020	07-11-2023
Estudio de diagnóstico	15-10-2020	15-01-2021
Factibilidad	17-12-2020	07-11-2023
Viabilidad Ambiental	17-05-2021	07-11-2023
Diseño	31-03-2021	14-01-2022
Financiamiento	17-05-2021	31-03-2023
Pre-ejecución	07-11-2023	26-12-2024
Ejecución	26-12-2024	18-05-2026

Figura 7. Programa del proyecto de construcción del sistema de saneamiento para la comunidad de Tamarindo.

Fuente. Ministerio de salud, 2022.

ASADA de Tamarindo

La ASADA de Tamarindo suministró información valiosa en referencia a los vertidos de aguas residuales. Además de esta información se reveló que hay un proyecto en que se plantea un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante lodos activos, el cual lleva como título AGUASANA, el cual es un proyecto de la Asociación Confraternidad Guanacasteca y del Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe de la Universidad Nacional (HIDROCEC-UNA). Sumado a esto, la ASADA de Tamarindo suministró información sobre el estado del manglar de playa, pues se tiene conocimiento de que en dicho manglar se da la descarga de ríos que están contaminados, sumados a los vertidos provenientes del comercio presente en playa Tamarindo.

Municipalidad de Santa Cruz

En la Municipalidad de Santa Cruz no tramitan las denuncias sino que ellos actúan como un puente entre el denunciante y el Ministerio de Salud, pues la Municipalidad no atiende ninguna denuncia cuyo origen sea el problema de los vertidos. Por ello, dentro de la playa Tamarindo la Municipalidad de Santa Cruz solo atiende concesiones para plantas de tratamiento mediante su departamento de áreas marino-terrestres. Además de ello, no existe un plan de ordenamiento territorial en Tamarindo, y esto contribuye al gran desorden que existe en lugar esto, porque toda nueva construcción no tendrá control alguno.

6.2 Resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales y río

A partir de los muestreos realizados se tomaron parámetros *in situ*, los cuales se midieron con una sonda multiparámetros, la cual se introdujo lo más cercanamente posible a una fuente del vertido, y se obtuvieron mediciones de pH, temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y conductividad eléctrica. Se evidenciaron las características fisicoquímicas que se encuentran en los puntos de vertido, los cuales fueron el río San Andrés, Hacienda Pacífico, Porto Fino y Jonny Tamarindo. Del mismo modo se realizaron pruebas de laboratorio para poder determinar las concentraciones y confirmar la presencia de nitritos, nitratos, amonio y fosfatos. Para complementar el análisis se aplicó el método del índice holandés para medir la calidad de los cuerpos de agua y el índice ICA para evaluar la calidad de agua en los puntos ya mencionados, tomando en cuenta todos los parámetros necesarios para poder implementar y ejecutar los índices de calidad de agua.

Tabla 8. *Parámetros físicos-químicos y microbiológicos de las muestras en Playa Tamarindo.*

Sitio	Pto 1. alcantarilla Tamarindo de Pacifico)	Pto 2. en Portofino	Pto 3. Alcantarilla en Tamarindo (Cerca de Jonny Tamarindo)	Pto 4. Rio San Andrés
pH	7,43	7,19	7,23	7,6
CE (µs/cm)	1828	812,2	876	408,9
T (C°)	26,3	28,6	27,7	28,1
OD (mg/L)	0,93	2,11	5,80	7,04
% O	8,7	28,4	70	90,8
Salinidad (ppm)	2460	406	433	NA
N-NH4 (mg/l)	0,824	0,055	0,857	0,016
NO ₃ (mg/L)	0,488	0,437	8,148	1,350
P-PO ₄ ⁻³ (mg/L)	1,307	1,357	0,856	0,102
NO ₂ (mg/L)	0,163	0,005	0,201	0,018
Cl ⁻ (mg/L)	197,104	197,535	69,941	4,130
Na (mg/L)	392,645	69,489	61,456	11,479
SO ₄ ⁻² (mg/L)	97,532	97,749	28,042	4,868
Materia orgánica disuelta fluorescente (DOM, ppb)	91,9051	107,6616	45,2484	14,7959
Clorofila (ug/L)	3,2140	2,3550	0,2040	ND
DBO 5 (mg/L)	9,21	3,26	8,14	1,78
STD (mg/L)	1029	408,2	438,6	196,1
Turbiedad NTU	120,7884	1.5195	4.8527	3.9132

Coliformes (NMP/100mL)	Fecales	2419.6	61310	2419.6	81600
E.Coli	NMP/100mL)	61310	24890	86640	1100

6.3 Resultados de parámetros fisicoquímicos Parámetros en mar

Tabla 9. *Parámetros físicos de las muestras de mar en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.*

Sitio	Pto. 8. Salida Estero Tamarindo	Pto. 9. Playa Tamarindo	Pto. 10 Estero Langosta
pH	8,16	8,18	8,26
CE (µs/cm)	44190,58	44529,29	46919,74
T (C°)	30,06	30,94	28,82
OD (mg/L)	7,82	7,79	7,79
% O	120,18	121,33	118,47
Salinidad (psu)	28,37	28,57	30,38
N-NH4 (mg/l)	1,224	1,046	ND
NO ₃ (mg/L)	ND	ND	ND
NO ₂ (ug/L)	6	7	3
P-PO ₄ ⁻³ (mg/L)	8,287	ND	ND
Materia orgánica disuelta fluorescente (DOM, ppb)	3,1207	0,8519	1,0325
Clorofila (ug/L)	0,7647	0,6945	0,2295
Turbiedad NTU	2,68	2,8221	1,2515
E. (NMP/100mL)	Coli 63	63	10

Enterococos (NMP/100mL)	10	10	10
----------------------------	----	----	----

Fuente. Elaboración propia, 2022.

