

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental

**“Diseño de un sistema tratamiento complementario del efluente de la PTAR de El Roble,
Puntarenas para su aprovechamiento en actividades de riego y lavado”**

Jocelyn Alfaro Santamaría

CARTAGO, Agosto, 2022



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

“Diseño de un Sistema Tratamiento Complementario del efluente de la PTAR de El Roble, Puntarenas para su aprovechamiento en actividades de riego y lavado”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal

MSc. Diana Zambrano Piamba
Director

Licda. Karla Ordóñez Sequeira
Lector 1

Licdo. Jerry Briceño Montiel
Lector 2

Dra.ir. Mary Luz Barrios Hernández
Coordinador COTRAFIG

MSc. Ricardo Coy Herrera
Director Escuela de Química

MSc. Diana Zambrano Piamba
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A mi madre María Isabel Santamaría por ser mi principal motor y ejemplo en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores y en especial a mi tutora Diana Zambrano por su ayuda, paciencia y dedicación.

A todo el personal de la PTAR de El Roble, Puntarenas, especialmente a Karla Ordoñez, Melvin Matamoros y Jerry Briceño.

A mis amigos por acompañarme en cada paso de este proceso.

Y especialmente a mi familia por ser el pilar fundamental de mi vida.

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
1.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.1.1 Objetivos específicos	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
1.2 <i>Antecedentes en el tema de reúso de agua residual</i>	3
1.3 <i>Agua residual</i>	4
1.3.1 Características de importancia del agua residual	4
1.3.2 Tratamiento de aguas residuales	6
1.4 <i>Sistemas de tratamiento terciarios utilizados para el reúso de agua residual</i>	7
1.4.1 Tecnologías de Membrana	7
1.4.2 Humedales	8
1.4.3 Métodos de desinfección	9
1.5 <i>Normativa Ambiental para el reúso de agua residual</i>	10
MATERIALES Y MÉTODOS	15
1.6 <i>Lugar de estudio</i>	15
1.7 <i>Determinación del caudal de diseño del sistema de tratamiento terciario</i>	16
1.8 <i>Determinación de la calidad del afluente para el sistema de tratamiento</i>	17
1.9 <i>Diseño del sistema de tratamiento terciario</i>	17
1.9.1 Selección de la tecnología de tratamiento	17
1.9.2 Diseño del sistema de tratamiento terciario	18
1.9.3 Elaboración de planos constructivos	18
1.10 <i>Cálculo de costos asociados a la implementación del sistema de tratamiento</i>	18
1.10.1 Estimación de los costos asociados a materiales y mano de obra	18
1.10.2 Realización de un análisis costo beneficio del proyecto	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
1.11 <i>Determinación del caudal de diseño</i>	20
1.12 <i>Determinación de la calidad del afluente para el sistema de tratamiento terciario</i>	23
1.13 <i>Diseño preliminar de las tecnologías de tratamiento terciario</i>	25
1.14 <i>Selección del método de tratamiento</i>	30
1.15 <i>Dimensionamiento del sistema de tratamiento terciario seleccionado</i>	32

1.16	<i>Determinación del costo de inversión del sistema</i>	34
1.17	<i>Análisis costo beneficio del sistema de tratamiento terciario</i>	36
	CONCLUSIONES	39
	RECOMENDACIONES	41
	REFERENCIAS	43
	Anexo 1: Pruebas microbiológicas del efluente de la PTAR de El Roble, Puntarenas	49
	Anexo 2: Memoria de cálculo	50
	Anexo 3. Planos Constructivos	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.2.1. Reutilización del agua de acuerdo con las actividades a nivel mundial. Tomado de UNESCO,(2017).	3
Figura 1.6.1. Ubicación de la PTAR de El Roble, Puntarenas. Tomado de Sáenz et al. (2016).	15
Figura 1.6.2. Esquema del tren de tratamiento de la PTAR de El Roble, Puntarenas.	16
Figura 1.11. 1. Lavado de vertederos en los sedimentadores secundarios.	21
Figura 1.11. 2. Lavado de sólidos flotantes en sedimentadores primarios.	21
Figura 1.11. 3. Lavado de vertederos en los sedimentadores primarios.	22
Figura 1.12.1. Comportamiento de la concentración del DQO en el efluente.	23
Figura 1.12.2. Comportamiento de la concentración del DBO en el efluente.	24
Figura 1.12.3. Comportamiento de la concentración de los SST en el efluente.	24
Figura 1.15.1. Vista en planta de la distribución del sistema de tratamiento complementario.	33

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.3.1. Patógenos presentes en agua residuales domésticas. Tomado de Moraga, (2015).	5
Cuadro 1.5.1. Límites máximos permisibles para el reúso de aguas residuales ordinarias. Tomado del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, (2010).	12
Cuadro 1.8. 1. Métodos de análisis para los objetivos de tratamiento.	17
Cuadro 1.11.1. Datos de consumo de agua potable de la planta durante el 2020.	22
Cuadro 1.12. 1. Caracterización del efluente de la PTAR del Roble, Puntarenas.	25
Cuadro 1.13. 1. Parámetros constructivos del humedal.	26
Cuadro 1.13. 2. Parámetros constructivos del canal de contacto.	27
Cuadro 1.13. 3. Parámetros constructivos de la cámara de contacto de cloro.	28
Cuadro 1.14. 1. Matriz de selección de tecnología de tratamiento.	32
Cuadro 1.15. 1. Elementos del sistema de tratamiento complementario.	34
Cuadro 1.16. 1. Costos del sistema de tratamiento complementario.	34
Cuadro 1.16. 2. Costos directos e indirectos de la inversión.	35
Cuadro 1.16. 3. Costos por motivo de reactivo para cloración.	36
Cuadro 1.17. 1. Costo por consumo de agua en la planta.	36
Cuadro 1.17. 2. Flujo de efectivo para el cálculo del PRI.	37

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS (escriba en esta página la lista de siglas y acrónimos en orden alfabético)

AIDIS	Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
FAO	La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización Mundial de las Naciones Unidas
PND	Plan Nacional de Desarrollo
PNSAR	Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales
PSS	Plan de Seguridad de Saneamiento
PRI	Período de Recuperación de la Inversión
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
SST	Sólidos Suspendidos Totales
UV	Luz Ultravioleta

RESUMEN

En Costa Rica la escasez de agua es una problemática que se acrecienta cada año, especialmente en las zonas costeras del país; como lo son la costa Pacífica y Caribe. Este documento presenta el diseño de un sistema de tratamiento complementario con fines de reúso de agua residual para la PTAR de El Roble, Puntarenas. Se determinó el caudal de diseño y calidad del efluente de la PTAR, para poder realizar un diseño preliminar de tres tecnologías de tratamiento (humedal, desinfección con cloro y desinfección con UV). Con el objetivo de seleccionar la más adecuada de acuerdo con las características de la planta, por medio una matriz de evaluación que utiliza indicadores de eficiencia, aplicabilidad, operación y costos. Finalmente se realizaron los planos de diseño para el sistema y se realizó un análisis económico para evaluar la factibilidad de implementación de este. Se determinó que la tecnología más adecuada era una cámara de contacto de cloro de 8.1 m^3 , con un costo de inversión de ₡ 5,572,732.74 y con un periodo de recuperación de la inversión (TIR) de un mes y 15 días. Concluyendo que la implementación de este tipo de sistema presenta beneficios ambientales y económicos para la planta de tratamiento de El Roble, Puntarenas.

Palabras clave: Escasez de agua, Agua residual, Tratamiento complementario, Reúso, Período de recuperación de la inversión, Costa Rica.

ABSTRACT

In Costa Rica, water scarcity is a problem that increases every year, especially in the coastal areas of the country, such as the Pacific and Caribbean coast. This document presents the design of a complementary treatment system for wastewater reuse for the PTAR of El Roble, Puntarenas. The design flow rate and quality of the PTAR effluent was determined in order to carry out a preliminary design of three treatment technologies (wetland, chlorine disinfection and UV disinfection) with the aim of selecting the most appropriate according to the characteristics of the plant, by means of an evaluation matrix that uses indicators of efficiency, applicability, operation and costs. Finally, the design plans for the system were made and an economic analysis was carried out to evaluate the feasibility of its implementation. The most appropriate technology was determined to be an 8.1 m³ chlorine contact chamber with an investment cost of ₡ 5,572,732.74 and an investment recovery period (IRR) of one month and 15 days. Concluding that the implementation of this type of system has environmental and economic benefits for the treatment plant of El Roble, Puntarenas.

Key words: Water scarcity, Wastewater, Complementary treatment, Reuse, Payback period, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

Es indiscutible la importancia que tiene el agua en la calidad de vida de cualquier persona y en el desarrollo de una sociedad, debido a que es un bien necesario en todas las actividades sociales, económicas y ambientales. Sin embargo, en la actualidad este recurso se ha visto disminuido en gran parte del mundo. Según el Informe Mundial De Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recurso Hídricos 2019: “más de 2.000 millones de personas viven en países que sufren una fuerte escasez de agua, y aproximadamente 4.000 millones de personas padecen una grave escasez de agua durante al menos un mes al año” (UNESCO, 2019). Además, se debe señalar que los problemas de escasez de agua seguirán aumentando a medida en que se incremente la población mundial y se agraven los efectos relacionados con el cambio climático.

De igual forma esta problemática no es totalmente ajena a Costa Rica. Si bien es cierto que el país cuenta con una gran cantidad de fuentes hídricas, tan solo en el 2019, de acuerdo con el diario La República, el gobierno declaró una emergencia por escasez en todos los cantones de Guanacaste, además de Coto Brus, Esparza y el cantón Central de Puntarenas (Garza, 2019). Debido a esto el uso eficiente del agua se ha convertido en una necesidad para garantizar su sostenibilidad a futuro, por lo que se deben de aplicar medidas para la reducción de su consumo, tanto a nivel urbano como a nivel industrial.

Actualmente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de El Roble, Puntarenas se está haciendo un uso poco eficiente del recurso hídrico, puesto que se utiliza agua potable, para actividades de lavado de estructuras del sistema de tratamiento y de riego de zonas verdes durante la época seca. Esta es una situación que se debe reconsiderar ya que la planta está localizada en una zona donde hay un estrés hídrico importante (Hidalgo, 2013), por lo que se debe de hacer un consumo eficiente del agua potable.

Una forma de lograr este objetivo es la aplicación del concepto de economía circular, el cual busca que el valor de los materiales o recursos se mantengan en la economía el mayor tiempo

posible y así disminuir el impacto ambiental. En el caso del agua este concepto se basa en la reutilización de ésta una y otra vez, tal y como sucede en su ciclo natural. Con respecto al sector urbano, se puede aplicar por medio de la regeneración de las aguas residuales (Melgarejo, 2019). Tomando en cuenta este concepto de economía circular, la solución más eficiente a la problemática presente en la planta es la implementación de un sistema de tratamiento complementario, con el fin de obtener agua segura para hacer un reúso del agua residual en las actividades de riego y lavado. En esta investigación se seleccionó y diseñó un sistema de tratamiento complementario que se adecuará a las características del efluente de la PTAR y el caudal utilizado en el riego y lavado. Además, se calcularon los costos asociados y el posible ahorro que el reúso puede generar, para realizar un análisis del costo beneficio del sistema propuesto.

OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Proponer un sistema de tratamiento complementario, para el reúso de agua residual en actividades de lavado y riego de la PTAR de El Roble, Puntarenas.

1.1.1 Objetivos específicos

- Determinar el caudal y la calidad del agua de reúso requerido para las actividades de riego y lavado.
- Diseñar un sistema de tratamiento complementario sostenible con fines de reúso, para el aprovechamiento del efluente de la PTAR el Roble.
- Estimar los costos asociados a la implementación del sistema de tratamiento con fines de reúso.

REVISIÓN DE LITERATURA

1.2 Antecedentes en el tema de reúso de agua residual

De acuerdo con el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017, presentado por la UNESCO, la demanda de agua potable va a tener un aumento significativo en las próximas décadas, por lo que el aprovechamiento del agua residual para actividades de riego o industriales puede ser una solución clave a esta problemática. El tratamiento y el reúso del agua juegan un papel fundamental en la administración y manejo de este recurso en todos los países. Los tipos de reúso más comunes son el aprovechamiento del agua tratada en actividades agrícolas, industriales, recreativas y recarga de acuíferos (Britto & Fernández, 2015). Según (Cui & Liang, 2019), las aguas residuales recuperadas proporcionan un apalancamiento efectivo para complementar el suministro de otros recursos hídricos convencionales, así como para aliviar los problemas de calidad del agua asociados con la descarga de contaminantes.

A nivel internacional el aprovechamiento de las aguas tratadas se ha ido incrementando en las últimas décadas. Entre los países líderes en el manejo integral del agua residual se encuentran Singapur, Israel, Kuwait y Qatar (Jones., et al 2021). En la Figura 1.2.1 se presentan las actividades en donde se da el mayor reúso de agua residual a nivel mundial.

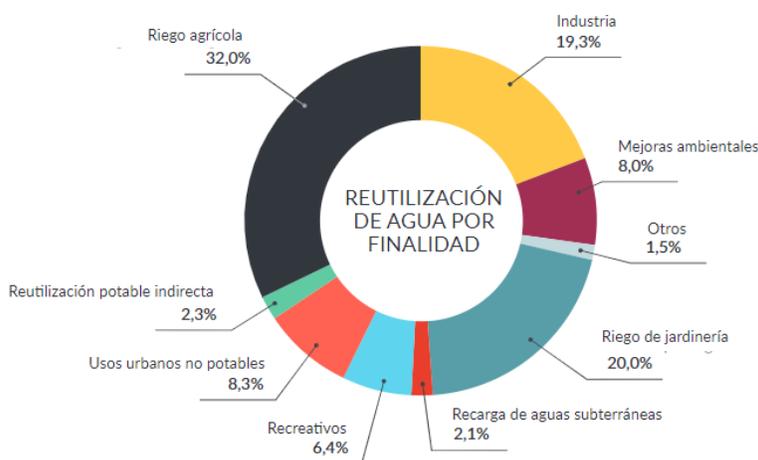


Figura 1.2.1. Reutilización del agua de acuerdo con las actividades a nivel mundial. Tomado de UNESCO,(2017).

