

Universidad Técnica Nacional
Sede Central

Ingeniería en Recurso Hídrico

Trabajo Final de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en
Ingeniería en Recurso Hídrico

**Análisis físico-químico-microbiológico del efluente de la PTAR Nicoya, para
reúso en el control de polvo y la compactación de suelos en la red vial del
cantón**

Estudiante

Verónica María Sánchez Mejías

Alajuela, 2022

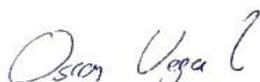
HOJA DE APROBACIÓN CON EL NOMBRE DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL EVALUADOR

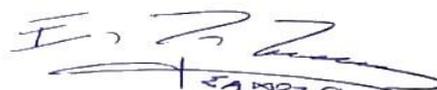


Carrera de Ingeniería en Manejo del Recurso Hídrico
Tribunal Evaluador

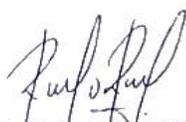
Hoja de aprobación del Tribunal Evaluador

Este Trabajo Final de Graduación fue aprobado por el Tribunal Evaluador el día 19 de abril del 2022 a las 19:50 horas, como requisito para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Recurso Hídrico.


Oscar Vega Leandro
Director de Carrera


Ericka Zamora Leandro
Profesor Tutor del TFG


Álvaro Araya García
Lector del TFG


Rodolfo Ramírez Villalba
Representante del Sector Productivo

A mis padres, porque todo lo que soy se lo debo a ellos y
por inculcar en mí la importancia de estudiar.

A mi pareja, por siempre haber estado apoyándome
Incondicionalmente en todo momento y realizar toda serie de sacrificios
para verme cumplir mi meta.

Y, por último, agradecer a las diferentes personas que lograron
que pudiese llegar hasta el final.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por darnos la sabiduría y fuerza para culminar esta etapa académica.

A nuestro director de carrera, el Msc. Oscar Vega Leandro, y la tutora del proyecto de graduación, Ing. Ericka Zamora Leandro.

Por su guía, comprensión, paciencia, entrega y valiosos consejos a lo largo del proceso formación y de investigación.

Al personal de la Dirección de Aguas y del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Por ofrecernos la información requerida para lograr los objetivos trazados en este proyecto.

LISTA DE CONTENIDOS GENERAL

HOJA DE APROBACIÓN CON EL NOMBRE DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL EVALUADOR.....	2
AGRADECIMIENTOS	4
Área de estudio, delimitación del problema y justificación	15
Área de estudio.....	15
Delimitación del área de estudio.....	15
Delimitación del problema.....	16
Justificación	17
Situación actual del conocimiento del tema	19
Objetivos	29
Objetivo general.....	29
Objetivos específicos	29
CAPÍTULO I:	30
MARCO TEÓRICO	30
1. Marco teórico referencial	31
1.1 Localización de área de estudio	31
1.1.1 Cuenca península de Nicoya.....	32
1.1.2 Red hidrológica cuenca península de Nicoya.....	32
1.1.3 Climatología de la cuenca península de Nicoya	33
1.1.4 Precipitación de la cuenca península de Nicoya	34
1.1.5 Temperatura.....	35
1.1.6 Oferta y demanda de agua en la cuenca.....	37
1.2 Definición de aguas residuales	38

1.2.1 Características de las aguas residuales	39
1.2.2 Contaminantes del agua residual	39
1.2.3 Generalidades del tratamiento de agua residual	40
1.3 Parámetros del agua residual para reúso	41
1.3.1 Parámetros universales de análisis obligatorio.....	41
1.3.2 Parámetros de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias.....	42
1.3.3 Límites máximos para el reúso de aguas residuales ordinarias	43
1.3.4 Mediciones rutinarias y análisis periódicos	44
1.4 Disposición de las aguas residuales tratadas	47
1.4.1 Vertido a cuerpo de agua	47
1.4.2 Vertido al alcantarillado sanitario	48
1.4.3 Reutilización del agua tratada	49
1.5 Análisis de la regulación aplicable en materia de vertido de aguas residuales	49
1.5.1 Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Decreto N.º 39887-S-MINAE	49
1.5.2 Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto N.º 33601-MINAE-S.....	50
1.5.3 Reglamento del canon ambiental por vertidos Decreto N.º 42128-MINAE-S	54
1.5.4 Política Nacional de Saneamiento	56
1.6 Sistemas de tratamiento de agua residual.....	58
1.6.1 Lagunas facultativas	58
1.6.2 Parámetro de diseño de lagunas facultativas	59
1.6.3 Obras de operación y mantenimiento	61

1.7 Objetivos de desarrollo sostenible	63
1.7.1 ¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?	63
1.7.2 Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento.....	63
1.7.3 Metas del Objetivo 6	64
1.8 Análisis de oferta-demanda del agua tratada para reúso tipo 8.....	65
1.8.1 Valor económico del agua residual.....	66
1.8.2 Demanda de agua para control de polvo y compactación de suelos en reparación de caminos	67
1.8.3 Interacción oferta-demanda	67
1.9 Obras de mantenimiento y reparación de la red vial.....	68
1.9.1 Rutas nacionales y rutas cantonales	68
1.9.2 Compactación de suelos en mantenimiento y reparación de caminos ..	70
1.9.3 Control del polvo en mantenimiento y reparación de caminos	71
CAPÍTULO II:	73
MARCO METODOLÓGICO	73
2. Marco metodológico.....	74
2.1 Tipo de investigación y enfoque.....	74
2.2 Hipótesis	74
2.3 Variables.....	75
2.4 Unidad de análisis y fuentes de información.....	76
2.5 Recolección de información	77
2.6 Análisis de los datos	77
CAPÍTULO III:	80
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	80
3. Presentación y análisis de los resultados	81

3.1 Características generales de la PTAR Nicoya	81
3.2 Antecedes de la PTAR Nicoya	82
3.3 Caudales de entrada y salida de la PTAR Nicoya.....	84
3.4 Análisis fisicoquímicos	86
3.5 Parámetros de reúso tipo 8	99
CAPÍTULO IV:.....	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
4.1 Conclusiones.....	113
4.2 Recomendaciones	116
Bibliografía	118
Anexos	125
Anexo 1. Información general de la PTAR Nicoya.....	125
Anexo 2. Ficha técnica de la PTAR Nicoya.	128
Anexo 3. Informe de ensayo del efluente PTAR Nicoya.	129
Anexo 4. Reporte de laboratorio LAMA-INF-045-21.	131
Anexo 5. Fotografías de campo.....	132
Anexo 6. Revisión Filóloga.	133

LISTA DE CONTENIDOS DE FIGURAS

Figura 1. Delimitación del área de estudio	15
Figura 2. Contenido de nutrientes en la planta de maíz.....	24
Figura 3. Potencial productivo de caña de azúcar en función de láminas de irrigación para agua potable (AP) y efluente de aguas residuales ordinarias tratadas (E)	26
Figura 4. Mapa distritos del cantón de Nicoya	31
Figura 5. Red Hidrológica cuenca península de Nicoya.....	33
Figura 6. Isoyetas de la cuenca península de Nicoya	35
Figura 7. Isotermas de temperatura dentro de la cuenca.....	36
Figura 8. Distribución porcentual por usos de agua otorgados en la cuenca	38
Figura 9. Inversión de los fondos originados por el canon ambiental por vertidos	56
Figura 10. Esquema de funcionamiento de una laguna facultativa	59
Figura 11. Red vial de Costa Rica.....	70
Figura 12. Diagrama de flujo del trabajo de investigación.....	79
Figura 13. Croquis PTAR AyA Nicoya.....	81
Figura 14. Sistema lagunar Nicoya	83
Figura 15. Caudal del efluente de la PTAR Nicoya	86
Figura 16. Comportamiento del DBO del 2016 al 2020.....	88
Figura 17. Comportamiento del DQO del 2016 al 2020	90
Figura 18. Comportamiento de pH del 2016 al 2020.....	92
Figura 19. Comportamiento de grasas y aceites del 2016 al 2020	93
Figura 20. Comportamiento de sólidos suspendidos del 2016 al 2020	94
Figura 21. Comportamiento de sólidos sedimentables del 2016 al 2020	96
Figura 22. Comportamiento sustancias activas al azul de metileno del 2016 al 2020	97
Figura 23. Comportamiento de temperatura del 2016 al 2020.....	98
Figura 24. Comportamiento de los coliformes fecales del 2016 al 2020	102
Figura 25. Muestra nematodos intestinales en fecha 16 de marzo de 2021	104

LISTA DE CONTENIDOS DE TABLAS

Tabla 1. Rendimiento de producción promedio del experimento de la PTAR-C ...	27
Tabla 2. Caudal otorgado por uso en la cuenca.....	37
Tabla 3. Límites máximos permisibles para el reúso de aguas residuales ordinarias	44
Tabla 4. Frecuencia de toma de muestra en base al tipo de reúso.....	46
Tabla 5. Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio.....	48
Tabla 6. Caudal de salida PTAR Nicoya	84
Tabla 7. Datos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	87
Tabla 8. Datos de pH y grasas y aceites.....	91
Tabla 9. Datos de solidos suspendidos, solidos sedimentables y sustancias activas al azul de metileno	94
Tabla 10. Datos de temperatura.....	98
Tabla 11. Comportamiento de los coliformes fecales.....	102
Tabla 12. Resumen de caracterización del efluente	104
Tabla 13. Balance oferta-demanda para la Municipalidad de Nicoya	110

Resumen

En el presente trabajo final de graduación se realizó un análisis físico-químico-microbiológico del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nicoya (en adelante PTAR Nicoya), para verificar si puede ser reusado en el control de polvo y la compactación de suelos en la red vial del cantón de Nicoya, además de brindar un panorama claro a diferentes instituciones públicas, como la Municipalidad de Nicoya, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y el Consejo Nacional de Vialidad. Esto permite la toma de decisiones en el corto y mediano plazo para subsanar la escasez de fuentes de agua permanentes en el cantón, en la época seca.

El marco teórico propuesto enfatiza puntos como la localización del área de estudio, también se define qué es agua residual y sus características. Se analizaron los parámetros del agua residual que se deben evaluar para el reúso, las disipaciones que se le pueden dar a las aguas residuales; se estudió la regulación aplicable en materia de vertido de aguas residuales, se buscó información de los diferentes sistemas de tratamiento de agua residual existentes y se investigó acerca de cómo realizar un análisis de oferta-demanda del agua tratada para reúso tipo 8.

Se utilizó una metodología de investigación exploratoria, dado que se buscó examinar un tema que ha sido poco estudiado. El trabajo se manejó con un enfoque de tipo mixto, porque consistió en la integración del análisis de datos numéricos y recolección de datos de tipo descriptivos. Entre las variables que se estudiaron destacan el caudal y los parámetros obligatorios universales de las aguas residuales que se viertan en un cuerpo receptor. Los datos que se utilizaron para caracterizar

el efluente tratado de la PTAR Nicoya son suministrados por la UEN de Recolección y Tratamiento de la Subgerencia de Sistemas Periféricos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y la Dirección de Agua del Ministerio de Ambiente y Energía.

La recolección de la información se realizó mediante giras de campo y revisión del expediente de la PTAR. Se utilizó los datos de laboratorios de los últimos cinco años y se elabora un análisis comparativo de los parámetros indicados en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Además, se plantean las diferentes acciones de mejora para el efluente, que aseguren que se cumpla con la calidad de agua residual que requiere el reúso tipo 8; además, se realizó un análisis de oferta-demanda del efluente de la PTAR Nicoya.

Como uno de los puntos finales, se procedió con la elaboración de las conclusiones del trabajo de investigación, quedando evidenciando que, no es factible utilizar el efluente de la PTAR Nicoya en control de polvo y compactación de suelos para la red vial del cantón, debido a que el parámetro de coliformes fecales excede el límite máximo permitido por el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales para reúso tipo 8. El caudal disponible se encuentra en un rango de entre 4.57 y 16.88 litros por segundo, lo que convierte a la PTAR Nicoya en una fuente disponible de agua para la época seca de suma importancia en el cantón.

Introducción

A nivel mundial, algunos países han empezado a experimentar escasez de recursos hídricos y Costa Rica no es la excepción. Según el Informe de las Naciones Unidas sobre estos recursos, se prevé que en el año 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial de agua del 40 % en un escenario climático en que todo siga igual (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2015).

En el caso de Costa Rica, durante el año 2014, las provincias de Guanacaste y parte de Puntarenas experimentaron escasez de agua que generó una sequía extensa. En ese sentido, se cuenta con un análisis que demuestra que en algunos sectores en Guanacaste el régimen de lluvias alcanzó disminuciones de hasta un 46 %. Lo anterior provocó un balance hídrico negativo que afectó drásticamente la zona (Angulo, 2015).

En Costa Rica, las zonas más afectadas en el tema de disponibilidad de recurso hídrico se centran en la provincia de Guanacaste. Según datos meteorológicos y registro de lluvias del Instituto Meteorológico Nacional, se establece que el fenómeno de El Niño ha causado variaciones en el régimen de precipitaciones, lo cual ha generado un déficit hídrico desde el segundo período lluvioso del año 2018 (Comisión Nacional de Emergencia, 2019). A lo antes mencionado se le puede sumar el fuerte crecimiento del turismo, la agricultura y el inadecuado manejo de las aguas residuales, que provocan un aumento en la susceptibilidad de la zona.

De acuerdo con los estudios más recientes sobre vulnerabilidad y déficit hídrico realizados en el país, se han identificado los cantones más vulnerables ante eventos de sequía, dentro de los cuales se ubican los cantones de Nicoya, Hojancha y Nandayure (Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste, 2016). Sin embargo, el distrito central de Nicoya cuenta con una fuente alternativa, que es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, que produce un caudal de 13,3 litros por segundo de aguas tratadas que pueden ser reutilizadas (Dirección de Agua, 2020).

Al ser el recurso hídrico de la zona escaso, sobre todo en una época del año determinada, es importante encontrar las herramientas para gestionarlo de forma integral y así suplir las necesidades de la población. En ese sentido, el presente trabajo pretende realizar un análisis físico-químico-microbiológico del efluente de la PTAR Nicoya, de manera que se determine la factibilidad de efectuar un reúso de dicho efluente en el control de polvo y en la compactación de suelos en la zona de estudio.

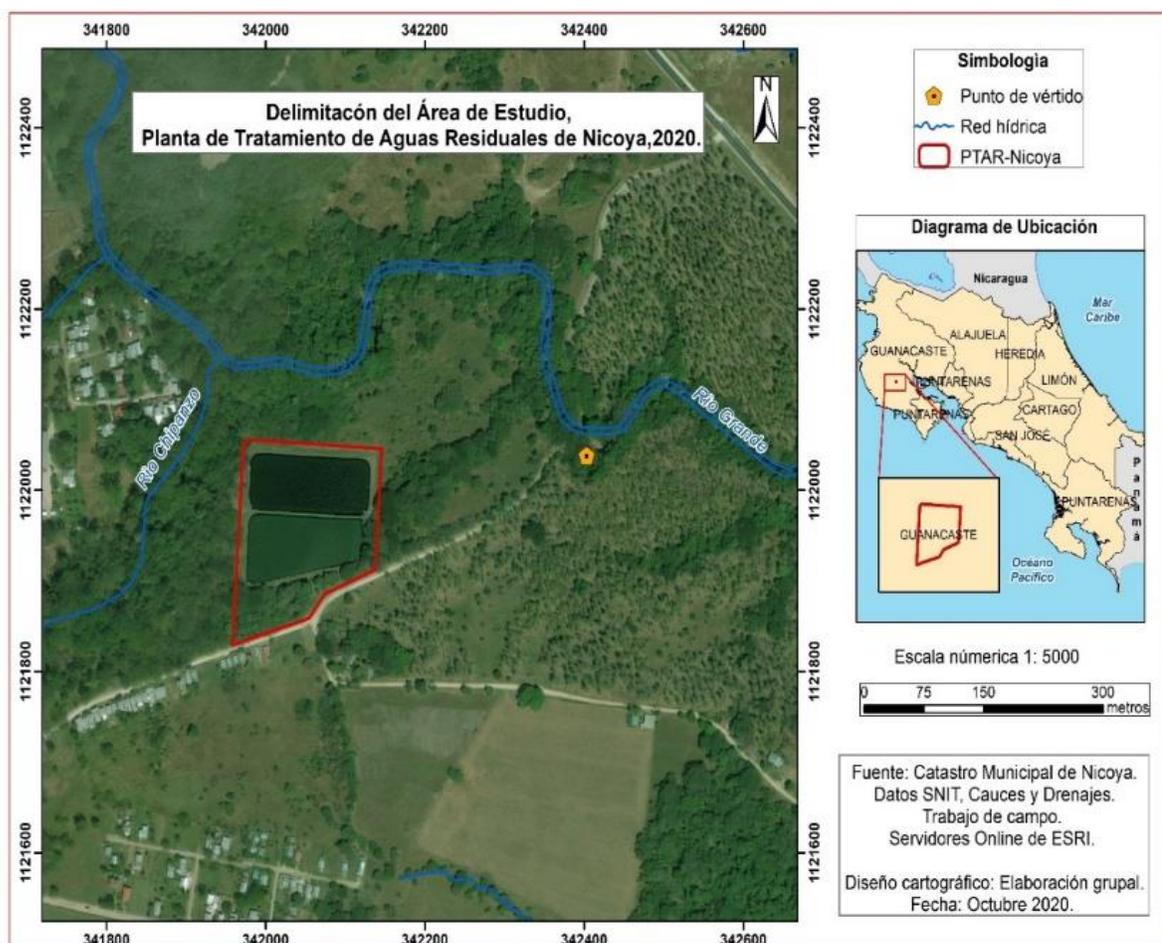
Área de estudio, delimitación del problema y justificación

Área de estudio

El presente trabajo se realizará en la PTAR Nicoya, que se encuentra administrada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA); esta recolecta las aguas residuales del casco urbano del distrito central del cantón de Nicoya, en Guanacaste. Una mejor delimitación y ubicación del área de estudio ver se encuentra en la figura 1.

Figura 1

Delimitación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia (2020).

Delimitación del problema

Desde agosto de 2018, el país experimenta un déficit de lluvias; el más fuerte registrado es en el Pacífico Norte, particularmente en la península de Nicoya, donde los acumulados de precipitación no sobrepasaron los 50 mm y en algunas estaciones incluso no se registraron lluvias; esto representa un valor entre 86 y 100 % de déficit (Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, 2019). Para fundamentar lo indicado anteriormente, es necesario analizar la problemática que se presenta en el distrito central de Nicoya, donde, durante la época seca, las fuentes de agua superficiales bajan sus niveles hasta puntos extremos y dejan de discurrir agua, cuando las fuentes subterráneas son necesarias para satisfacer la demanda de consumo poblacional.

Por otra parte, es importante hacer notar que el país cuenta con una red vial nacional y cantonal de 44 316 kilómetros (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2018), los cuales, para ser reparadas o recibir mantenimiento, requieren de agua para el control de polvo y la compactación de suelos. Normalmente, para la ejecución de estas labores se debe solicitar en la Dirección de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía un permiso de extracción temporal, que es otorgado únicamente al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), al Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) y a las municipalidades. Para ello, el caudal máximo que se otorga es 0,21 litros/segundo, además de que la extracción temporal de agua no siempre podrá ser en el mismo cauce de dominio público, ni en el mismo punto de extracción de agua (Secretaría Técnica Nacional Ambiental, 2018).

En ese sentido, la PTAR de Nicoya tiene un caudal autorizado de vertido de 13,3 litros por segundo que actualmente se desfogan al río Grande (Dirección de Agua, 2020), el cual podría ser reutilizado para labores de construcción y mantenimientos de caminos. De esa manera, reutilizar sería una excelente solución para poder obtener agua en época seca en el distrito central para este tipo de labores.

Justificación

En el presente trabajo se desea realizar un análisis físico-químico-microbiológico del efluente de la PTAR Nicoya, para verificar que este cumple con los parámetros establecidos en la normativa vigente para su reúso en el control de polvo y la compactación de suelos para la construcción y mantenimientos de caminos. Lo antes mencionado es de suma importancia, ya que vendría a solucionar una problemática que se agrava año con año. Además, contribuirá con el país para dar cumplimiento al sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible, que busca reciclar agua residual y eliminar de cierta forma los vertimientos (Naciones Unidas, 2020).

Considerando que los Objetivos de Desarrollo Sostenible se deben cumplir en todos los países al 2030, es importante coadyuvar mediante alternativas para facilitar el cumplimiento del objetivo seis, que tiene entre sus metas:

de aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial. (Naciones Unidas, 2020, párr. 3).

Según la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), para que se dé una adecuada reparación, ampliación y mantenimiento, tanto de rutas nacionales como cantonales, es necesario no afectar la seguridad vial por falta de visibilidad, el medio ambiente, la salud de las personas y animales; por ende, se requiere mitigar este aspecto con el riego de agua (SETENA, 2018).

Por otra parte, se debe recordar que en Costa Rica existe un Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, Decreto N.º 33601-MINAE-S, el cual en el Artículo 27 manifiesta que se permitirá el reúso de aguas residuales tratadas, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales vigente. En ningún caso se podrán utilizar estas aguas para el consumo humano (Poder Ejecutivo, 2007). Aquí mismo se indica que los reúsos se clasifican en ocho tipos; en el presente trabajo se desea abordar el reúso tipo 8, que permite utilizar el efluente en construcción, compactación de suelos, control del polvo, lavado de materiales y producción de concreto.

Situación actual del conocimiento del tema

El presente apartado contiene información de estudios y publicaciones vinculadas al reúso de aguas residuales tratadas a nivel nacional e internacional. En ese sentido, algo relevante es que son casi nulas las investigaciones o casos aplicados donde se reutiliza el agua residual tratada en Costa Rica.

Como dato importante e histórico, se tiene que en el año 1989 la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó las Guías sobre el Uso Seguro de Aguas Residuales en la Agricultura y Acuicultura. Estas guías han repercutido significativamente en el reúso de aguas residuales en algunos países, principalmente destinados a la agricultura (OMS, 2019).

En el informe de 2013 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, se estimó que para el 2006 existían aproximadamente 3300 instalaciones de tratamiento de agua a nivel mundial con diversos sistemas de tratamiento, donde su efluente era empleado en diversas aplicaciones: riego agrícola, diseño urbano y usos recreativos, procesamiento y refrigeración industrial y producción indirecta de agua potable, como la recarga de las aguas subterráneas. Además, dicho informe hablaba de los beneficios que tiene la reutilización del agua residual tratada, destacando que es una opción importante en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), porque trata todos los aspectos del ciclo hídrico y optimiza el uso del agua en todas sus formas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

En Costa Rica, actualmente, se cuenta con una Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales (PNSAR), que se fundamenta en la propuesta

de intervención del Estado y sus instituciones, y tiene como objetivo lograr, para el año 2045, el manejo seguro del total de las aguas residuales generadas en el país, definido como la garantía de que este tipo de aguas no afecten al medio ambiente ni a la salud, mediante sistemas de tratamiento individuales o colectivos. Además, orienta, propone e implementa un conjunto de acciones para asegurar el desarrollo pleno y la calidad de vida de los habitantes del país, procurando resolver problemas públicos relevantes, como es el saneamiento de las aguas residuales, por medio de la toma de decisiones con visión de corto, mediano y largo plazo. En esa perspectiva, la Política y su Plan de Acción se vinculan con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que son procesos que integran el saneamiento de aguas residuales entre algunas de sus principales prioridades (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud, 2016).

Actualmente, en el país no se encuentran documentados proyectos o investigaciones de reúso de aguas residuales a gran escala como el que plantea el presente trabajo en la PTAR de Nicoya, que busca utilizar el efluente tratado para reúso en control de polvo y compactación de suelos y en la reparación de caminos, lo cual genera una oportunidad de obtener conocimiento y dar a conocer nuevas alternativas a nivel país.