En la tabla 9 se presentan los parámetros de campo tomados en mar y el pH se mantiene en un rango de 8,17, lo cual es normal según Hernández-Ayón *et al.*, 2003), ya que en el océano el rango de pH está calculado de 8 a 8,20. En esta misma tabla 9 se observa que la conductividad no varía mucho de un punto otro, sino que se mantiene dentro del rango normal de salinidad según (González, 2008). La salinidad varía de 28 hasta 33 ppm.

La temperatura también se mantiene en un rango adecuado según (González 2008). La temperatura varía de acuerdo con la región geográfica, pero para este caso se mantiene en el rango de 28 a 38 °C, y está relacionada con el oxígeno disuelto, el cual indica que se mantiene dentro del rango normal de oxígeno disuelto para mar, el cual no se ve mayormente afectado debido al oleaje.

Para los parámetros de amonio, nitrato, nitrito, fósforo, materia orgánica y clorofila se presentan concentraciones bajas, lo cual no causa problemas al ambiente marino en esa zona, ya que los puntos de muestreos se realizaron a kilómetro y medio de costa. También esto se debe a que el medio acuático está en constante por las corrientes marinas.

Los vertidos de aguas residuales provocan una alteración en las cargas de nutrientes; sin embargo, el estero de Playa Tamarindo contribuye a la calidad del agua de la zona marino-costera. Según Sandí (2020), los vertidos de aguas residuales, así como también la cercanía de ríos o esteros podrían contribuir en la calidad de las aguas residuales. Sumado a ello, las aguas superficiales que desembocan en las costas se ven afectadas por la presencia de microorganismos, compuestos inorgánicos, nutrientes, sólidos en suspensión en los cuerpos de agua incrementan la cantidad de materia orgánica presente, lo que lleva a una disminución del contenido de oxígeno disuelto, que a su vez afecta los ecosistemas acuáticos.

Es por ello que el mismo estero y las actividades económicas presentes en Tamarindo podrían estar afectando la calidad del agua más de lo que se cree, pues según Sandí (2020) este tipo de actividades puede generar el arrastre de una mayor cantidad de sedimentos, actividades como prácticas agrícolas inapropiadas y las construcciones ubicadas en las zonas costeras; lo cual provoca la afectación de los arrecifes coralinos con sustancias ajenas a él y ocasionar un daño al ecosistema marino. En consecuencia, las aguas negras presentes en los vertidos de aguas residuales, así como la influencia del estero de Playa Tamarindo podrían provocar que los corales sean desplazados por competencia por algas, lo cual modificaría el ecosistema marino-costero de Playa Tamarindo.

En Costa Rica, de acuerdo con Ruiz (2012), solo 25% de población cuenta con alcantarillado sanitario, 70% con tanques sépticos y el restante no cuenta con ningún tipo de tratamiento. Aunque se estima eso, nadie asegura que sean los tratamientos por tanques sépticos se cumplan con lo establecido por el reglamento, por lo cual algunos son depositados

en el alcantarillado pluvial y vertidos a cuerpos de agua y causar afectaciones a la salud pública y al ambiente.

Se realizan análisis de calidad del agua en los que encontramos los parámetros fisicoquímicos tomados en el sitio y analizados en el laboratorio del HIDROCEC, que indica y de ello da información sobre el resto de la calidad del agua (Samboni, 2007), por lo cual se escogieron los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, salinidad, para saber la condición del vertido en la playa.

Hay que tener en cuenta que el agua que se analizó del punto Hacienda El pacífico y Jonny Tamarindo, provenía de un alcantarillado pluvial y la descarga era continua; además, en ese momento no se presenta precipitación. En este punto el agua emitía un olor a cloaca y presentaba color blancuzco, tal y como se presenta en las Figuras 8, 9 y 10. En el punto Porto Fino se encontraba una tubería con diámetro de aproximadamente 2 pulgadas, escondida detrás de un árbol.



Figura 8. Muestreo en el punto de vertido Hacienda el Pacífico, Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.

Fuente. Elaboración propia, 2022.

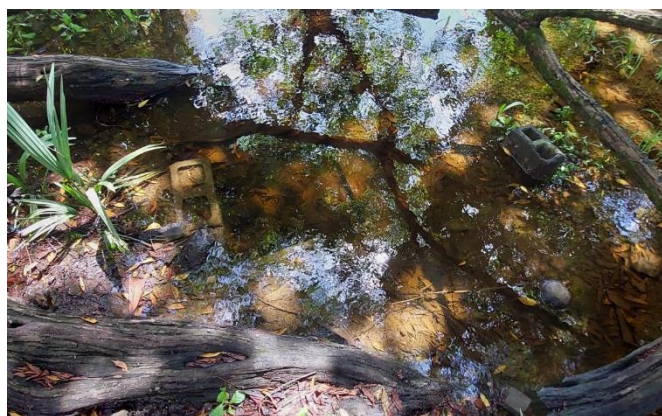


Figura 9. Identificación del punto de vertido Porto Fino, Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.

Fuente. Elaboración propia, 2022.



Figura 10. Muestreo en el punto de vertido Johnny Tamarindo, Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.

Fuente. Elaboración propia, 2022

En la Tabla 8 se observa que el parámetro de pH se encuentra en 7,43 para Hacienda El pacifico, 7,19 para Porto Fino y 7,25 para Jonny Tamarindo, que está desfogando a la playa y de acuerdo con el reglamento de vertido, y reusó de aguas residuales N.º 33601 (2007), el cual indica que el límite permitido es de 5 a 9, por lo cual los puntos analizados se encuentran dentro del parámetro establecido por el reglamento.

