

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS (STARD) DE LA EMPRESA PALMAS DEL
CESAR S.A.

EYLIN SAYITH ARENAS CONTRERAS

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR-SECCIONAL AGUACHICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
AGUACHICA CESAR
2025

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS (STARD) DE LA EMPRESA PALMAS DEL
CESAR S.A.

PRÁCTICA ACADÉMICA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL
Y SANITARIA

EYLIN SAYITH ARENAS CONTRERAS

DIRECTOR
ESP. JOSÉ JAVIER CABRERA

CO DIRECTORA
Ing. MAYLEN JOHANNA PÉREZ GALVIS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
SANEAMIENTO BÁSICO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR–SECCIONAL AGUACHICA
FACULTAD INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
AGUACHICA CESAR
2025

NOTA DE APROBACIÓN

El trabajo de grado de Eylin Sayith Arenas Contreras, titulado “*Evaluación de la eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas (stard) de la empresa Palmas del Cesar S.A.*”, ha sido aprobado por los jurados, quien no se hace responsable de su contenido, pero lo ha encontrado correcto en su calidad y en su forma de presentación por lo que en fe de lo cual firman.

MARTIN CARBALLO ANGARITA
EVALUADOR 1

LUIS HERNANDO MONTOYA
ARMENTA
EVALUADOR 2

JOSE JAVIER CABRERA CABRERA
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

MAYLEN JOHANNA PÉREZ GALVIS
CODIRECTOR DEL TRABAJO DE
GRADO

DEDICATORIA

*A Dios, por guiar mis pasos y darme la fortaleza para seguir mis sueños.
Y a mi mamá, por el amor incondicional, su apoyo constante y sabiduría que ha brindado
durante este proceso de formación como profesional. Gracias por estar siempre a mi lado
y creer en mí.*

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Palmas del Cesar por la oportunidad que me brindaron de realizar mis prácticas profesionales en un entorno tan enriquecedor, por la experiencia invaluable que me ha permitido crecer tanto profesional como personalmente.

Agradezco especialmente al equipo de sostenibilidad, por el apoyo y orientación que fueron esenciales para llevar a cabo mis tareas, por su paciencia, colaboración y por compartir sus valiosos conocimientos conmigo.

A la universidad popular del Cesar Seccional Aguachica y a los docentes del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, que, con su dedicación, aportaron conocimientos y aprendizajes para nuestra formación como futuros profesionales.

Al docente José Javier Cabrera, quien me guio y acompañó como director durante la elaboración de mi practica académica. Su conocimiento y experiencia fueron esenciales para lograrlo.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABLAS	IX
GLOSARIO	XII
RESUMEN	XIII
1. INTRODUCCIÓN	14
2. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA	15
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
4. JUSTIFICACIÓN	18
5. OBJETIVOS	19
5.1. OBJETIVO GENERAL	19
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
6. MARCO TEÓRICO.....	20
6.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL.....	20
6.1.1 Características físicas	20
6.1.2 Características químicas	21
6.2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	23
6.3. HUMEDALES ARTIFICIALES.....	24
7. MARCO LEGAL.....	26
8. ESTADO DEL ARTE.....	28
9. METODOLOGÍA	31
9.1. ÁREA DE ESTUDIO	31
9.2. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	32
9.2.1 Línea y Sub-línea de investigación	32
9.2.2 Tipo de investigación	32
9.2.3 Población.....	33
9.2.4 Muestra.....	33
9.2.5 Metodología para la recolección y análisis de muestras	33
9.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	35
10 RESULTADOS Y ANÁLISIS	37