En el caso de Costa Rica la mayoría de los proyectos enfocados en el aprovechamiento se limitan al riego de zonas verdes y limpieza; en su mayoría implementados en hoteles. De acuerdo con el periódico El Financiero los hoteles que aplican este tipo de iniciativas logran ahorrar alrededor de un 40% del consumo total de agua (Fernández, 2016). Aunque el reúso de aguas residuales trae consigo vastos beneficios ambientales y económicos, no es ampliamente implementado en otros sectores o industrias del país.

Con el propósito de mejorar esta situación en el 2016 se desarrolló la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales, la cual tiene como objetivo lograr que para el año 2045, el manejo seguro del total de las aguas residuales generadas en el país. Entre los principales enfoques presentados para poder cumplir con este objetivo se encuentra la revalorización de las aguas residuales tratadas.

1.3 Agua residual

El término agua residual se utiliza para definir a las aguas generadas por el uso doméstico e industrial del agua limpia, el cual provoca una modificación en la composición de esta y una disminución de su calidad. Además, es necesario que estas pasen por un proceso de tratamiento, para que cumplan con los estándares necesarios, de acuerdo con las políticas locales y así puedan ser depositadas en redes de vertido, depuradoras o sistemas naturales (Molinos-Senante, 2018).

1.3.1 Características de importancia del agua residual

Se entiende como características de un agua residual al conjunto de parámetros que pueden ser necesarios para el diseño de un sistema de tratamiento (Moran, 2018).

- **Características físicas**

Las principales características físicas del agua residual son; temperatura, color, turbiedad, sólidos en suspensión y el olor (Zhuchenko et al., 2017).

- **Características químicas**

Entre las principales características químicas del agua residual se tienen; pH, nitrógeno, fosforo, azufre, aceites y grasas, metales pesados, detergentes y materias orgánica (Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno) (Zhuchenko et al., 2017).

- **Características biológicas**

Las aguas residuales contienen un gran número de microorganismos vivos que cuya función es la de descomponer, transformar, y fermentar la materia orgánica utilizando o no el oxígeno disuelto por medio de procesos aerobios o anaerobios. En su mayoría estos organismos son patógenos para la salud humana; como bacterias, virus y formas parasitarias (Bermúdez, 2019). En el Cuadro 1.3.1 se pueden observar los principales patógenos que se pueden encontrar en aguas residuales domésticas.

Cuadro 1.3.1. Patógenos presentes en agua residuales domésticas. Tomado de Moraga, (2015).

Organismo	Enfermedad Causada
Bacterias	
Escherichiacoli	Gastroenteritis
Leptospira(spp.)	Leptospirosis
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea
Salmonella (2,100 serotipos)	Salmonelosis
Shigella(4 spp.)	Shigelosis (disentería bacilar)
Vibrio cholerae	Cólera
Protozoos	
Balantidiumcoli	Balantidiasis
Cryptosporidiumparvum	Cryptosporidiasis
Entamoebahistolitica	Amebiasis (disentería amoébrica)
Giardialamblia	Giardiasis
Helmintos	
Ascarislumbricoides	Ascariasis
T. solium	Teniasis
Trichuristrichiura	Tricuriasis
Virus	
Virus entéricos (72 tipos, por ejemplo virus echo y coxsackiedel polio)	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis
Hepatitis A	Hepatitis de tipo infeccioso
Agente de Norwalk	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis

1.3.2 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de agua residual se compone de distintos niveles de tratamiento con un fin específico, en donde en cada nivel se van a encontrar distintas tecnologías y sistemas. De acuerdo con (Noyola et al., 2013), se requiere hacer un análisis integral para poder determinar el nivel de tratamiento necesario que pueda asegurar la protección de la salud pública y del ambiente. Estos niveles de tratamiento se clasifican en: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

- **Pretratamiento**

Consiste en la remoción de materiales como piedras, ramas, arena, y grasas que puedan causar problemas de mantenimiento u operación con el sistema de tratamiento (Metcalf et al., 2004). Para este nivel de tratamiento se utilizan rejillas, trituradoras y cámaras de arena. Las rejillas se usan para para remover objetos de gran tamaño, las trituradoras son utilizadas para reducir el tamaño de objetos grandes para facilitar su manejo y las cámaras de arena sirven para la remoción de arenas (Ullah et al., 2020).

- **Tratamiento primario**

Representa un proceso de sedimentación realizado antes del sistema de tratamiento principal o la segunda fase del tratamiento. “En el tratamiento de aguas residuales domésticas, los procesos primarios eliminan la carga orgánica y una parte de los sólidos no orgánicos, aproximadamente el 25% de la concentración total” (Goffi, et al., 2018). En el caso de este tipo de tratamiento se pueden utilizar sistemas de flotación, tanques de sedimentación, tanques de neutralización y tanques de equalización. “Los sistemas de flotación se utilizan para eliminar los sólidos en suspensión, mientras que los sólidos sedimentables se eliminan a través de tanques de sedimentación. Por otra parte, los tanques de neutralización y los tanques de

ecualización se utilizan para neutralizar y homogeneizar (para eliminar cargas de choque) las aguas residuales, respectivamente” (Ullah et al., 2020).

- **Tratamiento secundario**

Consiste en la eliminación de la materia orgánica presente en las aguas residuales (especialmente la soluble) por la acción de microorganismos. Posteriormente se da la separación del agua clarificada de los lodos generados por medio de sedimentación (Goffi et al., 2018).

- **Tratamiento terciario**

Se encarga de la remoción de materiales disueltos o suspendidos que quedan remanentes después del tratamiento normal, cuando se requiere el reúso del agua residual (Metcalf et al., 2004).

1.4 Sistemas de tratamiento terciarios utilizados para el reúso de agua residual

Los sistemas de tratamiento terciarios están abarcados en dos métodos polarizados que incluyen los procesos biológicos y fisicoquímicos. La elección del método de tratamiento está en gran medida limitado por la inversión, costos operacionales, fuente y calidad de aguas residuales, así como la reutilización prevista del agua (Egbuikwem et al., 2020).

1.4.1 Tecnologías de Membrana

Las tecnologías de membrana para regeneración de aguas residuales se emplean únicamente en aquellos casos en que el uso del agua regenerada justifica el precio final, o bien en aquellos casos en que, se presente un elevado contenido en sales del agua residual. En esos casos las membranas cumplen diversos objetivos; la eliminación de contaminantes y patógenos, y al mismo tiempo la desalinización del efluente (Yu et al., 2021).

La tecnología más utilizada es la de ósmosis inversa la cual consiste en un proceso de separación física, en donde se asume que el paso de componentes orgánicos sigue un modelo de solución-difusión, en el que esos componentes orgánicos se disuelven en el material de la membrana y luego se difunden a través de esta por un gradiente de concentración (Albergamo et al., 2018).

1.4.2 Humedales

Estas son terrenos inundados, con profundidades de agua del orden de 60 cm, con plantas acuáticas emergentes. Combinan zonas anaerobias (principalmente) con aerobias y anóxicas. Se considera que el papel principal en la depuración lo llevan a cabo las colonias instaladas en la grava o arena (material de relleno) y en las raíces y rizomas de las plantas. Estas últimas tienen también un papel activo en el transporte de oxígeno a la zona de las raíces, creando las zonas anóxicas (Ilyas., et al 2017).

Según (Arias Martínez et al., 2010) existen dos tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de aguas residuales:

- Humedales de flujo superficial (FWS - Free Water Surface): consisten en canales con la superficie del agua expuesta a la atmósfera y el fondo constituido por suelo relativamente impermeable, o con una cubierta impermeable, vegetación emergente y niveles de agua poco profundos.
- Humedales de flujo subsuperficial (SFS - Sub Surface Flow): consisten en un filtro biológico relleno de un medio poroso (e.g. piedra volcánica, grava), en el cual las plantas macrófitas se siembran en la superficie del lecho filtrante y las aguas residuales pretratadas atraviesan de forma horizontal o vertical el lecho filtrante.

Por otra parte (Álvarez et al., 2017) menciona que las principales ventajas de este tipo de tratamiento son su bajo costo de inversión y de mantenimiento. Además, presentan una buena integración en el medio natural, promoviendo vida silvestre, y actuando como áreas recreativas.

1.4.3 Métodos de desinfección

Dentro de las distintas tecnologías utilizadas en los sistemas de tratamiento terciario de agua residuales se encuentran los métodos de desinfección. Se basa en la utilización de algún desinfectante que elimina o inactiva a los microorganismos de distintas maneras, ya sea dañando la pared celular, alterando la permeabilidad de la célula, alterando la naturaleza coloidal del protoplasma, alterando a nivel de ADN o ARN e inhibiendo la actividad enzimática (Zarate, 2016). Entre los principales desinfectantes se puede encontrar: cloro, ozono y radiación UV.

- **Cloro**

De todos los desinfectantes, el cloro es el más común y se ha utilizado durante mucho tiempo en las plantas de tratamiento como desinfectante de agua potable y aguas servidas de todo el mundo (Metcalf y Eddy et al., 2004). Esto es debido a su fuerte capacidad de oxidación, que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.

El cloro puede ser adicionado al agua en forma de gas (Cl_2), líquido (NaOCl) o sólido ($\text{Ca}[\text{OCl}_2]$). En el caso del cloro gas, este suele tener muchos riesgos relacionados con su transporte, almacenamiento y alimentación, lo que se ha solucionado mediante el uso de hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio (Khawaga et al., 2019). En esta investigación se va a hacer referencia al mecanismo de desinfección con ácido hipocloroso, el cual se puede obtener a partir de la hidrólisis cualquiera de las formas de cloro mencionadas anteriormente.

- **Ozono**

El ozono es un poderoso oxidante ampliamente utilizado en tratamiento de agua residuales, es efectivo en la remoción de bacterias y virus, así como otros microorganismos como la giardia. Es un gas inestable, que puede ser producido por electrólisis, reacción fotoquímica o radioactividad. En desinfección de agua residuales, usualmente la generación de ozono se da por descarga eléctrica. (EPA,2011).

- **Radiación UV**

El sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV) transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del organismo (ADN o ARN). Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo, esta destruye la habilidad de reproducción de la célula (EPA, 2011).

Los componentes principales del sistema de desinfección con luz UV son las lámparas de vapor de mercurio, el reactor y los balastos electrónicos (ballasts). La fuente de luz UV son las lámparas de arco de mercurio de baja o mediana presión.

La longitud de onda óptima para desactivar eficazmente los microorganismos se encuentra en el rango de 250 a 270 nm. Las lámparas de baja presión emiten básicamente luz monocromática a una longitud de onda de 253.7 nm. Las lámparas de mediana presión son generalmente utilizadas en instalaciones de mayor tamaño. (Wright & Cairns, 2000). Existen dos tipos de configuraciones de reactor para el sistema de desinfección con luz UV: de contacto, y sin contacto. En ambos casos, el agua residual puede fluir en forma perpendicular o paralela a las lámparas.

1.5 Normativa Ambiental para el reúso de agua residual

Aunque en la actualidad la revalorización del agua residual se presenta como una notable solución para disminuir el impacto ambiental generado en los recursos hídricos de un país,

también se debe de tomar en cuenta los riesgos ambientales y de salud asociados a un uso incorrecto de estas aguas tratadas. Dependiendo del tipo de reúso se deben de plantear las medidas de seguridad necesarias para evitar cualquier problema, especialmente cuando se trata de posibles riesgos de salud que vayan a afectar a los operadores o el personal que se encargará de trabajar con las aguas revalorizadas (Molinos-Senante, 2018).

Debido a esta situación en el 2006 la Organización Mundial de la Salud desarrolló un documento llamado “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater”, donde se presentan guías a seguir para garantizar un uso seguro de aguas residuales revalorizadas, en donde se establecen medidas y recomendaciones para poder garantizar la salud y seguridad de las personas que lleguen a tener algún tipo de contacto las aguas de reúso (OMS,2006).

De acuerdo con este documento la gestión eficaz de las actividades de uso de aguas residuales requiere una comprensión integral del sistema, el rango y la magnitud de los peligros que pueden estar presentes y la capacidad de los procesos y la infraestructura existentes para gestionar o riesgos potenciales. Asimismo hace énfasis en la importancia de garantizar el equipo de protección y medidas de precaución necesarias para evitar que los operarios y trabajadores queden expuestos a enfermedades relacionadas con los distintos patógenos presentes en el agua residual (OMS, 2006).

Por otra parte la AIDIS explica la importancia de desarrollar e implementar un Plan de Seguridad de Saneamiento (PSS) siguiendo las recomendaciones de las guías de la OMS, el cual consiste un documento práctico para facilitar la elaboración e implementación de planes de evaluación y gestión de riesgos para proteger la salud pública. El PSS aplica un enfoque de gestión de riesgos y se puede implementar en entornos donde las aguas residuales u otros productos de desecho de los sistemas de saneamiento son revalorizados (Tello et al., 2016). Con el objetivo de reducir los impactos negativos a la salud derivados del uso de aguas residuales y maximizar los beneficios de su uso.

En el caso de Costa Rica desde el 2016 se cuenta con la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales (PNSAR), tal y como se menciona en la Sección 1.2. Esta política se plantea de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo (PND) y los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), que son procesos que integran el saneamiento de aguas residuales entre sus prioridades. Asimismo hace un diagnóstico acerca de la realidad país en cuanto al saneamiento del agua, dentro de lo cual se encuentra la revalorización de agua residuales. En este aspecto menciona los retos que se deben de enfrentar para lograr una gestión integral y segura del reúso de agua, de forma que se garantice la salud de cada uno de los involucrados en esta actividad. Trazando la línea de trabajo que se debe de seguir para lograr este objetivo (MINAE, Ministerio de Salud. & AyA, 2016).

Por otra parte Costa Rica también cuenta con el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N° 33601 del MINAE, el cual establece las distintas categorías de reúso de acuerdo con las actividades a realizar, de igual forma este reglamento establece los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias con sus respectivos límites máximos permisibles tal y como se muestra en el Cuadro 1.5.1.

Cuadro 1.5.1. Límites máximos permisibles para el reúso de aguas residuales ordinarias. Tomado del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, (2010).