Por otra parte, si bien en el país no se tienen registros de documentación relacionada con reúso de efluentes para el control de polvo y compactación de suelos en la reparación de caminos, sí existen experiencias relacionadas con el reúso de efluentes, como lo es el aporte del ingeniero Julio Barrantes de la Dirección

de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar, en la aplicación de reúso de aguas residuales para irrigación de caña de azúcar provenientes de un beneficio de café en Pérez Zeledón (J. Barrantes, comunicación personal, septiembre de 2020).

En cuanto a experiencias internacionales, el tema ha sido estudiado en diferentes países de la región latinoamericana, por lo que se destacan las siguientes investigaciones que se encuentran directamente relacionadas con este proyecto de graduación.

El reúso de aguas residuales tratadas en la provincia de Mendoza, Argentina

El reúso de aguas residuales en Argentina inició cerca de la década de 1920 con la construcción de las primeras redes cloacales que dirigían sus líquidos a un campo ubicado a varios kilómetros al norte de la ciudad de Mendoza, llamado Campo Espejo, en el departamento de Las Heras, donde se trata un volumen de 120 000 m³/d. Para ese momento, las aguas eran reutilizadas en la agricultura, sin ningún tipo de tratamiento.

En 1976, se construyó una planta de tratamiento primario en la provincia de Mendoza, que fue ampliada para cubrir la demanda del servicio y ser utilizada para riego agrícola. Poco tiempo después, se amplió el sistema y se dio un tratamiento secundario por medio de lagunas de estabilización, con las cuales se buscaba que el agua tratada cumpliera con los estándares indicados por la Organización Mundial de la Salud.

Además, se estableció un Área de Cultivos Restringidos Especiales (ACRE) que alcanzó una superficie de 3000 hectáreas. Un ACRE es un área donde se realiza un reúso controlado de efluentes dado por un ente depurador; sin embargo, tiene prohibido que estas aguas sean derramadas o conducidas fuera de sus límites establecidos previamente.

Según estudio efectuado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS) en el 2001, los resultados de la evaluación de los parámetros físicos, químicos y biológicos realizados en el Campo Espejo entre enero-diciembre de 2000 mostraron que, en ese momento, las aguas del efluente tenían las siguientes características: una eficiencia de remoción de contaminantes en 49.66 % de sólidos suspendidos, 76.26 % de materia orgánica (DBO5), 99.99 % de *Escherichia coli*, 100 % de parásitos (nematodos), 36.2 % de nitrógeno amoniacal y 5.44 % de fósforo total.

Estas aguas residuales beneficiaban, en ese momento (cerca del año 2000), 2000 hectáreas en las que se cultivaban 655 hectáreas de vid para vino de mesa, 548 hectáreas de hortalizas varias (pimiento, zapallo, zanahoria, cebolla, papa y tomate), 107 hectáreas de árboles forestales y 118 hectáreas de árboles frutales.

Dentro de los beneficios encontrados, se tiene que los efluentes tratados contenían nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales son consumidos por los cultivos durante el proceso de crecimiento o desarrollo vegetativo. Esto hace que se necesite abonos y fertilizantes en menor cantidad, lo que produce beneficios económicos a los productores agrícolas.

Además, la provincia de Mendoza se caracteriza por ser una zona árida, por lo que la producción agrícola posee un gran interés en el agua cloacal al estar disponible durante todo el año en zonas que no tienen derechos de riego registrados, aporta nutrientes y materia orgánica que son necesarios en suelos de la zona.

Reúso de aguas residuales para riego en un cultivo de maíz en Nicaragua

El estudio se desarrolló en una pequeña zona con cultivo de maíz (*Zea mays L.*) que usó los efluentes de la planta de tratamiento de la ciudad de Jinotepe, en el municipio de Carazo.

El sistema de tratamiento de aguas residuales estaba constituido por un tanque *Imhoff* más un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA); recogía las aguas servidas de un tercio de la población de Jinotepe y poseía un área agrícola cercana con potencial para ser utilizada en riego.

La parcela en estudio poseía 1096.31 m² sembrados de maíz (*Zea mays L.*). Dentro del manejo agronómico, se trató del mismo modo que el desarrollo normal de la actividad, excepto por la utilización de fertilizantes, para cuyo caso solo se proporcionó el efluente tratado de aguas residuales para aprovechar y evaluar los nutrientes contenidos en este. Se aplicó una lámina de riego con intervalo de tres días mediante la técnica de riego por surcos.

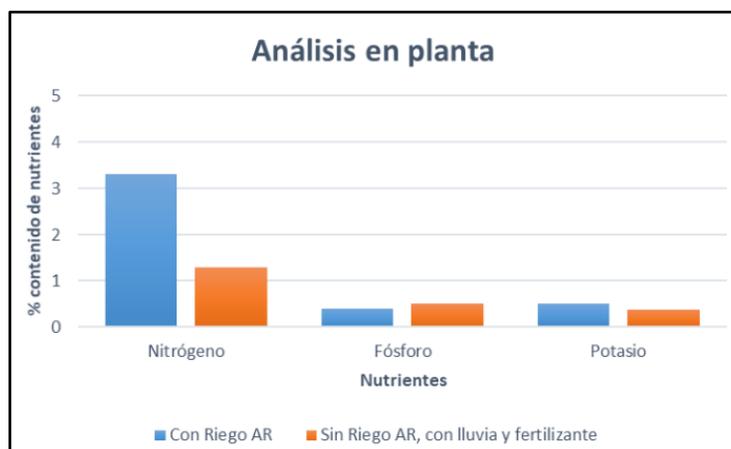
Dentro de los resultados encontrados se obtuvo que el riego con aguas residuales no alteraba significativamente las características químicas de los suelos

cultivables, dado que aplicar al suelo una solución que contenía nutrientes podía ser una de las prácticas más eficientes y seguras para el aprovechamiento oportuno y efectivo de estos. Por lo tanto, esta práctica no alteraba negativamente las características del suelo.

En cuanto al contenido de nutrientes en la planta, esta fue aprovechada por el maíz, pues mostró un rendimiento superior de hasta un 60 % respecto a medios tradicionales utilizados en la zona de estudio. Esto también refleja que puede haber un ahorro económico al no aplicar fertilizantes al maíz si se riega con aguas residuales.

Figura 2

Contenido de nutrientes en la planta de maíz



Fuente: Umaña (2007).

Otro aspecto importante por resaltar es que el estudio contempló la aceptación de la práctica con los agricultores cercanos a la zona de estudio, quienes

vieron el desarrollo del proyecto y resaltaron aspectos tanto positivos como negativos.

Entre los aspectos positivos se encuentra el buen desarrollo del cultivo y mejor rendimiento, la economía por el no uso de fertilizantes, el aprovechamiento de terrenos ociosos y la disminución de la contaminación hacia el río.

Como aspectos negativos mencionaron los malos olores, la inexperiencia en la práctica del riego con esta agua y recelos al consumir los productos regados con agua residual. Por eso es necesario trabajar con los agricultores para que conozcan sobre el tema y las potencialidades que pueden ser aprovechadas por ellos.

Reúso de aguas residuales domésticas como alternativas de producción de caña de azúcar en Brasil

Una de las investigaciones encontradas fue desarrollada en Brasil por De Freitas *et al.* (2013), cuyo trabajo se publicó en la Revista Brasileña de Ingeniería Agrícola y Ambiental. En esta, se investigó el comportamiento de las plantas de caña de azúcar con agua potable y aguas residuales ordinarias.

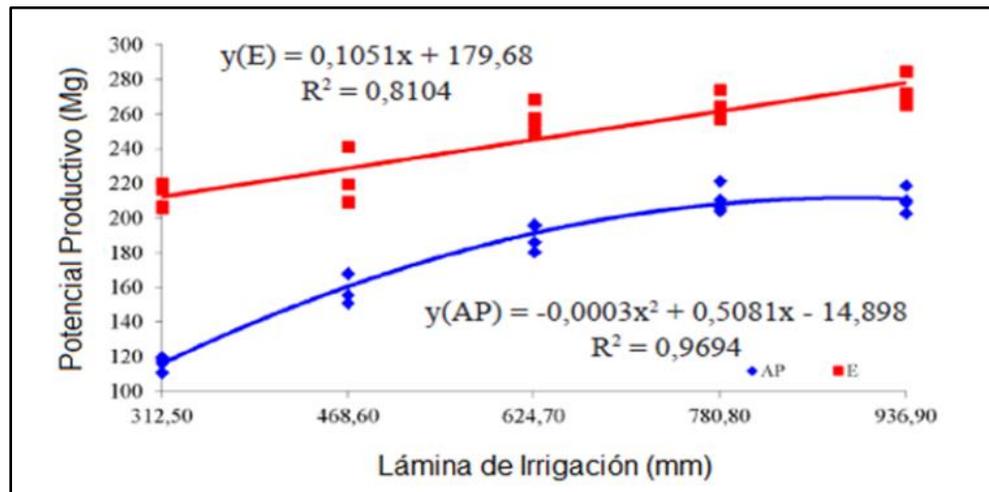
Dentro de los hallazgos encontrados, se tiene que el potencial productivo (PP) más alto se obtuvo en la caña de azúcar regada con el efluente de aguas residuales y no con el agua potable; esta diferencia puede estar asociada con la presencia de nutrientes en el efluente de las aguas residuales ordinarias tratadas.

En el análisis de las hojas, se puede ver que el efluente proveniente de aguas residuales ordinarias suple las necesidades nutricionales de fósforo y azufre. En la

gráfica de la figura 3 se observa la relación entre el nivel de riego con agua potable y agua residual tratada respecto al rendimiento del potencial productivo.

Figura 3

Potencial productivo de caña de azúcar en función de láminas de irrigación para agua potable (AP) y efluente de aguas residuales ordinarias tratadas (E)



Fuente: Freitas *et al.* (2013).

El aumento lineal de la producción por medio de agua residual ordinaria tratada se debe, en gran medida, a los niveles de nitrógeno presentes en el riego, los cuales favorecen a la planta.

Productividad de caña de azúcar irrigada con efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo en Cali, Colombia

El proyecto se efectuó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo (PTAR-C), en la que se desarrollan dos modalidades de tratamiento: tratamiento primario convencional (TPC) y avanzado (TPA).

El análisis consistió en formar tres bloques experimentales de terreno, con condiciones específicas, sembrados de caña de azúcar; cada bloque se dividió en tres líneas de surcos: T1: riego con efluentes de la planta PTAR-C, T2: riego con agua subterránea y T3: riego con agua subterránea y la aplicación de fertilizantes químicos (urea, superfosfato triple y cloruro potásico).

Dentro de los rendimientos encontrados en la caña de azúcar, los azúcares y los grados Brix se encuentran los detallados en la tabla 1.

Tabla 1

Rendimiento de producción promedio del experimento de la PTAR-C

Bloque	Producción de caña de azúcar (T/ha)	Sacarosa (%)	Azúcares reductores (%)	Grado Brix (%)
Promedio de T1	146	17	1,2	17,6
Promedio de T2	133,5	17	1,1	17,2
Promedio de T3	133,6	17,5	1	17,3

Fuente: Madera-Parra *et al.* (2016).

Entre los resultados obtenidos, se tiene que “la aplicación de efluentes aumentó la producción de caña de azúcar por encima del valor obtenido para T3 (es decir, el uso de agua subterránea más fertilizantes)” (Madera-Parra *et al.*, 2016, p. 174).

Utilizar agua del efluente tratado por la PTAR-C tiene una ventaja representada por el ahorro de fertilizantes químicos que aportan macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio). Además, aplicar aguas residuales no afecta negativamente la producción de sacarosa ni de grados Brix.

De dicho proyecto, se resalta que un posible beneficio del reúso para riego son los altos valores de nutrientes que caracterizan el agua residual. Sin embargo, representan un potencial riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, en especial en suelos con texturas suaves y en zonas donde los métodos de riego son ineficientes.

Objetivos

Objetivo general

Estudiar la factibilidad del reúso de las aguas residuales tratadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nicoya, por medio de un análisis de condiciones técnicas y legales, en lo que compete a control de polvo y compactación de suelos en la red vial del cantón.

Objetivos específicos

- a) Determinar la calidad del agua del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de acuerdo con los parámetros del Reglamento de Vertido y Reúso 33601-MINAE-S, comprobando si se cumplen los requerimientos del reúso (tipo 8).
- b) Proponer acciones de mejora continua que aseguren que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales cumpla con la calidad que requiere el reúso, por medio de un análisis de la infraestructura existente.
- c) Determinar la posible demanda o utilización de agua del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nicoya para labores de construcción y mantenimiento de caminos, mediante un análisis de la oferta y demanda pública-privada en el tema de construcción de infraestructura vial.

**CAPÍTULO I:
MARCO TEÓRICO**

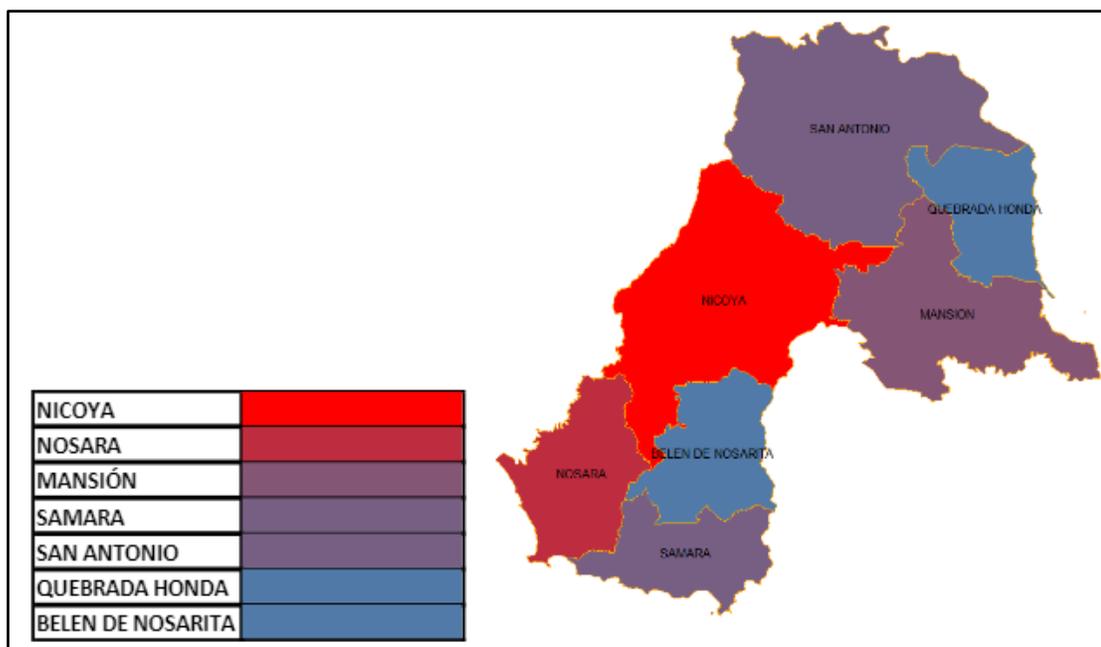
1. Marco teórico referencial

1.1 Localización de área de estudio

El área de influencia del presente trabajo es en el cantón de Nicoya; este es el cantón segundo de la provincia de Guanacaste, fundado el 7 de diciembre de 1848. Posee una extensión territorial de 1333.68 km² y se divide en siete distritos (ver figura 4). Su cabecera es la ciudad de Nicoya, en la cual se encuentra la planta de tratamiento en estudio. Se estimó que la población del cantón central para el censo del año 2000 era de 13 334 habitantes y de 20 945 habitantes en los demás distritos (Municipalidad de Nicoya, 2022). El cantón de Nicoya se encuentra dentro de la delimitación de la cuenca península de Nicoya.

Figura 4

Mapa distritos del cantón de Nicoya



Fuente: Ministerio de Seguridad Pública (2019).

1.1.1 Cuenca península de Nicoya

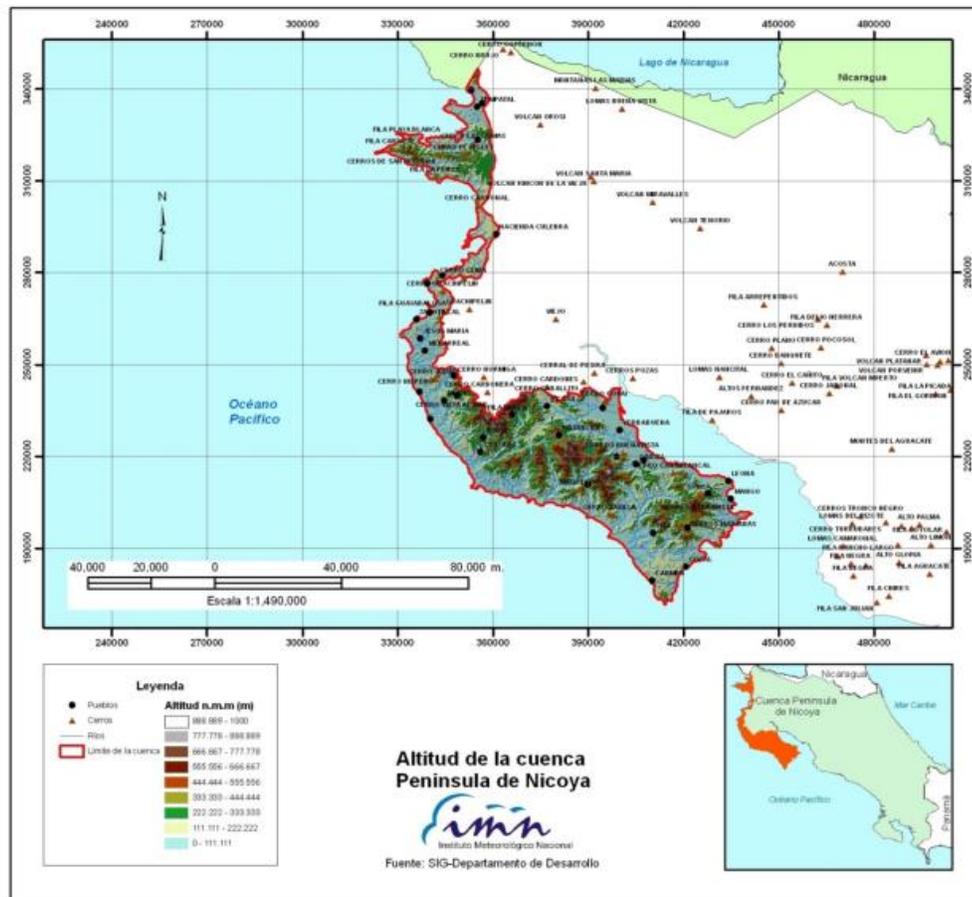
La cuenca de los ríos de la península de Nicoya drena hacia la vertiente del Pacífico del país. Esta cuenca tiene un área de drenaje de 4 205.38 km², lo que corresponde a un 8.30 % de la superficie nacional (Instituto Meteorológico Nacional, 2018).

1.1.2 Red hidrológica cuenca península de Nicoya

La cuenca de los ríos de la península de Nicoya está representada por una serie de ríos, entre los cuales se encuentran San Pedro y Morote; este último se origina en la confluencia de los ríos Grande y Momollejo y desemboca en el golfo de Nicoya. Otros ríos de la cuenca son Bongo que se forma de la unión de los ríos Seco y Blanco; lo mismo que Jabillo, Ora, Buenavista Nosara, Montaña, Cuajiniquil, Tabaco, Andamojo, San Francisco, Nisperal, Potrero Grande, Murciélagos y Salinas (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2018), que desembocan en el océano Pacífico (ver figura 5).

Figura 5

Red hidrológica cuenca península de Nicoya



Fuente: IMN (2018).

1.1.3 Climatología de la cuenca península de Nicoya

En esta cuenca, el rasgo típico climático es la presencia de un régimen de precipitación de tipo Pacífico, el cual se caracteriza por presentar una estación seca y otra lluviosa bien definidas. La estación seca se registra normalmente desde el mes de noviembre hasta el mes de abril y la estación lluviosa se inicia normalmente en el mes mayo para concluir en el mes de octubre. Posee una disminución relativa de la cantidad de precipitación en los meses de julio y agosto que se conoce con el

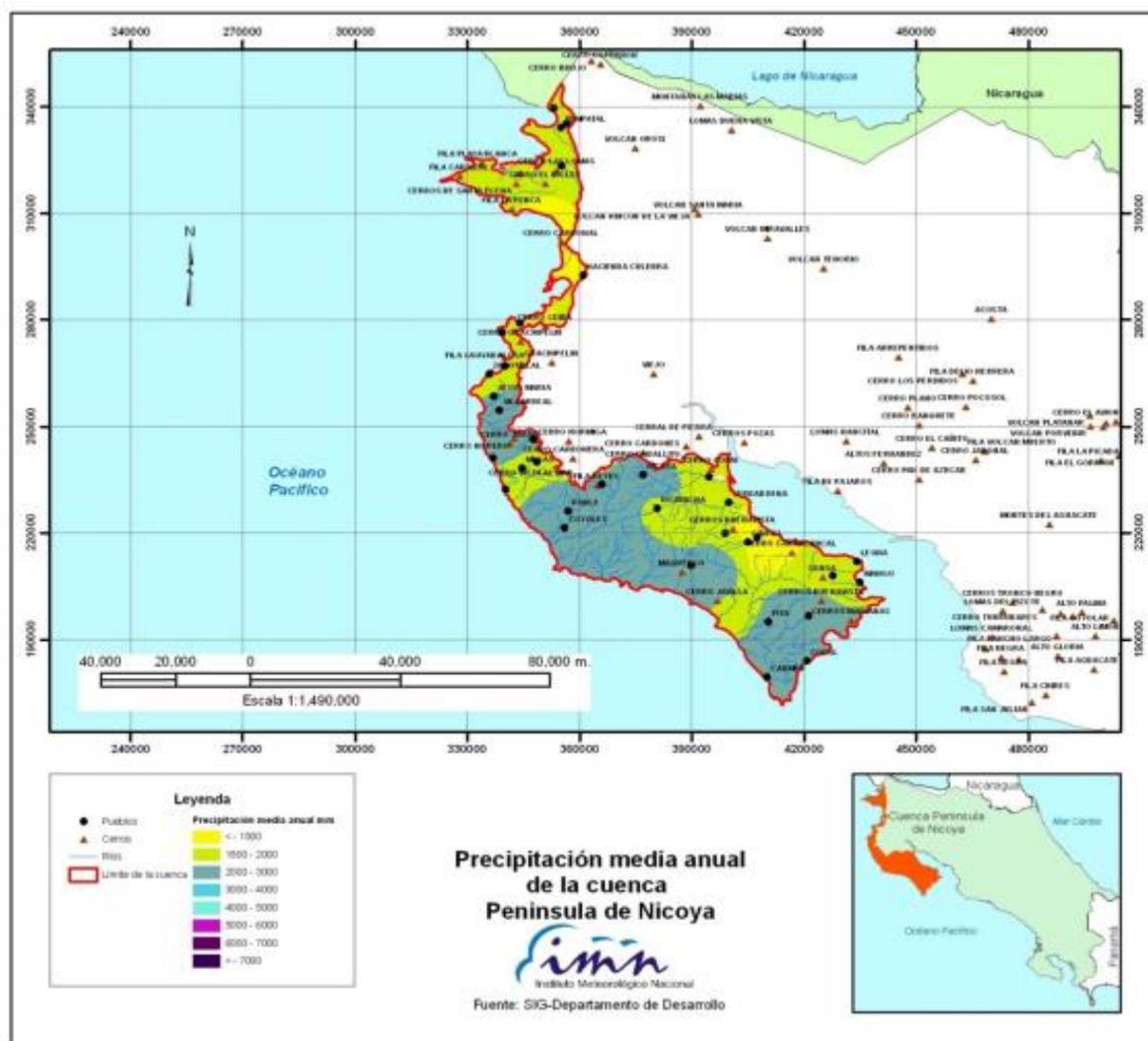
nombre de “veranillo” y que experimentan en algunos años un déficit hídrico (IMN, 2018).