10.1	ANÁLISIS CUALITATIVO DE LAS CARACTERIZACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ÚLTIMOS TRES AÑOS.....	37
10.2	ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO SEGÚN LA NORMATIVIDAD VIGENTE.....	42
10.3	EFICACIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO	47
10.4	ALTERNATIVAS DE MEJORA	48
11	CONCLUSIONES	52
12	RECOMENDACIONES.....	53
13	OTRAS ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA PRÁCTICA.....	54
14	BIBLIOGRAFIA	55
15	ANEXOS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama Palmas del Cesar S.A.	15
Figura 2. Ubicación geográfica de la empresa Palmas del Cesar.	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de los puntos seleccionados para el muestro.	34
Tabla 2. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de Casa Gerencia con la Resolución 0699 de 2021.....	43
Tabla 3. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD del Casino con la Resolución 0699 de 2021.	43
Tabla 4. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de las Oficinas con la Resolución 0699 de 2021.....	44
Tabla 5. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de la Mulería central con la Resolución 0699 de 2021.....	44
Tabla 6. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD del área de Conductores con la Resolución 0699 de 2021.	44
Tabla 7. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de la Planta línea 1 con la Resolución 0699 de 2021.	45
Tabla 8. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de Báscula Línea 2 con la Resolución 0699 de 2021.	45
Tabla 9. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de Biomasa con la Resolución 0699 de 2021.	45
Tabla 10. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de la Mulería el limón con la Resolución 0699 de 2021.	46
Tabla 11. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de Jarantiva con la Resolución 0699 de 2021.....	46
Tabla 12. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD del Vivero con la Resolución 0699 de 2021.	46
Tabla 13. Resultados obtenidos de la eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en la remoción de parámetros químicos DQO y físicos SST y Turbiedad.....	47
Tabla 14. comparación de los detergentes convencionales y biodegradables.....	49
Tabla 15. Datos de la eficacia y cumplimiento con la Resolución 0699 de 2021, de la muestra de agua residual (efluente), luego de su paso por el humedal artificial.	51
Tabla 16. Valores referentes a la temperatura, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.....	61

Tabla 17. Valores referentes al pH, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.	62
Tabla 18. Valores referentes a los Sólidos Suspendidos Totales, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años. 63	
Tabla 19. Valores referentes a Grasas y Aceites, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.	64
Tabla 20. Valores referentes a DQO, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.	65
Tabla 21. Valores referentes a los Sólidos Sedimentables, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.	66
Tabla 22. Valores referentes a Sustancias Activas al Azul de Metileno, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.	67
Tabla 23. Valores referentes a Conductividad Eléctrica, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.	68
Tabla 24. Valores referentes a Fósforo (P), obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.	69
Tabla 25. Valores referentes a Nitrógeno (N), obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.	70
Tabla 26. Valores referentes a Cloruros (Cl), obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.	71
Tabla 27. Taxonomía de la macrofita Oreja de elefante.	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de las caracterizaciones físicas y químicas de los últimos tres años, realizados a los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas de palmas del cesar..	61
Anexo 2. Cálculo de diseño humedal artificial.	72
Anexo 3. Resultados de laboratorio de la muestra de agua del humedal artificial.	78
Anexo 4. Plan de capacitación para el uso y funcionamiento adecuado de los STARD.	80
Anexo 5 Material de apoyo para el desarrollo del plan de capacitación.	82
Anexo 6. Registro Fotográfico.	83

GLOSARIO

Afluente, es aquel líquido o agua residual que ingresa a un sistema de tratamiento de aguas residuales (Norma RAS, 2000).

Agua residual, son aquellas que han sido afectadas negativamente por las actividades del hombre. Estas son procedentes de áreas industriales, poblaciones, viviendas, etc. (Ocampo, 2019).

Contaminación del agua, se da por introducir de manera directa o indirecta materiales en el agua, afectando su calidad y limitando su uso, causando daños en el medio ambiente (Cely et al., 2022).

Eficiencia del tratamiento, es la relación entre la concentración removida y la concentración en el efluente, en aquellos sistemas de tratamientos y se expresa en porcentaje (Norma RAS, 2000).

Efluente, líquido final resultante de un proceso de tratamiento de aguas residuales (Norma RAS, 2000).

Sistema de tratamiento, es un sistema utilizado para remover contaminantes del agua, proteger el medio ambiente y salud pública, estos pueden contar con una serie de procesos físicos (remover material particulado), químicos (aplicar sustancias o productos químicos para la eliminación o desinfección del agua) y biológicos (elimina sustancias orgánicas biodegradables) (Lizarazo y Orjuela, 2013).

Tratamiento de aguas, es el proceso mediante el cual se busca eliminar los contaminantes presentes en el agua, para ser devueltas en mejores condiciones (Cely et al., 2022).

RESUMEN

En Palmas del Cesar S.A., se cuenta con unos STARD para dar tratamiento a las aguas residuales domésticas generadas a diario. De acuerdo a las caracterizaciones físicas y químicas realizadas se evidencia que estos sistemas no cumplen con algunos parámetros establecidos por la normativa vigente para vertimientos. Ya que, en los últimos tres años, se ha registrado un incumplimiento en los valores permitidos para la disposición de aguas residuales domésticas tratadas al suelo; con un 45% de incumplimiento en el pH, 27% en SST, 54% para Grasas y Aceites, 55% en DQO y 100% para conductividad eléctrica, Fósforo y Nitrógeno, incumpliendo por lo menos en uno de los semestres evaluados.