Por otra parte, el oxígeno disuelto varía de acuerdo con la temperatura, pues a mayor temperatura menor solubilidad y, por lo tanto, menor cantidad de oxígeno disuelto, según lo cual altas temperaturas llegan desoxigenar el agua, y por lo cual un vertido con concentraciones bajas de oxígeno disuelto, como se muestra en la Tabla 8, podría ser perjudicial para el cuerpo de agua receptor, ya que cambia parámetros que se encuentran causando efectos ambientales (Pérez, 2003).

También se sabe que el oxígeno disuelto tiene una relación con respecto a la salinidad; por ende, al aumentar la salinidad el oxígeno disuelto disminuye (Jiménez, 2001), como se

puede observar en la tabla 8, en el punto de desfogue, cerca de la Hacienda Pacífico, que la salinidad es de 2460 mg/l. Se obtuvo 0,93 ppm de oxígeno disuelto, por lo cual se podría asumir que la cantidad de sales en el agua disminuye la cantidad de oxígeno disuelto, estando esta en condiciones de estancamiento.



Figura 11. Determinación de parámetros fisicoquímicos en laboratorio, HIDROCEC-UNA, Campus Liberia, Universidad Nacional, 2022.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Los puntos de vertidos Porto Fino y Jonny Tamarindo presentan una conductividad eleva por la cantidad de iones, cloruro, sodio, sulfatos, fosfatos, amoniacos presentes en los vertidos. Por otra parte, en el Rio San Andrés se presentó una conductividad 408,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una cantidad baja de iones de cloruro y sodio, en donde los sulfatos y otras sales aumentan la conductividad.

La cantidad de sólidos totales se relaciona con la salinidad, ya que, según Pérez, (2003), los sólidos totales disueltos hacen referencia a la concentración de minerales presentes en el agua y van de acuerdo con la salinidad. En la tabla 8 se observa que para Porto Fino, con una cantidad STD de 408,2 mg/l y para una salinidad de 406 mg/l, y para Jonny Tamarindo, con una cantidad STD de 438,6 mg/l y salinidad de 433 mg/l, y para río San Andrés, una cantidad de STD de 196,1mg/l y una salinidad de 1922 mg/l, en que se ve reflejado que se detecta la presencia de alto contenido de sales, se provoca un aumento en salinidad para todos los puntos.

Las concentraciones de nitratos (NO_3) podrían provenir tanto de fuentes naturales como de fuentes antropogénicas. Las grandes cantidades de nitratos pueden llegar a causar problemas de eutrofización; además, según Greenpeace (2010), pueden llegar a cadena trófica. Sin embargo, en este caso se registraron bajas concentraciones.

La presencia de fosfatos en medios acuosos representan un riesgo para la salud ecosistémica, ya que ayudan a la reproducción de algas y cuando estas llegan a su punto máximo mueren y sirven de alimento para las bacterias que crecen en el ambiente. Entonces causan un agotamiento del oxígeno y provocan la muerte de peces (Wolke, 2007); pero para los puntos de vertidos y el Río San Andrés se registró un bajo contenido de fosfato ya que, según el reglamento de vertidos de aguas residuales (2007), para cuerpos receptor no deben sobre pasar de 25 mg/l, por lo cual las concentraciones registradas no sobrepasan los límites permitidos.

Los niveles de nitrito (NO₂) para los puntos de vertidos y Río Andrés, Tabla 8, se observan en concentraciones bajas, las cuales en pequeñas cantidades no causan un daño al ambiente y al cuerpo receptor, porque esto lo puede asimilar rápidamente; pero esto solo para los cuatro puntos que se pudieron analizar de los veintidós existentes. Incluso, estos puntos están descargando, a diferentes horas del día y de la noche, de traer grandes concentraciones de nutrientes, como son fósforo y nitrógeno, que se encuentran en el ambiente; pero también de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento, que sirven como catalizador para que se den las condiciones indicadas para una eutrofización. Esto genera una proliferación de algas y se crean procesos de nitrificación que causan una reducción del oxígeno disuelto que podrían causar la muerte de especies por estrés, y una alteración en el ecosistema de la playa y el estero. Según Aranda (2004), el exceso de nutrientes, como fósforo y nitrógeno, que son descargados a cuerpos de agua, provoca un crecimiento acelerado de microalgas, que llega a causar incluso la muerte de especies al despojarlos del oxígeno que requiere para vivir.

Las concentraciones de cloruros y sodios se presentan en mayor cantidad para los puntos de vertido Hacienda el Pacífico, Porto Fino y Jonny Tamarindo, ya que donde se tomó la muestra tenía contacto con posibles entradas al mar, como se muestra en las figuras 8, 9 y 10. Asimismo, también en el alcantarillado se está vertiendo agua con alto contenido de productos de limpieza y aseo personal, los que podrían estar alterando el contenido de cloruros, sodio y otras sales.

Como se muestra en la Tabla 8, la presencia de sulfatos (SO₄⁻²) para los puntos de vertidos Hacienda El Pacífico, Porto Fino y Jonny Tamarindo podrían provenir de los alcantarillados, que son vertidos en la playa y presentan un olor característico que se describe como huevos podridos, lo cual, según Bas (2017), es característico de los sulfatos que, al descomponerse y formar sulfuro de hidrógeno, pueden llegar a ser tóxicos y producir en alcantarillas bajo una descomposición anaeróbica microbiana que descompone la materia orgánica. Estos sulfatos provienen de artículos de limpieza y fueron detectados en el alcantarillado pluvial. En el caso de Jonny Tamarindo y de las otras dos alcantarillas se desconoce su procedencia; además, se tiene un registro que se expuso ante el Ministerio de Salud, de acuerdo con la (Sentencia No 2020015129 de Sala Constitucional, 2020), en que se indica conexiones de tubería ilegal al alcantarillado pluvial.