1.1.4 Precipitación de la cuenca península de Nicoya

La precipitación media anual en toda la cuenca es de 1500 a 3000 mm. Los meses de setiembre y octubre suelen ser los más lluviosos, aportando aproximadamente un 18 % y 19 % respectivamente de la precipitación promedio anual. Los meses más secos suelen ser enero y febrero. Se registra en esta cuenca un promedio anual de 125 días con lluvia, con una estación seca de seis meses (IMN, 2019). En la figura 6 se muestra la distribución de las isoyetas en la cuenca.

Figura 6

Isoyetas de la cuenca península de Nicoya



Fuente: IMN (2009).

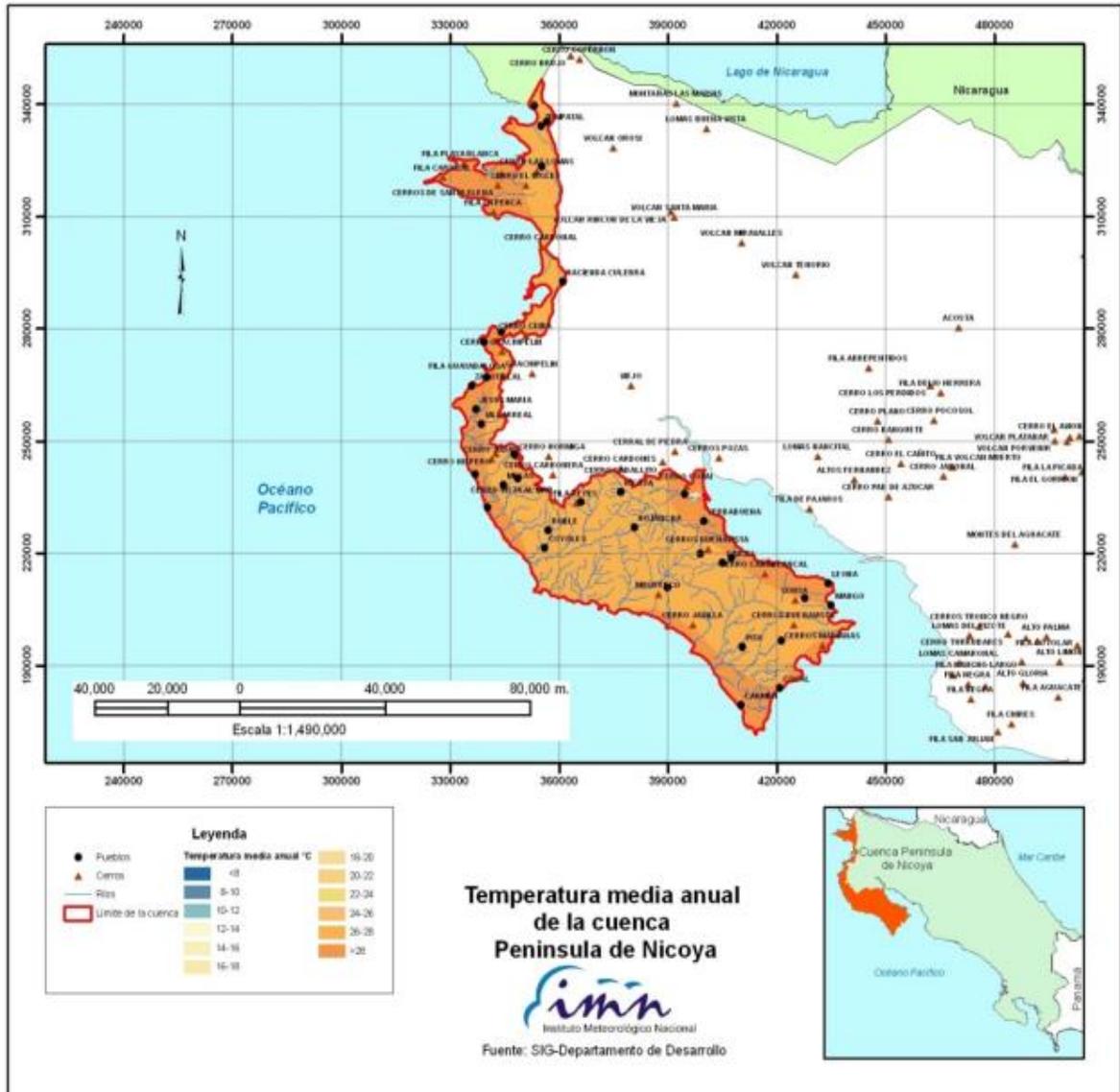
1.1.5 Temperatura

La temperatura media anual en toda la cuenca es de 26 a 28 °C; sí ocurre una apreciable oscilación aproximada de 12 °C en cualquier mes entre la

temperatura máxima y la mínima del día (IMN, 2009). En la figura 7 se muestran las isotermas de temperatura dentro de la cuenca.

Figura 7

Isotermas de temperatura dentro de la cuenca



Fuente: IMN (2009).

1.1.6 Oferta y demanda de agua en la cuenca

De acuerdo con el Balance Hídrico Nacional elaborado en el año 2010, la cuenca ante un escenario climático normal tiene una oferta hídrica de 2017.34 hm³/año. Los datos de caudal otorgado por uso se exponen en la tabla 2 y en la figura 8 se establece la distribución porcentual por uso de agua en la cuenca (IMN, 2018).

Tabla 2

Caudal otorgado por uso en la cuenca

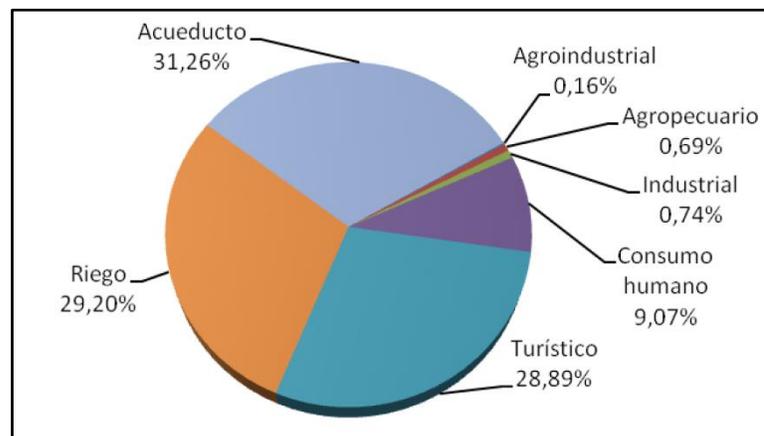
Detalle de uso	Caudal (L/s)	Porcentaje (%)
Agroindustrial	2,30	0,16
Agropecuario	10,25	0,69
Industrial	11,02	0,74
Consumo humano	134,55	9,07
Turístico	428,40	28,89
Riego	432,99	29,20
Acueducto	463,56	31,26
Total	1 483,083	100,00

Nota: Fecha corte de la información agosto 2009.

Fuente: IMN (2018).

Figura 8

Distribución porcentual por usos de agua otorgados en la cuenca



Nota: Fecha corte de la información agosto 2009.

Fuente: IMN (2018).

1.2 Definición de aguas residuales

En Costa Rica, según el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N.º 33601, las aguas residuales son todas aquellas que han recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes físicos, químicos y biológicos. Además, las aguas residuales pueden ser clasificadas según el uso a las cuales fueron sometidas: cuando es agua producto de usos domésticos se clasifica como agua residual de tipo ordinaria y cuando son aguas producto de usos distintos a los domésticos, como por ejemplo aguas producto de usos dentro de un centro hospitalario, serán clasificadas como aguas residuales de tipo especiales (Poder Ejecutivo, 2007).

1.2.1 Características de las aguas residuales

Las aguas residuales están compuestas, principalmente, por 99 % de agua y un 1 % de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales. Verter aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado genera consecuencias que se clasifican en tres grupos, esto según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (2017): efectos nocivos para la salud humana, efectos ambientales negativos y repercusiones desfavorables para las actividades económicas (ONU, 2017). El objetivo final de una debida gestión y tratamiento del agua residual es el control y la regulación de sus diversos flujos.

1.2.2 Contaminantes del agua residual

Los contaminantes del agua residual en función de la calidad o las características del agua se clasifican en físicos, químicos y biológicos. Estas impurezas, por el lado de las características químicas, deben su origen a contaminantes orgánicos e inorgánicos. Los contaminantes orgánicos dan como resultado la disminución del oxígeno, producto de la degradación biológica de los compuestos. En el caso de los contaminantes inorgánicos, el resultado es su posible efecto tóxico. La degradación biológica de sustancias orgánicas produce ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos; y las sustancias inorgánicas, en el caso de metales tóxicos, material particulado como arcillas y sedimentos y microorganismos como bacterias y protozoos (Universidad Nacional, 2011).

1.2.3 Generalidades del tratamiento de agua residual

De los 52 000 000 de metros cúbicos día de aguas residuales que se recolectan en América Latina, se estima que solamente 3 100 000 metros cúbicos día, o el 6 %, reciben tratamiento adecuado antes de ser dispuestos en cuerpos de agua; son muy escasos los casos de estudio de reúsos de aguas residuales existentes (Oakley y Salguero, 2011).

En la actualidad, las aguas residuales son vistas como un recurso no muy valioso; incluso, y con mucha frecuencia, se ven como una carga que debe eliminarse o una molestia que debe ignorarse. Esta percepción debe cambiar para reflejar correctamente su valor: las aguas residuales son una fuente potencialmente accesible y sostenible de agua para diferentes usos, según la perspectiva desde la que se vea o el uso que se les quiera dar, como por ejemplo producción de energía, nutrientes en cultivos, materia orgánica utilizable como abonos naturales y otros subproductos útiles.

Una adecuada gestión de las aguas residuales, como la reutilización segura del agua y otros como recuperación de cuerpos de agua altamente alterados, ofrece muchas oportunidades para el medio ambiente: “Esto es especialmente cierto en el contexto de una economía circular, donde el desarrollo económico se equilibra con la protección de los recursos y la sostenibilidad ambiental, y donde una economía más limpia y sostenible tiene un efecto positivo en la calidad del agua” (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2017, párr. 3).

1.3 Parámetros del agua residual para reúso

Actualmente, en Costa Rica se cuenta con el Decreto N.º 33601-MINAE-S Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, el cual es el marco regulatorio de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Además, este tiene como objetivo la protección de la salud pública y del ambiente, a través de una gestión ambientalmente adecuada de las aguas residuales.

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, en su artículo 27, habla de las condiciones en las cuales se permite el reúso, e indica que “se permitirá el reúso de aguas residuales tratadas de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales vigente” (Poder Ejecutivo, 2007). Además, dicho artículo es muy enfático al indicar que en ningún caso se podrán utilizar estas aguas tratadas para el consumo humano.

1.3.1 Parámetros universales de análisis obligatorio

En todas las aguas residuales de tipo ordinario se deberán analizar los siguientes parámetros universales, según legislación vigente en Costa Rica (Poder Ejecutivo, 2007):

- a) Caudal: Volumen de un líquido que pasa por un punto en un tiempo determinado.
- b) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

- c) Demanda Química de Oxígeno (DQO): Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.
- d) Potencial de hidrógeno (pH): Parámetro que indica la concentración de iones de hidrógeno.
- e) Grasas y aceites (GyA).
- f) Sólidos sedimentables (SSed): Materiales de cualquier tamaño que no se mantienen suspendidos.
- g) Sólidos suspendidos totales (SST): Materiales de cualquier tamaño que se mantienen suspendidos.
- h) Sustancias activas al azul de metileno (SAAM).
- i) Temperatura (T).

1.3.2 Parámetros de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias serán los siguientes, según legislación vigente en Costa Rica (Poder Ejecutivo, 2007):

- a) Caudal. “El término caudal significa: volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado. Un caudal se calcula mediante la siguiente fórmula: $Q=V/t$, siendo Q (caudal), V (volumen) y t (tiempo).

Normalmente se mide el volumen en litros y el tiempo en segundos” (Valdivielso, 2010, párr. 2-3).

- b) Coliformes fecales (CF). Es un “subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran en grandes cantidades en los intestinos y excremento de los humanos y animales” (North Carolina Public Health, 2009, párr. 1). Se utilizan como indicadores de microorganismos que pueden estar presentes en el agua y causar enfermedades.
- c) Nematodos intestinales (NI). “son parásitos que infectan frecuentemente al hombre y a sus animales domésticos. Cuando el hospedador se infecta, a menudo por ingestión de huevos infecciosos, el parásito se establece en su nicho intestinal” (Else, 2016, párr. 1). Pueden representar una problemática muy alta al necesitarse solo un huevo para infectar a las personas, por lo que se debe controlar la presencia de este parámetro.

1.3.3 Límites máximos para el reúso de aguas residuales ordinarias

Cualquier agua residual ordinaria que sea reusada deberá cumplir con las características microbiológicas establecidas en la tabla 3 dada a continuación.

Tabla 3

Límites máximos permisibles para el reúso de aguas residuales ordinarias

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES ORDINARIAS		
TIPO DE REÚSO	PARÁMETROS	
	Nematodos intestinales (promedio aritmético Coliformes Fecales N.º De huevos por litro)	(NMP/100 mL)
Tipo 1	1	1 000
Tipo 2	1	10 000
Tipo 3	1	1 000 ²
Tipo 4	1	10 000 ³
Tipo 5	1	----- ⁴
Tipo 6	1	10 000
Tipo 7	1	-----
Tipo 8	1	1 000

Fuente: Poder Ejecutivo (2007).

1.3.4 Mediciones rutinarias y análisis periódicos

Es importante destacar que, según el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales

lo que son parámetros de análisis obligatorios se dividirán en dos grupos, entre los cuales el primero será los muestreos, mediciones y análisis rutinarios, mismos que pueden ser efectuados por personal capacitado o bien el operar de la PTAR, o si se gusta un laboratorio habilitado. El según grupo serán los muestreos, mediciones y análisis periódicos, los cuales únicamente

pueden y deben ser realizados por un laboratorio habilitado y acreditado en sus respectivos ensayos (Poder Ejecutivo, 2007, p. 53).

Las frecuencias mínimas de muestreo y análisis de aguas residuales de tipo ordinario serán con base en el caudal de los efluentes de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario; para caudales superiores a 100 metros cúbicos día la medición rutinaria será mensual y para caudales inferiores a 100 metros cúbicos día la medición rutinaria será semanal. En lo que respecta a análisis periódicos, para caudales superiores a 100 metros cúbicos día la medición rutinaria será semestral y para caudales inferiores a 100 metros cúbicos día la medición será trimestral (Poder Ejecutivo, 2007).

Por otro lado, las aguas que serán reutilizadas, las mediciones rutinarias y los análisis periódicos tendrán frecuencias mínimas requeridas para la toma de muestras y la realización de los análisis de laboratorio para el control operativo del reúso de aguas residuales, tanto ordinarias como especiales, se hará tal y como se indica en la tabla 4.

Tabla 4

Frecuencia de toma de muestra con base en el tipo de reúso

PARÁMETRO	FRECUENCIA POR TIPO DE REÚSO		
	Tipos 1, 3 y 6	Tipos 2, 4 y 5	Tipos 7 y 8
Mediciones Rutinarias: Caudal. pH. Sólidos Sedimentables. Temperatura.	Quincenal	Mensual	Trimestral
Análisis Periódico: Caudal. pH. Sólidos Sedimentables. Temperatura. Demanda Bioquímica de Oxígeno Demanda Química de Oxígeno Grasas y aceites. Sólidos suspendidos Totales. Coliformes fecales. Nematodos intestinales.	De acuerdo a la frecuencia definida para el reporte operacional		

Fuente: Poder Ejecutivo (2007).

1.4 Disposición de las aguas residuales tratadas

1.4.1 Vertido a cuerpo de agua

Un vertido a cuerpo de agua se da cuando la planta de tratamiento tiene la posibilidad de verter sus aguas a un cauce de dominio público de flujo permanente. Un cauce de dominio público será un río, quebrada, arroyo, manglar, humedal, mar abierto, entre otras categorías.

El tipo de cuerpo de agua de dominio público y su caracterización (permanente o intermitente) está delimitado en la cartografía nacional; cuando existan dudas de ambas, se podrá tramitar ante la Dirección de Agua la solicitud de dictamen de cuerpo de agua, con el fin de definir si el cuerpo de agua es del dominio público y además su caracterización (permanente o intermitente) (Dirección de Agua, 2021).

Es importante mencionar que los permisos de vertido a cauce de dominio público en Costa Rica son tramitados ante la Dirección de Agua, dependencia del Ministerio de Ambiente y Energía, pero cuando el vertido se quiera realizar a un humedal o manglar, debidamente delimitado dentro de categoría de Área Silvestre Protegida, se deberá realizar una audiencia en la oficina Subregional del Área de Conservación, Sistema Nacional de Áreas de Conservación respectiva (Dirección de Agua, 2021).

1.4.2 Vertido al alcantarillado sanitario

El alcantarillado sanitario está definido dentro del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto N.º 33601-MINAE-S como una red pública de tuberías que se utilizan para recolectar y transportar las aguas residuales hasta su punto de tratamiento y vertido (Poder Ejecutivo, 2007). En Costa Rica, los alcantarillados sanitarios son administrados por el Ente Administrador de Alcantarillado Sanitario (EAAS). Entre los que se pueden mencionar están el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Municipalidades, Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios, Servicios Públicos de Heredia, entes privados, entre otros.

Los parámetros universales de análisis obligatorio de cualquier agua residual que sea vertida en un alcantarillado sanitario deberán cumplir con los límites señalados en la tabla 5 (Poder Ejecutivo, 2007).

Tabla 5

Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio

Parámetro	Límite Máximo
DBO	300 mg/L
DQO	750 mg/L
Sólidos suspendidos	300 mg/L
Sólidos sedimentables	5 ml/l
Grasas/aceites	50 mg/L
Potencial hidrógeno	6 a 9
Temperatura	15°C ≤ T ≤ 40°C
Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L

Fuente: Poder Ejecutivo (2007).

1.4.3 Reutilización del agua tratada

El reúso de agua residual, en palabras muy sencillas, será el aprovechamiento de un efluente para diversos fines, siempre y cuando estén autorizados. Es lastimoso, pero en Costa Rica no se cuenta con un registro o estudios en relación con cuánta agua se reutiliza en el país por año, dato que se encuentra en manos del Ministerio de Salud, ente encargado de regular y aprobar los diferentes reúsos.

1.5 Análisis de la regulación aplicable en materia de vertido de aguas residuales

Actualmente, en el país se cuenta con una institucionalidad que ha permitido que los niveles de cobertura de saneamiento sean altos con respecto a otros países de Latinoamérica. Además, cada institución tiene debidamente reglamentado su accionar en el tema del saneamiento.

1.5.1 Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Decreto N.º 39887-S-MINAE

El presente reglamento tiene como principal objetivo proteger la salud pública y el ambiente, mediante una gestión racional y ambientalmente adecuada de las aguas residuales (Poder Ejecutivo, 2018). Tendrá su aplicabilidad en lo que corresponde al manejo de las aguas residuales que, independientemente de su origen, sean vertidas o reutilizadas en cualquier parte del país.

Para construir y operar un sistema de tratamiento de aguas residuales, con la única excepción de los tanques sépticos unifamiliares que infiltren en el terreno, es fundamental que el interesado cuente con los permisos de ubicación y de construcción, que deberán ser tramitados en la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud.

El permiso de ubicación de una PTAR deberá solicitarse ante la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud, mediante nota acompañada con la razón de ser más importante del proyecto, que será la disposición final propuesta para las aguas residuales tratadas (Poder Ejecutivo, 2018). Además, es importante recordar que el vertido se puede realizar en un alcantarillado sanitario, infiltración en el terreno, vertido en un medio receptor del dominio público (de ser necesario con la fuente dictaminada), descarga mediante emisario submarino, reúso y evaporación. Dicho permiso tendrá una vigencia de un año a partir de la fecha de expedición.

1.5.2 Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto N.º 33601-MINAE-S

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales tiene por objetivo la protección de la salud pública y del ambiente, a través de una gestión ambientalmente adecuada de las aguas residuales. Es de suma importancia destacar que todo ente generador (proyecto que produzca agua residual) deberá dar el debido tratamiento a sus aguas residuales para que cumplan con las

disposiciones del reglamento en mención y se eviten así perjuicios al ambiente y a la salud.

Dicho reglamento establece ciertos lineamientos de acatamiento obligatorio, como lo es confeccionar reportes operacionales, ningún ente generador está eximido de presentarlos (no considera como entes generadores a las viviendas unifamiliares). Los reportes deberán ser presentados periódicamente a la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud, cuando el efluente es vertido a un cuerpo receptor, alcantarillado sanitario o reusado (Poder Ejecutivo, 2007). Entiéndase que de ser viable el reúso propuesto del agua de la PTAR de Nicoya, se deberán realizar los respectivos trámites ante la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud.

Para efectos de un control y seguimiento del presente reglamento, en su artículo 6 se menciona la creación del Comité Técnico del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales,

el cual estará integrado por un máximo de dos representantes, titular y suplente, con una duración en sus cargos por espacio de dos años como mínimo, y de orientación técnica afín al contenido del presente reglamento, provenientes de cada una de las siguientes instituciones:

- a) Ministerio de Salud.
- b) Ministerio del Ambiente y Energía.
- c) Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- d) Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

- e) Consejo Nacional de Rectores.
- f) Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- g) Colegio de Químicos de Costa Rica.
- h) Colegio de Ingenieros Químicos y Profesionales Afines de Costa Rica.
- i) Colegio de Microbiólogos y Químicos Clínicos de Costa Rica.
- j) Asociación Costarricense de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental.
- k) Unión Costarricense de Cámaras y Asociaciones de la Empresa Privada.
- l) Cámara Nacional de Agricultura y Agroindustria.
- m) Federación Costarricense para la Conservación del Ambiente.
- n) Colegio de Biólogos de Costa Rica. (Poder Ejecutivo, 2007)

En el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, en su artículo 28, se detallan los tipos de reúso y se clasifican según los siguientes tipos:

- **Tipo 1: Reúso urbano.** Riego de zonas en donde haya acceso del público (por ejemplo, en zona verdes, campos de golf, parques, plazas deportivas y cementerios), lavado de automóviles, inodoros, combate de incendios y otros usos con similar acceso o exposición al agua.
- **Tipo 2: Riego con acceso restringido.** Cultivo de césped, silvicultura y otras áreas donde el acceso del público es prohibido o restringido.
- **Tipo 3: Reúso agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su venta.** Riego superficial o por aspersion de cualquier cultivo comestible que no se procese previo a su venta, incluyendo aquellos que se consumen crudos.

- **Tipo 4: Reúso agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previo a su venta.** Riego de cultivos que, previo a su venta al público, han recibido el procesamiento físico o químico necesario para la destrucción de los organismos patógenos que pudieran contener.
- **Tipo 5: Reúso agrícola en cultivos no alimenticios.** Riego de pastos de piso, forrajes, cultivos de fibras y semillas, y otros cultivos no alimenticios.
- **Tipo 6: Reúso recreativo.** Reúso en cuerpos de agua artificiales donde pueda existir un contacto ocasional (por ejemplo: pesca, canotaje y navegación).
- **Tipo 7: Reúso paisajístico.** Aprovechamientos estéticos donde el contacto con el público no es permitido, y dicha prohibición esté claramente rotulada.
- **Tipo 8: Reúso en la construcción.** Compactación de suelos, control del polvo, lavado de materiales, producción de concreto. (Poder Ejecutivo, 2007)

El reúso que se plantea desarrollar en el presente trabajo es el tipo 8, al estudiar su factibilidad con las aguas residuales tratadas de la PTAR de Nicoya, por medio de un análisis de condiciones técnicas y legales en lo que compete a control de polvo y compactación de suelos en la red vial del cantón.