Por lo que, se busca evaluar la eficacia en la remoción de contaminantes como DQO, SST y turbidez, presentes en las aguas residuales, y proponer alternativas para mejorar el buen funcionamiento de los sistemas, así como reducir aquellos parámetros fuera de norma según los valores límites máximos permisibles de la resolución 0699 de 2021. así mismo se propuso alternativas de mejora para disminuir las cargas de contaminantes de los efluentes que pueden afectar de forma directa e indirecta a los ecosistemas circundantes a la zona de disposición de estas aguas residuales domésticas.

Estas alternativas incluyen un plan de capacitación para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento, y promover el uso de detergentes biodegradables, más amigables con el medio ambiente. Además, se ha considerado el diseño de un humedal artificial, probado a escala de laboratorio con el propósito de conocer la eficacia de la *Alocasia macrorrhizos* en la depuración de aguas residuales de tipo doméstico, para la selección de esta se tuvo en cuenta factores como su adaptabilidad a la zona de implementación, obteniendo una remoción de contaminantes mayor al 50%, contribuyendo en el cumplimiento de la Normativa.

Palabras clave: aguas residuales domésticas, contaminantes, eficiencia, macrófitas, sistemas de tratamiento.

1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es el factor más importante para el desarrollo de la vida en la tierra. Juega un papel fundamental en el desarrollo de los organismos y todos los procesos que se dan en los ecosistemas, los cuales son indispensables para el diario vivir de los seres humanos (MinAmbiente, 2023). Según (IDEAM, 2019), este valioso recurso se ve afectado gracias a las actividades humanas, como las disposiciones de aguas residuales domesticas sin tratamiento alguno, impactando directamente los ecosistemas, estas prácticas provocan cambios en las composición físicas, químicas y biológicas de los suelos y cuerpos de agua, degradando los ecosistemas e influyendo negativamente en la salud de las personas.

Por tal razón, en Palmas del Cesar S.A., se implementan sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico, estos son monitoreados semestralmente para determinar el estado en que las aguas son devueltas al medio ambiente. Gracias a estos monitoreos realizados, se identificó que los STARD presentan dificultad en la remoción de ciertos contaminantes. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar la eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas empleados en la empresa, considerando que existe una normatividad que establece los valores límites permisibles para los vertimientos de aguas residuales tratadas al suelo. Además, propondrán soluciones para mejorar la calidad del agua residual, en este caso, uno de los métodos utilizados será un humedal artificial, en el que se empleará la macrófitas *Alocasia Macrorrhizos* (oreja de elefante) con el propósito de reducir las cargas contaminantes presentes en el agua.

Según el Ministerio de Agricultura (2023). Este tipo de macrófitas se encuentra comúnmente en zonas húmedas, cercanas a ríos y quebradas, y tiene un poder purificador de aproximadamente un 80%. Además, es capaz de asimilar ciertos contaminantes, como los nutrientes, y tiene la capacidad de reducir el fosforo presente en el agua, lo disminuye las probabilidades de eutrofización de los cuerpos de agua. Estas plantas pueden sobrevivir con cantidades mínimas de agua, lo que las hace especialmente eficientes para reducir las cargas contaminantes en las aguas residuales (Sarco et al., 2017).

2. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

Palmas del Cesar S.A. es una empresa del sector agro industrial, dedicada a la siembra y cultivo de palma africana, enfocada en el procesamiento del fruto de la palma. Así como también busca minimizar los impactos ambientales mediante la sostenibilidad en sus prácticas agrícolas. Esto incluye el cumplimiento de estándares internacionales, como la certificación RSPO y la Norma de gestión de calidad ISO 9001.