Se observa, en la tabla 8, la presencia de clorofila que, según Yaxcelys (2015), es la encargada de la absorción de luz para poder realizar la fotosíntesis, en el que se libera oxígeno

para degradar la materia orgánica que se podría estar vertiendo a la playa, y esto propicia un ambiente adecuado para una eutrofización en los puntos de vertidos Hacienda El Pacífico, Porto Fino y Jonny Tamarindo. En Río San Andrés no se detectó presencia de clorofila.

Para demanda Bioquímica de oxígeno (DBO 5), según Pérez (2003), es la cantidad de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para poder degradar la materia orgánica presente en el agua, y va a tener relación con la temperatura y, de acuerdo con el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N° 33601, el valor admisible es de 50 mg/l lo cual para todos los parámetros está dentro de lo establecido.

Por otra parte, la turbidez presentada en el punto Hacienda El Pacífico es elevado. Esto se debe a la cantidad de materiales insolubles que presenta en agua vertida, como se observa en la figura 8. El agua presenta un color blancuzco. En los puntos Porto Fino y Jonny Tamarindo no se presentó mucha turbidez, como se muestra en las figuras 9 y 10.

6.4 Aplicación del Índice Holandés y el Índice de Calidad de Agua (ICA) para la valoración de la calidad fisicoquímica del agua para cuerpos receptores

De acuerdo con los parámetros analizados *in situ* y de laboratorio se procede aplicar el Índice Holandés, tomando como referencia los siguientes parámetros fisicoquímicos: a) Porcentaje de Saturación de Oxígeno, b) Demanda Bioquímica de Oxígeno y c) Nitrógeno Amoniacal.

Tabla 10. Asignación de puntajes según el Índice Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua para las muestras analizadas.

Fecha de muestreo	Punto de muestreo	PSO (%)	DBO (mg/l)	N-NH ₄ (mg/L)	Puntaje	Color asignado
22/10/2022	Hacienda El Pacífico	8.7	9.21	0.824	11	Anaranjado
	Porto Fino	28.4	3.23	0.055	8	Amarrillo
	Jonny Tamarindo	70	8.14	0.857	8	Amarrillo
	San Andrés	90.8	1.78	0.016	4	Azul

Fuente. Elaboración propia, 2022.

Donde acuerdo con el Índice holandés se tiene que para Hacienda El Pacífico una contaminación severa, para Porto Fino y Jonny Tamarindo se presentó una contaminación moderada y para Río San Andrés se presenta sin contaminación.

Tabla 11. Resultados obtenidos del Índice ICA para calidad de agua en los puntos de muestreo

Punto de muestro	Descripción del Sitio	Mes de Muestreo octubre, 2022
1	Hacienda Pacífico	47,35
2	Portofino	55,82
3	Johnny Tamarindo	54,17
4	San Andrés	75,54

Niveles de contaminación				
Excelente	Buena	Regular	Mala	Pésima

La Tabla 11 muestra la calidad del agua según el índice de calidad del agua en los puntos de muestreo. Se indica que en el punto 1, conocido como Hacienda Pacífico, la calidad del agua, que tiene un nivel de contaminación malo, con un valor de 47,35, lo que revela que es el punto que presenta la peor calidad de agua con respecto a los otros puntos analizados. Así mismo, el punto 2 presenta un nivel de contaminación regular, con un valor de 55,82 y, de igual forma, el punto 3, conocido como Johnny Tamarindo, presenta, al igual que el punto 2, una calidad de agua regular con un puntaje de 54,17. El punto 4 muestra una calidad de agua buena, con un valor de 75,54. Por lo tanto, los valores de calidad del ICA coinciden con los valores de calidad de agua indicados con el Índice Holandés.

Al analizar los resultados descritos en las tablas 10 y 11 se muestra que ambos índices coinciden en que el lugar que presenta una mejor calidad de agua es el punto número 4, Río San Andrés. Al analizar el punto en el cual se presenta la peor calidad del agua, ambos índices indican que Hacienda Pacífico es el punto que presenta la peor calidad de agua.

Al aplicar su respectiva metodología para determinar la calidad del agua siempre van a existir algunas incongruencias, y esto puede llegar a suceder debido al hecho de que ambos índices aplican parámetros diferentes a la hora de determinar la calidad del agua. Por ejemplo, el índice ICA contempla una amplia cantidad de parámetros, como los coliformes fecales, DBO5, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, porcentaje de oxígeno disuelto y solidos totales. Se deben interpolar datos haciendo uso de gráficos; estos para verificar que nuestros rangos obtenidos a la hora de determinar los respectivos valores de los parámetros analizados

se encuentren dentro los rangos de los gráficos. Si en dado caso los valores obtenidos no están dentro de los rangos, se hace una revisión de datos, ya que se puede estar dando un error a la hora de la interpretación de los valores de los parámetros. En el caso del Índice Holandés, DBO5, N-NH4 + y PSO, son los parámetros por considerar a la hora de aplicar dicho índice a los puntos de estudio; sin embargo, a pesar de que ambos índices solo comparten pocos parámetros, ambos muestran coincidencias a la hora de indicar la calidad del agua de los puntos de muestreo.

6.5 Calidad microbiológica de las aguas

Tabla 12. *Resultados microbiológicos de Coliformes fecales y Escherichia coli en las muestras de aguas residuales en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.*

Muestra	Análisis	NmP/100mL	NmPxFD
Hacienda Pacífico	CF	2419.6	241960
Hacienda Pacífico	EC	613.1	61310
Portofino	CF	613.1	61310
Portofino	EC	248.9	24890
Johnny Tamarindo	CF	81.6	81600
Johnny Tamarindo	EC	866.4	86640
Río San Andrés	CF	81.6	81600
Río San Andrés	EC	11.0	1100

Fuente. Elaboración propia, 2022.