El Permiso Sanitario de Funcionamiento es un requisito indispensable para que una PTAR pueda operar; una vez iniciada su operación, todo ente generador que descargue sus aguas residuales a cuerpos receptores, alcantarillados sanitarios o las reúse, tendrá un plazo de tres (3) meses para presentar su primer reporte operacional ante el Ministerio de Salud y la renovación del permiso sanitario

de funcionamiento, independientemente de la disposición de las aguas residuales, es requisito haber presentado los reportes operacionales y haber cumplido con las disposiciones que establece este reglamento; así como contar con la certificación de la calidad del agua (Poder Ejecutivo, 2007).

1.5.3 Reglamento del canon ambiental por vertidos Decreto N.º 42128-MINAE-S

El Reglamento del canon ambiental por vertidos tiene como principal objetivo la regulación del canon por uso del recurso hídrico para verter sustancias contaminantes; se fundamenta en el principio base de que quien contamina paga, sin excepción alguna. Además, este reglamento pretende el objetivo social de alcanzar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, de conformidad con lo establecido en el artículo 50 de la Constitución Política, a través del cobro de una contraprestación en dinero a quienes usen el servicio ambiental de los cuerpos de agua de dominio público para introducir, transportar y eliminar desechos líquidos originados en el vertimiento puntual (Poder Ejecutivo, 2008).

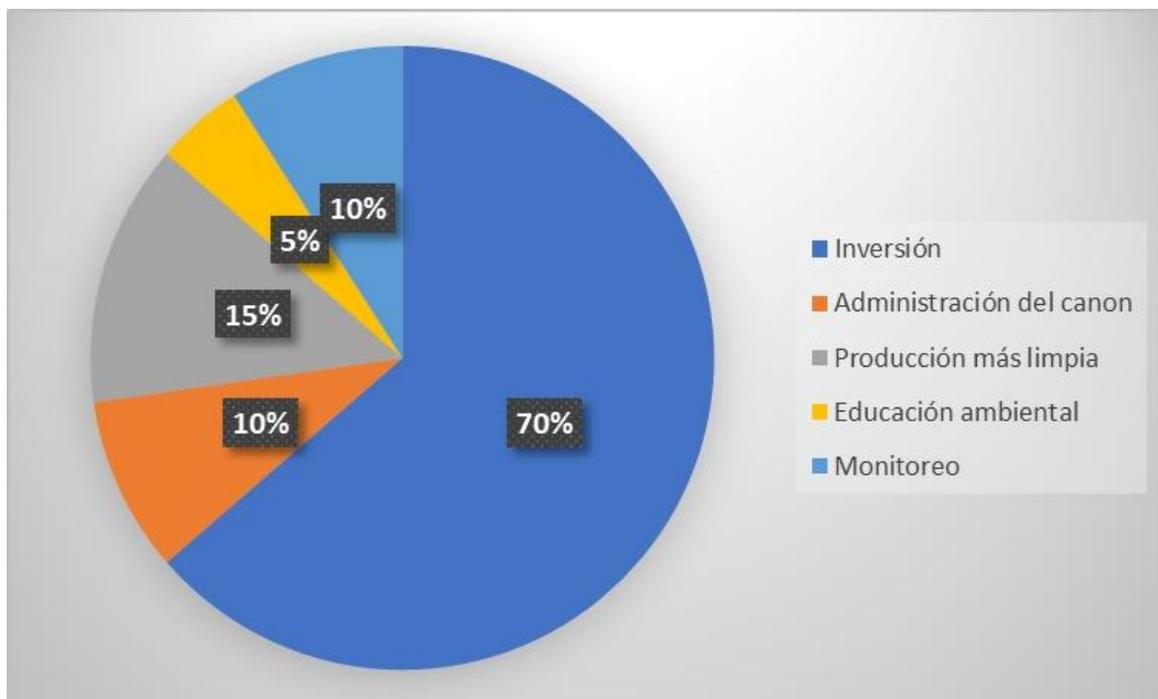
Es importante resaltar que, para efectos del presente trabajo, se busca un reúso total o parcial del agua de la PTAR de Nicoya, por lo cual se planteará una reducción o exoneración del canon ambiental por vertidos. Lo antes mencionado se sustenta en el artículo 24 del reglamento, que indica explícitamente que “Quedan exoneradas del permiso de vertidos todas aquellas personas físicas o jurídicas, públicas o privadas, cuyas aguas residuales sean:

- a. Descargadas en un alcantarillado sanitario.
- b. Reusadas según lo establecido en el Reglamento que regula el vertido y uso de aguas residuales.
- c. Descargadas a un tanque séptico con drenaje para infiltración al subsuelo.
- d. Entregadas a un tercero para su tratamiento y vertimiento final.
- e. Aquella disposición de aguas residuales en un medio diferente a un cuerpo de agua, previa autorización del Ministerio de Salud, según directriz o decreto emitido para tal efecto. (Poder Ejecutivo, 2008)

Aunque para el desarrollo del presente trabajo se planteará una reducción o exoneración del canon ambiental por vertidos, es importante conocer la inversión de los fondos originados por el canon ambiental por vertidos que deberán invertirse solo en los rubros y proporciones que se indican en la figura 9, tomando en cuenta prioridades ambientales y de saneamiento.

Figura 9

Inversión de los fondos originados por el canon ambiental por vertidos



Fuente: Poder Ejecutivo (2008).

1.5.4 Política Nacional de Saneamiento

La Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales se convierte en el primer referente para definir lo que se espera del sector en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales plantean, entre otras cosas, garantizar que las aguas residuales no afecten el medio ambiente gracias al uso de sistemas de tratamientos individuales o colectivos.

Según indica el AyA (2006),

[La] Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales (PNSAR) se constituye en la propuesta de intervención del Estado y sus instituciones que orienta, propone e implementará un conjunto de acciones para asegurar el desarrollo pleno y la calidad de vida de los habitantes del país, procurando resolver problemas públicos relevantes, como es el saneamiento de las aguas residuales, por medio de la toma de decisiones con visión de corto, mediano y largo plazo. (p. 13)

Según se menciona, en la política existen diversos entes que operan o brindan el servicio de tratamiento de aguas residuales dentro del territorio nacional. En lo que respecta al trato de las aguas residuales ordinarias, se señalan: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Servicios Públicos de Heredia, Municipalidades y ASADAS (AyA, MINAE y MS, 2016). En cuanto al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado, opera al menos 20 sistemas de tratamiento de aguas residuales (hay varios sistemas en proceso de recepción), pero en ninguno de todos los sistemas se menciona que el reúso sea la disposición final.

En la Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales, se mencionan algunos de los principales hallazgos que se desprenden del análisis de la problemática del agua residual en el país. Entre ellos destacan: desarticulación entre los roles y competencias de las instituciones del sector, fuertes limitaciones en la gestión de las aguas residuales, una insuficiente participación ciudadana, las coberturas de alcantarillado nacionales bajas, coberturas en tanques sépticos son altas, falta de sistemas adecuados de tratamiento, entre otros.

1.6 Sistemas de tratamiento de agua residual

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua. Existen diversos sistemas de tratamiento de agua residual; en este punto en específico, se desarrolla lo que corresponde a lagunas facultativas, dado que es el sistema de tratamiento que se utiliza en la PTAR de Nicoya.

1.6.1 Lagunas facultativas

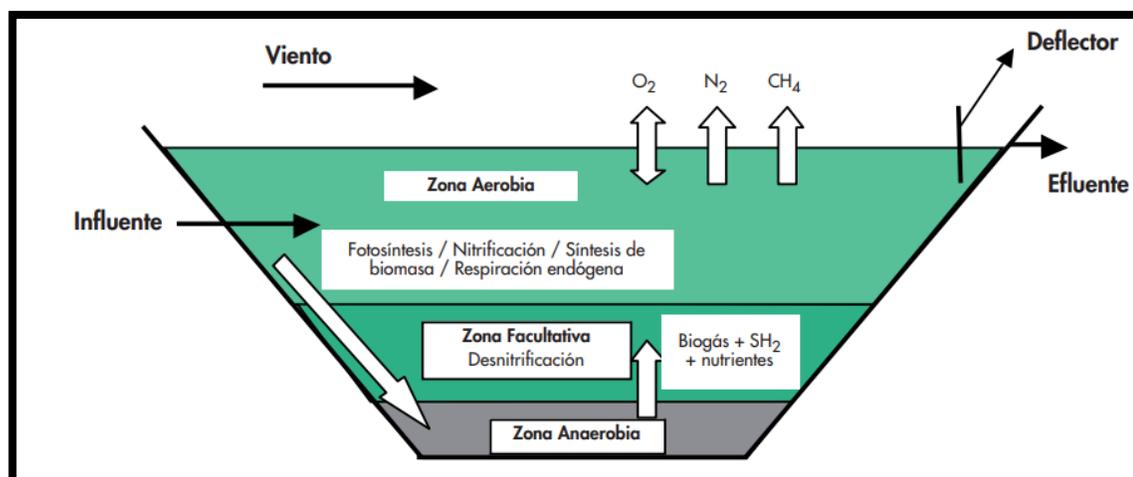
Las lagunas facultativas son utilizadas muy comúnmente y pueden encontrarse como un primer tratamiento o como un tratamiento posterior a las lagunas anaerobias. La profundidad de diseño en estas lagunas varía entre 1, 5 y 2 metros. En ellas, el proceso de degradación se lleva a cabo en tres etapas. En el fondo de la laguna existen condiciones anaerobias que generan biogás y que producen un ligero mezclado. La etapa intermedia la llevan a cabo microorganismos facultativos y representa la etapa de transición entre las condiciones anaerobias y aerobias. La tercera etapa corresponde a la zona aerobia (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010).

En la superficie se lleva a cabo la fase aerobia. La producción de oxígeno se realiza por medio de las algas que utilizan como fuente de energía la luz solar en el estanque, dándole al agua una coloración verde oscuro brillante, que se debe a la alta concentración de OD y pH, y la ausencia de malos olores (figura 10). Algunas lagunas de estabilización presentan construcción de mamparas para incrementar la

eficiencia del proceso, lo que da un comportamiento de flujo pistón al fluido (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010).

Figura 10

Esquema de funcionamiento de una laguna facultativa



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2010).

El efluente de una laguna facultativa deberá presentar una coloración verde oscuro brillante y no deberá detectarse olor; en este caso, debe considerarse un buen funcionamiento. Si el efluente de este tipo de laguna presenta una coloración verde opaco o amarillo, se considera un funcionamiento regular, con disminución de pH y OD (predominio de algas azul-verdosas). Si esta laguna presenta mal olor y coloración gris a negro, se considera que tiene un mal funcionamiento.

1.6.2 Parámetro de diseño de lagunas facultativas

En lo que respecta a las lagunas facultativas, la carga orgánica de estas lagunas para países tropicales puede oscilar entre 20 y 35 $gm^{-2} d^{-1}$ con

profundidades entre 1.5 y 2.5 m. Por lo general, las fracciones de la materia orgánica contaminante que llegan a la laguna son sedimentables, lo que origina la capa anaeróbica en el fondo. Las lagunas facultativas operan correctamente aun cuando todo su volumen no se encuentre oxigenado. La radiación solar puede ser un elemento limitante en la operación adecuada de este tipo de lagunas (A. Araya, comunicación personal, 23 de febrero de 2017).

Las lagunas facultativas se suelen diseñar con base en datos empíricos de la carga orgánica superficial a aplicar. La carga orgánica superficial es la máxima carga orgánica que puede aplicarse a una laguna facultativa antes de que se convierta en anaerobia.

A. Araya (comunicación personal, 23 de febrero de 2017) señala que la fórmula de la carga orgánica superficial es la siguiente:

$$\lambda_s = 350 (1,107 0,002 T)^{T^{25}}$$

donde:

λ_s = carga orgánica superficial aplicable (kg DBO_5 /ha.d

T = temperatura de operación de la laguna (°C). Por seguridad se suele tomar para el diseño la temperatura media del mes más frío

Conocida la carga orgánica a tratar en la etapa facultativa (la que no ha sido eliminada en la etapa anaerobia), y de acuerdo con el límite de carga superficial impuesto, se calcula la superficie necesaria de laguna facultativa. Fijada la altura de

la lámina de agua (1.5 o 2.0 m), el resguardo (0.5 m), los taludes interiores (generalmente 3:1 horizontal vertical) y la forma geométrica de la laguna, puede procederse a la determinación de sus volúmenes, total y efectivo (A. Araya, comunicación personal, 23 de febrero de 2017).

1.6.3 Obras de operación y mantenimiento

En todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales se deben realizar obras de operación, y las lagunas facultativas no son la excepción a esto. Entre las labores de operación que se pueden visualizar está garantizar el funcionamiento continuo y adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico de las lagunas.

De manera muy general, el trabajo rutinario consistirá en limpieza de las estructuras hidráulicas (canalizaciones y vertedero de entrada y salida), muestreos de los parámetros y observaciones al afluente y efluente para la correcta evaluación del funcionamiento de la laguna. Por otro lado, se deben controlar los canales de alimentación y salidas de las lagunas, con el fin de desaguar una buena distribución en los afluentes y efluentes.

En cuanto al espejo de la laguna, es necesario que se mantenga libre de natas y de sólidos flotantes que no fueron removidos en el tratamiento preliminar, debido a que reducen el área efectiva y evitan la libre influencia de la energía solar en las capas superficiales, lo que dificulta la acción oxigenada del viento. Algunas veces existe en las lagunas crecimiento excesivo de algas; muchas flotan en la superficie y forman natas gruesas que perjudican el funcionamiento normal de la

unidad por interferir el paso de la luz solar. Con el viento, esa nata es empujada a las orillas, lo que ocasiona olores desagradables, por lo que debe ser removida lo más pronto posible (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014)

Entre las obras de mantenimiento que se deben realizar en los sistemas lagunares, específicamente en las lagunas facultativas, se pueden mencionar la limpieza del material vegetal que pueda proliferar en los taludes de los diques para mantener libre el borde superior del talud, mantenimiento de los diques para minimizar el efecto erosivo del agua y del viento y mantenimiento de las rutas de acceso. Es importante que todos los caminos de acceso interior a las distintas unidades de tratamiento sean transitables (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014).

Además, las tareas de mantenimiento consisten en el control de malezas, reposición de estructuras que se consideren necesarias, en el caso de que puedan estar deterioradas, e inspección del perímetro del sistema de tratamiento de aguas residuales verificando lo siguiente:

- a) La ausencia de tramos de cerco debilitado.
- b) El estado de conservación del gramado de protección de los diques.
- c) La existencia de algún flujo de líquido en los taludes.
- d) La limpieza de las zanjas de protección contra las aguas pluviales, removiendo la arena depositada en ella. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014)

1.7 Objetivos de desarrollo sostenible

1.7.1 ¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?

El lento crecimiento económico mundial, las desigualdades sociales y la degradación ambiental característicos de la realidad actual presentan desafíos sin precedentes para la comunidad internacional. En efecto, existe un cambio de época: la opción de continuar con los mismos patrones de producción, energía y consumo ya no es viable, lo que hace necesario transformar el paradigma de desarrollo dominante en uno que lleve a la vía del desarrollo sostenible, inclusivo y con visión de largo plazo (Naciones Unidas, 2020).

Frente a estos desafíos, los 193 Estados Miembros de las Naciones Unidas, junto con un gran número de actores de la sociedad civil, el mundo académico y el sector privado, entablaron un proceso de negociación abierto, democrático y participativo, que resultó en la proclamación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, con sus Objetivos de Desarrollo Sostenible, en septiembre de 2015. La Agenda 2030, así como la Agenda de Acción de Addis Abeba de la Tercera Conferencia Internacional sobre la Financiación para el Desarrollo y el Acuerdo de París sobre cambio climático, aprobados por todos los Estados Miembros también en 2015, presentan una oportunidad sin igual para la región (Naciones Unidas, 2020).

1.7.2 Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento

El objetivo 6 de este grupo busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento, lo cual guarda una estrecha relación con lo que se busca abordar en el presente trabajo en la parte de saneamiento, debido a

que el análisis físico-químico-microbiológico del efluente de la PTAR Nicoya permitirá validar un reúso en el control de polvo y la compactación de suelos en la red vial del cantón. Se tendrá así el agua libre de impurezas, accesible para todos, como parte esencial del mundo en el que se quiere vivir.

La escasez de recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado influyen negativamente en la seguridad alimentaria, las opciones de medios de subsistencia y las oportunidades de educación para las familias pobres en todo el mundo. La sequía afecta a algunos de los países más pobres del mundo, recrudece el hambre y la desnutrición. Para 2050, al menos una de cada cuatro personas probablemente viva en un país afectado por escasez crónica y reiterada de agua dulce (Naciones Unidas, 2020).

1.7.3 Metas del Objetivo 6

Entre las metas del Objetivo 6 sobre agua limpia y saneamiento se destacan:

- De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad, utilizando como indicador la proporción de la población que utiliza: a) servicios de saneamiento gestionados sin riesgos y b) instalaciones para el lavado de manos con agua y jabón.

- De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial, utilizando como indicadores la proporción de aguas residuales tratadas de manera adecuada y proporción de masas de agua de buena calidad.
- De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización, utilizando como indicador el volumen de la asistencia oficial para el desarrollo destinada al agua y el saneamiento que forma parte de un plan de gastos coordinados por el gobierno. (Naciones Unidas, 2020, párr. 6)

1.8 Análisis de oferta-demanda del agua tratada para reúso tipo 8

Un análisis de oferta y demanda es considerado una herramienta fundamental que puede ser utilizada para analizar una amplia variedad de problemas, en muy pocas ocasiones en temas ambientales, y siempre así en entender y predecir como las condiciones de la economía mundial pueden afectar el precio de mercado, la producción, evaluar el impacto de los controles de precios del Gobierno, entre otros. Pero para efectos de este caso, se efectuará un análisis

oferta y demanda del agua tratada para reúso tipo 8 (compactación de suelos y control del polvo).

En general, para efectos de este caso, el término demanda “se refiere a la cantidad de bienes o servicios que se solicitan o se desean en un determinado mercado” (Mora, 2008, p. 299); se puede decir entonces que la demanda es la necesidad de agua para compactación de suelos y control del polvo. Por su parte, la oferta “hace referencia a la cantidad de bienes, productos o servicios que se ofrecen en un mercado bajo unas determinadas condiciones” (Mora, 2008, p. 297), en cuyo caso la oferta corresponde a las fuentes de agua disponibles en época seca en el cantón de Nicoya.

1.8.1 Valor económico del agua residual

Aunque la valoración económica de la gestión de aguas residuales es compleja, sigue siendo una herramienta importante para orientar a los responsables de las políticas y a los inversionistas a tomar las mejores decisiones informadas. Un análisis financiero de la gestión de aguas residuales analiza su oferta y demanda público-privadas y puede sustentar la toma de decisiones desde el punto de vista de un operador privado o de una planta de tratamiento administrada por los entes públicos autorizados. Un análisis económico del agua residual puede analizar los costos y beneficios más amplios para la sociedad y proporciona información para que las políticas públicas apoyen las mejoras en la gestión de las aguas residuales.

La recolección, el tratamiento y el vertimiento o reúso adecuado de las aguas residuales pueden generar importantes beneficios ambientales y para la salud de un país. Sin embargo, debido a que algunos de estos beneficios no tienen un precio de mercado, tradicionalmente no han sido considerados en el análisis financiero de los proyectos de tratamiento de aguas residuales; por lo tanto, se han subestimado los beneficios totales (Jaramillo, 2007). Varias metodologías permiten la valoración de la oferta y la demanda en la gestión adecuada de aguas residuales; este proyecto que plantea un reúso de las aguas residuales busca dar un valor agregado a nivel económico a esa agua residual, que minuto a minuto es vertida a un cuerpo de agua y que no genera mayor impacto en el medio.

1.8.2 Demanda de agua para control de polvo y compactación de suelos en reparación de caminos

Según datos de permisos temporales con los que cuenta la Dirección de Agua del Ministerio de Ambiente y Energía, actualmente en la época seca, que comprende de diciembre a mayo, en el cantón de Nicoya se necesita 20 litros por segundo para suplir la necesidad de agua para compactación de suelos y control del polvo, pero muchos de los permisos temporales son denegados debido a la ausencia de fuentes de dominio público con caudal disponible para las fechas antes mencionadas (Poder Ejecutivo, 2007).

1.8.3 Interacción oferta-demanda

Comúnmente, en el mercado tradicional, se entiende la interacción de la oferta y la demanda como aquello que determina el equilibrio de mercado, la

cantidad y el precio. Dado que mientras más abundante sea un bien, el precio bajará y, por lo tanto, la demanda subirá, lo contrario sucede cuando el bien es escaso, pues el precio sube y la demanda baja (Mora, 2008). Para efectos de este caso, se busca desarrollar un análisis de oferta-demanda y determinar si con el reúso del efluente de la PTAR Nicoya se logra obtener un equilibrio en el mercado o necesidad de agua en el control de polvo y la compactación de suelos en la red vial del cantón.

1.9 Obras de mantenimiento y reparación de la red vial

Es importante mencionar que en el país las carreteras constan de tres elementos básicos: calzada, espaldón y cuneta. Por otro lado, las vías urbanas constan de cuatro elementos: acera, calzada, caño y esquina. El ancho de las carreteras y de los caminos vecinales definido por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), bajo su respectivo equipo designado para tal fin, indica que puede ser menor de veinte metros para las primeras y de catorce metros para los secundarios, esto según lo mencionado en el Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035.

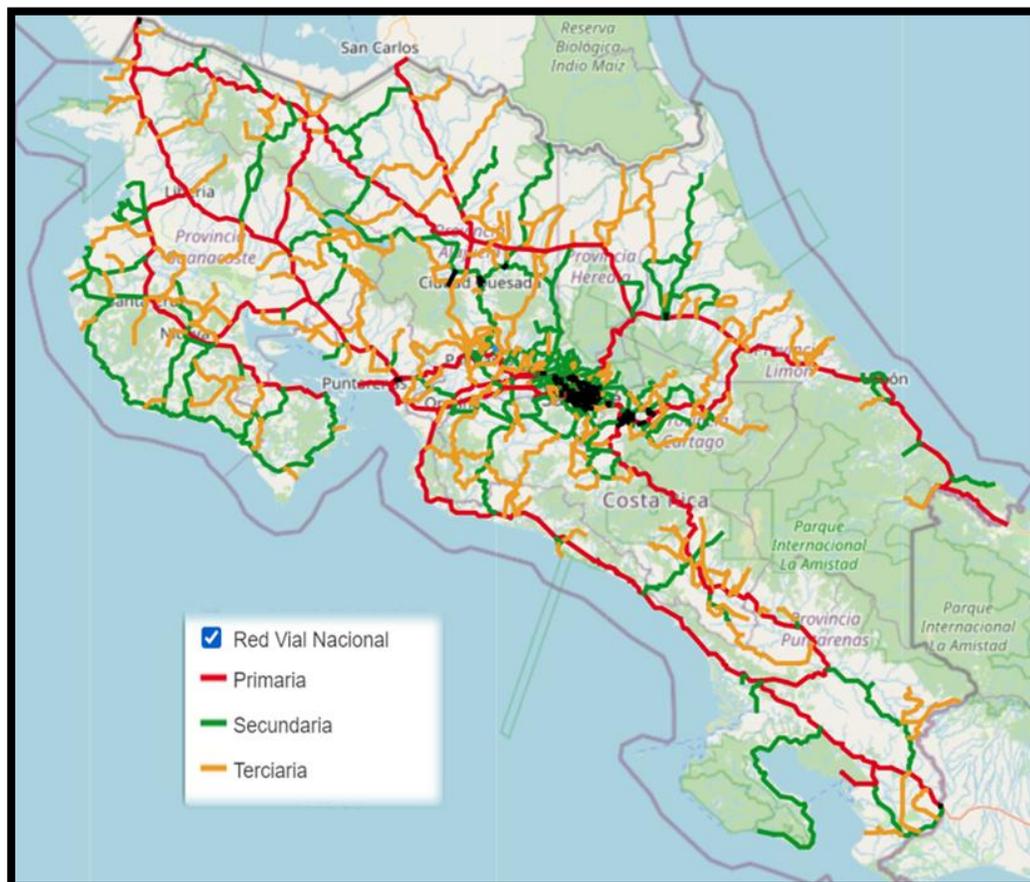
1.9.1 Rutas nacionales y rutas cantonales

La red vial del país está conformada por carreteras nacionales y cantonales; las primeras se dividen en primarias, secundarias y terciarias (ver figura 11), y quien velará por su mantenimiento será el Ministerio de Obras Públicas y Transportes,

esto bajo el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). Con lo que respecta a las carreteras cantonales, corresponde a las Municipalidades o Concejos de Distrito dar su respectivo mantenimiento. Según el Plan Nacional de Transporte de Costa Rica 2011-235, la extensión total de la Red Vial Cantonal del país se estima en 32 000 kilómetros, de los que las rutas pavimentadas se aproximan a los 5000 y 27 000 kilómetros son en lastre.