Tipo de reúso	Parámetros	
	Nematos intestinales (N° de huevos/Litro)	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)
Tipo 1: Reúso urbano	1	1000
Tipo 2: Riego con acceso restringido	1	10 000
Tipo 3: Reúso agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su venta	1	1000
Tipo 4: Reúso agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previo a su venta	1	10 000
Tipo 5: Reúso agrícola en cultivos no alimenticios	1	1000
Tipo 6: Reúso recreativo	1	10 000
Tipo 7: Reúso paisajístico	1	-----
Tipo 8: Reúso en la construcción	1	1000

Considerando que se plantea hacer un reúso de agua para actividades de riego y lavado, se deben de cumplir con los parámetros para el reúso tipo 1. Ya que en esta categoría se

contemplan actividades como; riego de zonas en donde haya acceso del público, lavado de automóviles, inodoros, combate de incendios y otros usos con similar acceso o exposición al agua. Para esta clasificación se establecen límites máximos permisibles para la cantidad de nemátodos intestinales y coliformes fecales de, 1 huevo por litro y de 1 000 NMP/100 ml respectivamente. Es importante recalcar que estos parámetros se consideran como los objetivos de tratamiento.

De acuerdo con Robles et al., (2020) los huevos de helmintos son la etapa infecciosa de varios tipos de gusanos intestinales, y que debido a la membrana altamente resistente que los caracteriza, los métodos más populares para eliminarlos de las aguas residuales se basan en un proceso de separación (sedimentación, coagulación-floculación y filtración). Por otra parte Paruch & Mæhlum, (2012) define a los coliformes como un gran grupo de bacterias gramnegativas pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae, los cuales no solo representan a bacterias intestinales (de origen fecal) sino también a otras de vida libre (origen no fecal).

MATERIALES Y MÉTODOS

1.6 Lugar de estudio

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Roble se localiza en la provincia de Puntarenas, distrito El Roble cerca del Océano Pacífico (Sáenz et al., 2016).

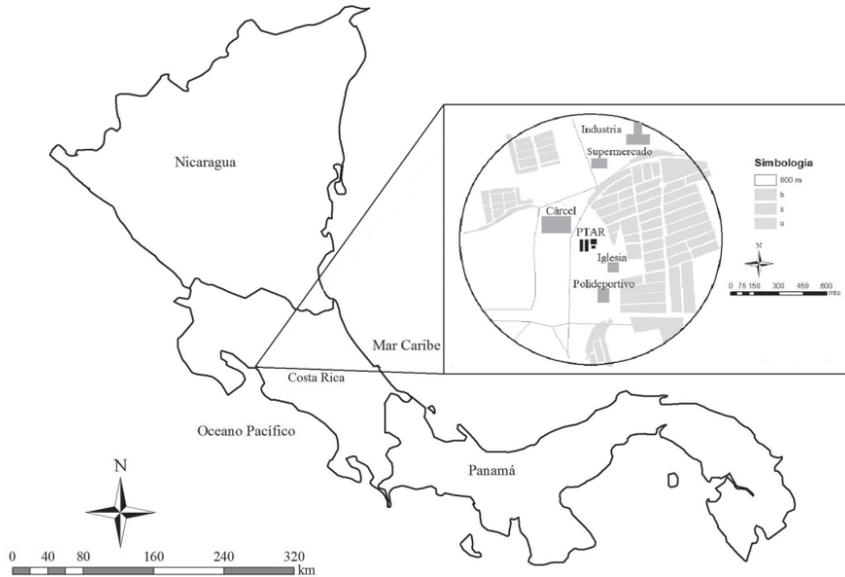


Figura 1.6.1. Ubicación de la PTAR de El Roble, Puntarenas. Tomado de Sáenz et al. (2016).

Es operada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Cuenta con capacidad para 85 L/s, con un área de 945 m² y recibe las aguas ordinarias de los distritos de El Roble y Barranca, y atiende a 19.686 habitantes. Además, recibe las aguas residuales sin tratar provenientes del Hospital Monseñor Sanabria, el Hotel Double Tree Hilton, el Centro Penitenciario y el servicio de impulsión de las aguas de Inolasa, Sardimar y Maxipalí, las cuales han sido tratadas previamente (Lazo, 2012).

Cuenta con un sistema de tratamiento de lodos activados el cual se compone de cámara de entrada, tamiz, dos sedimentadores primarios, dos tanques de aireación y dos sedimentadores secundarios, con vertimiento al estero de Chacarita. Se realizan tres purgas de lodo diarias, con tratamiento en una laguna anaerobia de 2106 m², y el lodo se dispone en lagunas de secado de lodos (Sáenz et al., 2016).

Desde el 2017 la primera parte del reactor biológico cuenta con una configuración IFAS (Integrated Fixed/Film Activated Sludge), la cual es un medio de crecimiento unido dentro del reactor del sistema de crecimiento suspendido. “Esta tecnología facilita la creación de biomasa adicional dentro de la instalación de tratamiento para cumplir con estándares más estrictos de efluentes o mayor volumen de carga, sin incrementar ni añadir capacidad de tanques (Colonia Moya et al.,2017)”. En la Figura 1.6.2 se muestra un esquema del tren de tratamiento de la planta.

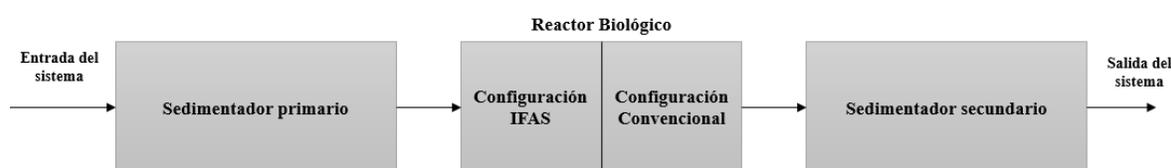


Figura 1.6.2. Esquema del tren de tratamiento de la PTAR de El Roble, Puntarenas.

1.7 Determinación del caudal de diseño del sistema de tratamiento terciario

Se utilizarán los datos de consumo mensuales de la planta correspondientes al período 2020. La planta cuenta con un medidor para el consumo del agua potable, al cual se le realizan lecturas cada mes. Este consumo total de agua potable se distribuye entre las distintas actividades de riego y lavado que se realizan de forma diaria y los servicios sanitarios y pilas presentes en la oficina y caseta de operación.

Con los datos obtenidos en el punto anterior se procederá a realizar un promedio de consumo mensual en la planta, y posteriormente se inferirá el consumo diario. A este consumo diario se le restará un valor determinado que hace referencia al uso de agua en las oficinas, para poder determinar el caudal de agua utilizada en las actividades de riego y lavado. Finalmente se obtendrá el caudal de diseño del sistema de tratamiento terciario.

1.8 Determinación de la calidad del afluente para el sistema de tratamiento

Para determinar la calidad del efluente del sistema de lodos activados de la PTAR del Roble, se utilizaron los datos presentes en reportes operacionales y análisis de control del período 2019 al 2021. Con los cuales se procedió a realizar la estadística descriptiva con los distintos parámetros de control para agua residual. En el caso de los reportes operacionales los análisis fueron realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas.

En el caso de los objetivos de tratamiento se hará referencia a los parámetros de; coliformes totales y huevos de helmintos, ya que estos son los establecidos en la normativa para reúso. Se realizó un muestreo durante tres días, en donde se recolectaron dos muestras por día con una diferencia de seis horas. Estas muestras posteriormente se enviaron al laboratorio AGQ Labs Costa Rica para realizar los análisis correspondientes, en el Cuadro 1.8.1 se muestra los métodos de análisis utilizados por el laboratorio. Finalmente, con los resultados se procedió a realizar un promedio para cada uno de los parámetros.

Cuadro 1.8. 1. Métodos de análisis para los objetivos de tratamiento.

Parámetro	Método de análisis
Coliformes Fecales	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition, 2017: 9221 E
Huevos de Helmintos	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition, 2017: 10750 B

1.9 Diseño del sistema de tratamiento terciario

1.9.1 Selección de la tecnología de tratamiento

Se procedió a realizar una evaluación de las siguientes tecnologías; humedales, desinfección con cloro y desinfección con UV. Primeramente, se realizó el prediseño de cada una de las tecnologías. En el caso de humedal se utilizó el método de diseño presente en Delgadillo et al., (2010). Para la desinfección con cloro se diseñó una cámara de contacto de cloro, utilizando como referencia a Zambrano, (2020). Y en el caso de la desinfección con UV se

diseñó un canal rectangular en dónde el agua hará contacto con el equipo de desinfección, tomando el método de diseño de Sánchez et al., (2012).

Finalmente se utilizó una matriz de decisión en donde se utilizaron los siguientes indicadores:

- Eficiencia de remoción: Donde se hará una comparación sobre los valores de eficiencia de remoción encontrados en literatura para cada tecnología.
- Aplicabilidad: En el cual se tomarán en cuenta el espacio necesario para cada uno de los equipos y la accesibilidad a los materiales de desinfección.
- Operatividad: El cual se hace referencia a aspectos como seguridad y mantenimiento.
- Costos: Donde se hará una comparación utilizando el costo promedio de cada una de las tecnologías.

Esta matriz de decisión cuenta con una escala de 1 a 3, en donde tres significa el mayor grado de cumplimiento del indicador y uno el caso contrario. Para la ponderación de cada uno de los criterios se hace uso de información bibliográfica.

1.9.2 Diseño del sistema de tratamiento terciario

De acuerdo con el tipo de sistema seleccionado en el punto anterior se procedió a realizar el diseño de un sistema de tratamiento terciario que cumpla con los objetivos de tratamiento.

1.9.3 Elaboración de planos constructivos

Se realizó la elaboración de los planos constructivos del sistema de tratamiento de acuerdo con los parámetros de diseño de la tecnología de tratamiento seleccionada. Para este paso se utilizó el programa de modelado REVIT 2023.

1.10 Cálculo de costos asociados a la implementación del sistema de tratamiento

1.10.1 Estimación de los costos asociados a materiales y mano de obra

De acuerdo con los planos constructivos se procedió a estimar los costos asociados a materiales y mano de obra para determinar la inversión total del proyecto. Para esta estimación se usó la herramienta de tablas de planificación de REVIT 2023, la cual ayudó a determinar la cantidad necesaria de material para cada estructura del sistema de tratamiento complementario.

En el caso del costo asociado con los materiales de construcción de obra gris del sistema, se usó como referencia la información presente en el Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva 2021 del Ministerio de Hacienda y en Zarate, (2016). Para determinar los costos de los demás elementos del sistema se realizaron cotizaciones con los catálogos digitales de ferreterías, como EPA y Construplaza.

Finalmente se utilizó la metodología presente en Peters, (2002) para determinar costos directos e indirectos relacionados con la inversión inicial de proyecto.

1.10.2 Realización de un análisis costo beneficio del proyecto

Una vez calculados los costos asociados a la inversión inicial del sistema de tratamiento complementario y a la operación y mantenimiento de este. Se calculó el posible ahorro que puede generar con respecto al costo de agua que se utiliza en las actividades de riego y lavado. Finalmente con estos datos se calcularon los flujos de efectivo necesarios para determinar el periodo de recuperación de la inversión (PRI) con la metodología presente en el artículo de Andrade Pinelo, (2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.11 Determinación del caudal de diseño

Para la determinación del caudal de diseño del sistema de tratamiento terciario se consideraron la siguiente lista de actividades que actualmente se realizan en la planta y que pueden utilizar agua de reúso:

- Riego de zonas verdes
- Lavado de vertederos de sedimentadores primarios y secundarios
- Lavado de canaleta Parshall y tamiz separador de sólidos
- Lavado de casetas de bombeo (impulsión al estero y recirculación)
- Lavado de tanque de lodos y casetas de sopladores convencionales e IFAS
- Lavado de pasarelas y escaleras de la planta
- Lavado de sólidos flotantes en sedimentadores primarios y secundarios
- Lavado de sedimentadores primarios y secundarios (mantenimiento 2 veces al año)
- Lavado de aceras y cunetas de alrededor de la planta

En las Figuras 1.11.1, 1.11.2 y 1.11.3 se pueden ver las actividades de lavado diarias que se realizan en cada uno de los cuatro turnos de trabajo, las cuales hacen referencia al lavado de vertederos y sólidos flotantes de los sedimentadores primarios y secundarios.



Figura 1.11. 1. Lavado de vertederos en los sedimentadores secundarios.



Figura 1.11. 2. Lavado de sólidos flotantes en sedimentadores primarios.



Figura 1.11. 3. Lavado de vertederos en los sedimentadores primarios.

En el Cuadro 1.11.1 se pueden observar los consumos mensuales de agua potable, el promedio mensual tomando en cuenta los 12 datos y la proyección de consumo diaria en la planta.

Cuadro 1.11.1. Datos de consumo de agua potable de la planta durante el 2020.

Mes	Consumo (m ³)
Enero	1577
Febrero	1277
Marzo	1320
Abril	1087
Mayo	762
Junio	689
Julio	885
Agosto	1436
Septiembre	2711
Octubre	4159
Noviembre	3092
Diciembre	4159
Promedio Mensual	1929
Promedio diario	64.3

Sin embargo, se debe de tomar en cuenta que los datos utilizados también contemplan el consumo de agua que se da en la oficina y la caseta de operación, ya que ambas instalaciones cuentan con baños y pila. Por lo que, tomando como referencia a Sanabria, (2018) se estimó

que en una oficina una persona consume 20 L/día de agua. Sabiendo que en la oficina siempre hay tres personas y que en la caseta de operación hay cuatro operadores por día, al promedio de consumo se le restó un valor de 140 L/día o bien 0.1 m³/día. Obteniendo un caudal de diseño de 64.2 m³/día.

Considerando aspectos constructivos y operativos, para el caso de los dos métodos de desinfección evaluados (cloro y UV) propone un tiempo de operación de seis horas, el cuál correspondería a un turno de trabajo en la parte de operación de la planta. Por lo que el caudal de diseño es de 10.1 m³/h.

1.12 Determinación de la calidad del afluente para el sistema de tratamiento terciario

Actualmente en la PTAR de El Roble, cuentan con un tren de tratamiento que logra generar un efluente que cumple con los límites de vertido establecidos por normativa, en los distintos parámetros. Esto se puede ver de forma gráfica en las Figuras 1.12.1, 1.12.2 y 1.12.3, en donde se presenta el comportamiento para; DQO, DBO y sólidos suspendidos sedimentables respectivamente del período 2019 al 2021.