En la tabla 12 se observan las muestras de Hacienda Pacífico, Porto Fino, Johnny Tamarindo y Río San Andrés, los cuales pertenecen al litoral de playa Tamarindo. En el caso de las coliformes fecales los vales presentan un rango de 2419,9 NmP/100mL; en el caso del valor más alto, el cual pertenece a Hacienda Pacífico, y de 81,9 NmP/100 mL en el caso del valor más bajo, el cual se encuentra en los puntos de río San Andrés y Johnny Tamarindo. Así mismo, para los valores en *E.coli* el valor más alto es de 866,4 NmP/ 100 mL y pertenece a Johnny Tamarindo. En el caso contrario el valor más bajo es de 11,0 NmP/100 mL y se encuentra en el punto de Río San Andrés. Según el Reglamento de Uso y Reúso de aguas residuales, con un número más probable de coliformes fecales no mayor a 1000 por cada 100 mL de muestra, para un cuerpo receptor. Sin embargo, al observar la tabla 12 esta revela que

solo el punto de Hacienda El Pacífico presenta valores más altos que los que indica el Reglamento de Uso y Reúso de Aguas Residuales. Así mismo esto puede ser un reflejo de la gran cantidad de agua residual sin tratamiento que está siendo vertida, lo cual hace que los valores de los de CF sean tan altos. De igual forma, se debe tomar en consideración que la CF también pueden tener su origen en las excretas de animales de sangre caliente, por lo que su fuente puede tener origen animal. Los valores de *E.coli*, según el Reglamento de Calidad del Agua potable, el parámetro microbiológico *E.coli* no debe ser detectable, por lo que en este caso todas las muestras, según el , presentan contaminación por *E. coli*, pues todas muestras tienen valores detectables. Seguido de ello está la problemática que puede generar la presencia de *E.coli*, pues al ser un indicador de presencia de contaminación fecal por lo tanto aumenta la posibilidad de enfermedades asociadas con la materia fecal.

Parámetros microbiológicos en mar de Playa Tamarindo

Tabla 13. *Resultados de los análisis microbiológicos de Escherichia coli en las muestras de mar en Playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.*

Muestra	Análisis	NMP/10 mL	NMPxFD
Estero Tamarindo	EC	6.3	63
Estero Tamarindo	Ent	1.0	10
Playa Tamarindo	EC	6.3	63
Playa Tamarindo	Ent	1.0	10
Estero Langosta	EC	1.0	10
Estero Langosta	Ent	1.0	10

Fuente. Elaboración propia, 2022.

En la tabla 13, las muestras Estero Tamarindo, Playa Tamarindo y Estero Langosta, que pertenecen a Playa Tamarindo, arrojan valores de *Enterococcus* de 10 NMP/10 ML. En la tabla se indica que una concentración en *Enterococcus*, en un rango de 0-500 NMP/10 mL es apta para uso de recreativo, por lo que al analizar y comparar los resultados con los datos de la tabla 14, nos damos cuenta de que el agua de Playa Tamarindo es apta para la recreación; no obstante, la presencia de este microorganismo puede traer una serie de consecuencias para la salud. Estas repercusiones en la salud, según Díaz (2010), se relacionan directamente con

gastroenteritis, enfermedades respiratorias, conjuntivitis y dermatitis, ya que la presencia de *Enterococcus* siempre representa una amenaza para la salud humana.

Se debe tener en consideración la distancia a la cual se tomaron las muestras con respecto a la playa, pues cuanto mayor sea la distancia entre el punto de muestreo y la fuente de contaminación es más probable que la carga contaminante se diluya. Esto sumado a la acción de las mareas, pues si la marea está alta la carga de contaminantes tiende a disminuir; en el caso contrario, con la marea baja se podría dar una mayor carga de microorganismos provenientes de aguas residuales. Sumado a ello, la acción de las mareas puede contribuir en la dispersión de los contaminantes pues los puede traer desde la zona terrestre.

En la tabla 13 se observan importantes concentraciones de *Escherichia coli* en las aguas de mar, y, tomando en cuenta que la *Escherichia coli* es una bacteria que habita en el intestino de los animales de sangre caliente y seres humanos, existe la posibilidad de que las personas se enfermen si están en contacto con la bacteria, ya que, según Rock (2014), “la infección por *E. coli* es en el tracto gastrointestinal y los síntomas pueden incluir náusea, vómito, diarrea y fiebre”. Al comparar los resultados obtenidos (tabla 13 con los datos de la tabla 15, la condición del agua de mar en esta playa se puede calificar como buena; pero, al igual que con las concentraciones de *Enterococcus*, existen una serie de circunstancias que pueden hacer que la carga microbiana disminuya en relación con la cantidad real que existiese en el lugar.

Otro factor que puede influir en la carga microbiana son las características propias del mar, como la salinidad, pues no todos los coliformes fecales pueden resistir a estas condiciones. En el caso de los *enterococcus*, son un caso aislado, ya que según Diaz (2010) los enterococcus son considerados el indicador bacteriológico más eficiente para evaluar la calidad del agua de mar para uso recreativo, debido a que es altamente resistente a las condiciones salinas. Sin embargo, por más resistente que este sea, tiene una resistencia limitada a estas condiciones hostiles, ya que también la temperatura del agua puede influir en la muerte de los *enterococcus*.