Figura 11

Red vial de Costa Rica



Fuente: MOPT (2021).

1.9.2 Compactación de suelos en mantenimiento y reparación de caminos

El agua se utiliza en diversos procedimientos de compactación en el mantenimiento y reparación de caminos; en lo que respecta a la compactación, se emplea cuando se utiliza emulsión asfáltica, que es una dispersión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua), en donde el agua forma la fase continua de la emulsión y pequeños glóbulos

de asfalto forman la fase discontinua. Además, cuando la compactación se origine sobre material rocoso o material de lastre, el agua será necesaria para generar un amarre natural (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

Según el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes del 2010, el agua utilizada para compactación de suelos, en el caso que sea, deberá satisfacer los requisitos de la subsección 725.01.

1.9.3 Control del polvo en mantenimiento y reparación de caminos

En lo que respecta al control de polvo, el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (2010) indica que debe proveerse un suministro adecuado de agua y el riego cuando sea necesario a cualquier hora (incluyendo noches, fines de semana y períodos de no trabajo). El agua debe aplicarse uniformemente usando distribuidores del tipo de presión, con tubería equipada con sistemas de rocío o mangueras con boquillas.

Debe controlarse el polvo dentro de los límites de la construcción o reparación de camino a todas horas mientras el proyecto esté abierto al tránsito del público. Cuando el proyecto no esté abierto al tránsito del público, debe controlarse el polvo en las áreas del proyecto en donde existan viviendas habitadas en el poblado o lugares de negocios. El control del polvo también debe ejecutarse en desvíos aprobados activos habilitados para el proyecto. El agua debe aplicarse en

los lugares, cantidad y frecuencia ordenados por la personas ingeniera especialista (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

**CAPÍTULO II:
MARCO METODOLÓGICO**

2. Marco metodológico

Esta investigación está enfocada en realizar un análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del efluente de la PTAR Nicoya. El fin es determinar si el efluente de esta puede ser reutilizado en control de polvo y compactación de suelos, debido a la demanda que se tiene de agua, en época seca, para el desarrollo de esta actividad que contribuye al desarrollo turístico y comercial de la zona.

2.1 Tipo de investigación y enfoque

Se utilizará una metodología de investigación exploratoria, ya que se busca examinar un tema que ha sido poco estudiado, con el objetivo de ampliar la información que se tiene sobre este y tener un panorama amplio de la situación a la que se enfrentan las instituciones y los usuarios del recurso en la zona.

El enfoque de este trabajo final de graduación será mixto, porque consiste en la integración del análisis de datos numéricos y recolección de datos de tipo descriptivos.

2.2 Hipótesis

Existe escasez de información e investigaciones relacionadas con el reuso de un efluente de una PTAR de aguas residuales ordinarias para ser empleadas en control de polvo y compactación de suelos. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación busca analizar la factibilidad de emplear este recurso, con base en

criterios técnicos, mediante la comparación de los datos físicos, químicos y microbiológicos del efluente de la PTAR Nicoya, y en la normativa existente en esta materia. De esta forma, se busca determinar la viabilidad o no del reúso del efluente tipo 8.

2.3 Variables

Entre las variables a estudiar en el presente trabajo de investigación destaca el caudal, debido a que será muy importante medirlo, con el fin de saber con cuánta agua residual se cuenta y realizar el análisis de oferta y demanda.

Además, es de suma importancia conocer los parámetros obligatorios universales de las aguas residuales que se viertan en un cuerpo receptor, entre los que se encuentran demanda bioquímica de oxígeno con un límite máximo permisible de 50 mg/L, demanda química de oxígeno con un límite máximo permisible de 150 mg/L, sólidos suspendidos con un límite máximo permisible de 150 mg/L, grasas-aceites con un límite máximo permisible de 30 mg/L, potencial hidrógeno con un límite máximo permisible entre 5 a 9, temperatura con un límite máximo permisible entre $15\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, sólidos sedimentables con un límite máximo permisible de 1 mL/L y sustancias activas al azul de metileno con un límite máximo permisible de 5 mg/L (Poder Ejecutivo, 2007).

Por último, se analizarán las variables claves, que son los parámetros de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias, que son coliformes fecales (CF) que tiene su límite máximo permisible en 1000 NMP/100 mL y

nematodos intestinales (NI) que tienen su límite máximo permisible en 1 (N.º De huevos por litro) (Poder Ejecutivo, 2007).

2.4 Unidad de análisis y fuentes de información

La unidad de análisis del trabajo de investigación es el efluente de la PTAR Nicoya. Los datos que se utilizan para caracterizar el efluente tratado de la PTAR Nicoya son suministrados por la UEN de Recolección y Tratamiento de la Subgerencia de Sistemas Periféricos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y de la Unidad Hidrológica Tempisque Pacífico Norte de la Dirección de Agua-MINAE.

Los datos suministrados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados provienen de los reportes operacionales registrados durante los últimos cinco años. Este tipo de reportes los debe presentar todo ente generador ante la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud. En lo que respecta a los datos suministrados por la Dirección de Agua-MINAE, son provenientes del control y seguimiento que se da en la zona.

Con respecto a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los datos suministrados por el AyA, estos los realiza el Laboratorio Nacional de Aguas, el cual sigue los procedimientos indicados por la normativa nacional e internacional para el análisis de cada parámetro. Por otro lado, los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los datos suministrados por la Dirección de Agua son realizados por el laboratorio de la Universidad Nacional.

Las muestras utilizadas deberán haber sido tomadas mínimo dos veces durante el año, preferiblemente una en época seca y otra en época lluviosa, con la finalidad de contar con un marco comparativo de las dos estaciones que se dan en la zona.

2.5 Recolección de información

La recolección de la información se realizará mediante giras de campo y la revisión del expediente de la PTAR Nicoya en Dirección de Agua. Además, se analizará documentación existente relacionada con el tema y se finalizará con la revisión de análisis físico-químico-microbiológicos con los que cuenta el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y la Dirección de Agua de los últimos cinco años.

2.6 Análisis de los datos

Para analizar los datos, se procede a realizar la respectiva caracterización del sistema de tratamiento implementado en la PTAR Nicoya; se revisa la información de análisis fisicoquímicos y microbiológicos suministrada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y la Dirección de Agua, la cual representa los últimos cinco años.

Con los datos de los últimos cinco años y tomando como referencia el marco regulatorio, que en este caso es el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, se procede a desarrollar la investigación. Este proyecto está dedicado

a reúso de aguas residuales tipo 8; por tanto, únicamente se deben analizar y caracterizar los datos del vertido, como los complementarios para el respectivo reúso. Además, se utilizan los datos más recientes para comprender el estado más cercano a la realidad actual del efluente.

Seguidamente, se procede a elaborar un análisis comparativo de los parámetros indicados en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales referentes a reúso de aguas residuales para poder comprobar el cumplimiento o no de dicha normativa; así mismo, se comparan con respecto a los datos del reúso tipo 8. También se analiza el caudal otorgado por la Dirección de Agua para verter y el vertido en la realidad.

Para finalizar, se plantean las diferentes acciones de mejora para el efluente, que aseguren que se cumpla con la calidad de agua residual que requiere el reúso tipo 8, por medio de un análisis de la infraestructura existente; además, se realiza un análisis de oferta-demanda del efluente de la PTAR Nicoya. Posterior a eso, se procede con la elaboración de las conclusiones y recomendaciones del respectivo trabajo de investigación.

Figura 12

Diagrama de flujo del trabajo de investigación



Fuente: Elaboración propia (2022).

**CAPÍTULO III:
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

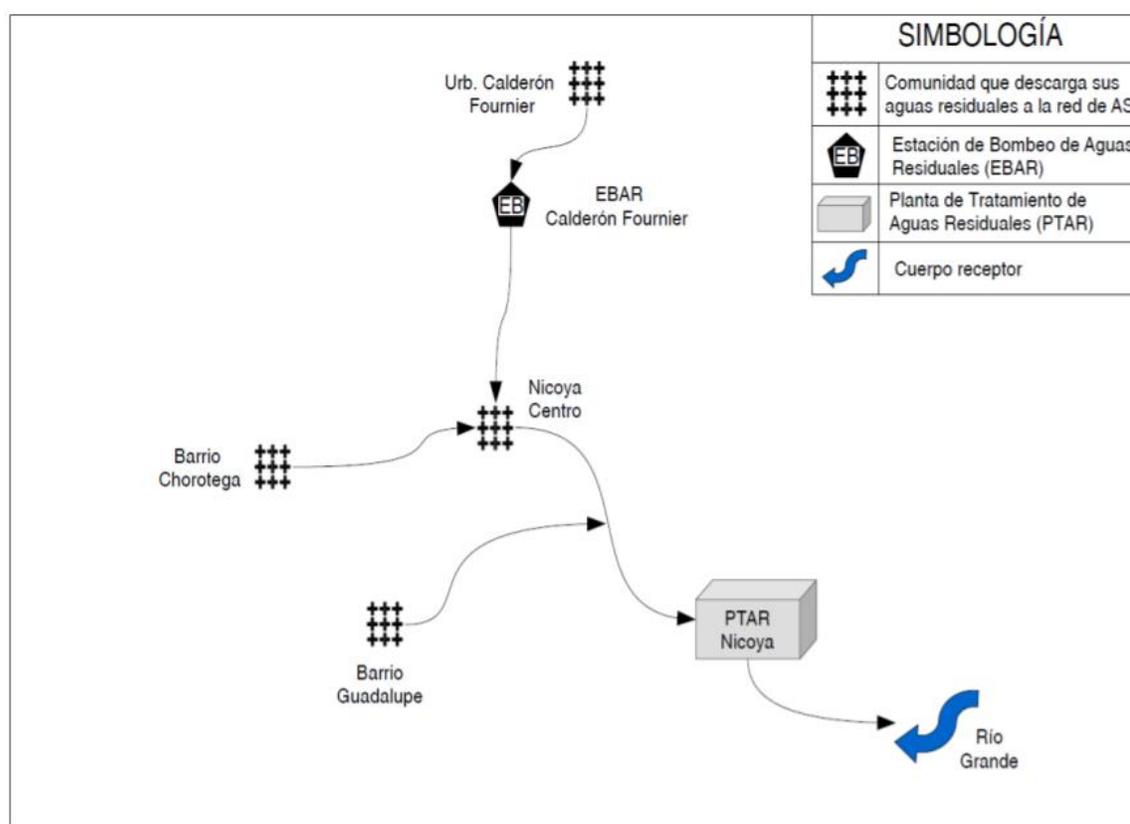
3. Presentación y análisis de los resultados

3.1 Características generales de la PTAR Nicoya

Actualmente, la PTAR Nicoya recolecta las aguas residuales del centro de Nicoya, Barrio Chorotega, Barrio Guadalupe y Urbanización Calderón Fournier. Posterior al debido tratamiento de las aguas, estas se vierten al río Grande de Nicoya. Es importante mencionar que la PTAR no tiene capacidad de aceptar nuevos servicios, dado que ya llegó al punto máximo del caudal de diseño.

Figura 13

Croquis PTAR AyA Nicoya



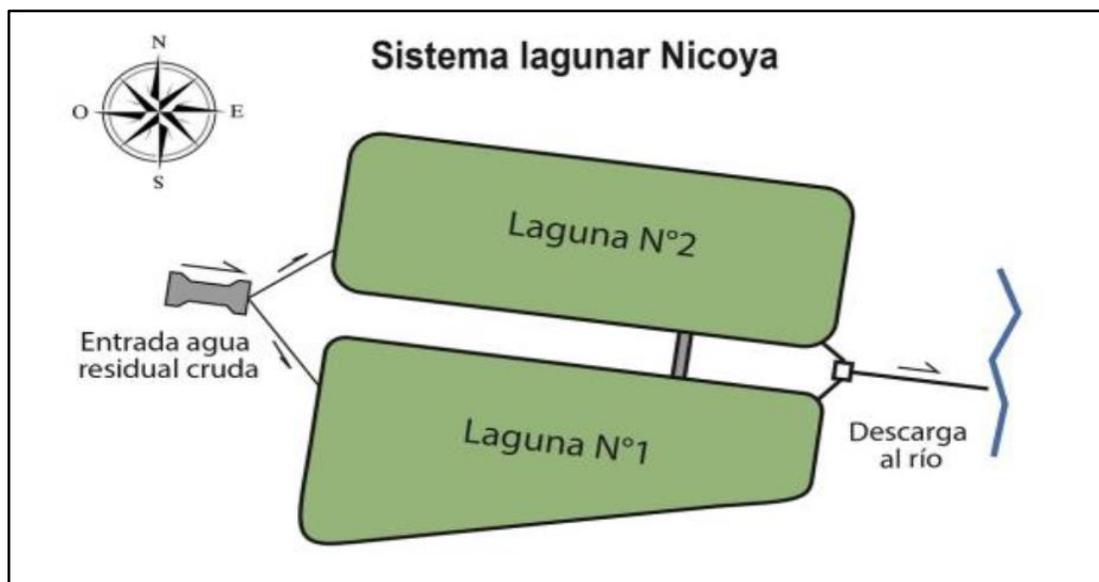
Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

Debido a que la disposición del agua residual de la PTAR Nicoya es en el río Grande, el permiso de vertido fue tramitado ante la Dirección de Agua del Ministerio de Ambiente y Energía bajo el expediente administrativo 3924 V, a nombre del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. El expediente administrativo 3924 V se encuentra otorgado hasta el 5 de abril de 2031, y en él se autorizó un caudal de 13.3 litros por segundo.

3.2 Antecedes de la PTAR Nicoya

Actualmente, la PTAR Nicoya está conformada por una cámara de entrada, rejillas, dos distribuidores de caudal, dos lagunas primarias tipo facultativas (N.º 1 y N.º 2), caseta del operador y guarda, bodega de materiales y estructura de desfogue. Tiene 1458 servicios para una población equivalente servida de 5978.

Las lagunas N.º 1 y N.º 2 tienen tres tuberías de entrada (cada una) y una única tubería de salida que reúne las aguas para que pasen por un canal *parshall* para el vertido. El dimensionamiento de las lagunas es de 150 m de largo, 60 m de ancho, 1.5 m de profundidad y un espejo de agua de 9000 m²; cada laguna trata un 50 % del efluente.

Figura 14*Sistema lagunar Nicoya*

Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

Los caudales promedio, máximo y mínimo, que ingresan a la planta de tratamiento son: 7.32 L/s; 16,88 L/s y 4.57 L/s (según los datos suministrados por el AyA). La red de alcantarillado sanitario recibe, además de las aguas residuales domésticas procedentes de las viviendas, las aguas residuales provenientes de varios establecimientos comerciales como restaurantes, hoteles, supermercados, tiendas, entre otros, ubicados en el casco urbano del cantón de Nicoya.

En cuanto a proyección de crecimiento de la PTAR, esta se encuentra restringida en dos aspectos: por la capacidad de recolección y por la capacidad de tratamiento. En cuanto a la capacidad de recolección, no se ha ampliado el sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Nicoya, por lo que no cuenta con conexiones a nuevos servicios; esto genera muchas limitaciones en la zona y problemas ambientales contundentes.

3.3 Caudales de entrada y salida de la PTAR Nicoya

El caudal promedio diario del efluente es un valor muy importante para iniciar cualquier tipo de evaluación, ya que es tomado en cuenta para diferentes mediciones; por otro lado, es la base para este proyecto. En la tabla 6, se muestra que la planta de tratamiento proporciona un efluente promedio de 7.32 L/s. Este parámetro no se encuentra limitado a un valor máximo o a un rango de conveniencia por el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, pero es determinante para calcular aspectos como el canon ambiental por vertido y realizar un balance de oferta y demanda.

Tabla 6

Caudal de salida PTAR Nicoya

Fecha	Altura en vertedero (cm)	Caudal (L/s)
15/1/2017	9,00	4,6
15/2/2017	12,00	6,5
15/3/2017	13,00	7,6
15/4/2017	15,00	9,3
15/5/2017	10,00	5,0
15/6/2017	15,00	9,3
15/7/2017	10,00	5,0
15/8/2017	12,00	6,5
15/9/2017	22,00	16,88
15/10/2017	12,00	6,5
15/11/2017	18,00	12,4
15/12/2017	11,00	5,8
15/1/2018	10,00	5,0

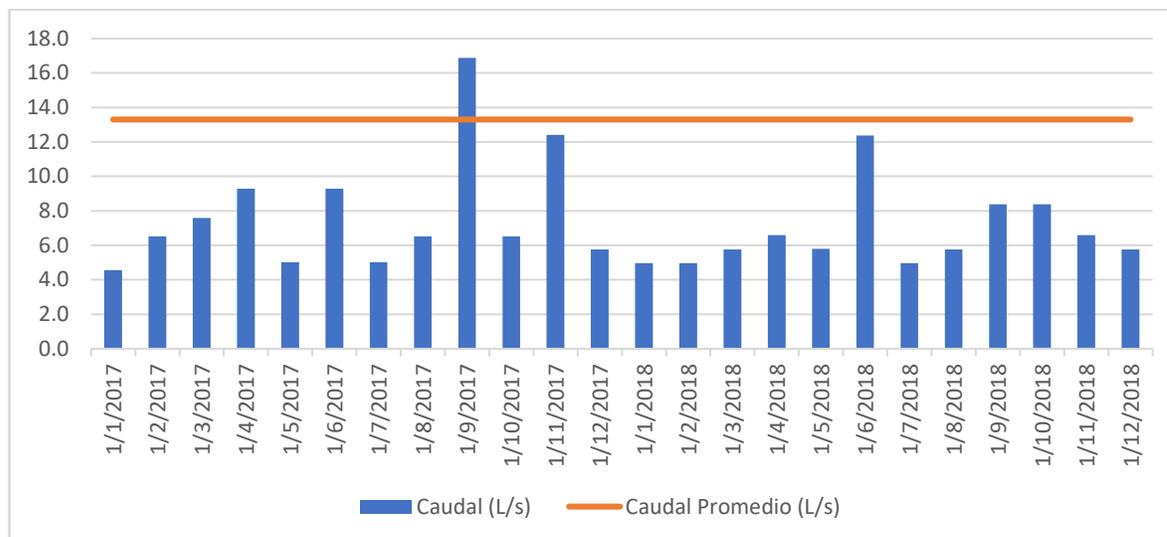
15/2/2018	10,00	5,0
15/3/2018	11,00	5,8
15/4/2018	12,00	6,6
15/5/2018	11,00	5,8
15/6/2018	18,00	12,4
15/7/2018	10,00	5,0
15/8/2018	11,00	5,8
15/9/2018	14,00	8,4
15/10/2018	14,00	8,4
15/11/2018	12,00	6,6
15/12/2018	11,00	5,8
Nota: El muestreo es de tipo compuesto: esta técnica de muestreo permite tomar una combinación de muestras individuales de agua para disminuir los efectos de variabilidad de una muestra individual.		
Valor	Altura en vertedero (cm)	Caudal (L/s)
Promedio	12,63	7,32
Máximo	22,00	16,88
Mínimo	9,00	4,57

Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

Se toma el caudal promedio de salida en litros por segundo para elaborar el gráfico de comportamiento que se muestra en la figura 15. Es importante destacar que las lagunas, al ser sistemas con extensiones grandes de área, no son susceptibles a cambios bruscos de caudal instantáneo.

Figura 15

Caudal del efluente de la PTAR Nicoya



Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

Como se puede observar en la figura 15, el caudal de salida de las lagunas se mantiene poco estable. Es interesante recalcar que la laguna está construida con base en un caudal de diseño que es desconocido, pero la PTAR le da el servicio a una población equivalente de 5978 personas y actualmente no tiene disponibilidad para nuevos servicios.

3.4 Análisis fisicoquímicos

3.4.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es el procedimiento que mide el oxígeno consumido por las bacterias debido a la descomposición de la materia orgánica. Según el gráfico de la figura 16, elaborado con los datos de la

tabla 7, se puede ver que el comportamiento del vertido de la PTAR Nicoya tiende a establecerse por encima del máximo permisible.

En cuanto a la demanda biológica de oxígeno (DBO) del efluente de la PTAR, el 77.2 % de las muestras realizadas (en 14 de 18) no cumple con el valor máximo permitido por el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Este parámetro indica que existe menos oxígeno disuelto, lo que afecta el desarrollo de la vida acuática del cuerpo receptor, además de disminuir su capacidad de biodegradación.