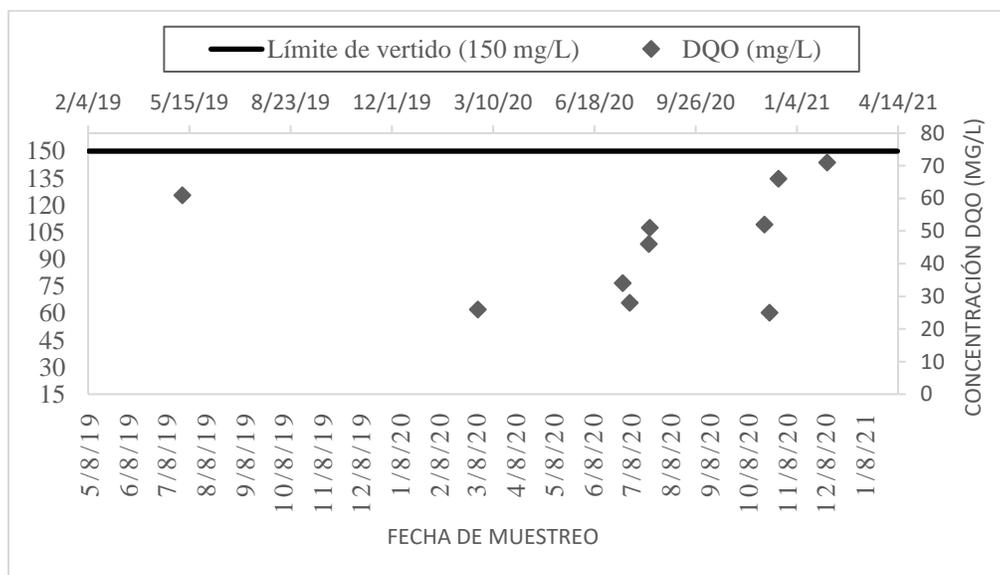


Figura 1.12.1. Comportamiento de la concentración del DQO en el efluente.

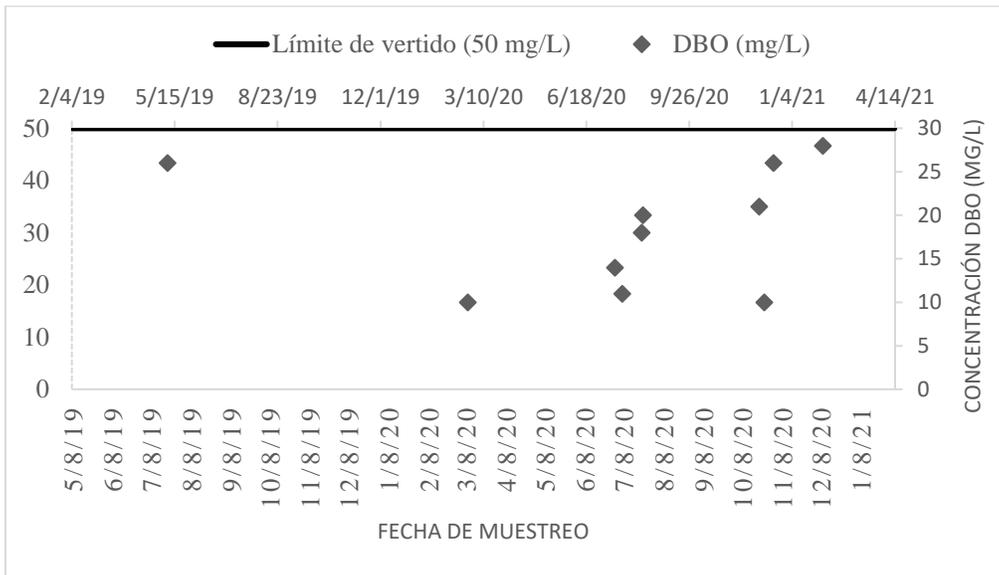


Figura 1.12.2. Comportamiento de la concentración del DBO en el efluente.

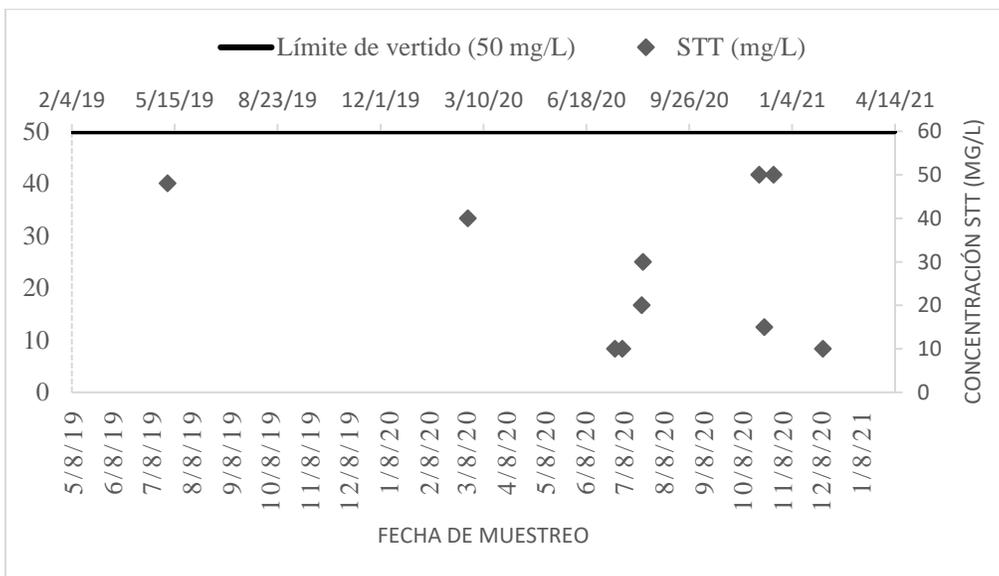


Figura 1.12.3. Comportamiento de la concentración de los SST en el efluente.

De igual forma en el Cuadro 1.12.1, se puede observar la caracterización de efluente de la planta y como este cumple con los límites de vertido para los principales parámetros de agua residual. Por otra parte, en el caso de los parámetros para los objetivos de diseño; coliformes y huevos de helmintos. Se puede observar en el mismo cuadro, que el afluente del sistema de tratamiento terciario ya cumple con el límite establecido para huevos de helmintos. No

obstante, en el caso para los coliformes fecales se obtuvo un valor promedio de 6933 ± 3123 NMP/100 mL, el cual está por encima del límite establecido. Por lo que, el parámetro de coliformes se consideró como el objetivo de tratamiento principal.

Cuadro 1.12. 1. Caracterización del efluente de la PTAR del Roble, Puntarenas.

Parámetro	Unidad	Cantidad de datos	Promedio	Desviación estándar	Límite establecido en normativa nacional
pH		10	7.2	0.1	9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	46	17	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	10	18.4	6.9	50
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	10	28.3	17.4	50
Sólidos sedimentables (S.SED)	mg/L	10	0.3	0.2	1
Grasas y Aceites (GYA)	mg/L	10	6.3	1.2	30
Sustancias activas azul de metileno (SAAM)	mg/L	10	0.5	0.2	5
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	6	6933	3123	1000
Huevos de Helminthos	(Huevos/mL)	6	<1/L	-----	1

Por consiguiente, tomado en cuenta el promedio calculado y el límite establecido por la norma nacional, se concluyó que se debía de diseñar un sistema de tratamiento con una eficiencia de remoción de un 86%.

1.13 Diseño preliminar de las tecnologías de tratamiento terciario

Humedal

En Khan et al., (2020) se menciona que los humedales tienen un alto potencial para abordar los desafíos sociales y económicos con respecto el reúso seguro del agua residual. Sin embargo, Navarro & Durán, (2019) mencionan que la principal desventaja de este tipo de tecnologías es el área necesaria para su correcto funcionamiento.

Para el dimensionamiento de este método de tratamiento se consideró un humedal de flujo subsuperficial, debido a que Nan et al., (2020) indica que generalmente esta configuración de humedal presenta un mejor rendimiento en comparación con los humedales de flujo superficial. De igual forma se utilizó el valor promedio de 18.4 mg/L de DBO para el afluente del sistema, presente en el Cuadro 1.12.1 Por otra parte, de acuerdo con la literatura, la profundidad de un humedal generalmente varía de 0.3 a 1.0 m, con un valor usual de 0.6 m. Además, cuenta con una pendiente de 0.1 a 1.0%, siendo el valor usual de 0.5%. En cuanto a la porosidad generalmente se recomienda utilizar grava con menos de 30 mm (3/4") de diámetro.

Considerando todos los datos que se adoptan de acuerdo con la literatura, se obtiene como resultado un humedal con una dimensión de 31 metros de largo y 15.5 metros de ancho. En el Cuadro 1.13.1 se muestra el resumen del predimensionamiento. La muestra de cálculo se memoria en el Anexo 2.

Cuadro 1.13. 1. Parámetros constructivos del humedal.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de diseño	64.2	m ³ /d
Número de unidades	1	-----
Caudal por unidad	61.2	m ³ /d
Temperatura	25	°C
DBO afluente	18.4	mg/L
DBO efluente	9.2	mg/L
Constante para 20 °C	0.2	día ⁻¹
Altura adoptada	0.6	m
Porosidad del medio	0.5	
Pendiente	0.005	m/m
Altura adoptada	0.6	m
Constante temperatura corregida	0.31	día ⁻¹
Tiempo de retención hidráulico calculado	2.2	día
Área superficial	459	m ²
Relación Largo:Ancho	2	-----
Ancho Humedal	15.5	m
Largo Humedal	31	m

En el caso de la remoción de coliformes, esta se va a dar por medio de cualquiera de las especies vegetales que se decidan incorporar al humedal. De acuerdo con Delgadillo et al.,

(2010), varios autores concuerdan que este tipo de remoción alcanza niveles de eficiencia de más de 90%, el cual está por encima del nivel de eficiencia requerido. Además, de acuerdo con Nivala et al., (2017) se considera que un valor de dos es adecuado para asumir en la relación Largo: Ancho de esta tecnología.

Sistema de desinfección con UV

Según Carré et al., (2018) la desinfección con UV actualmente es una tecnología muy utilizada para el tratamiento terciario de agua residuales. Siendo este un sistema confiable y económicamente viable. Además de que cuenta con la ventaja de que no presenta la formación de subproductos tóxicos, como puede suceder en la desinfección con cloro. No obstante, la EPA, (2011) establece que el uso de la desinfección con lámparas UV de baja presión no es tan efectivo en el caso de efluentes secundarios con niveles de SST mayores a 30 mg/L.

Para el dimensionamiento del sistema de desinfección con UV, se realizó el diseño de un canal rectangular por donde va a fluir el agua y se dará el contacto. con el equipo de desinfección UV. Se asumirá un tiempo de residencia de 20 segundos recomendado en Romeo, (2014) y una velocidad de 0.02 m/s.

De forma tal, se obtiene un canal de 53.2 cm de ancho y 32 cm de altura, considerando un borde libre que sea igual a un 10% del valor de la altura del canal. En el Cuadro 1.13.2 se muestra el resumen del predimensionamiento. La memoria de cálculo se muestra en el Anexo 2.

Cuadro 1.13. 2. Parámetros constructivos del canal de contacto.

Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo de contacto	20	segundos
Velocidad del flujo	0.02	m/s
Caudal de diseño	10.2	m ³ /h
Área del canal	0.1	m ²
Ancho	53.2	cm
Altura	26.6	cm
Borde libre	5.3	cm
Altura total	31.9	cm

En el aspecto constructivo del canal, este se puede construir tanto en concreto como utilizando láminas aluminio, acero inoxidable o cualquier otra aleación. En cuanto al dimensionamiento del equipo de desinfección UV, de acuerdo con Romeo, (2014) para lograr una eficiencia de remoción de coliformes fecales de más de un 90% se necesita una dosificación de 6600 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$. Considerando esta dosificación y que se pretende utilizar lámparas de baja presión se deberá de consultar al proveedor la cantidad de lámparas necesarias para cumplir con ese nivel de dosificación.

Cámara de contacto de cloro

De acuerdo con Zhou et al., (2016) de todos los desinfectantes utilizados para la desinfección de agua residual el más utilizado es el cloro, debido a sus establecidas dosis de aplicación, alta eficiencia de remoción, bajo costo y su elevada acción residual. Sin embargo, la EPA, (2011) establece que el cloro residual aún a bajas concentraciones es tóxico para los organismos acuáticos y por ello puede ser necesario la realización de un proceso de descloración, utilizando algún agente de descloración como; carbón activado o sulfito de sodio.

En cuanto al dimensionamiento de la cámara de contacto se asume una altura de tabique de 70 cm, recomendada en Zambrano, (2020). Además, se propone una velocidad de flujo de 0.02 m/s.

Tomando en cuenta todos los datos asumidos se obtiene una cámara de contacto de 6.1 metros de longitud, un ancho de 1.2 metros (asumido) y 30 tabiques. En el Cuadro 1.13.3 se muestra el resumen del predimensionamiento. La memoria de cálculo se muestra en el Anexo 2.

Cuadro 1.13. 3. Parámetros constructivos de la cámara de contacto de cloro.

Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo de contacto	30	minutos
Altura Tabique	0.7	m
Velocidad del flujo	0.02	m/s
Caudal de diseño	10.2	m^3/h
Ancho de cada sección	20	cm
Longitud del recorrido	36	m
Área Superficial	7.3	m^2
Ancho	1.2	m
Longitud	6.1	m

La forma de cloro que se usará para desinfectar es el hipoclorito de calcio. Para el tema de la dosificación de acuerdo con Reyes, (2016), para aguas secundarias provenientes de sistemas de lodos activados se recomiendan dosis de 4-10 mg/L. Por lo que se propone una dosificación de 10 mg/L para alcanzar niveles de remoción de más de un 90%. Asimismo, se asume un tiempo de contacto de 30 minutos. En caso de la necesidad de un proceso de descloración, esto se considera innecesario ya que el agua de reúso no se va a verter de forma directa en cuerpos de agua.