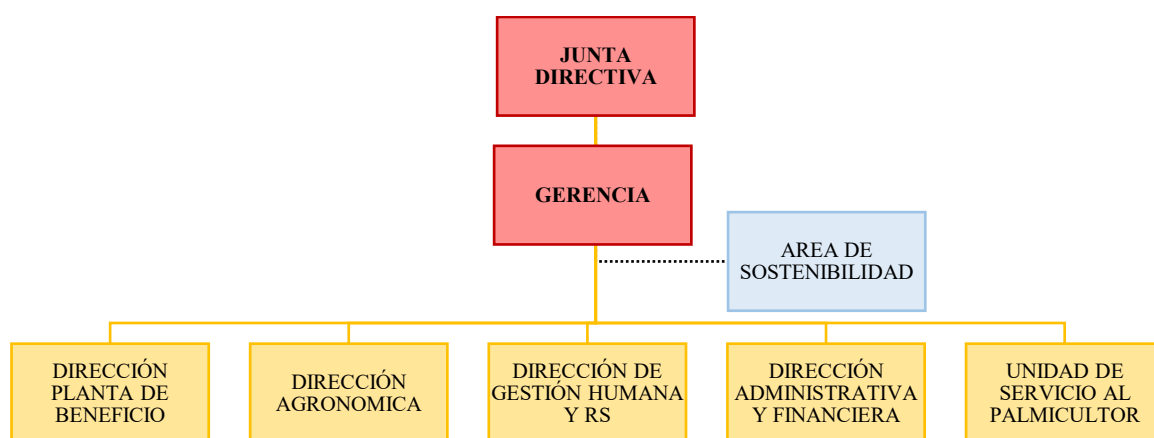


Figura 1. Organigrama Palmas del Cesar S.A.

Fuente: Palmas del Cesar (2024)

El área de sostenibilidad, es la encargada de asegurar la implementación, seguimiento y control de los sistemas integrados de gestión como ISO 9000, aroundtable on sustainable palm oil; que se traduce mesa redonda sobre aceite de palma sostenible (RSPO), certificación internacional de sostenibilidad y carbono (ISCC), aceite de palmas sostenible (APS), entre otros. Además, se encarga de mantener las aguas de la PTAP, STARI y las provenientes de los STARD en cumplimiento con la Normatividad vigente.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Palmas del Cesar S.A., se encuentra ubicada en el municipio de San Martín, Cesar, dedicada a la actividad agroindustrial centrada en el procesamiento de fruto de la palma de aceite con más de 64 años de experiencia. La empresa se distingue en el sector como una entidad pionera y líder, orientada hacia la promoción del bienestar de todas las partes interesadas mediante la adopción de prácticas sustentables y el mantenimiento de altos estándares de calidad (Palmas del Cesar, 2021).

Esta empresa cuenta con alrededor de setecientos empleados los cuales durante su labor hacen uso de servicios como duchas, baños, casino, entre otros, generando residuos líquidos con cargas contaminantes que liberados sin un tratamiento previo pueden generar consecuencias negativas para la salud pública y el equilibrio ecológico.

El agua residual producto de actividades diarias de los empleados como el uso de duchas, sanitarios, lava manos, entre otros, se disponen en unos sistemas de tratamiento de aguas residuales ubicados estratégicamente dentro las instalaciones de la empresa. En cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas se pueden encontrar diferentes unidades de tratamiento como trampa de grasas, separador de sólidos, pozo séptico, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), filtros Fito pedológicos (en uno de ellos) y finalmente un campo de infiltración con el propósito de procesar las aguas residuales y devolvérselas al medio ambiente en mejores condiciones según los límites máximos permisibles establecidos por la actual normativa para vertimientos de aguas residuales tratadas al suelo.

El correcto funcionamiento y la remoción de contaminantes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas puede verse afectado por la falta de mantenimiento y el mal uso de estos, como uso excesivo de productos químicos para la limpieza, así como la disposición de papel higiénico, toallas sanitarias y envoltorios. Estas prácticas pueden provocar la acumulación de residuos dentro de las unidades del sistema y problemas como proliferación de malos olores, obstrucciones de las tuberías, reboses, fugas de agua residual

y efluentes con altas cargas contaminantes que pueden causar impactos negativos al medio ambiente.

Pregunta de investigación: ¿La eficacia de cada uno de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas de la empresa Palmas del Cesar S.A., da cumplimiento a la normatividad ambiental vigente para el vertimiento de aguas residuales tratadas al suelo?

3.1. HIPÓTESIS

3.1.1 Positiva:

¿La eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la empresa Palmas del Cesar S.A., cumple con los valores máximos permisibles de la normatividad ambiental vigente?

3.1.2 Negativa:

¿La eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la empresa Palmas del Cesar S.A., no cumple con los valores máximos permisibles de la normatividad ambiental vigente?