Figura 12. Toma de las muestras de agua de mar en playa Tamarindo, Guanacaste, 2022.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Tabla 14: *Criterios de clasificación de las playas de acuerdo con los niveles de Enterococcus presentes en el agua.*

<i>Enterococcus</i> NMP/100	Clasificación de playa
0-500	Apta para uso recreativo
>500	no apta para uso recreativo

Fuente Organización Mundial de la Salud (2003)

Tabla 15: *Criterios de clasificación de las playas de acuerdo con los niveles de Escherichia coli presentes en el agua.*

Variable	Rango	puntaje	clasificación
coliformes termorresistentes (NMP/100mL)	0-200	0,50	Buena
	>200	0,00	Mala

Fuente. López, 2018

La presencia de *enterococcus* y de *escherichia coli* no solamente presenta un riesgo para la salud de las personas que utilizan las aguas de playa Tamarindo para su recreación. La presencia de *enterococcus* confirma la presencia de materia fecal humana. Al analizar los resultados obtenidos se puede deducir que no existe un peligro para los ecosistemas presentes en Playa Tamarindo ni para salud de las personas; esto es debido a que las concentraciones obtenidas, tanto de nutrientes como de microorganismos, son relativamente bajas; sin embargo, la presencia de estos contaminantes abre una puerta para una eventual problemática, pues existe un peligro latente tanto para las personas como para los ecosistemas. Es por ello que se debe prestar especial atención al aumento de estos parámetros, pues Tamarindo, al ser una zona con una alta actividad comercial, puede llegar a ser un verdadero foco de problemas ambientales. Así mismo, es necesario recalcar que en Costa Rica no se cuenta con un reglamento de calidad de aguas específicamente enfocado en la de mar. Es por ello por lo que resulta sumamente complicado poder determinar la calidad del agua en Playa Tamarindo.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La problemática de las aguas residuales no solo proviene del comercio presente en el litoral de la playa, pues por la misma geografía e infraestructura de Tamarindo existe un arrastre de vertidos de diferentes puntos de la zona.

La contaminación por los vertidos de aguas residuales compromete varios factores de Tamarindo, como la salud pública y, además, pone en riesgo calidad del agua de la zona marino-costera, los ecosistemas y, además, toda la actividad turística corre riesgo ante los peligros que representan los vertidos de aguas residuales.

Una alta concentración de nutrientes como son el nitrógeno y el fósforo en las aguas residuales puede llegar a causar una eutrofización en la playa y extenderse hasta el estero provocar la muerte de especies en la zona y un impacto ambiental. Sin embargo, las concentraciones registradas en este estudio no sobrepasan los valores guía.

Los resultados obtenidos de la aplicación del Índice Holandés y el ICA a los sitios en donde se muestrearon aguas residuales indican que solo el río San Andrés presenta una calidad de agua buena; los demás puntos presentan un importante aporte de contaminantes a la playa, y el punto Hacienda Pacífico es el que presentan menor calidad fisicoquímica y microbiológica de agua.

La presencia de *Enterococcus* y *E. coli*, como un indicador de contaminación fecal humana en Playa Tamarindo, resultó ser muy efectiva para determinar la calidad microbiológica de los sitios estudiados, y aunque los valores obtenidos no sobrepasan los valores indicados para uso recreativo, se debe considerar que su presencia en agua indica contaminación antropogénica asociada con las descargas de aguas residuales en la playa, en donde las concentraciones de bacterias se registraron en valores elevados.

Los índices de calidad del agua utilizados generan información que indica los sitios en los que debe darse un mayor control, en este caso Hacienda Pacífico, para tratar de identificar de dónde provienen los vertidos y presentar el caso ante el Ministerio de Salud, para que aplique las medidas correspondientes y trabaje en la planificación de ellas.

Recomendaciones

Se recomienda establecer un monitoreo en el que se cumpla con las normas de calidad para asegurar la cadena de custodia de las muestras hasta su análisis, tomando en cuenta que las muestras deben ser analizadas en un tiempo no mayor de 24 horas de haberse muestreado, ya que pueden cambiar sus características físicas, químicas y microbiológicas.

Se recomienda incluir más parámetros de iones que contengan concentración de sales, ya que estos pueden pasar desapercibidos por la cantidad de cloruros y sodios por la cercanía a la playa.

Se recomienda hacer un mínimo de tres muestreos más lo que permita comparar entre estaciones y poder dar un resultado completo, ya que los parámetros pueden variar de acuerdo con la estación presente. Realizar también un muestreo en la época lluviosa, en la transición de época lluviosa a seca y seca, para comparar las concentraciones de los contaminantes del contaminante.

Se recomienda dar seguimiento a los muestreos en costa y cubrirlos en su mayor parte a distintas horas del día, noche y madrugada, para determinar a qué hora se presentan mayores cargas de contaminantes en los desfuegos. Por ejemplo, lo ideal sería realizar análisis del ciclo de mareas para identificar los picos de contaminación en 24 horas; o en los periodos de mareas altas y bajas en diferentes días con alta ocupación turística, para conocer mejor la calidad del agua y poder obtener mayor información y poder relacionarla con posibles fuentes de contaminación terrestre.

Se resalta la importancia de articular las labores del AyA, el Ministerio de Salud, la ASADA de Tamarindo, la Municipalidad de Santa Cruz y las universidades públicas y el sector privado para contar con mayor información y acceso a la información que se genera, primero con el objetivo de llenar los vacíos existentes que impiden mejorar la gestión ambiental de esta zona y para permitir realizar futuros estudios en la zona.

La información recolectada para este proyecto debe ser presentada a la Junta Directiva de la ASADA de Tamarindo con la finalidad de actualizar y exponer en el contexto actual la condición en la que se encuentra Playa Tamarindo. También es importante que se piense en impartir charlas y talleres de educación ambiental adaptados a todos los rangos de edades, en los que se haga conciencia del impacto que genera la contaminación de vertidos a la costa, y sobre los daños a la salud pública y al ambiente que estos pueden llegar a generar, de manera que también se ve afectada la actividad turística.

Bibliografía.

Bravo, F, Piedra, G, Piedra, L. (2012). Evaluación físico-química de los sedimentos en el estero Tamarindo y sus tributarios, Guanacaste, Costa Rica. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:lchSzI2IUTcJ:https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/download/3861/3702/+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=cr>.