1.14 Selección del método de tratamiento

Para la selección del sistema de tratamiento se analiza las implicaciones en cada uno de los indicadores a describir:

- Eficiencia de remoción

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada cualquiera de los tres métodos de tratamiento logra cumplir con los objetivos de desinfección propuestos. Ya que, utilizando las especies vegetales adecuadas en el caso de los humedales, o bien utilizando la dosificación adecuada de desinfección para los sistemas de cloro y UV, se pueden lograr eficiencias de remoción por encima del 86% requerido en la PTAR. Por lo que en este indicador se le asignara un tres a cada sistema propuesto.

- Aplicabilidad

En el caso del humedal cuenta con la desventaja de que es el método de tratamiento que necesita de mayor espacio físico. En el tema de la remoción de coliformes, el acceso a las especies vegetales necesarias no representa una mayor dificultad.

Por otra parte, tanto el sistema de desinfección con cloro como el sistema de desinfección con UV no representan un gran uso de espacio físico. No obstante, en el tema de accesibilidad a los desinfectantes si se presenta una gran diferencia entre ambos. Para la desinfección con cloro se va a utilizar hipoclorito de calcio, el cuál es un producto comercial que actualmente manejan en la PTAR de El Roble. En cuanto a la desinfección con UV se deben de buscar proveedores específicos que exporten las lámparas necesarias. Asimismo, estas lámparas se deben de cambiar cada 18 meses (Wright & Cairns, 2000).

Bajo estas condiciones al humedal y al sistema de desinfección UV se les asigna una nota de dos y al método de desinfección con cloro se les asigna un tres.

- Operatividad

Para el caso de seguridad el tratamiento de radiación ultravioleta es clasificado como un método altamente seguro. Mientras que, para desinfección con hipoclorito de calcio se le califica como moderadamente seguro (Fuhrmann & Rudolph, 2007). En el caso de los

humedales estos también se describen como métodos seguros, si hace un control adecuado de plagas (Alarcón et al, 2018).

Con respecto al mantenimiento, todos los métodos requieren cuidados rigurosos en algún aspecto. En el caso de los humedales se deben de realizar cortes y remoción de plantas de forma periódica. Además de que a lo largo de los años se van a tener acumulaciones de lodo que hay que remover (Nivala et al., 2017).

Para el caso del método de desinfección con cloro se debe de vigilar la dosificación de hipoclorito de calcio periódicamente, verificando que se esté aplicando una dosis adecuada. Asimismo, todas las formas de cloro son muy corrosivas y tóxicas. Como consecuencia, requiere de formas de almacenamiento, transporte y manejo más exigentes (EPA, 2011). No obstante, la PTAR actualmente cuenta con una bodega donde se guardan distintos reactivos peligrosos, por lo que esta situación no supondría un mayor problema.

Por otra parte, en el caso de la desinfección con UV se debe de considerar el suministro de electricidad necesario para el funcionamiento de las lámparas, lo cual implica un aumento en costos de mantenimiento. De igual forma, la turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual hacen que la desinfección con luz UV sea ineficaz, por lo que serían parámetros que se deban de vigilar diariamente.

Tomando todas las consideraciones anteriores al método de humedal y a la desinfección con cloro le asigna una nota de dos, y al método de desinfección con UV se le asigna una nota de uno.

- Costos

De acuerdo con Alarcón et al., (2018) uno de los principales beneficios de los humedales son sus bajos costos de operación y mantenimiento, comparado a cualquier otro método tratamiento terciario. Con respecto a los métodos de desinfección analizados se tiene que la EPA, (2011) establece que la cloración es más eficiente en términos de costo que la radiación UV. Esto se confirma en Zarate, (2016), el cual menciona que los métodos con cloro presentan un costo aproximado de 0.147 USD/m³ mientras que el método de UV cuenta con uno de 0.273 USD/m³.

Tomando en cuenta la información anterior, a los humedales y la desinfección con cloro se les asigna un valor de tres mientras que a la radiación UV un valor de dos.

El Cuadro 1.14.1 presenta el resumen de los indicadores para cada una de las tecnologías analizadas. Se puede ver el método con mayor puntuación en la matriz de selección es la desinfección con cloro, con 11 puntos, le sigue el humedal con 10 y de último estaría la desinfección con UV.

Cuadro 1.14. 1. Matriz de selección de tecnología de tratamiento.

Criterio	Humedal	Desinfección Cloro	Desinfección UV
Eficiencia de remoción	3	3	3
Aplicabilidad	2	3	2
Operatividad	2	2	1
Costos	3	3	2
Total	10	11	8

Finalmente para selección final de método de tratamiento a diseñar se realizó una reunión con la encargada de la planta, su asistente y el jefe técnico para discutir los resultados de la matriz de evaluación y los aspectos constructivos de cada uno de los métodos. Considerando estos resultados se validó la selección de la cámara de contacto de cloro como tratamiento complementario a diseñar.

1.15 Dimensionamiento del sistema de tratamiento terciario seleccionado

El elemento principal del sistema de tratamiento terciario es la cámara de contacto de cloro, todos los parámetros constructivos de la misma se encuentran en el Cuadro 1.13.3 presentado en la Sección 1.13. En la Figura 1.15.1 se presenta la distribución y ubicación del sistema en la planta de tratamiento. En la misma figura, se pueden ver los otros elementos necesarios para el sistema de tratamiento terciario; como lo son el tanque de almacenamiento para el agua tratada y la bomba que se van a utilizar para impulsar el agua a la manguera utilizada en las actividades de lavado y riego.

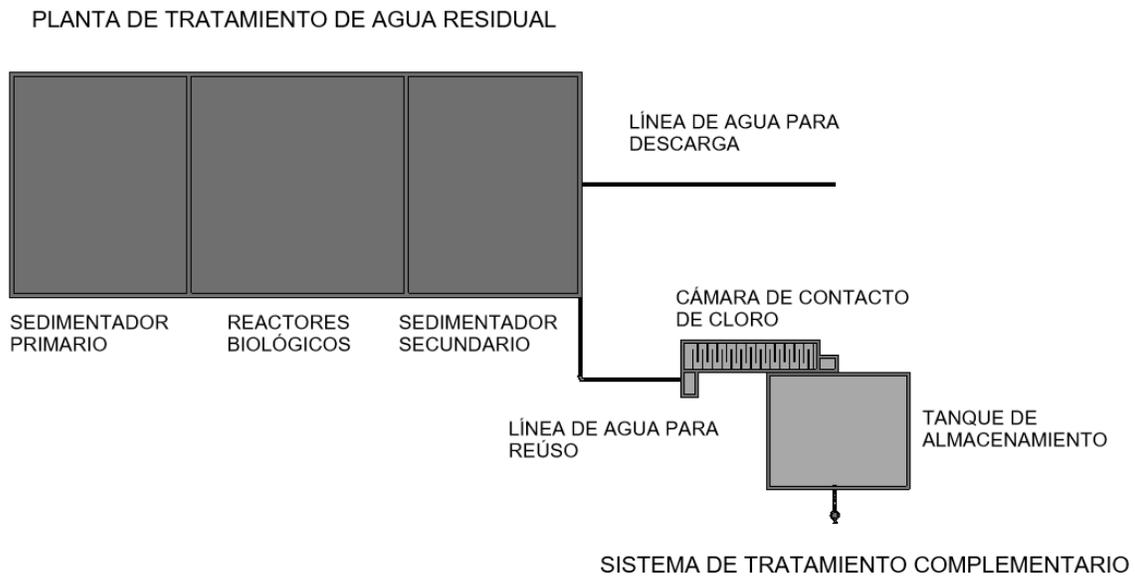


Figura 1.15.1. Vista en planta de la distribución del sistema de tratamiento complementario.

En el caso del tanque de almacenamiento se propuso un tanque para el volumen promedio diario de consumo en la planta. Tomando en cuenta que, en el caso de un día crítico donde se necesite un mayor volumen de agua, se debe de suplir esa diferencia con agua potable. Para la bomba se seleccionó una bomba de dos HP. La memoria de cálculo para el tanque de almacenamiento y de la bomba se muestra en el Anexo 2.

Asimismo, en el Cuadro 1.15.1 se muestra un resumen con los diferentes elementos del sistema de tratamiento terciario. Los planos del sistema se presentan en el Anexo 3.

Cuadro 1.15. 1. Elementos del sistema de tratamiento complementario.

Elemento	Características	
	Valor	Unidad
Cámara de contacto de cloro	6.1 de largo	m
	1.2 de ancho	m
	1.1 altura total	m
	75 altura tabiques	cm
	0.5 borde libre	m
Tanque de almacenamiento	6.3 de largo	m
	5.1 de ancho	m
	2 de alto	m
Bomba	2	HP
Tubería	1 de diámetro	Pulgada

1.16 Determinación del costo de inversión del sistema

De acuerdo con Peters, (2002), la inversión de capital fijo se refiere al capital necesario para implementar el proyecto, en cuanto a acondicionamiento, instalación y funcionamiento de equipos y materiales. Por otra parte, los recursos necesarios para llevar a cabo la operación se le conoce como capital de trabajo. La sumatoria del capital fijo más el capital de trabajo se le conoce como capital total de inversión. En el Cuadro 1.16.1 se muestran los costos relacionados con la materia prima y equipos.

Cuadro 1.16. 1. Costos del sistema de tratamiento complementario.

Rubro	Dimensiones	Costo unitario (₡)	Costo total (₡)
Cámara de contacto de cloro	31 m ² de pared de mampostería con bloques de 12x20x40 cm	19,500 por m ²	604,500
Tabiques	16 m ² de lámina de micro concreto de 12 mm	3,783.3 por m ²	60,533
Tanque de almacenamiento	78 m ² pared de mampostería con bloques de 12x20x40 cm	19,500 por m ²	1,521,000
Excavación y movimiento de material	Se deben retirar alrededor de 68 m ³ de tierra	4550 por m ³	309,400
Bomba	2 HP	600,000	600,000
Tubería PVC serie 40	6 metros de tubería de ø 1''	20,000 por m	120,000
Codo 45° pvc serie 40	2 de ø 1''	2900 unidad	5800
Total			3,221,233

Para el cálculo de los costos directos e indirectos se utiliza como base el costo total de materiales y equipos con un factor de seguridad del 10 %, y se consideran los intervalos porcentuales recomendados por Peters, (2002) para la determinación del capital fijo de inversión:

- **Instalación de equipos:** Implica los factores relacionados con el montaje de los equipos, tales como gastos de mano de obra, construcción, pintura, entre otros. Se le asigna un costo de 10 % sobre los costos de materiales y equipos.
- **Control e instrumentación:** se refiere al costo de instrumentos, instalación, calibración y gasto de materiales auxiliares. Le corresponde un 4 % del costo de materiales y equipos.
- **Instalación eléctrica:** Representa el 2 % de los gastos de materiales y equipos.
- **Puesta en marcha:** Representa el 10 % de los gastos de materiales y equipos.
- **Gastos de construcción:** incluye la construcción y operatividad temporal, herramientas, permisos, impuestos, seguros y gastos generales de construcción. Se selecciona un 50 % de los gastos de materiales y equipos.
- **Factor de honorarios del contratista:** Se considera un costo promedio de la obra y se le asigna un 6 %.
- **Contingencias:** factor para compensar eventos impredecibles, tales como tormentas, cambios de precios, inundaciones, errores de estimación. Se selecciona un 10%.

La síntesis de costos anteriores se muestra en el Cuadro 1.16.2.

Cuadro 1.16. 2. Costos directos e indirectos de la inversión.

Rubro	Costo (C)
Instalación de equipos	322,123.28
Control e instrumentación	128,849.31
Instalación eléctrica	64,424.66
Puesta en marcha	322,123.28
Gastos de construcción	1,610,616.40
Honorarios del contratista	193,273.97
Contingencias	32,212.33
Total de inversión	5,572,732.74

Por otra parte también se deben de considerar los costos de operación y mantenimiento asociados con la implementación de este sistema de tratamiento complementario. En este caso los encargados de operar y mantener el sistema van a ser los operadores que ya trabajan en la PTAR de El Roble, por lo que esto no va a representar un costo extra para la planta. No obstante, la utilización del hipoclorito de calcio si representa un costo de operación extra para la planta. Tal y como se menciona en la Sección 1.13, de acuerdo con Reyes, (2016) se recomiendan dosis de 4-10 mg/L. Por lo que se propone una dosificación de 10 mg/L para alcanzar niveles de remoción de más de un 90%. En el Cuadro 1.16.3 se puede observar el detalle del costo anual que representa la compra de este reactivo, considerando la dosis propuesta.

Cuadro 1.16. 3. Costos por motivo de reactivo para cloración.

Reactivo	Especificaciones	Costo unitario (₡)	Costo total por mes (₡)	Costo total por año (₡)
Hipoclorito de calcio	Pastillas de cloro	14,375 por kg	276,690	3,320,280

1.17 Análisis costo beneficio del sistema de tratamiento terciario

De acuerdo con Andrade Pinelo, (2021) el período de recuperación de la inversión (PRI) es un indicador económico que mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente. Puede revelarnos con precisión, en años, meses y días, la fecha en la cual será cubierta la inversión inicial. Para poder calcular el PRI de este proyecto, se debe de tener la inversión inicial, los costos anuales y el ahorro que supondría la implementación del sistema. En este caso el ahorro corresponde al pago anual por el consumo de agua en la planta, en el Cuadro 1.17.1 se puede ver los datos utilizados para el cálculo del gasto anual de la planta por el concepto de agua. Además en el Cuadro 1.17.2 se presenta el flujo de caja realizado para el cálculo del PRI, la memoria de cálculo se muestra en el Anexo 2.

Cuadro 1.17. 1. Costo por consumo de agua en la planta.

Rango de m ³	Costo de m ³	Gasto de m ³ en los distintos rangos	Costo total (₡)
0-15	1620	15	24,300
16-25	1964	9	17,676

26-40	1964	14	27,496
41-60	1964	19	37,316
61-80	1964	19	37,316
80-100	1964	20	39,280
101-120	1964	19	37,316
más de 120	2063	1809.8	3,733,617.4
Cargo fijo			2000
Tarifa servicio fijo			143,277
Total mensual			4,099,594.40
Total anual			49,195,132.80

Cuadro 1.17. 2. Flujo de efectivo para el cálculo del PRI.