4 JUSTIFICACIÓN

Todas las aguas residuales domesticas producidas en la empresa Palmas del Cesar S.A. requieren de un tratamiento antes de su disposición final en el suelo, el cual debe cumplir con los parámetros máximos permisibles establecidos en la Resolución 0699 de 2021 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones”, así como otras regulaciones ambientales que prohíben que estas sean vertidas directamente al suelo sin tratamiento alguno, lo cual es compromiso de la empresa devolver el agua al entorno en mejores condiciones para prevenir afectaciones en los ecosistemas, la salud de la personas y evitar sanciones con las autoridades ambientales reguladoras.

Un adecuado tratamiento de las aguas residuales minimiza los riesgos a la salud y el medio ambiente al eliminar o reducir significativamente los contaminantes antes de su disposición final, puesto que la descarga de aguas residuales sin tratamiento puede tener un impacto negativo en el suelo y los cuerpos de agua cercanos, Por lo tanto, la evaluación de la eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas se realizará mediante el control de calidad del agua residual, basado en los resultados obtenidos de los monitores de calidad del efluente previamente realizados por la empresa.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, es necesario evaluar la eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas de la empresa, utilizando parámetros físicos y químicos como DQO, SST y turbidez. Esto se hace necesario debido a los monitoreos semestralmente realizados por la empresa han evidenciado incumplimiento en algunos parámetros, según la legislación vigente. Por lo tanto, se considera necesario generar una propuesta de mejora que garantice el correcto funcionamiento de los sistemas de tratamiento, asegurando que el agua residual tratada regrese al entorno natural en las mejores condiciones, protegiendo así los recursos naturales y la salud pública, cumpliendo con lo establecido en la normatividad ambiental vigente.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas (STARD) de la empresa Palmas del Cesar S.A.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el funcionamiento de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales de la empresa.
- Determinar la eficacia de los sistemas de tratamiento mediante el análisis de la remoción de parámetros como DQO, Turbidez y SST.
- Proponer mejoras en el tratamiento de aguas residuales domésticas basándose en los resultados obtenidos de la eficacia de los sistemas de tratamiento.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales tienen características físicas, químicas y biológicas, los cuales son:

6.1.1 Características físicas

Dentro de las características físicas del agua residual se pueden encontrar las siguientes:

- **Temperatura:** la temperatura es una característica importante en el tratamiento de las aguas residuales, ya que puede modificar características como la actividad bacterial y la velocidad de las reacciones químicas, ya que para el buen desarrollo de estas se necesitan temperaturas entre 20 °C a 35 °C; los valores superiores o inferiores a estos suspenden la degradación d los microorganismo (Ramírez, 2021).
- **Turbiedad:** la turbidez es una característica que hace que el agua pierda su transparencia, debido a la presencia de partículas en suspensión como materia orgánica y microorganismo, estas partículas generalmente tienen tamaños menores a un micrómetro (μm) haciendo que la velocidad de sedimentación de estas partículas sea muy lenta (Marcó et al., 2004).
- **Sólidos:** según (Balvin, 2020) los sólidos se pueden clasificar en: A) Sólidos totales (ST), resultantes de una muestra de agua después de pasar por un proceso de evaporación y secado en un tiempo de 60 min. B) Sólidos fijos (SF), resultantes después que la muestra de agua pasa por la calcinación y evaporación a 600°C, durante una hora. C) Sólidos volátiles (SV), resultantes de la resta entre los sólidos fijos y los sólidos totales. D) Sólidos disueltos (SD), aquellas partículas con tamaños menores 10^{-3} micrómetros. E)

Sólidos sedimentables (SD), son aquellas partículas determinadas en una hora por un método de decantación.

- **Olor:** los olores presentes en las aguas residuales son el resultado de la descomposición de la materia orgánica, estos se pueden presentar en forma de gases y vapores, generando olores desagradables (Lozada & Giraldo, 2019).

6.1.2 Características químicas

Las características químicas presentes en el agua residual son las siguientes:

6.1.2.1 Materia orgánica:

La materia orgánica es parte principal de las aguas residuales, estas son las causantes del sabor, color y olor (Fuentes et al., 2015). Los siguientes parámetros, permiten conocer el contenido de materia orgánica en las aguas residuales:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, en (mg L^{-1}) que necesitan los microorganismos para degradar la materia, este parámetro se puede determinar mediante un periodo de incubación de 3 o 5 días, con una temperatura de 20 °C, monitoreando el nivel de oxígeno disuelto cada cierto tiempo (Balvin, 2020).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** es la cantidad de oxígeno que se necesita para poder oxidar la materia orgánica presente en el agua por medio de un agente químico como el dicromato de potásico. Dado a que la cantidad de sustancias que se logran degradar por medio químico es mayor que por un medio biológico la DQO no puede ser menor que la DBO (Balvin, 2020).