González, J. A., Céspedes, J. G., Ramírez, E. G., Zamora, J. A. V., & Cortés, J. (2008). Parámetros físico-químicos en aguas costeras de la Isla del Coco, Costa Rica (2001-2007). *Revista de Biología Tropical*, 56(S2), Art. S2. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i2.26938>

Hernández-Ayón, J. M., Zirino, A., Marinone, S. G., Canino-Herrera, R., & Galindo-Bect, M. S. (2003). Relación pH-densidad en el agua de mar. *Ciencias marinas*, 29(4), 497-508.

Sigler, A., & Bauder, J. (2017). Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales. *Obtenido de Well Educated Educación en el Agua de Pozo: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espagnol/Alkalinity_pH_TDS, 20, 2012-11.*

Francisco Ruiz Fallas (2012.). *Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en Costa Rica. Situación Actual y Perspectiva.pdf*. Recuperado 30 de octubre de 2022, de <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Gesti%C3%B3n%20de%20las%20Excretas%20y%20Aguas%20Residuales%20en%20Costa%20Rica%20%20Situaci%C3%B3n%20Actual%20y%20Perspectiva.pdf>.

Diaz, M, Rodríguez, C, Zhurbenko, R (2010) Aspectos fundamentales sobre el género *Enterococcus* como patógeno de elevada importancia en la actualidad. <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v48n2/hie06210.pdf>.

Organización Mundial de la Salud, (2003), uidelines for safe recreational water environments volume 1. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42591/9241545801.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Salas, H. (s.f). Calidad del agua en el medio marino. Historia y aplicación de normas microbiológicas. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/17693/v107n3p226.pdf?sequence=1>.

Rock, C. Rivera, B. (2014) La Calidad del Agua, E. coli y su Salud. <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>.

Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.

Sigler, P. W. A., & Bauder, J. (s. f.). *Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales*. 1.

Díaz, M. L. M. (2009). Valoración económica del uso de tecnologías de saneamiento ecológico para aguas residuales domiciliarias. *REVIBEC - REVISTA IBEROAMERICANA DE ECONOMÍA ECOLÓGICA*, 1-13.

Lopez, F. Miranda, F (2018), Niveles de Escherichia coli enteropatógeno(EPEC) en agua de mar de la playa Agua Dulce del distrito de Chorrillos.

http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/3520/008599_Tesis%20LOPEZ%20MENDOZA%20FABIOLA-%20MIRANDA%20CASTILLO%20FANCY.pdf?sequence=3

Mora, D. (2009). Evaluación de la Calidad Sanitaria en la Playa Tamarindo de Costa Rica, periodo 1986-2009, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. <https://www.bvs.sa.cr/AMBIENTE/textos/ambiente23.pdf>.

Mora. A, Vega, J. Gonzales. A, (2019). Evaluación de riesgos de las playas de Costa Rica Periodo 2010-2017.

<file:///C:/Users/hp/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeRiesgoSanitarioDeLasPlayasDeCostaRicaP-7451309.pdf>.

Picón, J. Baltodano, V. (2008,). Planificación turística en zonas costeras de costa rica. Algunas referencias a Playa tamarindo (santa cruz, guanacaste). revistas ucr. https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6kcX_AFXaUJ:https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intercedes/article/download/925/986/+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=cr.

Ruiz, F (2012), Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en Costa Rica, situación actual y perspectiva. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Gesti%C3%B3n%20de%20las%20Excretas%20y%20Aguas%20Residuales%20en%20Costa%20Rica%20%20Situaci%C3%B3n%20Actual%20y%20Perspectiva.pdf>.

Montes, F. (2001). El ordenamiento territorial como opción de políticas urbanas y regionales en América Latina y el Caribe.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5739/1/S01111024_es.pdf

PNOT. (2012). Política Nacional de Ordenamiento Territorial 2012 a 20140. https://www.mivah.go.cr/Documentos/transparencia/Informes_Gestion/Inf_Ges_Min_Irene_Campos/PNOT_2012-10-22_Aprobada.pdf

Sistema Nacional de Áreas de Conservación Costa Rica (2022). Ordenamiento Territorial y las Cuencas Hidrográficas.

<https://www.sinac.go.cr/ES/ordeterrcue/Paginas/default.aspx>

Asamblea Legislativa de la República. (1995). Ley Orgánica del Ambiente N° 7554.
https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=27738&nValor3=93505&strTipM=TC

Solano, M. (2011). Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media-alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo.

<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales%20y%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20la%20calidad%20del%20agua.pdf>

Ruiz, F. (2012). Gestión de las excretas y aguas residuales en Costa Rica.
<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Gesti%C3%B3n%20de%20las%20Excretas%20y%20Aguas%20Residuales%20en%20Costa%20Rica%20%20Situaci%C3%B3n%20Actual%20y%20Perspectiva.pdf>

Asamblea Legislativa de la República. (2006). Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N° 33601.

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=59524&nValor3=83250

Asamblea Legislativa de la República. (2008). Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertidos N° 34431.

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=62896&nValor3=81024&strTipM=TC

Asamblea Legislativa de la República. (2016). Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N° 39887-S-MINAE.
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=82487&nValor3=105490&strTipM=TC

Gobierno de España. (2022). Tipos de vertidos.

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/vertidos-de-aguas-residuales/tipos-vertidos/>

GSC. (2015). La importancia de la red de alcantarillado.

<https://www.gscservicios.es/noticias/la-importancia-de-la-red-de-alcantarillado/>

Comisión Estatal de aguas. (2013). Programa especial de la Comisión Estatal de agua y saneamiento 2013-2018.