Año	0	1	2	3
Inversión inicial	-5,572,732.74			
Costos de Operación (Reactivo)		3,320,280	3,320,280	3,320,280
Ahorro		49,195,132.80	49,195,132.80	49,195,132.80
Flujo efectivo		45,874,853	45,874,853	45,874,853
Flujo acumulado		45,874,853	91,749,706	137,624,558
PRI	0.12 años			
	1.5 meses			
	15 días			

Con el resultado presentado en el Cuadro 1.17.2 se afirma que la implementación de un sistema de tratamiento complementario para fines de reúso es un proyecto rentable y beneficioso para la PTAR de El Roble. Ya que al final, de acuerdo con el PRI, la recuperación de la inversión se obtendrá en 0 años, 1 mes y 15 días.

Por otra parte, también se puede hablar de otros beneficios fuera de lo económico. En el tema de responsabilidad ambiental, se obtiene el beneficio en la disminución de efluente de agua residual que se descarga en el Estero de Puntarenas. Disminuyendo el impacto ambiental generado en este cuerpo receptor y las especies marinas. Esta situación va de la mano con proyectos como el que se inició el año pasado por parte del SINAC, Conservación Internacional y el CATIE para la recuperación de hasta 300 hectáreas del Humedal Estero Puntarenas.

De igual forma, también se debe de considerar el mejoramiento de la imagen de la planta en la comunidad. Debido a que en ocasiones anteriores los vecinos de la comunidad ya han

planteado molestias por la presencia de la planta (Saénz & Calvo, 2016). Por lo que con la realización de este tipo de proyectos la PTAR de El Roble tiene la posibilidad de cambiar la perspectiva que tienen con respecto a la planta. De forma tal que se muestre el compromiso que tiene la planta con asegurar la sostenibilidad hídrica y el mejorar la calidad de vida en la comunidad.

CONCLUSIONES

La principal fuente de consumo de agua potable en la PTAR de El Roble, Puntarenas corresponde al utilizado en las distintas actividades de riego y lavado, siendo necesario un caudal de 64.2 m³/día. Esto representa un elevado consumo de agua de alta calidad en actividades que no necesitan ese nivel de potabilización. Es por ello por lo que se propuso un sistema de tratamiento complementario, para el reúso de agua residual en actividades de lavado y riego de la PTAR de El Roble, Puntarenas.

Se determinó que el efluente generado en la PTAR de El Roble, Puntarenas cumple con todos los límites de vertido establecidos para los distintos parámetros regulados en la legislación nacional. En el caso de los parámetros de reúso, logra cumplir con el límite establecido para los huevos de helmintos. Sin embargo, en el caso de coliformes fecales el valor promedio del efluente es de 6933 NMP/100 mL, siendo este casi siete veces mayor al límite establecido en la normativa.

De tres tecnologías estudiadas (humedales, desinfección con cloro y desinfección con UV), la tecnología seleccionada para el sistema de tratamiento complementario fue la desinfección con cloro, ya que cumple satisfactoriamente con los indicadores de eficiencia de remoción, aplicabilidad, operatividad y costo, presentes en la matriz de evaluación. En comparación con el humedal que implicaba dificultad para su aplicabilidad debido al tamaño del sistema; y con la desinfección con UV por sus altos costos de operación relacionados a la compra de las lámparas.

El sistema de tratamiento terciario propuesto para la PTAR de El Roble, Puntarenas consiste en una cámara de contacto de cloro de 8.1 m³ seguido por un tanque de almacenamiento de 16.2 m³ y finalizando con una bomba de 2 HP para la impulsión del agua de reúso.

La inversión inicial para el sistema de tratamiento complementario será \$5,572,732.74 y su costo de operación anual será \$3,320,280. Por lo que en el primer año de

implementación del sistema se deberá invertir un total de ₡ 8,893,012.74. Considerando que al implementar este sistema la PTAR se ahorrará alrededor de ₡ 49,195,132.80 en consumo de agua potable al año. Se determinó que el proyecto cuenta con un PRI de 1 mes y 15 días, por lo que se puede afirmar que la implementación de este sistema es rentable y beneficioso para la PTAR del El Roble, Puntarenas.

La implementación de este sistema no solo va a generar un beneficio económico sino también beneficios ambientales, como lo son la disminución del impacto generado por el vertimiento de agua residual y en la sostenibilidad del recurso hídrico de la zona. Además de mejorar la imagen de la planta en la comunidad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar periódicamente pruebas de demanda de cloro determinar la dosis ideal de hipoclorito de calcio necesaria para la cámara de contacto, considerando las características del efluente de la PTAR de El Roble, Puntarenas, y sus fluctuaciones, además de que esta cumpla con los estándares de calidad microbiológica requerida.

Se recomienda el realizar un monitoreo mensual de los parámetros de reúso; huevos de helmintos y coliformes. Mediante análisis de laboratorio para comprobar la eficiencia del sistema de tratamiento terciario.

Se recomienda capacitar a los operadores para el correcto mantenimiento y operación del sistema de tratamiento terciario e implementar las medidas y equipos de protección correspondientes.

REFERENCIAS

- Alarcón Herrera, M. T., Zurita Martínez, F., Lara-Borrero, J. A., Sáez, V., & Gladys, C. (2018). Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina.
- Albergamo, V., Blankert, B., Cornelissen, E. R., Hofs, B., Knibbe, W. J., van der Meer, W., & de Voogt, P. (2019). Removal of polar organic micropollutants by pilot-scale reverse osmosis drinking water treatment. *Water Research*, *148*, 535–545. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.029>
- Álvarez, J. A., Ávila, C., Otter, P., Kilian, R., Istenič, D., Rolletschek, M., Arias, C. A. (2017). Constructed wetlands and solar-driven disinfection technologies for sustainable wastewater treatment and reclamation in rural India: SWINGS project. *Water Science and Technology*, *76*(6), 1474–1489.
- Arias Martínez, S. A., Betancur Toro, F. M., Gómez Rojas, G., Salazar Giraldo, J. P., & Hernández Ángel, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*, *74*. <https://doi.org/10.23850/22565035.5>
- Andrade Pinelo, A. M. (2021). Aplicación del índice de rentabilidad (IR) y el período de recuperación de la inversión (PRI).
- Bermudez Timoteo, G. W. (2019). Tratamiento de agua residual del camal municipal de Chimbote, usando un Biofiltro de lombrices, para el riego de parques y jardines.
- Brito, M. E. G., & Fernández, A. G. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA*, *4*(7), 2.
- Calderón Landy, G. R. (2014). Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta (Bachelor's thesis).
- Carré, E., Pérot, J., Jauzein, V., & Lopez-Ferber, M. (2018). Impact of suspended particles on UV disinfection of activated-sludge effluent with the aim of reclamation. *Journal of Water Process Engineering*, *22*, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.01.016>
- Colonia Moya, M. A., & Peña Parrales, S. A. (2017). Estado Del Arte De Los Sistemas Ifas (Integrated Fixed/Film Activated Sludge) Y Mbbr (Moving Bed Biofilm Reactor) Para El Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas. (Tesis Doctoral). Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Quimica.

- Cui, B., & Liang, S. (2019). Monitoring opportunistic pathogens in domestic wastewater from a pilot-scale anaerobic biofilm reactor to reuse in agricultural irrigation. *Water (Switzerland)*, 11(6).
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*.
- Egbuikwem, P. N., Mierzwa, J. C., & Saroj, D. P. (2020). Assessment of suspended growth biological process for treatment and reuse of mixed wastewater for irrigation of edible crops under hydroponic conditions. *Agricultural Water Management*, 231(October 2019), 106034. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106034>
- Environmental Protection Agency. (2011). *Water Treatment Manual : Desinfection*. Wexford, Ireland: Johnstown Castle.
- Escobar Rojas, M. C., Tovar Bonilla, L. F., & Romero Cuéllar, J. (2016). Diseño de un sistema experto para reutilización de aguas residuales tratadas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(2), 21–34. <https://doi.org/10.18359/rcin.1827>
- Fernández, E. (24 de enero de 2016). Hoteles aplican diversas tácticas para ahorra agua en Guanacaste. El Financiero. Recuperado el 10 de abril de 2020 de <https://www.elfinancierocr.com/negocios/hoteles-aplican-diversas-tacticas-para-ahorrar-agua-en-guanacaste/IIH3DOH5EJBQPGOLASBFRJPUXI/story/>
- Fuhrmann, T., & Rudolph, K. (2007). Subsequent disinfection of wastewater pond's effluent by UV irradiation. Witten, Alemania: Institute of Environmental Engineering and Management at the University of Witten/Herdecke.
- Goffi, A. S., Trojan, F., de Lima, J. D., Lizot, M., & Thesari, S. S. (2018). Economic feasibility for selecting wastewater treatment systems. *Water Science and Technology*, 78(12), 2518–2531. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.012>
- Ilyas, H., & Masih, I. (2017). Intensification of constructed wetlands for land area reduction: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(13), 12081–12091. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8740-z>
- Jones, E. R., Van Vliet, M. T., Qadir, M., & Bierkens, M. F. (2021). Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data*, 13(2), 237-254.

- Khan, N. A., El Morabet, R., Khan, R. A., Ahmed, S., Dhingra, A., Alsubih, M., & Khan, A. R. (2020). Horizontal sub surface flow Constructed Wetlands coupled with tubesettler for hospital wastewater treatment. *Journal of environmental management*, 267, 110627.
- Khawaga, R. I., Abdel Jabbar, N., Al-Asheh, S., & Abouleish, M. (2019). Model identification and control of chlorine residual for disinfection of wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100936>
- Lazo, A. (2012). Evaluación Operativa y Oportunidades de Mejora Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Roble de Puntarenas. San José. Costa Rica
- Ley N° 33601. Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Diario Oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 9 de agosto del 2006.
- Ley N° 40260-S-MINAE. Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales. Diario Oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 7 de marzo del 2017.
- Ministerio de Hacienda (2021). Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva.
- Metcalf & Eddy, I. (2004). Wastewater Engineering: Treatment, discharge and reuse. (Fourth edition, pp. 10-11). Mexico: McGraw-Hill.
- Molinos-Senante, M. (2018). Urban Water Management. In *Global Issues in Water Policy* (Vol. 21, pp. 131–150). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76702-4_9
- Moraga, L. S. A. (2015). *Evaluación de procesos de desinfección (Cloro y UV) en sistemas de tratamiento de aguas servidas descentralizados (Humedales construidos)* (Doctoral dissertation, Universidad de Concepción).
- Moran, S. (2018). *An Applied Guide to Water and Effluent Treatment Plant Design*. Butterworth-Heinemann.
- Nan, X., Lavrnić, S., & Toscano, A. (2020). Potential of constructed wetland treatment systems for agricultural wastewater reuse under the EU framework. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 275). Academic Press.
- Navarro-Frómata, A. E., & Durán-Domínguez, M. D. C. (2019). El tratamiento descentralizado del agua residual de pequeñas localidades rurales y suburbanas: los humedales construidos, una tecnología a considerar. *Revista Cubana de Química*, 31, 87-104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111219>
- Nivala, Jaime., Puigagut, Jaume., von Sperling, Marcos., Dotro, Gabriela., Stein, Otto., Molle, Pascal., & Langergraber, Gunter. (2017). *Treatment Wetlands*. IWA Publishing.

- Noyola, Morgan-Sagastume, & Guereca. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Guía de Apoyo para Ciudades Pequeñas y Medianas*.
- Paruch, A. M., & Mæhlum, T. (2012). Specific features of *Escherichia coli* that distinguish it from coliform and thermotolerant coliform bacteria and define it as the most accurate indicator of faecal contamination in the environment. *Ecological Indicators*, 23, 140–142. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.026>
- Peters, M., & Timmerhaus, K. (2002). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. USA: McGraw-Hill.
- Robles, I., Becerra, E., Barrios, J. A., Maya, C., Jiménez, B., Rodríguez-Valadez, F. J., Rivera, F., García-Espinoza, J. D., & Godínez, L. A. (2020). Inactivation of helminth eggs in an electro-Fenton reactor: Towards full electrochemical disinfection of human waste using activated carbon. *Chemosphere*, 250, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126260>
- Sáenz, L. E., Zambrano, D. A., & Calvo, J. A. (2016). Percepción comunitaria de los olores generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de El Roble-Puntarenas, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(2), 137. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i2.2697>
- Sanabria Artunduaga, T. H. (2018). Estimación de consumos de suelo para el servicio público domiciliario de agua. *Perspectiva Geográfica*, 23(1). <https://doi.org/10.19053/01233769.5862>
- Sánchez, M., Villalobos, N., Gutiérrez, E., & Caldera, Y. (2012). Diseño de un equipo de desinfección por luz ultravioleta para el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización.
- Tello, P., Mijailova, P., & Chamy, R. (2016). *Uso seguro del agua para el reúso*. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Ullah, A., Hussain, S., Wasim, A., & Jahanzaib, M. (2020). Development of a decision support system for the selection of wastewater treatment technologies. *Science of the Total Environment*, 731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139158>
- Winpenny, J., Heinz, I., Koo-Oshima, S., Salgot, M., Collado, J., Hernández, F., & Torricelli, R. (2013). Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Informe sobre temas hídricos. FAO, 124.
- World Health Organization. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater in agriculture and aquaculture*. World Health Organization.

- Wright, H. B., & Cairns, W. L. (1990). UV light. Canadá. Trojan Technologies Inc, 3020.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). (2017). The United Nations world water development report 2017. Wastewater: The untapped resource.
- Yu, S., Pang, H., Huang, S., Tang, H., Wang, S., Qiu, M., ... & Wang, X. (2021). Recent advances in metal-organic framework membranes for water treatment: a review. *Science of The Total Environment*, 800, 149662.
- Zambrano, D. A. (2020). Prediseños de estructura de entrada, filtro grueso dinámico, filtro grueso ascendente y cámara de contacto de cloro planta de Santa Cecilia de Tarrazú.
- Zarate, G. (2016). *Dimensionamiento y costeo de un sistema de tratamiento terciario para el reuso del efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa procesadora de carne de aves*. Universidad de Costa Rica.
- Zhou, X., Zhao, J., Li, Z., Song, J., Li, X., Yang, X., & Wang, D. (2016). Enhancement effects of ultrasound on secondary wastewater effluent disinfection by sodium hypochlorite and disinfection by-products analysis. *Ultrasonics sonochemistry*, 29, 60-66.
- Zhuchenko, A. I., Osipa, L. V., & Cheropkin, E. S. (2017). Design database for an automated control system of typical wastewater treatment processes. *International Journal of Engineering and Manufacturing*, 7(4), 36-50.