6.1.2.2 Materia inorgánica

En las aguas residuales se pueden encontrar parámetros inorgánicos como:

- **Potencial de Hidrogeno (pH):** es un indicador de acidez o alcalinidad de las aguas, basado en la cantidad de iones de hidrogeno presentes (Yáñez, 2018). en el tratamiento de aguas residuales es importante mantener un pH entre 6,5 y 8,5 ya que es el adecuado para mantener los medios biológicos empleados en los tratamientos, ya que un pH por fuera del rango mencionado puede modificar o alterar la vida biológica del agua (Auccatinco, 2021).
- **Nitrógeno:** se encuentra presente en el agua residual en forma de proteínas y urea, que al ser degradados por bacterias se transforman en amonio, y de este se obtienen los nitratos y nitritos considerados como un indicador químico de la contaminación fecal (Balvin, 2020). Incluso en concentraciones muy altas puede incidir en la eutrofización, causar afectaciones en la salud humana, ecosistemas, fauna y flora (Ministerio de Ambiente, 2012).
- **Fósforo:** se puede encontrar en las aguas residuales como ortofosfatos, fosfatos orgánicos y polifosfatos. Que entro a ser parte de las aguas residuales gracias a los detergentes y fertilizantes, que al llegar a lagos y ríos contribuyen con la eutrofización y agotamiento de la riqueza de los suelos (Balvin, 2020).

6.1.2.3 Características biológicas:

Las aguas residuales tienen muchas características, entre las características biológicas resalta la presencia de bacterias, microorganismos, virus y algas; para su presencia influyen parámetros como el pH y la temperatura ya que requieren de condiciones específicas para poder desarrollarse (Balvin, 2020). Los principales grupos que se encuentran son:

6.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

En el ámbito del tratamiento de aguas residuales existen diferentes tipos de tratamientos, los convencionales son las plantas de tratamiento donde van dirigidas las aguas residuales a través de un sistema de alcantarillado municipal, y los tratamientos no convencionales son aquellos sistemas de tratamiento utilizados comúnmente para tratar las aguas de pequeñas poblaciones de aquellas zonas de difícil acceso, que no cuentan con un alcantarillado municipal (Campo, 2022). los tratamientos no convencionales pueden estar constituidos por sistemas como:

- **Tanque séptico:** es un sistema de tipo anaerobio (ausencia de oxígeno) empleado en el tratamiento de aguas residuales domésticas para posterior disposición mediante campos de infiltración, permite que el agua permanezca en su interior durante un determinado tiempo, donde el material particulado de mayor densidad se sedimenta y los más livianos van a la superficie, dentro del tanque séptico se podrán distinguir tres capas, la primera es la materia orgánica sólida sedimentada en el fondo del tanque, la segunda es una capa de agua más clarificada, la cual pasará por medio de una tubería a la siguiente unidad de tratamiento, final mente se puede observar una capa de sólidos flotantes conformados comúnmente por grasas. Debido a la acción anaeróbica del tratamiento los sólidos flotantes y los sedimentados se digerirán lentamente de manera biológica dejando unos subproductos (lodos) en el fondo del tanque séptico, el cual deberá removerse en intervalos de doce (12) meses dependiendo su capacidad de almacenamiento(Gutiérrez, 2022).
- **Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA):** es la unidad que se encarga de eliminar la materia orgánica que se encuentra diluida en el agua residual doméstica. Cuenta con un medio filtrante sólido de piedra o grava con un diámetro de 4 a 8 cm, en el cual se quedará adherida la materia orgánica, gracias a que el agua fluye de manera ascendente a través del medio filtrante desde el fondo del filtro hasta la superficie (Arcos & Yarce, 2005). Además, esta unidad debe contar con tubos de escape para gases ya que

los microorganismos anaerobios descomponen la materia orgánica reduciendo la carga contaminante y a su vez producen biogás como producto de la descomposición (Batero & Cruz, 2007).

- **Campo de infiltración:** son una serie de tuberías perforadas en su parte inferior enterradas por medio de zanjas, en forma de trincheras, rellenas con un medio poroso entre 10 y 60 mm, su función es repartir el agua residual tratada de manera homogénea en el suelo empleando principios de geo depuración. Este debe ubicarse aguas debajo de los sistemas de tratamiento, en suelos que tengan la capacidad de absorber las aguas residuales y así no se contaminen los acuíferos subterráneos (Almanza, 2015).