<https://www.fitchratings.com/research/international-public-finance/comision-estatal-de-aguas-de-queretaro-cea-01-08-2013>

Contraloría General de la República. (2017). Informe acerca de la gestión del alcantarillado sanitario de la municipalidad de Alajuela.

https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs_cgr/2017/SIGYD_D_2017009702.pdf

Lara-Lara, Rubén & Arena-Fuentes, V. & Bazán-Guzmán, C. & Diaz, Victoria & Escobar-Briones, E. & García-Abad, M.C. & Gaxiola-Castro, G. & Robles-Jarero, G. & Sosa-Avalos, Ramón & Soto-González, L.A. & Tapia, Margarito & Valdez-Holguín, José. (2008). Los ecosistemas marinos. Capital Natural De México. 1. 135-159.

https://www.researchgate.net/publication/288533769_Los_ecosistemas_marinos

Solano, J. & Villalobos, R., 2000. Regiones y Subregiones Climáticas de Costa Rica, San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>.

Fournier, L., 2015. Las Zonas de Vida en Guanacaste. San José, Costa Rica: Revista Universidad de Costa Rica Volumen 38 (1974).

<file:///C:/Users/hp/Downloads/22504-Texto%20del%20art%C3%ADculo-53350-1-10-20151211.pdf>.

Rojas, N 2011, Estudio de las cuencas hidrográficas de Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional.

<http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/EstudioCuencas/EstudioCuencasHidrograficasCR.pdf>.

Decreto Ejecutivo N° 40184-MGP del 9 de enero de 2017, División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica.

https://www.imprentanacional.go.cr/editorialdigital/libros/historiaygeografia/division_17.pdf.

Campos, A, Royuela, M, Porras C y Planas, A, 2008, Transformaciones físicas y socioeconómicas a causa de la implantación turística en la localidad de Tamarindo, Costa Rica.

https://web.archive.org/web/20180414064431id_/https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/1073/1%20MEMORIA.pdf?sequence=1.

Sapag, N., Sapag, R. & Sapag, J., 2014. Preparación y Evaluación de Proyectos.

Mc Graw Hill. Sobrero, F., 2009. Análisis de Viabilidad de Proyectos.

OREA, DOMINGO, G. (2002). *Evaluación de Impacto Ambiental: Un instrumento preventivo para la gestión ambiental*. Mundi-Prensa Libros.

Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre, 1977.: Zona Marítimo Terrestre.

MONTOYA, L. (2010). La distribución de costos indirectos de fabricación, factor clave al costear. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

<https://www.redalyc.org/pdf/849/84917249014.pdf>.

GRASS Development Team, 2017. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.2. Open-Source Geospatial Foundation. <https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>.

Applicaty (2020) Mobile Topographer (6.0.8") [Application móvil]. Google Play <https://play.google.com/store/apps/details?id=gr.stgrdev.mobiletopographerpro&hl=es&gl=US>.

Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, American Public Health Associations, Washington D. C., <http://dl.mozh.org/upload/StandardMetods23RD.pdf>.

Yaxcelys, C. (2015). Distribución de la concentración de clorofila facultativa para tratamiento de aguas residuales 4.

Cabrera, E., Hernández, L, Gómez, H & Cañizares, M. del P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92.

Gómez, I. C. (2000). *Saneamiento Ambiental*. EUNED.

Jiménez, B. E. (2001). *La Contaminación Ambiental en México*. Editorial Limusa.

Sentencia N° 2020015129 de Sala Constitucional, 14-08-2020. (s. f.). vLex. Recuperado 20 de noviembre de 2022, de <https://vlex.co.cr/vid/sentencia-n-2020015129-sala-847694973>

Pérez, G. R. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP Col*. Universidad de Antioquia.

Wolke, R. L. (2007). *Lo Que Einstein Le Contó a Su Barbero*. Ediciones Robinbook.

Works, E. (2017). *¿Qué es y cómo combatir el SULFURO de hidrógeno (H2S) o gas de alcantarilla?* - Emilio Bas.

<https://www.aguasresiduales.info/expertos/tribuna-opinion/que-es-y-como-combatir-el-sulfuro-de-hidrogeno-h2s-o-gas-de-alcantarilla-9kMeA>

Greenpeace (2010). ¿Qué son los nitratos y cómo afectan al medio ambiente y la salud humana?

https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2021/04/Nitratos_Qu%C3%A9Son.pdf

Reglamento evaluación y clasificación de calidad de cuerpos de agua superficiales.pdf. (2007.).

<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Reglamento%20evaluaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20de%20calidad%20de%20cuerpos%20de%20agua%20superficiales.pdf>

Aranda, N. (2004). Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical.<http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/35296>.

Ministerio de Salud de Costa Rica (2006), Reglamento Técnico de Agua Potable. <http://www.siba.go.cr/siba/web/viewDoc.aspx?params=gy6Fcrp6kSVYrk9E%2bZgMYnMcKhOkHAdJ2tvHKsUVsA%3d>

Anexos

Anexo 1, Punto de vertidos 1



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 2, vertido Pangas Beach Club



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 3, Punto de Vertidos 3



Fuente: Elaboración propia, 202

Anexo 4, Punto de vertidos 4



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 5. Punto de vertidos 5



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 6, Vertido Wichis Rock



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo7, Vertido frente Hotel Marielos.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 8, Vertido Tamarindo Diría 3



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 9, Punto de vertido 9



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 10, Vertido Johnny Tamarindo



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 11, Vertido Tamarindo Diría



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 12, Vertido Porto Fino



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 13, Vertido circundante a Beach Lya Art



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 14, Vertido Casa



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 15, Vertido Bar El Chiringuito



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 16, Vertido Casa



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Anexo 17, Vertido The Cost Hotel



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 18, Vertido Casa



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 19, Vertido Blue Loogon



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 20, Vertido Casa.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 21, Vertido Hacienda El Pacífico.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 22, Vertido cercano a casa y Hotel



Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 23, Vertido Manglar Tamarindo.



Fuente: Elaboración propia, 2022