ANEXOS

Anexo 1: Pruebas microbiológicas del efluente de la PTAR de El Roble, Puntarenas



Telfax: 2219-8816 / Apartado 285-2400 Desamparados, San José

e-mail: mianalitica@gmail.com / Web: mianalitica.com

Resultado N°: 150221-D-1

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICO

FECHA: 15 DE FEBRERO DE 2021

CLIENTE: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

ATENCIÓN: Sr. MELVIN VILLALOBOS

DESCRIPCIÓN: MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DE LA SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UBICADA EN PUNTARENAS, EL ROBLE, ENTREGADAS POR EL SOLICITANTE A PERSONAL DE AQUOLAB S.A. PARA SU MANEJO Y ANALISIS EL DIA 8 DE FEBRERO DE 2021.

ANÁLISIS:

DIA	HORA	CODIGO AQUOLAB	COLIFORMES FECALES	NEMATODOS INTESTINALES
1	7:50 a.m.	21020807	7,0 x 10 ³ NMP/100 mL	<1/L
1	1:50 p.m.	21020808	8,4 x 10 ³ NMP/100 mL	<1/L
2	7:50 a.m.	21020809	9,4 x 10 ³ NMP/100 mL	<1/L
2	1:50 p.m.	21020810	1,1 x 10 ⁴ NMP/100 mL	<1/L
3	7:50 a.m.	21020811	6,3 x 10 ³ NMP/100 mL	<1/L
3	1:50 p.m.	21020812	9,4 x 10 ³ NMP/100 mL	<1/L

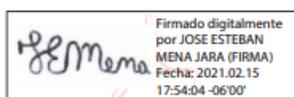
METODOLOGIA DE ANALISIS:

APHA/AWWA STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23RD EDITION, 2017: 9221 E Y 10750 B.

OBSERVACIONES:

NMP/100 mL: NUMERO MAS PROBABLE POR 100 mL, EN UN INTERVALO DE CONFIABILIDAD DEL 95%.

MUESTRA CODIGO MA: 090221-6 A 11.



Dr. ESTEBAN MENA JARA
M.Q.C. CODIGO 1470
GERENTE TECNICO



NOTA: Refiérase al código de esta muestra para cualquier consulta. Se satisface que los datos son actuales y relevantes a su uso particular. Este informe no puede ser reproducido en forma parcial o total, sin la aprobación escrita del laboratorio. Certificado nulo sin la firma digital del colegiado.
N° DE PSF: CS-ARS-D-PSF-2694-2021, RIGE: 22/01/2021, VENCE: 22/01/2023

MA-REG-07 / PAGINA 1 DE 1

MICROBIOLOGIA ANALITICA

Anexo 2: Memoria de cálculo

Dimensionamiento del humedal:

Para la determinación de la constante de temperatura corregida se utiliza la constante de temperatura teórica a 20 °C y la temperatura requerida.

$$K_t = K_{20} * 1.06^{(T-20)} \quad (1)$$

Donde:

K_t = Constante de reacción corregida (días⁻¹)

K_{20} = Constante del agua a 20 °C (días⁻¹)

T = Temperatura del agua residual °C

$$K_t = 0.23 * 1.06^{(25^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}$$

$$K_t = 0.31$$

Los humedales construidos pueden ser considerados como reactores biológicos de biomasa adherida y su funcionamiento para la remoción de la DBO y el nitrógeno puede ser estimado de acuerdo con una cinética de primer orden para un reactor con flujo pistón. Las relaciones básicas para los reactores con flujo pistón son las siguientes.

$$\frac{C}{C_0} = e^{(-K_t * t)} \quad (2)$$

Donde

C = Concentración del efluente (mg/l)

C₀ = Concentración del afluente (mg/l)

K_t = Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (días⁻¹)

t = Tiempo de retención hidráulico (días)

Despejando el tiempo de retención de la ecuación (2) se obtiene la ecuación (3), con la cual se calcula el tiempo de retención.

$$t = \frac{\text{LN}\left(\frac{C_0}{C}\right)}{K_T} \quad (3)$$

$$t = \frac{\text{LN}\left(\frac{18.4 \text{ mg/l}}{9.2 \text{ mg/l}}\right)}{0.31}$$

$$t = 2.25 \text{ días}$$

Una vez obtenido el tiempo de retención se procede al cálculo del área superficial del humedal.

$$A_s = \frac{Q * \text{LN}\left(\frac{C_0}{C}\right)}{K_t * h * n} \quad (4)$$

Donde:

A_s = Área Superficial (m^2)

Q = caudal de diseño del humedal ($\text{m}^3/\text{día}$)

C = concentración efluente (mg/l)

C_0 = concentración afluente (mg/l)

K_T = Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (días^{-1})

h = profundidad del humedal (m)

n = porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

Despejando K_T de la ecuación (3) se procede a sustituir la expresión en la ecuación (4), obteniendo la ecuación (5), que se utiliza para obtener el valor del área superficial.

$$A_s = \frac{Q * t}{h * n} \quad (5)$$

$$A_s = \frac{64.16 \text{ m}^3 * 2.25 \text{ días}}{0.6 \text{ m} * 0.5}$$

$$A_s = 482 \text{ m}^2$$

Considerando un valor teórico de la relación Largo-Ancho se obtiene el valor del ancho del humedal con la ecuación (6).

$$W = \left(\frac{A_s}{L:A} \right)^{0.5} \quad (6)$$

Donde:

W = Ancho del humedal (m)

A_s = Área Superficial (m²)

L: A = Relación Largo: Ancho

$$W = \left(\frac{482 \text{ m}^2}{2} \right)^{0.5}$$

$$W = 15.5 \text{ m}$$

Finalmente con el ancho del humedal y el área superficial se despeja el valor del largo del humedal de la ecuación (7).

$$L = W * L: A \quad (7)$$

Donde:

W = Ancho del humedal (m)

A_s = Área Superficial (m²)

L = Largo humedal (m)

$$L = 15.5 \text{ m} * 2$$

$$L = 31 \text{ m}$$

Dimensionamiento del canal rectangular:

Para el cálculo del área del canal rectangular se utiliza la fórmula (8) utilizando el caudal de diseño y un valor teórica de velocidad.

$$A = \frac{Q}{V} \quad (8)$$

Donde:

A = Área del canal (m²)

Q = Caudal de diseño (m³/s)

V = Velocidad del flujo (m/s)

$$A = \frac{0.00283 \text{ m}^3}{0.02 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.1415 \text{ m}^2$$

Posteriormente se utiliza la fórmula del área del rectángulo (9).

$$A = b \cdot y \quad (9)$$

Donde:

A = Área del canal (m²)

b = Ancho del canal (m)

y = Altura del canal (m)

Considerando que el ancho del canal es igual a 2 veces la altura, se despeja y de la ecuación (10) y se obtiene la ecuación (11). Con la que se obtiene la altura del canal.

$$A = 2y \cdot y \quad (10)$$

$$y = \sqrt{\frac{A}{2}} \quad (11)$$

$$y = \sqrt{\frac{0.1415 \text{ m}}{2}}$$

$$y = 0.2660 \text{ m}$$

$$y = 26.6 \text{ cm}$$

Finalmente se sustituye y en la ecuación (9) para obtener el valor del ancho del canal.

$$0.1415 \text{ m}^2 = b * 0.2660 \text{ m}$$

$$b = 0.5320 \text{ m}$$

$$b = 53.2 \text{ cm}$$

Dimensionamiento de la cámara de contacto de cloro:

Para el cálculo del área de la sección transversal de la cámara de contacto se utiliza la ecuación (8) utilizada en el dimensionamiento del canal rectangular, con el mismo caudal de diseño y un valor teórico de velocidad.

$$A = 0.1415 \text{ m}^2$$

Una vez calculado el área transversal se procede a calcular el ancho de cada sección transversal de la cámara. Par esto se utiliza la ecuación (12), aquí su selecciona un valor de altura de tabique, se recomienda utilizar valores entre 0.5-0.7 metros.

$$A = a * y \text{ (12)}$$

Donde:

A = Área de sección transversal (m)

a = Ancho de cada sección (m)

y = Altura tabique (m)

$$0.1415 = a * 0.7$$

$$a = 0.20 \text{ m}$$

Una vez obtenido el valor del ancho de cada sección transversal se procede a calcular la longitud del recorrido con la ecuación (13).

$$L_d = V * t \text{ (13)}$$

Donde:

Ld = Longitud del recorrido (m)

V = Velocidad (m/s)

t = tiempo de contacto (s)

$$Ld = 0.02 \frac{m}{s} * 1800 s$$

$$Ld = 36 m$$

Utilizando el valor obtenido con la ecuación (13) y el valor obtenido en la ecuación (12) se calcula el área de la cámara de cloro con la ecuación (14).

$$As = Ld * a \quad (14)$$

Donde:

As = Área de la cámara de cloro (m²)

Ld = Longitud del recorrido (m)

a = Ancho de cada sección (m)

$$As = 36 m * 0.20 m$$

$$As = 10.8 m^2$$

Con el valor del área superficial y eligiendo un valor constructivo para la altura de cámara se calcula el largo de la cámara de cloro con la ecuación (15).

$$As = L * B \quad (15)$$

Donde:

As = Área superficial de la cámara de contacto (m)

L = Largo de la cámara (m)

B = Ancho de la cámara (m)

Consideran un ancho de 1.2 m

$$10.8 m^2 = L * 1.2 m$$

$$L = 6.1 m$$

Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Considerando el volumen de agua que se va a tratar por día en el sistema de tratamiento complementario se calcula el dimensionamiento del tanque de almacenamiento.

$$V=A*L*h \text{ (16)}$$

Donde:

V = Volumen (m³)

A = Ancho (m)

L = Largo (m)

h = Altura (m)

Consideran un volumen de 61.16 m³, una altura de 2 m y un ancho de 5.1 m, se obtiene el largo del tanque.

$$64.16 \text{ m}^3 = 5.1 \text{ m} * L * 2 \text{ m}$$

$$L = 6.3 \text{ m}$$

Cálculo de la potencia de la bomba

Para el cálculo de la potencia de la bomba primero debemos calcular la EA que va a utilizar la bomba para la succión e impulsión del agua con la ecuación (17).

$$EA=(Z_E-Z_A)+(Z_B-Z_S)+(E_S+E_I) \text{ (17)}$$

Donde:

EA = Energía Añadida (m)

Z_E = Altura en el punto de succión (m)

Z_A = Altura de la entrada de la bomba (m)

Z_B = Altura en el punto de impulsión

Z_S = Altura a la salida de la bomba (m)

E_S = Pérdidas en succión

E_I = Pérdidas em impulsión

Antes de poder calcular la EA, primero se deben de calcular las pérdidas de energía que se dan en el sistema con la ecuación (18).

$$E=HL+HF \text{ (18)}$$

Donde:

E = Pérdidas (m)

HL = Pérdidas longitudinales (m)

HF = Pérdidas por fricción (m)

Para el calcular la pérdida total de energía, primero se deben calcular las pérdidas longitudinales y de fricción para la succión e impulsión del agua con las ecuaciones (19) y (20).

$$HL= \frac{8*K*Q^2}{g*\pi^2*D^4} \text{ (19)}$$

Donde:

HL = Pérdidas longitudinales (m)

K = Pérdidas por accesorios (m)

Q = Caudal (m³/s)

g = Constante de gravedad m/s²

D = Diámetro de la tubería (m)

$$HF=(\frac{3.5908*Q*L^{0.54}}{C*D^{2.63}})^{1.85} \text{ (20)}$$

Donde:

HF = Pérdidas por fricción (m)

Q = Caudal (m³/s)

D = Diámetro de la tubería (m)

L = Longitud del tramo (m)

C = Constante de Haze-Williams

Para las pérdidas por succión utilizando las ecuaciones (19), (20) y (18).

$$HL = \frac{8 * 0.4 * (0.00283 \frac{m^3}{s})^2}{9.82 \text{ m/s}^2 * \pi^2 * 0.0254 \text{ m}^4}$$

$$HL = 0.63 \text{ m}$$

$$HF = \left(\frac{3.5908 * 0.00283 * (2 \text{ m})^{0.54}}{150 * (0.0254)^{2.63}} \right)^{1.85}$$

$$HF = 2.24 \text{ m}$$

$$E = 0.63 \text{ m} + 2.24 \text{ m}$$

$$E = 2.87 \text{ m}$$

Para las pérdidas por impulsión utilizando las ecuaciones (19), (20) y (18).

$$HL = \frac{8 * 0.75 * (0.00283 \frac{m^3}{s})^2}{9.82 \text{ m/s}^2 * \pi^2 * 0.0254 \text{ m}^4}$$

$$HL = 1.19 \text{ m}$$

$$HF = \left(\frac{3.5908 * 0.00283 * (35 \text{ m})^{0.54}}{150 * (0.0254)^{2.63}} \right)^{1.85}$$

$$HF = 30 \text{ m}$$

$$E = 1.19 \text{ m} + 29 \text{ m}$$

$$E = 40.19 \text{ m}$$

Finalmente con los valores obtenidos para las pérdidas de succión e impulsión se calcula la EA del sistema con la ecuación (17).

$$EA = (-1.8 \text{ m} - 0) + (0 - 5.2 \text{ m}) + (2.87 \text{ m} + 40.19 \text{ m})$$

$$EA = 46.5 \text{ m}$$

Una vez obtenida la EA se calcula la potencia teórica de la bomba con la ecuación (21).

$$\text{Potencia Teórica} = \gamma * Q * EA \text{ (21)}$$

Donde:

γ = Peso específico del agua (N/m³)

Q = Caudal (m³/s)

EA = Energía Añadida (m)

$$\text{Potencia Teórica} = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0.00283 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 46.5 \text{ m}$$

$$\text{Potencia Teórica} = 1379.43 \text{ Watts} = 1.38 \text{ KW} = 1.84 \text{ HP}$$

Por última se calcula la potencia real de la bomba con la ecuación (22).