6.3 HUMEDALES ARTIFICIALES

Son sistemas de fitodepuración como tratamiento terciario para las aguas residuales, consta de la utilización de macrófitas con abundantes raíces sobre un lecho grava. Las macrófitas utilizadas se encargará de la depuración de los contaminantes presentes en el agua a través de procesos físicos, químicos y biológicos, estos humedales artificiales se pueden implementar para el tratamiento de diferentes tipos de agua residuales como las domésticas, urbanas, industriales, de extracciones mineras y escorrentía superficial agrícola (Delgadillo et al., 2010).

- **Humedal de flujo subsuperficial:** en este tipo de humedales el agua se circula a través de un medio granular (grava) manteniendo una profundidad en el agua de 0,6 m. las macrófitas se plantan en el medio granular permitiendo que el agua tenga contacto con las raíces de la planta. Este tipo de humedales puede tener un flujo horizontal o vertical.
 - **Humedal subsuperficial de flujo horizontal:** en este tipo de humedales se mantiene un flujo permanente, dándole ingreso al agua residual en un extremo por la parte superior y se recoge el efluente por la parte inferior opuesta a la entrada. Gracias al paso del agua residual por el medio poroso se le da tratamiento al agua.

- **Humedal subsuperficial de flujo vertical:** en este tipo de humedales se estimula el suministro de oxígeno por la aplicación intermitente del agua, ya que reciben las aguas residuales en la parte superior del humedal por medio de un sistema de tuberías, pasando a través del medio poroso y son recogidas en la parte inferior del humedal por medio de un drenaje.

- **Humedales de flujo superficial:** en este tipo de humedales el agua circula en la superficie a través de los tallos de las macrófitas, este tipo de humedales es recomendable por las interacciones biológicas que genera ya que también tienen la capacidad de hospedar aves, anfibios, peces, entre otras especies.

7 MARCO LEGAL

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas son utilizados en aquellas viviendas o lugares donde no se cuenta con un sistema de alcantarillado municipal (Campo, 2022).

Por lo tanto, el Decreto 050 de 2018 “Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuenca (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones”, establece las instrucciones, requisitos, estudios y evaluaciones ambientales para solicitar un vertimiento. Así como en el Artículo 6: que modifica el Artículo 2.2.3.3.4.9 establece el tipo de información necesaria que se debe incluir en la solicitud para obtener un permiso de vertimiento al suelo para cada tipo de agua residual. En el caso de las aguas residuales domésticas tratadas la información a incluir será: cálculo de la tasa de infiltración del suelo, el diseño y manual de operación y mantenimiento de donde se dispondrán las aguas residuales, plano con las coordenadas donde se realizará el vertimiento y un plan de cierre y abandono del sistema (Ministerio de Ambiente, 2018).

Además de contar con un permiso para vertimientos, la Resolución 0330 de 2017 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”, en el capítulo 5, sección 3 “tratamientos descentralizados”, indica en el Artículo 171, los estudios previos a realizar antes de llevar a cabo la construcción de un sistema para tratamientos en el sitio de origen, a partir del Artículo 172, se mencionan que estos sistemas están compuestos de trampa de grasas si se requiere, pozo séptico, filtro anaeróbicos, campo de infiltración, entre otros. Así como también se establecen los parámetros generales de diseños y recomendaciones a tener en cuenta para construir un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas (Ministerio de Vivienda, 2017).

Luego de cumplir con las normativas anteriores, el efluente proveniente de los sistemas de tratamiento debe cumplir con lo establecido en la Resolución 0699 de 2021 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones.”, de acuerdo a los parámetros físicoquímicos y microbiológicos establecidos en el Artículo 4, tabla 1: parámetros para usuarios equiparables a usuarios de vivienda rural dispersa (Ministerio de Ambiente, 2021).