Tabla 7

Datos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

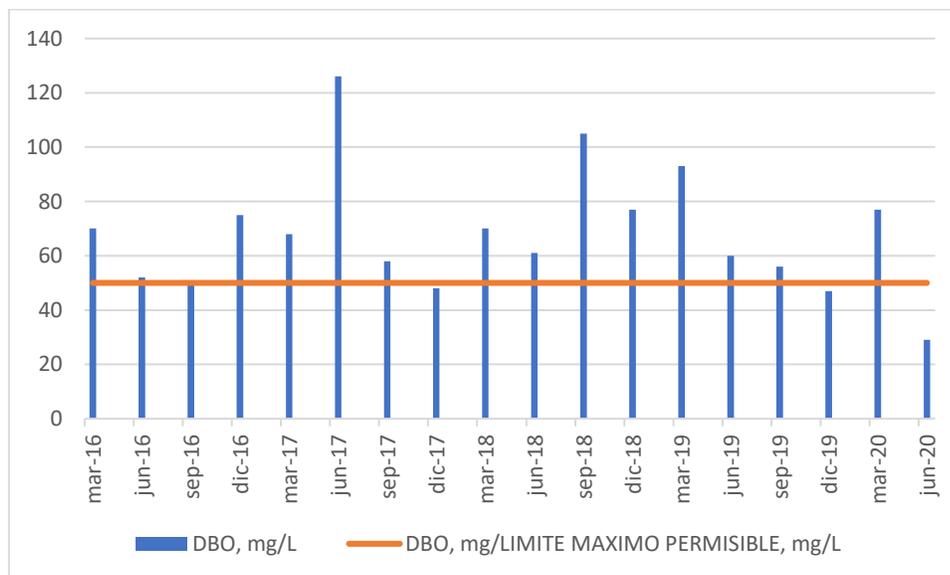
DÍA/MES	DQO, mg/L	DBO, mg/L
mar-16	359	70
jun-16	187	52
sep-16	207	50
dic-16	200	75
mar-17	290	68
jun-17	368	126
sep-17	200	58
dic-17	149	48
mar-18	297	70
jun-18	220	61
sep-18	257	105
dic-18	204	77
mar-19	232	93
jun-19	216	60
sep-19	232	56
dic-19	177	47
mar-20	461	77

jun-20	112	29
Notas: a) El color rojo claro indica que el parámetro ha sobrepasado el límite máximo permitido del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales para lagunas de estabilización tipo facultativas, mientras que el color verde claro indica que el parámetro cumple con el límite máximo permitido (DQO=150/DBO=50). b) El muestreo es de tipo compuesto: esta técnica de muestreo permite tomar una combinación de muestras individuales de agua para disminuir los efectos de variabilidad de una muestra individual.		
VALOR	DQO (MG/L)	DBO (MG/L)
Promedio	242,6	67,8
Máximo	461	126
Mínimo	112	29

Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

Figura 16

Comportamiento de la DBO del 2016 al 2020



Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

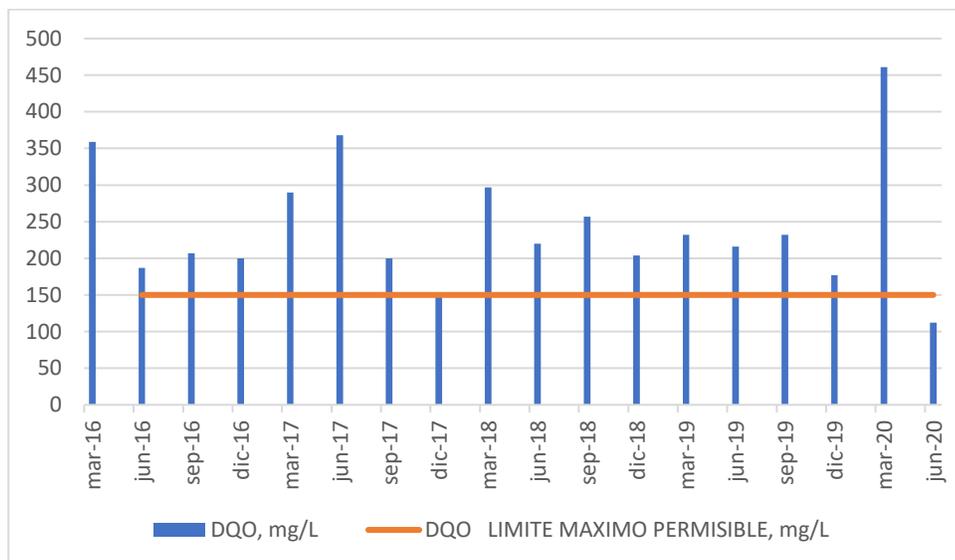
3.4.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

Se puede observar que la demanda química de oxígeno, que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos, que hay disueltas o en suspensión en el vertido, según se muestra en el gráfico de la figura 17 elaborado con los datos de la tabla 7, casi siempre se mantuvo por encima de los límites máximos permisibles.

La demanda química de oxígeno (DQO) del efluente de la PTAR Nicoya, en el 88.8 % de las muestras tomadas (en 16 de 18), no cumple con el valor máximo permitido en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Un parámetro elevado indica que disminuye la capacidad de oxidar la materia existente, de tal forma que también afecta la vida acuática del cuerpo receptor al disminuirse la cantidad del oxígeno disuelto.

Figura 17

Comportamiento de la DQO del 2016 al 2020



Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

3.4.3 Potencial de hidrógeno (pH)

El gráfico de la figura 18, elaborado con los datos de la tabla 8, muestra cómo el potencial de hidrógeno siempre mantuvo un comportamiento por debajo del límite máximo permisible. El pH alto o bajo puede ocasionar que se rompa el balance de los químicos del agua y generar que se movilicen los contaminantes; esto causa condiciones tóxicas que los diferentes organismos acuáticos pueden no soportar y provocar que las poblaciones mueran.

El potencial de hidrógeno (pH) del efluente de la PTAR Nicoya, en el 100 % de las muestras tomadas (18), cumple con el valor máximo permitido en el

Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, tal y como se muestra en la figura 18.

Tabla 8

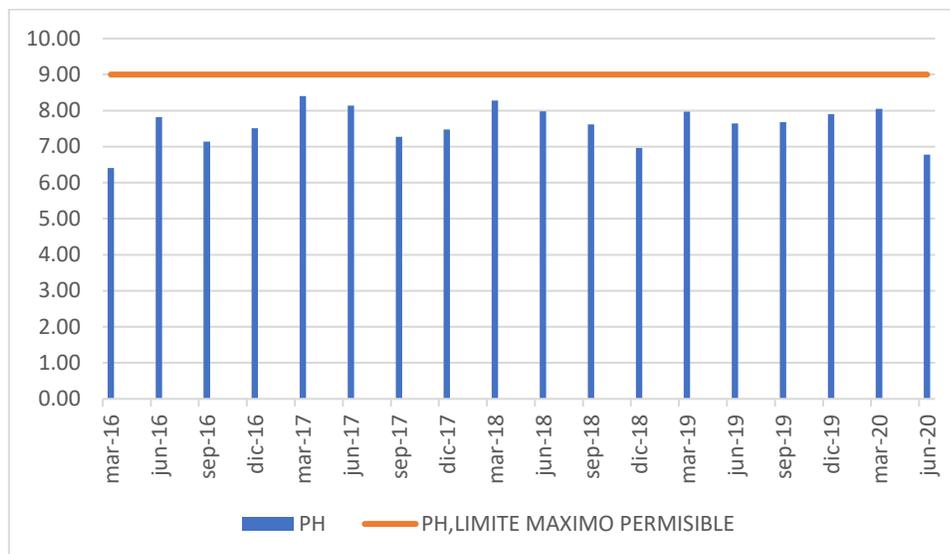
Datos de pH y grasas y aceites

DÍA/MES	pH	GRASAS Y ACEITES, mg/L
mar-16	6,41	10
jun-16	7,82	6,2
sep-16	7,14	8
dic-16	7,51	8,5
mar-17	8,40	5,4
jun-17	8,14	7,3
sep-17	7,27	6,5
dic-17	7,48	4,2
mar-18	8,28	4,3
jun-18	7,98	6,3
sep-18	7,62	6,7
dic-18	6,96	5,4
mar-19	7,97	4,1
jun-19	7,64	4,2
sep-19	7,68	3,2
dic-19	7,90	5,3
mar-20	8,05	7,4
jun-20	6,78	2,4
El color verde claro indica que el parámetro cumple con el límite máximo permitido (pH = 5-9/Grasas y Aceites = 30). b) El muestreo es de tipo compuesto: esta técnica de muestreo permite tomar una combinación de muestras individuales de agua para disminuir los efectos de variabilidad de una muestra individual.		
VALOR	pH	GRASAS Y ACEITES, MG/L
Promedio	7,61277778	5,8
Máximo	8,4	10
Mínimo	6,41	2,4

Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

Figura 18

Comportamiento del pH del 2016 al 2020



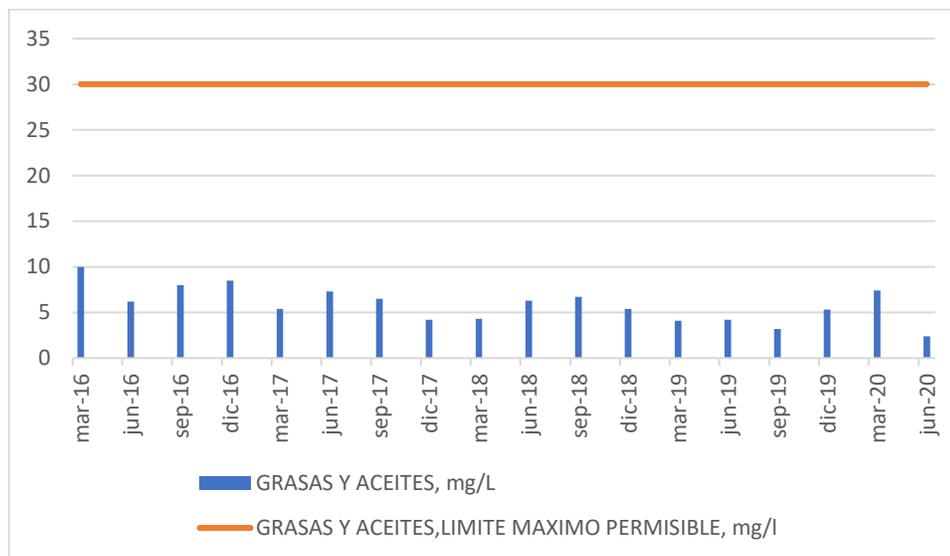
Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

3.4.4 Grasas y aceites (GyA)

El parámetro de grasas y aceites que se muestra en la figura 19, elaborado con los datos de la tabla 8, estuvo siempre por debajo del máximo permissible. Esto es muy beneficioso para el cuerpo receptor, dado que las grasas y aceites, además de producir un impacto estético, reducen la reoxigenación a través de la interfase aire-agua, disminuyen el oxígeno disuelto y absorben la radiación solar, lo cual afecta la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto.

Figura 19

Comportamiento de grasas y aceites del 2016 al 2020



Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

3.4.5 Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos son los principales responsables de la turbiedad en el agua. A mayor turbiedad, aumenta la posibilidad de refugio de bacterias, virus y protozoos patógenos en los microhuecos de las partículas en suspensión. Como se puede ver en la figura 20, elaborada con los datos de la tabla 9, se incumplió con dicho parámetro en los años evaluados, según lo establecido en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales.

Tabla 9

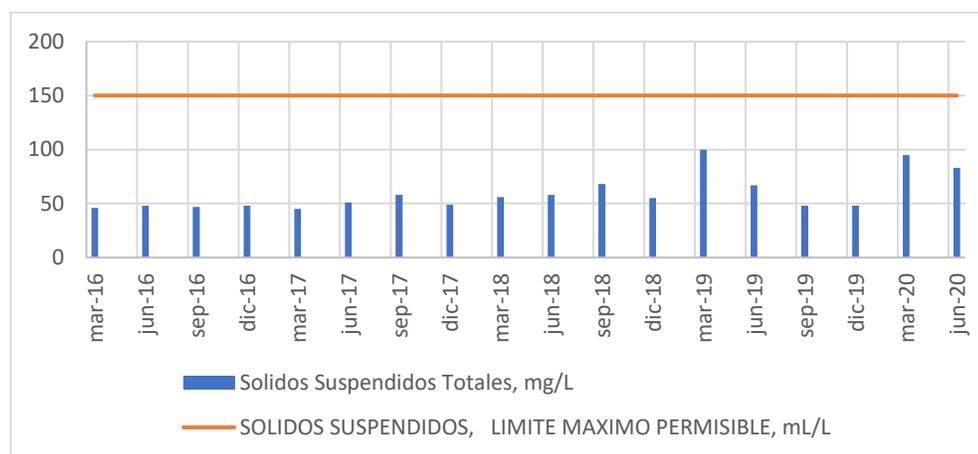
Datos de sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y sustancias activas al azul de metileno

DÍA/MES	SÓLIDOS SUSPENDIDOS, mL/L	SÓLIDOS SEDIMENTABLES, mL/L	SAAM mg/L
mar-16	46	0,00	3,00
jun-16	48	0,00	1,50
sep-16	47	0,00	2,20
dic-16	48	0,00	0,62
mar-17	45	0,00	0,90
jun-17	51	0,00	1,90
sep-17	58	0,00	4,80
dic-17	49	0,00	2,30
mar-18	56	0,00	0,80
jun-18	58	0,00	1,49
sep-18	68	0,00	1,40
dic-18	55	0,00	1,70
mar-19	100	0,00	2,60
jun-19	67	0,30	0,90
sep-19	48	0,30	1,50
dic-19	48	0,30	2,80
mar-20	95	0,50	0,95
jun-20	83	0,00	1,84
<p>a) El color verde claro indica que el parámetro cumple con el límite permitido (Sólidos sedimentables = 1 / SAAM = 5 / Sólidos suspendidos = 150). b) El muestreo es de tipo compuesto: esta técnica de muestreo permite tomar una combinación de muestras individuales de agua para disminuir los efectos de variabilidad de una muestra individual.</p> <p>b) El valor indicado en el artículo 24 sobre el límite de vertidos de sólidos suspendidos totales para lagunas de estabilización tipo facultativas es de 150 mL/L.</p>			
VALOR		SÓLIDOS SEDIMENTABLES, ML/L	SAAM MG/L
Promedio		0,07	1,8
Máximo		0,5	4,8
Mínimo		0	0,62

Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

Figura 20

Comportamiento de sólidos suspendidos del 2016 al 2020



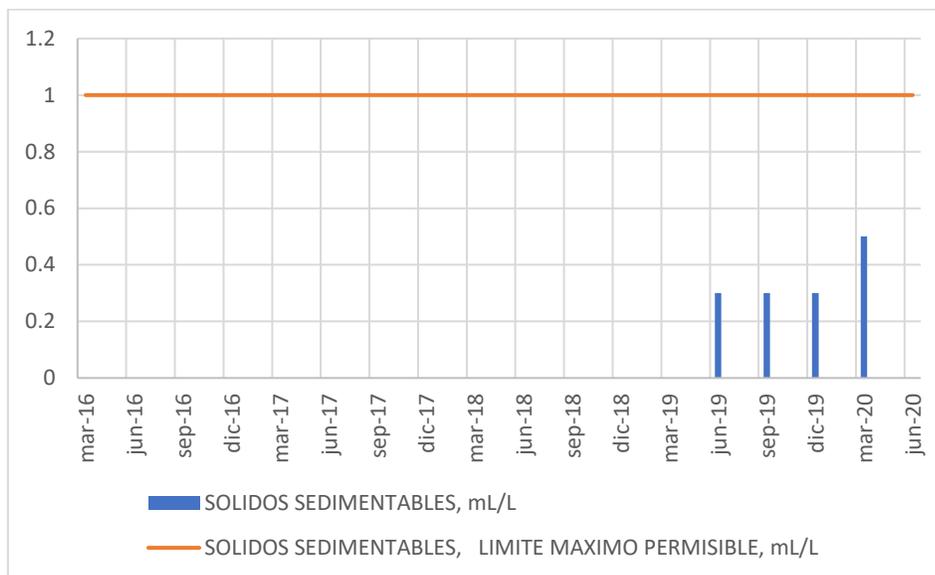
Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

3.4.6 Sólidos sedimentables (SSed)

En lo que respecta a los sólidos sedimentables del efluente, en la figura 21, elaborada con los datos de la tabla 9, se observa que estos cumplen con lo establecido en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, por lo que no existe afectación en la vida acuática del río.

Figura 21

Comportamiento de sólidos sedimentables del 2016 al 2020



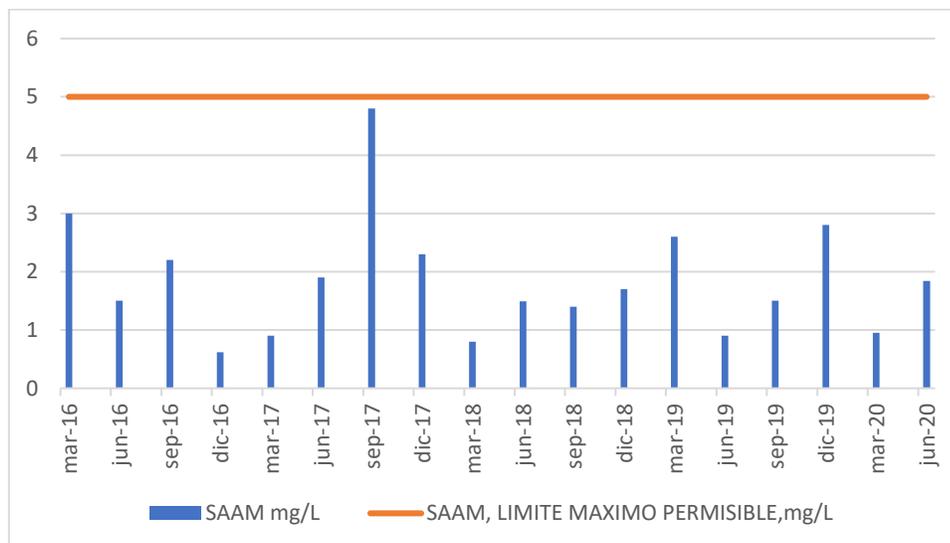
Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

3.4.7 Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)

Las sustancias activas al azul de metileno (SAAM) son colorantes catiónicos que transfieren el azul de metileno desde una solución acuosa a un líquido inmisible en equilibrio. En la figura 22, elaborada con los datos de la tabla 9, se muestra que la sustancia activa al azul de metileno se mantuvo por debajo del máximo permisible en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales.

Figura 22

Comportamiento sustancias activas al azul de metileno del 2016 al 2020



Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

3.4.8 Temperatura (T)

En lo que respecta a la temperatura, esta afecta a la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua. Por ende, el agua a menor temperatura transporta más oxígeno y todos los animales acuáticos necesitan esto para sobrevivir. Según se muestra en la figura 23, elaborada con los datos de la tabla 10, esta siempre se ha encontrado por debajo del máximo permisible según el reglamento.

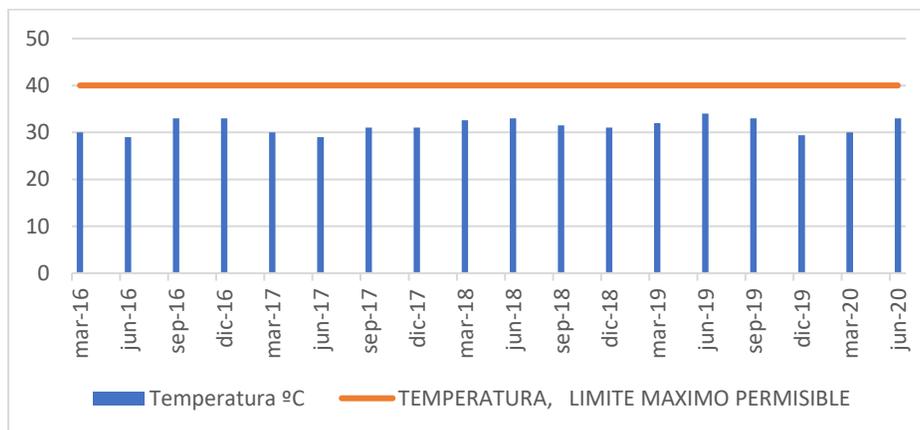
Tabla 10*Datos de temperatura*

DÍA/MES	TEMPERATURA °C
mar-16	30
jun-16	29
sep-16	33
dic-16	33
mar-17	30
jun-17	29
sep-17	31
dic-17	31
mar-18	32,6
jun-18	33
sep-18	31,5
dic-18	31
mar-19	32
jun-19	34
sep-19	33
dic-19	29,4
mar-20	30
jun-20	33
<p>a. El color verde claro indica que el parámetro cumple con el límite permitido (Temperatura = 15-40).</p> <p>b. El muestreo es de tipo compuesto: esta técnica de muestreo permite tomar una combinación de muestras individuales de agua para disminuir los efectos de variabilidad de una muestra individual.</p>	
VALOR	TEMPERATURA °C
Promedio	31,3
Máximo	34
Mínimo	29

Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

Figura 23

Comportamiento de temperatura del 2016 al 2020



Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

3.5 Parámetros de reúso tipo 8

En lo que respecta a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias, se analizan los siguientes parámetros según legislación vigente en Costa Rica, Decreto N.º 33601-MINAE-S (Poder Ejecutivo, 2007):

3.5.1 Caudal

El caudal será únicamente un parámetro del control. En este caso, se evalúa el caudal de salida de la PTAR, que para efectos de este trabajo ya se analizó en la figura 15, y se pudo ver que oscila en un rango de entre 4.57 y 16.88 litros por segundo.

En el acuerdo de comisión plenaria donde se modificó la resolución 2373-2016-SETENA, titulada *Proyectos de muy bajo impacto ACP-030-2018-SETENA*, se indica en el considerando sexto que “Como parte de las actividades de reparación y mantenimiento de caminos (entendidos como toda obra vial pública), se tiene la implementación del uso del agua en el proceso, tanto en el acondicionamiento como en labores de mitigación. En ese sentido, el uso del agua no debe verse aislado, sino, integrado al proceso de reparación y mantenimientos de los caminos y carreteras”.

Además, según el criterio de la Dirección de Aguas de MINAE y el registro histórico de esa unidad, en autorizaciones de agua para el riego de caminos, los entes públicos que son sujetos de esta actividad extractiva son el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) y las Municipalidades. De esto se concluye que se tiene una demanda máxima total de todas las captaciones correspondiente a un volumen diario de 74 000 litros, lo cual no constituye un caudal alto. Además, la extracción posee características especiales tales como:

- No debe existir alteración del cauce ni del agua en tanto no se realiza derivación permanente de agua por medio de obra civil estable dentro del cauce.
- Se extrae por medio de sistema de bombeo portátil y pequeño caballaje.
- No es una extracción permanente; al contrario, es un aprovechamiento de eventos desplazados en las 24 horas.
- Se extrae el agua para llenar tanquetas o cisternas de volumen predefinido.

- El caudal de extracción es puntual por evento.
- Tiempo de extracción de una hora en promedio.
- No se concentran todos los eventos en un solo río, sino en varios, pues la extracción se realiza programada según el avance de la obra de reparación, ampliación o manteniendo del camino o carretera.

Con la información del criterio de la Dirección de Aguas de MINAE y el registro histórico de esa unidad en autorizaciones de agua para el riego de caminos, se puede analizar que el caudal máximo que actualmente se puede autorizar para tal fin de un cauce de dominio público es muy bajo. Sin embargo, si se analiza el caudal disponible de la PTAR Nicoya, además de que según la legislación vigente el caudal de reúso tipo 8 no tiene ningún tipo de restricción, el efluente reusado de la PTAR Nicoya se vuelve la mejor opción para obtener agua para control de polvo y la compactación de suelos en la red vial del cantón de Nicoya. Además, este es un caudal alto y suficiente para suplir cualquier necesidad y no debe cumplir con ninguna característica especial más que un lugar adecuado donde instalar la bomba de extracción, por lo cual se convierte en la fuente permanente más estratégica.

3.5.2 Coliformes fecales (CF)

Los coliformes fecales tienen un máximo permisible de 1000 NMP/100 mL para el reúso tipo 8, según lo que se muestra en la figura 24, elaborada con los datos de la tabla 11. Los resultados obtenidos desde el año 2016 al 2020 en la PTAR

Nicoya indican que siempre superó en un 100% el límite máximo permisible. Debido a que los coliformes fecales exceden el máximo permisible, este parámetro se vuelve una limitante para poder reusar el agua del efluente de la PTAR Nicoya.