$$\text{Potencia Real} = \frac{\text{Potencia Teórica}}{n} \text{ (22)}$$

Donde:

n = Eficiencia real de la bomba

$$\text{Potencia Real} = \frac{1.84 \text{ HP}}{0.8}$$

$$\text{Potencia real} = 2.31 \text{ HP}$$

Cálculo del período de recuperación de la inversión (PRI)

Con los flujos de efectivos calculados del cuadro 5.11 se calcula el PRI con la ecuación (23).

$$\text{PRI} = a + \frac{(b-c)}{d} \text{ (23)}$$

Donde:

a = Año inmediato anterior en que se recupera la inversión

b = Inversión inicial

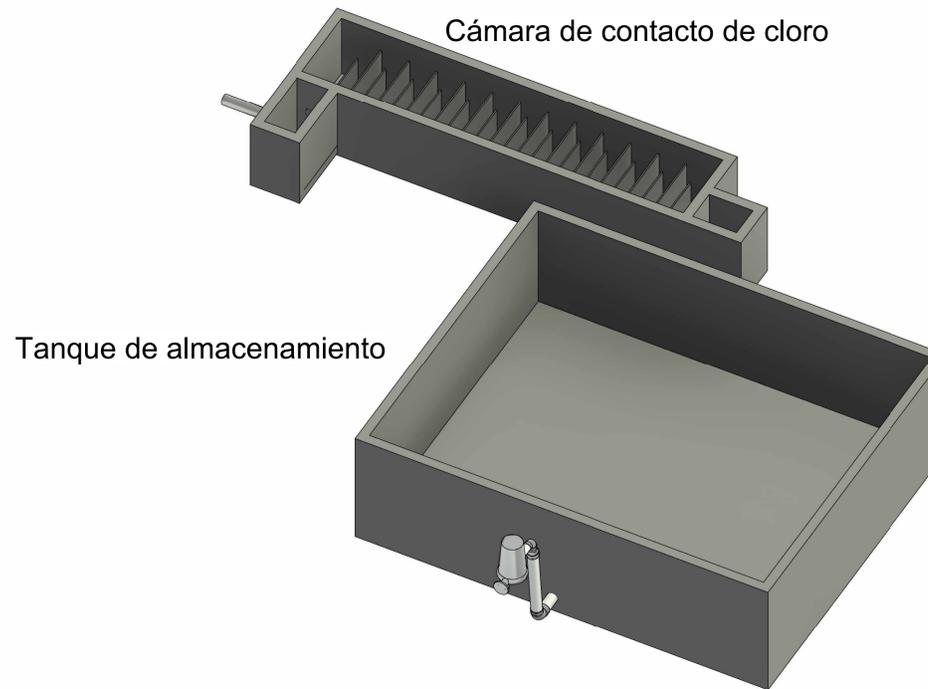
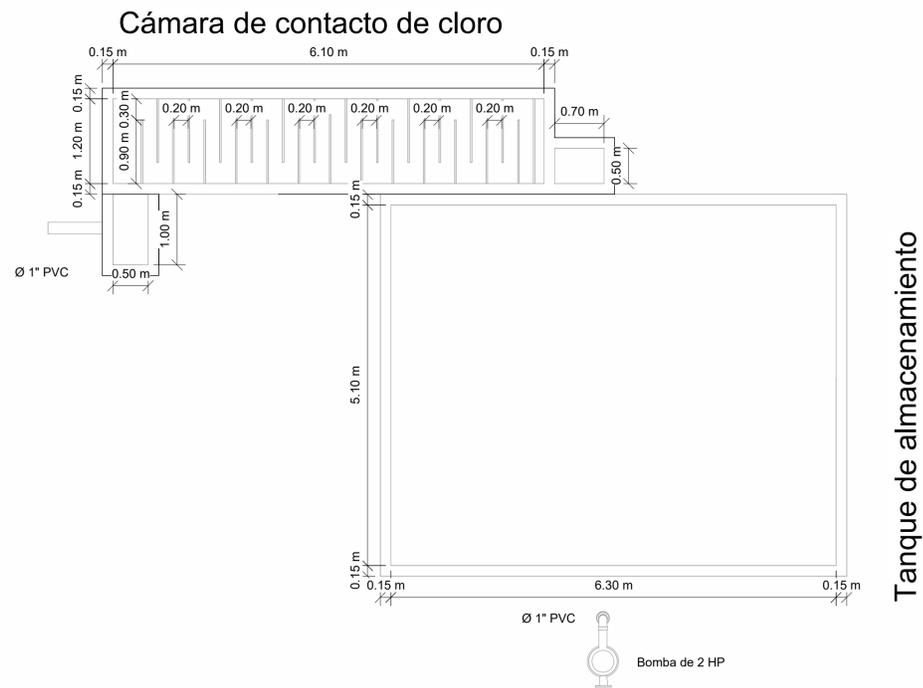
c = Flujo de Efectivo Acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión

d = Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión

$$PRI = 0 + \frac{(5,572,732.74 - 0)}{45,874,853}$$

PRI = 0.12 años

Anexo 3. Planos Constructivos

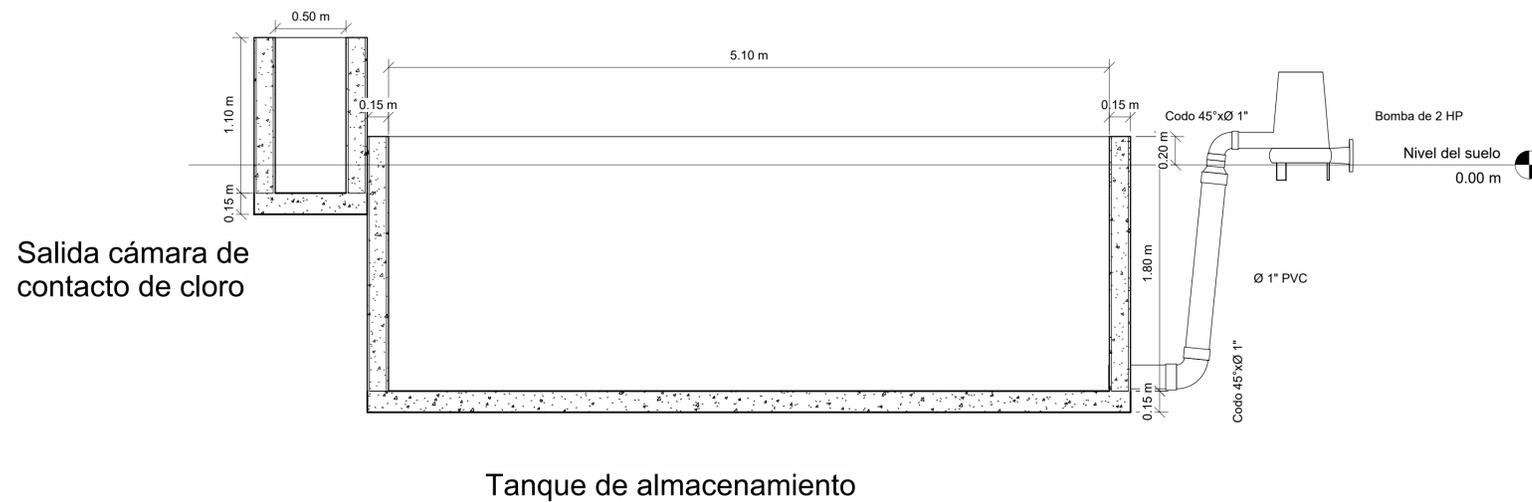


Vista en 3D del sistema de tratamiento

1 VISTA EN PLANTA
1 : 50

Muros de mamposteria con block de 12x20x40 cm para la cámara de contacto de cloro y para el tanque de almacenamiento

Para los tabiques se utiliza lámina de micro concreto 12 mm



2 CORTE LONGITUDINAL
1 : 25

APROBACIÓN COMISIÓN REVISORA DE PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO:

DISEÑO SISTEMA DE REÚSO DE AGUA RESIDUAL DE LA PTAR DE EL ROBLE, PUNTARENAS

PROPIETARIO:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE EL ROBLE, PUNTARENAS

PROVINCIA: PUNTARENAS	CANTÓN: CENTRAL	DISTRITO: EL ROBLE
--------------------------	--------------------	-----------------------

REPÚBLICA DE COSTA RICA
TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUIMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DIBUJO:

EQUIPO DE DISEÑO:
ESTUDIANTE DE INGENIERÍA AMBIENTAL

NOMBRE: JOCELYN ALFARO SANTAMARÍA

SUPERVISIÓN TÉCNICA:
NOMBRE: MS. ING. DIANA A. ZAMBRANO

INFORMACIÓN REGISTRO PÚBLICO

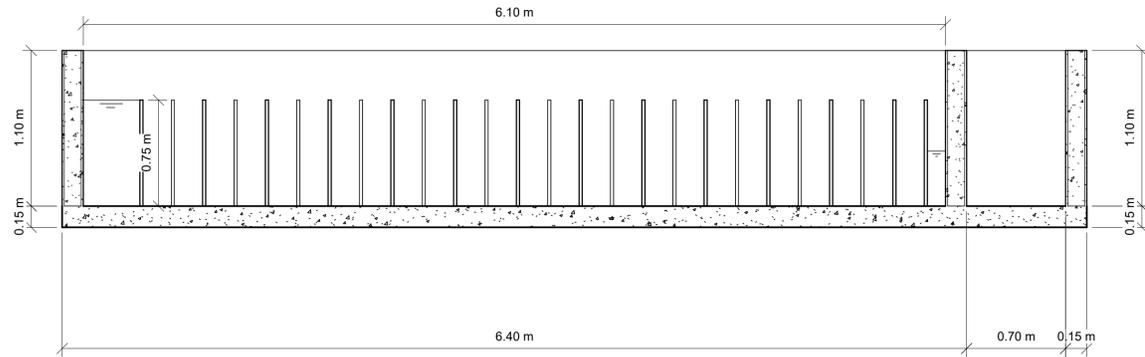
PROPIETARIO: PLANTA DE TRAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE EL ROBLE, PUNTARENAS

CONTENIDO:
PLANTA Y CORTES PLANTA DE TRATAMIENTO

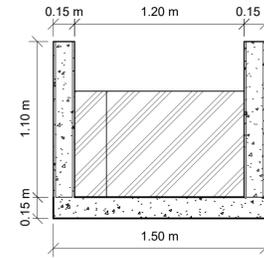
ESTUDIOS BASICOS

ESCALA: LA INDICADA	FECHA: MAYO 2022	LÁMINA: L01/L02
------------------------	---------------------	--------------------

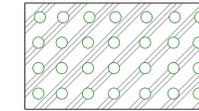
Cortes Cámara de Contacto de Cloro



1 CORTE A-A'
1 : 25



2 CORTE B-B'
1 : 25

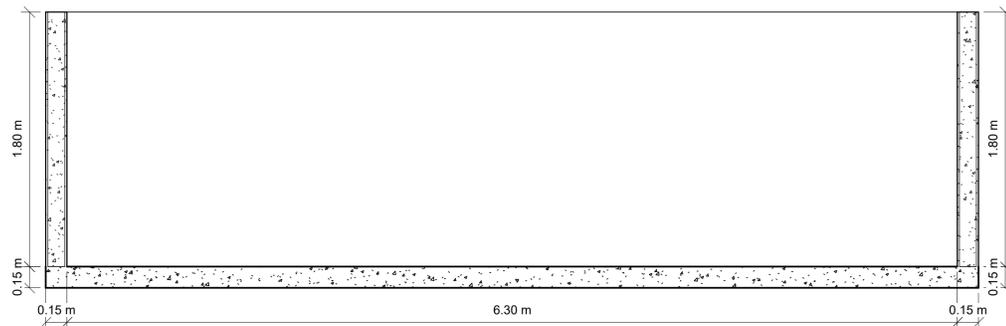


5 Detalle tabique perforado
1 : 25

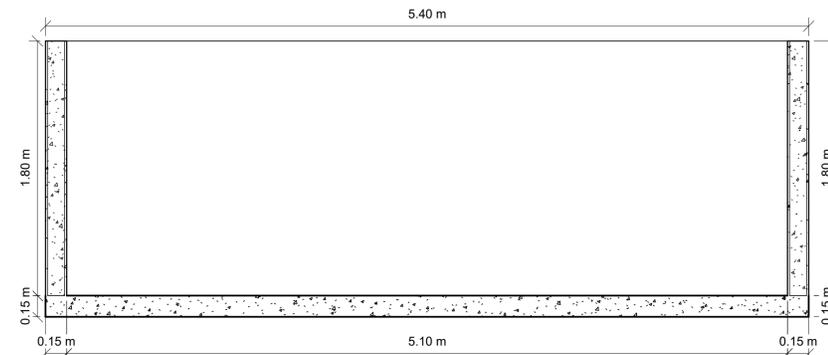
Detalle de tabiques

Para los tabiques se utiliza lámina de micro concreto 12 mm

Cortes Tanque de Almacenamiento



3 CORTE A-A'
1 : 25



4 CORTE B-B'
1 : 25

APROBACIÓN COMISIÓN REVISORA DE PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO:

DISEÑO SISTEMA DE REÚSO DE AGUA RESIDUAL DE LA PTAR DE EL ROBLE, PUNTARENAS

PROPIETARIO:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE EL ROBLE, PUNTARENAS

PROVINCIA: PUNTARENAS	CANTÓN: CENTRAL	DISTRITO: EL ROBLE
--------------------------	--------------------	-----------------------

REPÚBLICA DE COSTA RICA
TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

DIBUJO:

EQUIPO DE DISEÑO:
ESTUDIANTE DE INGENIERIA AMBIENTAL

NOMBRE: JOCELYN ALFARO SANTAMARÍA

SUPERVISIÓN TÉCNICA:
NOMBRE: MS. ING. DIANA A. ZAMBRANO

INFORMACIÓN REGISTRO PÚBLICO

PROPIETARIO: PLANTA DE TRAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE EL ROBLE, PUNTARENAS

CONTENIDO:
• PLANTA Y CORTES PLANTA DE TRATAMIENTO

ESTUDIOS BASICOS

ESCALA: LA INDICADA	FECHA: MAYO 2022	LÁMINA: L01/L02
------------------------	---------------------	--------------------