Tabla 11

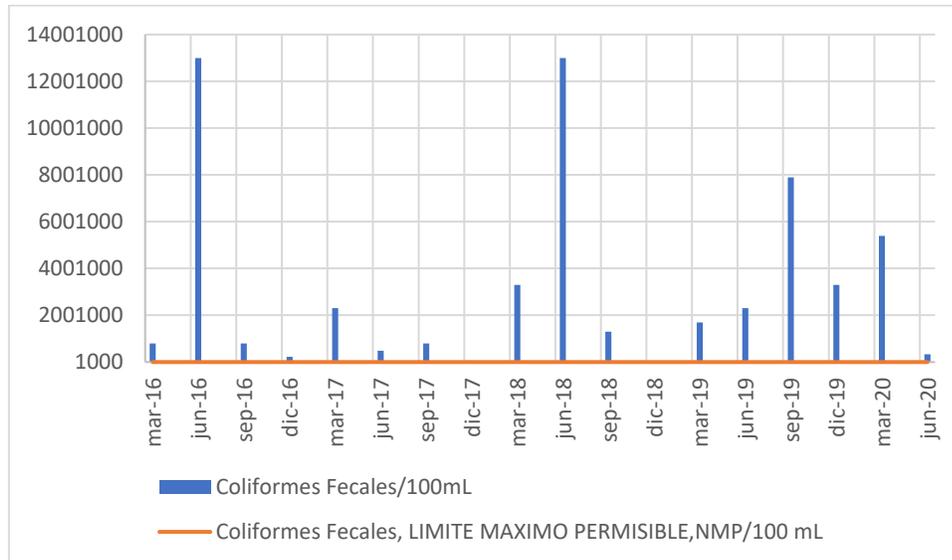
Comportamiento de los coliformes fecales

Año	Coliformes Fecales/100mL
mar-16	790 000
jun-16	13 000 000
sep-16	790 000
dic-16	230 000
mar-17	2 300 000
jun-17	490 000
sep-17	790 000
mar-18	3 300 000
jun-18	13 000 000
sep-18	1 300 000
mar-19	1 700 000
jun-19	2 300 000
sep-19	7 900 000
dic-19	3 300 000
mar-20	5 400 000
jun-20	330 000
a) El color rojo claro indica que el parámetro ha sobrepasado el límite permitido (Coliformes fecales = 1000). b) El muestreo es de tipo compuesto: esta técnica de muestreo permite tomar una combinación de muestras individuales de agua para disminuir los efectos de variabilidad de una muestra individual.	
VALOR	COLIFORMES FECALES
Promedio	3 557 500
Máximo	13 000 000
Mínimo	230 000

Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

Figura 24

Comportamiento de los coliformes fecales del 2016 al 2020



Fuente: A. Araya (comunicación personal, 14 de enero de 2021).

3.5.3 Nematodos intestinales (NI)

Según el reporte de análisis de nematodos intestinales del efluente de la PTAR Nicoya, realizado por el Laboratorio de Microbiología y Aguas de la Universidad de Costa Rica, como parte del control y seguimiento que realiza la Dirección de Agua del MINAE y según el informe con el código LAMA-INF-045-21 y con fecha de muestreo 16 de marzo de 2021, se pudo corroborar que los nematodos intestinales estuvieron ausentes.

Figura 25

Muestra nematodos intestinales en fecha 16 de marzo de 2021

Resultados	
Descripción de la muestra	Presencia/Ausencia de nematodos intestinales
AG 206 2021	Ausencia

Fuentes: Dirección de Agua MINAE (2021).

3.6 Resumen de caracterización del efluente

En la tabla 12, se presenta un resumen de la caracterización del efluente de la PTAR Nicoya.

Tabla 12

Resumen de caracterización del efluente

Parámetro	Límite máximo permitido	Unidades	Cumplimiento	Porcentaje de muestras que no cumplen	Porcentaje e valor más crítico excedido del límite permitido
Caudal	-	L/s	-	-	
Demanda química de oxígeno	150	mg/L	No	-	307 %
Demanda biológica de oxígeno	50	mg/L	No	-	252 %
Sólidos suspendidos	150 ¹	mg/L	Si	-	-

Sólidos sedimentables	1	mL/L	Si	-	-
pH	9	-	Si	-	-
Temperatura	40	°C	Si	-	-
Sustancias activas al azul de metileno	5	mg/L	Si	-	-
Grasas y aceites	30	mg/L	Si	-	-
Coliformes fecales	1000 ²	NMP coliformes fecales/100 mL	No	100%	1 300 000 %
Nematodos intestinales	1	Promedio de huevo por litro	Si	-	-

¹ Valor indicado en el artículo 24 sobre el límite de vertidos de sólidos suspendidos totales para lagunas de estabilización tipo facultativas.

² Valor establecido como límite de coliformes fecales para reúso de aguas residuales de tipo 8; los coliformes fecales no deben ser mayores de 1000 por cada 100 mL de muestra.

Fuente: Elaboración propia (2022).

3.7 Acciones de mejora para el efluente

Se proponen acciones de mejora continua que aseguren que la PTAR cumpla con la calidad que requiere el reúso tipo 8, por medio de un análisis de la infraestructura existente. Se debe partir de que, de los tres parámetros evaluados en el punto anterior de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias, solo los coliformes fecales son los que superan el límite máximo

permisible del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto N.º 33601-MINAE-S (Poder Ejecutivo, 2017) en un 100%.

Se tiene conocimiento de que los sistemas lagunares comúnmente presentan elevados índices de remoción de coliformes fecales, debido a factores como su elevado tiempo de retención hidráulica, radiaciones con luz ultravioleta proveniente del sol, entre otras. Por tanto, a diferencia de los otros métodos de tratamiento biológico, no es necesario la aplicación de cloro en el efluente final.

Se deben evaluar las razones por las cuales el efluente no cumple con la regulación vigente. Es fundamental identificar la causa del problema, determinar si los inconvenientes se deben a una sobrecarga, mala operación y mantenimiento o diseño inapropiado. Por otro lado, se deben aplicar acciones correctivas operacionales, de ser necesario, además de definir alternativas de solución a los problemas.

Antes de proponer cualquier acción de mejora, lo correcto sería evaluar la eficiencia en la remoción de coliformes fecales por cada laguna. Para ello se necesitaría el dato del parámetro de coliformes fecales en la entrada y salida de la PTAR; sin embargo, en este caso, y según los datos brindados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y Dirección de Aguas de MINAE, ninguno evaluó dicho parámetro en la entrada del agua a tratar.

A raíz de lo antes mencionado, se proponen acciones de mejoras físicas, entre las cuales se encuentran:

3.7.1 Acciones operación y mantenimiento del sistema

Antes de pensar en cualquier cambio en la PTAR Nicoya, se debe partir de lo que técnicamente es más fácil de hacer, que sería limpiar la laguna sacando los sedimentos que están depositados; además, de ser posible, mediante estudios topográficos del terreno disponible, ampliar las lagunas para aumentar su capacidad de tratamiento. También se podría empezar con un dragado profundo, debido a que existen registros de que este se realiza cada 5 a 6 años, por lo cual se podría realizar cada dos años.

Tal vez lo antes mencionado junto con un tratamiento terciario tipo cloración, o bien mediante radiación ultravioleta, pueda mejorar la calidad del efluente, que por el momento no se encuentra ni cerca de cumplir con el máximo permisible en lo que respecta a coliformes fecales. Una vez efectuado un dragado en las lagunas, sería de gran ayuda empezar a tomar datos de coliformes fecales, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno al inicio y al final del sistema, con el objetivo de validar si el porcentaje de eficiencia en remoción respectiva de los parámetros aumentó.

3.7.2 Nuevo sistema lagunar

Una de las acciones de mejora en el sistema actual de la PTAR Nicoya es el diseño y construcción de una tercera laguna en serie con las actuales, la cual sea de maduración. Las lagunas de maduración, de forma general, están diseñadas principalmente para el tratamiento terciario; es decir, la eliminación de patógenos,

nutrientes y posiblemente algas. Forman parte de las lagunas de oxidación o estabilización, por lo que tienen características y procesos de construcción similares.

En lo que respecta a las lagunas de maduración, son muy poco profundas, varían entre 0.9 a 1 m de profundidad, para permitir la penetración de la luz a la parte inferior y mejorar las condiciones aeróbicas. La carga en el estanque de maduración se calcula sobre la suposición de que 80 % de la DBO se ha eliminado en el tratamiento anterior.

Una de las limitantes más grandes en la construcción de sistema lagunares es el área con el que cuente la parte interesada. Para efectos de este caso, si bien en la finca donde se encuentran construidas las actuales dos lagunas ya se abarcó casi la totalidad del área, pero de las cuatro fincas colindantes tres pertenecen al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, en caso de que alguna de esas tres fincas se pueda utilizar para un nuevo sistema lagunar el área no sería una limitante. Más bien, la limitante pasaría a ser los recursos económicos con que cuente el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para la construcción.

3.7.3 Identificación de las principales descargas de aguas residuales que son vertidas al sistema de alcantarillado

Debido a que el sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Nicoya se proyectó para aguas domésticas en los años en que fue construida, es necesario conocer la cantidad y las características de otros aportes, principalmente los que sean de carácter industrial, esto porque pueden contener tóxicos que alterarían la dinámica biológica durante su tratamiento.

Adicionalmente, es necesario realizar mayor control y seguimiento, dado que pueden existir muchos comercios clandestinos que no reporten el vertimiento al alcantarillado sanitario conforme la actividad que realizan. En los casos de industrias con permiso de funcionamiento, sería importante realizar una evaluación de control cruzado con algún laboratorio estatal con la información que aportan al Ministerio de Salud.

3.8 Análisis de oferta-demanda del efluente de la PTAR Nicoya

Como parte final del presente trabajo, se realizará un balance de oferta-demanda y su posterior análisis. La demanda corresponderá a la cantidad de agua que se requiere, tanto por la Municipalidad de Nicoya y el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, para compactación de suelos y control del polvo; la oferta será el efluente de la PTAR Nicoya.

En la tabla 13 se muestra el balance de oferta-demanda para la Municipalidad de Nicoya y el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, con datos brindados por

los técnicos del Departamento de Estructura Vial; se utiliza el caudal promedio del efluente de la PTAR Nicoya.

Tabla 13

Balance oferta-demanda para la Municipalidad de Nicoya

Balance oferta-demanda para la Municipalidad de Nicoya	
Descripción	Caudal
Producción promedio de la PTAR Nicoya (L/s)	7.2
Demanda máxima diaria Municipalidad de Nicoya (L/s)	4
Demanda máxima diaria MOPT (L/s)	2.5
Superávit (+) o déficit (-)	0.7

Fuente: Elaboración propia (2021).

Según los datos reflejados en la tabla 13, se puede observar que con el efluente de la PTAR Nicoya se supe la necesidad de agua para compactación de suelos y control del polvo de la Municipalidad de Nicoya y del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, ya que se contaría con un superávit de 0.7 litros por segundo.

Para ambas instituciones, el efluente de la PTAR Nicoya se vuelve la fuente permanente más viable para tomar agua en época seca, dado que, según registro de permisos temporales de la Dirección de Agua en los meses de marzo y abril, la mayoría de las fuentes solicitadas en el cantón de Nicoya, por no decir todas, son denegadas por ausencia de caudal mínimo.

Actualmente, la legislación permite que de cauces de dominio público solo se otorgue un volumen diario de 74 000 litros (0.86 litros por segundo), lo cual según el volumen requerido no se está supliendo en algunos casos ni en un 70 % de la necesidad real. Esto puede ocasionar que los diferentes trabajos tengan menor calidad y que, al final, se refleje en altos costos.

Lo más destacable del efluente de la PTAR Nicoya es que la actual legislación no pone un límite al caudal reusado, por lo cual sin ningún problema se podría utilizar todo. La legislación actual tampoco permite permisos mixtos (vertido-reúso), por lo cual el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados deberá continuar tramitando el permiso de vertido.

CAPÍTULO IV:
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Luego de desarrollar el trabajo final de graduación y su respectivo análisis, se concluye lo siguiente:

En la actualidad, no es factible utilizar el efluente de la PTAR Nicoya en control de polvo y compactación de suelos para la red vial del cantón, debido a que el parámetro de coliformes fecales excede en más de un 100 % el límite máximo permitido por el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales para reúso tipo 8.

Es importante tomar en cuenta la salud pública como un aspecto fundamental a cuidar. Debido a lo anterior, no es factible el reúso del agua residual de la PTAR Nicoya dado que se generaría una contaminación atmosférica, lo cual provocaría diferentes tipos de enfermedades.

El caudal no es un parámetro determinante, dado que no existe ni un máximo ni un mínimo permitido para reúso. Sin embargo, sí es importante destacar que el caudal disponible se encuentra en un rango de entre 4.57 y 16.88 litros por segundo, lo que convierte a la PTAR Nicoya en una fuente disponible de agua para la época seca desde el punto de vista de cantidad, ya que en cuanto a calidad esta no cumple.

En lo que respecta a los parámetros de análisis obligatorios, no se está cumpliendo con el máximo permisible de demanda química de oxígeno, dado que el porcentaje del valor más crítico excedió el límite permitido en un 307 %. La demanda bioquímica de oxígeno tampoco se encuentra dentro de los parámetros

máximos permisibles, debido a que el porcentaje del valor más crítico excedió el límite permitido en un 252 %.

Los demás parámetros de análisis obligatorio, como lo son sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, temperatura, sustancias activas al azul de metileno y potencial de hidrógeno, se encuentran dentro de los rangos permitidos por la normativa costarricense, lo que evidencia que la PTAR, en su proceso de tratamiento, debe modificar algunos aspectos para que el efluente puede ser el óptimo para el reúso tipo 8.

De los tres parámetros de análisis obligatorios para el reúso de aguas residuales ordinarias, solo los coliformes fecales superan el máximo permisible del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Con lo que respecta a los coliformes fecales, se proponen acciones de mejoras físicas, entre las cuales se encuentran: desinfección, un nuevo sistema lagunar y verificación de las principales descargas de aguas residuales que son vertidas al sistema de alcantarillado.

Se realiza un balance de oferta-demanda y se determina que con el efluente de la PTAR Nicoya se podría suplir la necesidad de agua para compactación de suelos y control del polvo de la Municipalidad de Nicoya y del Ministerio de Obras Públicas y Transportes sede Nicoya; además, se contaría con un superávit de 0.7 litros por segundo.

Algo destacable es que, según la legislación vigente en el país, no existe un máximo permisible de caudal por reusar, por lo cual se podría utilizar la totalidad del efluente generado por la PTAR Nicoya. Además, la actual legislación tampoco

permite permisos mixtos (vertido-reúso), por lo cual el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados deberá continuar tramitando el permiso de vertido como hasta ahora, y de manera experimental el reúso, principalmente para la época seca.

4.2 Recomendaciones

Dentro de las recomendaciones, producto de la investigación, se mencionan las siguientes:

Para lograr disminuir la cantidad de coliformes fecales y que el efluente de la PTAR Nicoya se pueda utilizar para el reúso tipo 8, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados debe realizar mejoras en las condiciones del sistema lagunar, las cuales irán en función del presupuesto con el que se cuente.

Entre las mejoras que podría realizar el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados se encuentran: construir un nuevo sistema lagunar e identificar las principales descargas de aguas residuales que son vertidas al sistema de alcantarillado sanitario.

Los encargados de la PTAR Nicoya deben aumentar la frecuencia de remoción de lodos, para evitar que existan capas gruesas que potencien la zona anaerobia, y tomar las previsiones presupuestarias que permitan el adecuado funcionamiento a pesar del aumento de los costos de operación y mantenimiento.

Además, es importante que el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados realice, mediante un censo, la identificación de las principales descargas de aguas residuales que son vertidas al sistema de alcantarillado sanitario, con el fin de determinar si existen vertimientos que necesitan un tratamiento previo antes de ser arrojados al alcantarillado sanitario.

Es necesario que el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados realice control y seguimiento sobre la red de alcantarillado sanitario, con el fin de identificar si existen conexiones irregulares que estén afectando la carga a tratar en la planta de tratamiento de aguas residuales y generando picos en los parámetros que a la fecha no están cumpliendo.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados debe analizar las posibilidades de crecimiento de la PTAR Nicoya, debido a que actualmente la población servida con este sistema es de 5978 personas y no existen posibilidades a la fecha de nuevos servicios. Lo anterior limita el desarrollo urbanístico del cantón y afecta su crecimiento económico.

Se debe de buscar por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados el poder otorgar disponibilidad para nuevos servicios en la PTAR Nicoya, dado que la actual situación provoca el uso desmedido de sistemas de tratamiento individuales (tanques sépticos), que genera contaminación, en aguas subterráneas y, por ende, futuras problemáticas por reducción de fuentes de agua potable, en términos de calidad.

Bibliografía

- Angulo, M. (2015). *Impacto de la sequía y su efecto sobre los rendimientos agrícola e industrial de caña de azúcar, en la Zona Este de Guanacaste durante la Zafra 2014 / 2015.* <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv/biblioteca/index.php/Library/download/IOarujOOkZOVUfsXCzIYDinvWvCYhGkg>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. (2002). *Estudio complementario del caso Mendoza, Argentina.* <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/complemen/casos/mendoza.pdf>
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. (2019). *Plan General de la Emergencia Déficit Hídrico Decreto Ejecutivo de Emergencia N.º 41852-MP-MAG Y N.º 41944-MP.* <https://www.cne.go.cr/recuperacion/declaratoria/planes/Plan%20General%20de%20la%20Emergencia%20-%20Deficit%20Hidrico.pdf>
- De Freitas, C., Da Silva, A., Bezerra, F., Mota, F., Gonçalves, L. y Barros, E. (2013). Efluente de esgoto doméstico tratado e reutilizado como fonte hídrica alternativa para a produção de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(7), 727-734. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/mMtHTXbzhRsKLcKwZZVPvYN/?format=pdf&lang=pt>

Dirección de Agua. (2020). *Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico* (SINIGIRH).
<http://mapas.da.go.cr/mapnew.php>

Dirección de Agua. (2021). *Manual de Procesos de la Dirección de Agua*.
<http://www.da.go.cr/intranet/download/manual-de-procesos-final/>

Dirección de Agua. (2021). Solicitud de Dictamen de Cuerpo de Agua *Sistema*.
 Recuperado el 01 de abril de 2021 de: <http://www.da.go.cr/dictamenes-de-cuerpos-de-agua-2/>.

Eise, K. (2016). *Nematodos parásitos del intestino: mecanismos de resistencia*.
<https://www.immunology.org/es/public-information/bitesized-immunology/pathogens-and-disease/nematodos-par%C3%A1sitos-del-intestino#:~:text=Los%20nematodos%20intestinales%20son%20par%C3%A1sitos,establece%20en%20su%20nicho%20intestinal>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud. (2016). *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045*.
<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Politica%20Nacional%20de%20Saneamiento%20en%20Aguas%20Residuales%20marzo%202017.pdf>

Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (2018). *Cuenca ríos Península de Nicoya*.
<http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/EstudioCuencas/EstudioCuencas-cuencaRioPeninsulaNicoya.pdf>

Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (2019). *Atlas Climatológico de Costa Rica*. Autor.

Jaramillo, L. (2007). El valor económico del agua para riego-un estudio de valoración contingente. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (6), 16-32.
<https://www.redalyc.org/pdf/2311/231120826002.pdf>

Madera-Parra, C., Echeverri, A. y Urrutia, N. (2017). Productividad de caña de azúcar irrigada con efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo en Cali, Colombia (Colombia). En H. Hettiarachchi y R. Ardakanian (Eds.), *Uso seguro de aguas residuales en la agricultura: ejemplos de buenas prácticas* (164-178).
https://collections.unu.edu/eserv/UNU:5957/SafeUseOfWastewaterInAgriculture_ESP.pdf

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*.
<https://www.aragon.es/documents/20127/24009052/Manual+CEDEX2.pdf/32188fba-b20f-ecac-fb01-49a15e0e3cd9?t=1578648844927>

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes. CR-2010*.
<https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/28a27ca9-2ec2-49ae-838c-6f89e21d43b4/CR-2010.pdf?MOD=AJPERES>

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2018). *Longitud de la red vial de Costa Rica 2015-2018*. <http://mopt.opendata.junar.com/dataviews/256381/LONGI-DE-LA-RED-14500/>

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2021). *Sistema de información geográfica*. <https://sig.mopt.go.cr:8084/web/index.html>

Ministerio de Seguridad Pública. (2019). *Análisis Cantonal Nicoya. Estrategia Integral de Prevención para la Seguridad Pública*. https://www.seguridadpublica.go.cr/cronograma_de_implementacion/sembramos_seg/informes/sembramos_seguridad/2019/Nicoya/INFORME%20FINAL-SEMBREMOS%20NICOYA.pdf

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). *Manual de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Estabilización-Facultativas. Republica de Perú*. http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos_SICA/modulos/FTA/SECCION%20IV/4.14/378745374_MANUAL%20O&M%20PTAR.pdf

Mora, J. (2008). Análisis de la oferta y la demanda del servicio de internet por cable empresarial de 1024 kbps. *Ra Ximhai*, 4(2), 295-309. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46140215.pdf>

Municipalidad de Nicoya. (2022). *Historia del Cantón*. <https://www.nicoya.go.cr/std/154/historia-del-canton>

- Naciones Unidas. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible-Objetivo 06: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- North Carolina Public Health. (2009). *Las bacterias coliformes*. https://epi.dph.ncdhhs.gov/oeo/docs/Las_Bacterias_Coliformes_WellWaterFactSt.pdf
- Oakley, S. y Salguero, L. (2011). *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica. Un Manual de Experiencias, Diseño, Operación y Sostenibilidad*. https://da.go.cr/wp-content/uploads/2017/01/Manual-Tratamiento-Aguas-Residuales-en-CA.Final_.06.06.11.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* <http://www.fao.org/3/i1629s/i1629s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. Agua para un mundo sostenible. Datos y cifras*. http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf

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

(2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017: Aguas residuales el recurso desaprovechado*. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/>

Organización de las Naciones Unidas. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás*. <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (2019). *Agua, saneamiento y salud (ASS)- El uso de aguas residuales*. https://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/es/

Poder Ejecutivo. (2007, 19 de marzo). Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Decreto N.º 33601-MINAE-S. *La Gaceta*, (55).

Poder Ejecutivo. (2008, 18 de octubre). Reglamento del canon ambiental vertido
Decreto N.º 42128-MINAE-S.
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=90961&nValor3=120004&strTipM=TC

Poder Ejecutivo. (2018, 24 de enero). Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Decreto N.º 39887-S-MINAE. *La Gaceta*, (14).

Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste. (2016). Proyecto:

Mejorando las Capacidades de los Pobladores de la Península de Nicoya para Enfrentar los Impactos del Cambio Climático en el Recurso Hídrico.

<http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2019/02/Proyecto-Mejora-Capacidades-a-Pobladores-de-Peninsula-de-Nicoya-para-Cambio-Climatico.pdf>

Secretaría Técnica Nacional Ambiental. (2018). *Acuerdo de Comisión Plenaria- Modificación a la Resolución 2373-2016-SETENA- Proyectos de Muy Bajo Impacto-ACP-030-2018-SETENA.*

<https://setena.go.cr/documentos/Normativa/ACP-030-2018.pdf>

Umaña, E. (2007). El reúso de aguas residuales para el riego en un cultivo de maíz

(*Zea mays L.*) Una alternativa ambiental y productiva. *La Calera*, 22-26.

<https://repositorio.una.edu.ni/2285/1/ppf06u48.pdf>

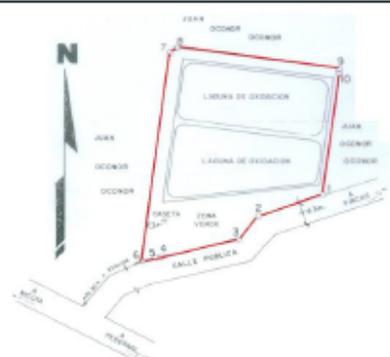
Universidad Nacional. (2011). *Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua.*

<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales>.

Valdivielso, A. (2010). *¿Qué es un caudal?* <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>

Anexos

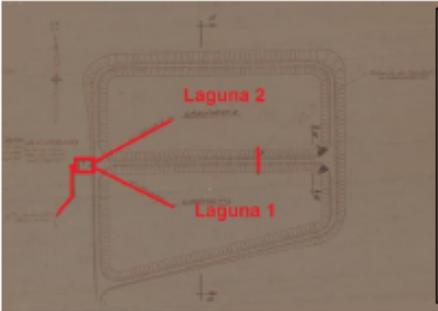
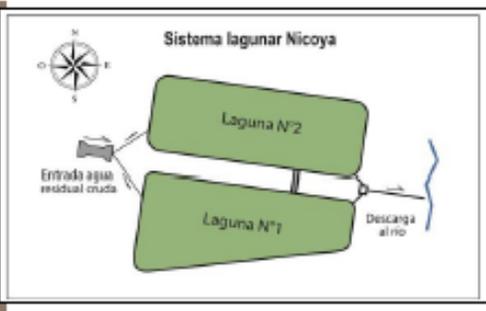
Anexo 1. Información general de la PTAR Nicoya.

		INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS UEN DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO SISTEMAS PERIFÉRICOS FICHA TÉCNICA: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales A. Generalidades			
Nombre del sistema:		Planta de tratamiento de aguas residuales de Nicoya			
Ubicación					
Región:	Chorotega	Provincia:	Guanacaste		
Cantón:	Nicoya	Distrito:	Nicoya		
Hoja IGN:	3146-III-Matambú	Elevación del sitio:	118	m.s.n.m.	
Dirección:	Del Cementerio de Barrio Guadalupe, 100m este y 200 noreste, Nicoya, Guanacaste.				
Teléfono PTAR:		Correo Electrónico PTAR:	No cuenta		
Características del terreno					
Topografía:	Terreno Plano	Área terreno (catastro):	32,108.00	m ²	
Coordenadas entrada del terreno Lambert:	236,500.000	378,400.000			
Coordenadas entrada del terreno CRTM05:	1,122,013.998	342,080.916			
Linderos:	Norte:	Río Grande	Este:	Finca AyA	
	Sur:	Calle Pública	Oeste:	Finca AyA	
Distancia a vivienda más cercana:	100	m			
Retiros PTAR:	Norte:	15	m	Este:	10 m
	Sur:	25	m	Oeste:	20 m
Planos de catastro					
			 <p style="text-align: center;">LOCALIZACIÓN HOJA MATAMBU ESCALA: 1 : 50 000</p>		
Servicios Básicos					
Electricidad	Localizador:	37188	# Medidor:	89132	
Agua Potable	NIS:	5205289			
Generalidades PTAR					
Tipo de tratamiento:	Lagunas de estabilización facultativas				
Área de construcción:	21,450.00	m ²	Área disponible (no construida):	10,858.00	m ²
Fecha construcción:	1975		Año de modificación:	2008	
Diseñado por:	Desconocido		Diseño modificado por:	Ing. Dagoberto Araya	
Caudal de diseño:	Desconocido	l/s	Carga de diseño:	Desconocido	kgDBO/d
Cantidad de Servicios:	1,458	Población Equivalente Servida:		5978	
Cuerpo receptor:	Río Grande	Litros de A.R. / hab / d:		130	

Coordenadas punto vertido CRTM05:	1,122,173.068	342,040.055			
Administrada por:	AyA	Operada por: Región Chorotega			
Tramitología y permisos					
Permiso de Vertido (PV)	Número de Expediente:	3924V			
Aprobado	<input checked="" type="checkbox"/>	Fecha de aprobación: 10/06/16			
En Trámite	<input type="checkbox"/>	Fecha de vigencia: 10/06/19			
Rechazado	<input type="checkbox"/>	Comentario:			
Permiso Sanitario de Funcionamiento (PSF)	Número de Expediente:				
Aprobado	<input type="checkbox"/>	Fecha de aprobación:			
En Trámite	<input type="checkbox"/>	Fecha de vigencia:			
Rechazado	<input type="checkbox"/>	Comentario:			
Datos del Ingeniero Supervisor					
Nombre completo:	Ing. Rosa González Palma	Tel. Oficina: 2688-6977			
Puesto:	Ingeniero Civil	Correo: rogonzalez@aya.go.cr			
Operadores del sistema:					
Nombre:	Severiano Obregón Fajardo	Cargo: Técnico Especialista Sistema Agua Tratamiento Agua Potable			
Nombre:	Lidier Gutiérrez Juárez	Cargo: Técnico Sistema de Agua Tratamiento Aguas Residuales (PTAR)			
Nombre:	Pascual García Reyes	Cargo: Técnico Sistema de Agua Mantenimiento Alcantarillado			
Nombre:	Ángel Espinoza Díaz	Cargo: Técnico Sistema de Agua Mantenimiento Alcantarillado			
Nombre:	Luciano Zúñiga Matarita	Cargo: Técnico Sistema de Agua Tratamiento Agua Residuales (PTAR)			
Nombre:	Arturo Díaz Gutiérrez	Cargo: Técnico Sistema de Agua Tratamiento Agua Residuales (PTAR)			
Nombre:	Christiam Hernández Zúñiga	Cargo: Oficial General Sistema Agua Diversas Dependencias (Alcantarillado)			
Nombre:	Juan Félix Jirón Caravaca	Cargo: Oficial General Sistema Agua Diversas Dependencias (Alcantarillado)			
Fotografías PTAR					
					
Caudal de Entrada					
Caudal Promedio Afluente (Q_{pd}):	9.80	l/s	=	846.72	m ³ /d
Caudal Máx. Diario (Q_{md}):	21.98	l/s	=	1,899.11	m ³ /d
Caudal Mín. Diario (Q_{mn}):	2.89	l/s	=	250.09	m ³ /d
Factor de hora pico:	1.5				
Método de medición de caudal:	Canaleta Parshall				

Caudal de Salida				
Caudal Promedio Efluente (Q _{eff}):	9.00	l/s	=	777.60 m ³ /d
Método de medición de caudal:	Vertedero Triangular			
Datos Eléctricos				
Compañía Eléctrica:	COOPEGUANACASTE	Teléfono:	2681-4700	
Correo electrónico (contacto):	yalvarado@coopeguanacaste.com			
Servicio:	<input checked="" type="checkbox"/> Monofásico	<input type="checkbox"/> Trifásico	Banco de transformadores:	N/A kVA
Distancia al tendido trifásico más cercano:	900	m		
Equipo electromecánico presente:	No <input checked="" type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/>		
Voltaje(s) utilizado(s):	<input type="checkbox"/> 110V	<input checked="" type="checkbox"/> 220V	<input type="checkbox"/> 440V	Frecuencia: Desconocido Hz
Capacidad eléctrica instalada:	Desconocido	kVA	Demanda eléctrica:	Desconocido kW
Consumo de energía promedio mensual:	124	kWh		
Factor de potencia:	Desconocido	Tipo de tarifa:	CPGUA-T-GE	
Consumo eléctrico promedio mensual:	¢12,500.00	¢/mes	Vol tratado:	23,328.00 m ³ /mes
Indicadores consumo energía/volumen tratado:	¢0.54	¢ energía/m ³	0.0053	kWh/m ³
Fotografías Placas de equipos (Cuando aplique)				
Aireadores/Otros				
NO Aplica				
Costo Mensual de Operación (estimación aproximada)				
Cantidad de personal operativo:	8	Costo aprox.salarios ¢/mes:	¢ 2,920,761.00	
Costo salarios personal de supervisión directa en región ¢/mes:	¢ 445,000.00			
Consumo insumos químicos ¢/mes:	¢ 1,726.87	Corresponden a Cal.		
Costo aprox.mantenimiento ¢/mes:	¢ 908,200.87			
Costo Mensual de Operación (aprox.)	¢ 4,288,188.33		¢/mes	
Costo Mensual por volumen tratado:	¢ 183.82	¢/m ³		
Observaciones				
<ol style="list-style-type: none"> 1. El terreno está protegido por una malla ciclón en 95% de su periferia. 2. El agua residual tratada se descarga en un canal natural que atraviesa una finca propia de AyA antes de llegar al Río Grande. 3. El alcantarillado sanitario es exclusivo para aguas residuales tipo originario (teóricamente). 4. El costo por insumos químicos es bajo y se deberá revisar; el reportado corresponde al informe de costos oficiales, facilitado por Financiero. 5. El informe de costos facilitado por el Depto. Financiero incluye el mantenimiento de redes y el de PTAR. 				

Anexo 2. Ficha técnica de la PTAR Nicoya.

		INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS UN DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO SISTEMAS PERIFÉRICOS FICHA TÉCNICA: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales B. Unidades de la PTAR		
Nombre del sistema:		Planta de tratamiento de aguas residuales de Nicoya		
Fotografías aéreas PTAR				
				
Componentes de la PTAR				
1- Cámara de entrada y rejillas		6- Caseta del operador, guarda y bodega de materiales		
2- Distribución de caudal N°1		7-		
3- Distribución de caudal N°2		8-		
4- Lagunas primarias tipo facultativas (N°1 y N°2)		9-		
5- Estructura de desfogue		10-		
Características y diagrama de los componentes				
Unidad	Dimensiones (m)			Características
	Largo	Ancho	Profundidad útil	
Laguna N°1 - primaria	150	60	1.5	Recibe aprox. 50% de caudal afluente
Laguna N°2 - primaria	150	60	1.5	Recibe aprox. 50% de caudal afluente
Planos en planta/ Diagramas				
				
Observaciones				
<ul style="list-style-type: none"> - Las lagunas N°1 y N°2 tienen 3 tuberías de entrada (cada una) y una única tubería de salida que reúne las aguas para el vertido. Bajo esta última se encuentra la tubería de limpieza. - Horario/Turnos de los funcionarios: Dos turnos diarios (6am-12md; 12md-6pm). Lunes a domingo. - Fecha de última limpieza de lodos: abril 2012 (laguna 2) – abril 2013 (laguna 1) 				
Otras observaciones de las giras				
<ul style="list-style-type: none"> - Según la visita del 08/12/2015, las lagunas visualmente tenían un color verde, con algunas secciones verde esmeralda. - Los taludes de las lagunas son de suelo desnudo y se encuentran erosionados. - Se observa una distribución de caudal no equitativa entre las dos lagunas. - El efluente era de un color verdoso, con bastante espuma. 				

Anexo 3. Informe de ensayo del efluente PTAR Nicoya.

	INFORME DE ENSAYO LMA-INF-381-20		 Laboratorio de Microbiología de Aguas Facultad de Microbiología Universidad de Costa Rica
	Código: LMA-PGT-09/R-01	Entrada en vigencia: 2020-06-10	

Información del cliente:

Nombre: Universidad Nacional	Representante / Contacto: Jorge Herrera
Teléfono(s): 2277 3292	Celular: --
Dirección: Heredia	Correo electrónico: jorge.herrera.murillo@una.cr

Información de la(s) muestra(s):

Responsable del muestreo por el L.M.A.: -----	Temperatura de transporte: -----
Fecha del muestreo: 2020-11-10	Entregada por: David Srias
Fecha y hora de ingreso: 2020-11-11 09 h 00	Fecha de realización del ensayo: 2020-11-11
Número de muestras: una (1)	Fecha de emisión del informe: 2020-11-17

RESULTADOS

Identificación de la muestra	Temperatura recepción	Hora de la toma de la muestra	Tipo de muestra	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	Escherichia coli (NMP/100 mL)
+Ag 744 2020 1	4°C	13 h 00	R	ANS	2,3x10 ⁶	ANS

Ensayos acreditados en la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance en: www.eca.or.cr

C: Muestra Clorada / NC: Muestra No Clorada / R: Muestra agua Residual / ANS: análisis no solicitado / <: menor a / >: mayor a / =: igual a / N.A.: no aplica / L.M.A.: Laboratorio de Microbiología de Aguas.

Regla de decisión:

De acuerdo a los parámetros microbiológicos del Anexo 1 del Decreto N° 38924-S de la Gaceta del 1° de Setiembre de 2015.

- Las muestras cloradas con valores de NMP de coliformes fecales y NMP de *Escherichia coli* iguales o mayores a 1,1 NO se consideran potables mientras que si presentan valores menores a 1,1 se consideran potables.
- Para las muestras no cloradas con valores de NMP de coliformes fecales y NMP de *Escherichia coli* iguales o mayores a 1,8 NO se consideran potables y aquellas con valores menores a 1,8 se consideran potables.

De acuerdo a los parámetros microbiológicos del Decreto N° 33601-MINAE-S de la Gaceta del 19 de Marzo de 2007. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales de Costa Rica:

- Las aguas residuales de hospitales y otros establecimientos de salud para atención de humanos o animales y de laboratorios microbiológicos que sean vertidas a cualquier cuerpo receptor, así como las aguas residuales ordinarias de cualquier origen que sean vertidas a un cuerpo receptor utilizado para actividades recreativas de contacto primario, con un número más probable de coliformes fecales mayor a 1000 NMP/100 mL serán consideradas NO ADECUADAS.

Observaciones: + muestra inadecuada. Posee un tiempo de transporte superior al establecido por el método al momento de la entrega de la muestra al laboratorio.

LMA-INF-381-20

NMP= Número Más Probable de: coliformes totales, coliformes fecales o *Escherichia coli*.

Notas:

1. Los resultados mostrados son exclusivos para la(s) muestra(s) analizada(s) en el presente informe.
2. Métodos de análisis realizados de acuerdo a los instructivos LMA-IME-01, LMA-IME-02, LMA-IME-03 y LMA-IME-04 basados en la traducción del **LMA-E-008 "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23ª Edición, 2017."**
3. Si el cliente desea conocer la incertidumbre asociada a los resultados presentados puede comunicarse a los teléfonos del LMA o al correo electrónico, indicados en la parte final de este documento. También puede dirigirse a las instalaciones del Laboratorio.
4. El LMA realiza muestreo en caso de ser solicitado por el cliente y se basa en el instructivo LMA-IME-05, basado en la traducción del **LMA-E-008 "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23ª Edición, 2017."**, por lo que no se hace responsable por la representatividad de las muestras traídas por el cliente.
5. Este reporte no puede reproducirse parcial ni totalmente sin autorización del Laboratorio de Microbiología de Aguas.
6. Reporte de ensayo nulo sin el sello del LMA y la firma responsable y reconocida por el Colegio de Microbiólogos y Químicos Clínicos de Costa Rica.


 Dra. María Laura Arias Echandi. MQC 747
 Gerente Técnico



TEL: (506) 2511-8633 / (506) 2511-8636 / (506) 2511-8643 Correo electrónico: lma.microbiologia@ucr.ac.cr
 Facultad de Microbiología, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca

Anexo 4. Reporte de laboratorio LAMA-INF-045-21.

	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA FACULTAD DE MICROBIOLOGIA LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE ALIMENTOS	
LAMA-INF-045-21		
Información del cliente		
Nombre del cliente: Universidad Nacional		Teléfono(s): 2277 3292
Dirección: Heredia		Correo electrónico: jorge.herrera@una.ac.cr
Información de la(s) muestras:		
Fecha de muestreo: 2021-03-17		Muestra entregada por: Jorge Herrera
Fecha de ingreso de la muestra: 2021-03-17		Fecha de emisión del informe: 2021-03-23
Número de muestras: 1 (una).		
Resultados		
Descripción de la muestra.	Presencia / Ausencia de nemátodos intestinales	
AG 206 2021	Ausencia	
Metodología: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23ª Edición. 2015.		
Interpretación: N.A.		
Observaciones: N.A.		
Notas:		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Los resultados mostrados son exclusivos para la(s) muestra(s) analizada(s) en el presente informe. 2. El laboratorio no se hace responsable por la representatividad de las muestras traídas por el cliente. 3. Ante cualquier duda o consulta el cliente puede comunicarse a los teléfonos o al correo electrónico, indicados en la parte final de este documento. También puede dirigirse a las instalaciones del Laboratorio, ubicadas en el segundo piso de la Facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio, en San Pedro de Montes de Oca. 4. El informe de ensayo no puede reproducirse parcial ni totalmente, sin la autorización del Laboratorio de Microbiología de Alimentos. 5. Informe de ensayo nulo sin el sello del LMA y la firma responsable y reconocida por el Colegio de Microbiólogos y Químicos Clínicos de Costa Rica. 		
MARIA LAURA ARIAS ECHANDI (FIRMA) Firmado digitalmente por MARIA LAURA ARIAS ECHANDI (FIRMA) Fecha: 2021.03.23 14:37:46 -06'00'		
Dra. María Laura Arias Echandi. MQC 747 Gerente Técnico		
TEL: (506) 2511 8638 / (506) 2511 8640 / (506) 2511 8643 Correo electrónico: lma.microbiologia@ucr.ac.cr Laboratorio de Microbiología de Alimentos, Segundo piso de la Facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca.		
LAMA-INF-045-21	Pág. 1 / 1	

Anexo 5. Fotografías de campo.



Anexo 6. Revisión Filóloga.

Alajuela, 5 de abril de 2022

**Señores
Universidad Técnica Nacional**

Estimados señores:

De la manera más atenta, les comunico que leí el documento *Análisis físico-químico-microbiológico del efluente de la PTAR Nicoya, para reuso en el control de polvo y la compactación de suelos en la red vial del cantón*, como trabajo final de graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Recurso Hídrico, elaborado por la estudiante Verónica María Sánchez Mejías, cédula 504020074.

Revisé el texto en lo relativo a la ortografía y puntuación, riqueza, propiedad y precisión léxicas, adecuación morfosintáctica, construcción de los párrafos, uso de conectores, cohesión y estructuración de contenido. En este sentido, una vez incorporadas las recomendaciones efectuadas en el escrito, el documento está listo para su presentación ante las autoridades pertinentes.

De ustedes,

Atentamente,

**ALEJANDRA
VALVERDE ALFARO
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por
ALEJANDRA VALVERDE ALFARO
(FIRMA)
Fecha: 2022.04.05 12:24:06
-06'00'

Bach. Alejandra Valverde Alfaro
Cédula: 1-1289-0157 | Teléfono: 8836-8534
Colegiada 0068, Asociación Costarricense de Filólogos, ACFIL
Correo electrónico: lacoma.cr@gmail.com

ATFG-IMRH-02-2022

Acta de Presentación Oral y Pública de Trabajo Final de Graduación

Sesión del Tribunal Evaluador de la presentación oral y pública del trabajo final de graduación celebrada a las 18 horas del 19 de abril del 2022, con el objetivo de recibir el informe final de la persona estudiante:

Verónica María Sánchez Mejía

504020074

Quién se acoge al Reglamento de Trabajos Finales de Graduación bajo la modalidad de Proyecto de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Recurso Hídrico denominado: "**Análisis físico - químico-microbiológico del efluente de la PTAR Nicoya, para reúso en control de polvo y compactación de suelos**".

Estando presentes las personas miembros del Tribunal Evaluador:

Oscar Vega Leandro	Director de carrera (Preside)
Ericka Zamora Leandro	Profesor Tutor
Álvaro Araya García	Lector
Rodolfo Ramírez Villalba	Representante Sector Productivo

Que las personas miembros del Tribunal Evaluador, una vez revisado el documento escrito y escuchada la defensa pública del Trabajo Final de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Recurso Hídrico consideramos que:

1. De conformidad con la normativa vigente en la materia la persona estudiante obtuvo una calificación de **100**.
2. Cumpliendo con las exigencias requeridas para la aprobación del Trabajo Final de Graduación.
3. Le es conferido el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Recurso Hídrico, con mención **Cum Laude**.

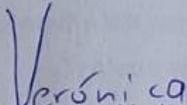
Se da lectura al acta que firman las personas miembros del Tribunal Evaluador y la persona estudiante a las 19:50 horas del 19 de abril del 2022 y se copia a la persona estudiante para que proceda con los trámites correspondientes.

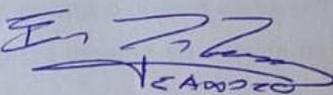
Observaciones:

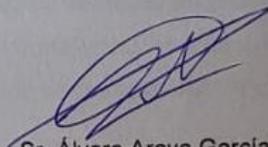
Resumen ejecutivo, verificar los verbos en pasado; mencionar la metodología y algunas conclusiones.

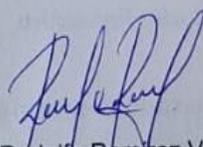
Revisar el objetivo general y el objetivo específico dos.

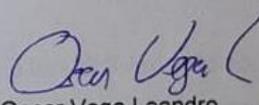
Revisar la última recomendación en el tipo de redacción.


Sra. Verónica María Sánchez
Mejía
Estudiante


Sra. Ericka Zamora Leandro
Profesor Tutor


Sr. Álvaro Araya García
Lector


Sr. Rodolfo Ramírez Villalba
Representante Sector Productivo


Sr. Oscar Vega Leandro
Director de Carrera

Anexo III

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS FINALES

DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

Página | 37

(Trabajo Individual)

Ciudad: Nicoya, Guanacaste.

Fecha: 27 de mayo de 2022

Señores/as

Vicerrectoría de Investigación. Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores/as:

Yo Verónica María Sánchez Mejías portador (a) de la cédula de identidad número 5040200074. En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduación titulada:

Análisis físico-químico-microbiológico del efluente de la PTAR Nicoya, para reúso en el control de polvo y la compactación de suelos en la red vial del cantón

El cual se presenta bajo la modalidad de, marque una opción:

Proyecto de Graduación

Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 19/04/2022, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede Central, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

<p style="text-align: center;">Autorizo Ver capítulo V, disposiciones finales, artículo 41 (O aquel que refiera a derechos patrimoniales)</p>

Marque con una X o un ✓	
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca.	X
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	X
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X
Consulta electrónica con texto protegido	X
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X
Divulgación del resumen en el Repositorio UTN, con una cantidad de 200 a 500 palabras	X

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

VERONICA
MARIA
SANCHEZ
MEJIAS (FIRMA)

Firmado digitalmente
por VERONICA MARIA
SANCHEZ MEJIAS
(FIRMA)
Fecha: 2022.05.27
10:37:40 -06'00'

Firma del estudiante: _____

Cédula: 504020074

Día: 27 de mayo de 2022

Análisis físico-químico-microbiológico del efluente de la PTAR Nicoya, para reúso en el control de polvo y la compactación de suelos en la red vial del cantón

Autora:

Verónica María Sánchez Mejías

Palabras claves:

Laguna

Facultativa

Reúso

Parámetros

Compactación

Planta de tratamiento

Agua residual

Resumen:

En el presente trabajo final de graduación se realizó un análisis físico-químico-microbiológico del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nicoya (en adelante PTAR Nicoya), para verificar si puede ser reusado en el control de polvo y la compactación de suelos en la red vial del cantón de Nicoya, además de brindar un panorama claro a diferentes instituciones públicas, como la Municipalidad de Nicoya, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y el Consejo Nacional de Vialidad. Esto permite la toma de decisiones en el corto y mediano plazo para subsanar la escasez de fuentes de agua permanentes en el cantón, en la época seca.

El marco teórico propuesto enfatiza puntos como la localización del área de estudio, también se define qué es agua residual y sus características. Se analizaron los parámetros del agua residual que se deben evaluar para el reúso, las disipaciones que se le pueden dar a las aguas residuales; se estudió la regulación aplicable en materia de vertido de aguas residuales, se buscó información de los diferentes sistemas de tratamiento de agua residual existentes y se investigó acerca de cómo realizar un análisis de oferta-demanda del agua tratada para reúso tipo 8.

Se utilizó una metodología de investigación exploratoria, dado que se buscó examinar un tema que ha sido poco estudiado. El trabajo se manejó con un enfoque de tipo mixto, porque consistió en la integración del análisis de datos numéricos y recolección de datos de tipo descriptivos. Entre las variables que se estudiaron destacan el caudal y los parámetros obligatorios universales de las aguas residuales que se viertan en un cuerpo receptor.

La recolección de la información se realizó mediante giras de campo y revisión del expediente de la PTAR. Se utilizó los datos de laboratorios de los últimos cinco años y se elabora un análisis comparativo de los parámetros indicados en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Además, se plantean las diferentes acciones de mejora para el efluente, que aseguren que se cumpla con la calidad de agua residual que requiere el reúso tipo 8; además, se realizó un análisis de oferta-demanda del efluente de la PTAR Nicoya.

Como uno de los puntos finales, se procedió con la elaboración de las conclusiones del trabajo de investigación, quedando evidenciando que, no es factible utilizar el efluente de la PTAR Nicoya en control de polvo y compactación de suelos para la red vial del cantón, debido a que el parámetro de coliformes fecales

excede el límite máximo permitido por el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales para reúso tipo 8. El caudal disponible se encuentra en un rango de entre 4.57 y 16.88 litros por segundo, lo que convierte a la PTAR Nicoya en una fuente disponible de agua para la época seca de suma importancia en el cantón.