8 ESTADO DEL ARTE

En el contexto internacional, se encuentran distintas investigaciones que determinan la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Barrantes y Cartín (2017), realizaron un estudio donde hallaron la “eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de la universidad sede de occidente, San Ramón, Costa Rica”. En este se evaluó la eficiencia de la planta de tratamiento de esta universidad el cual fue comparada con un sistema de tratamiento de aguas negras de lodos activados (aeróbicos) más moderna, este proceso se realizó durante un periodo de un año, realizando muestreos trimestrales al cuerpo de agua receptor, y se midieron parámetros fisicoquímicos universales establecidos para el monitoreo de las aguas residuales como DQO, BDO, Sustancias Activas al Azul de Metileno, Grasas y Aceites, Sólidos Sedimentables, pH, Temperatura, Caudal y Sólidos Suspendedos Totales; las muestras de agua recolectadas fueron de tipo compuestas. El promedio y la desviación estándar fueron indispensables para determinar si existía diferencia alguna en la eficiencia de los tratamientos, gracias a estos se evidencio que no existen diferencias estadísticas significativas y los resultados de las muestras de aguas residuales demostraron que el efluente de la planta de aguas residuales estudiada se encuentra dentro de los límites establecidos por la resolución vigente de ese país, garantizando que no proporciona afectación alguna a la salud de las personas y ecosistemas cercanos.

En México, Garzón Zúñiga et al. (2016) realizaron la “evaluación de un sistema de tratamiento doméstico para reúso de agua residual” este evalúa un sistema de tratamiento domiciliario o doméstico para cuatro personas, el cual es fácil de mantener y operar, consta de un pozo séptico, un biofiltro y un humedal construido operados en serie, para aquellas zonas o lugares sin acceso a alcantarillado. Este sistema de tratamiento fue estudiado durante doscientos veinte días (220), empleando dos caudales de operación diferentes Q_1 : 0,2 m³/d y Q_2 : 0,4 m³/d los cuales tuvieron influencia en los tiempos de retención hidráulica en cada una de las unidades del sistema. Se recolectaron muestras de agua puntuales en las salidas del pozo séptico, biofiltro y humedal construido, analizando parámetros como pH, Fósforo

de ortofosfato, nitrógeno amoniacal y DQO. Además, se realizó un único muestreo de aquellos parámetros establecidos por la Normativa Mexicana vigente. Este sistema de tratamiento demostró una buena eficiencia en la remoción de contaminantes en los dos caudales utilizados, siendo Q_1 : 0,2 m³/d, el que mejores efluentes presentó, cumpliendo los parámetros que evalúa la Norma Mexicana y la norma estadounidense para el reuso de aguas residuales, por lo que estas pueden ser utilizadas para el riego de zonas verdes, lavado de patios y uso para descarga de sanitarios; mientras que los efluentes del caudal mayor necesitarían de un tratamiento o desinfección adicional para cumplir con todos los límites establecidos en la normatividad. A través de este estudio se demuestra que este tipo de sistemas es una buena opción para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de aquellas zonas rurales o marginadas de difícil acceso.

En Colombia, Hernández y Larrota (2017) realizaron un estudio sobre la “Evaluación de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la provincia comunera, Santander Colombia” buscando conocer la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales de este departamento en la actualidad; mediante un análisis estadístico e información bibliográfica referente a las PTAR, finalmente, los resultados arrojaron que solo el 23% de los municipios pertenecientes al departamento del Santander realizan tratamiento a sus aguas residuales, siendo el municipio de Guapota el que mejores resultados obtuvo en la remoción de los contaminantes presentes en el agua, y Palmas del Socorro el municipio con la menor eficiencia, devolviendo al medio ambiente un efluente con gran cantidad de contaminantes. Dando a entender que mediante un análisis estadístico sobre el comportamiento en el tiempo de los parámetros físicoquímicos analizados establecidos por la Normativa vigente se puede conocer la eficiencia en la remoción de contaminantes de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

En Armenia, Cardona (2006) en su trabajo de grado realizó la “Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas ubicada en el municipio de Tebaida” para esto se realizó la toma puntual de muestras de agua residual, una en el afluente y otra en el efluente durante un periodo de cuatro meses, siguiendo un protocolo de

preservación de muestras para aquellos parámetros que no pueden ser analizados in situ. Los parámetros físicoquímicos de control del agua residual analizados son Alcalinidad, pH, Temperatura, Caudal, DBO, SST y DQO. Concluyendo que este sistema de tratamiento funciona adecuadamente de acuerdo a la normativa vigente de la época para algunos parámetros como temperatura y pH, mientras que, para SST y DBO no se alcanza una eficiencia del 80%, demostrando que se devuelven al medio ambiente efluentes dentro de los límites máximo permisibles establecidos por el decreto.

Final mente, Correa et al. (2023) en su investigación sobre la “Eficiencia de la aplicación de *Chrysopogon zizanioides* en un sistema de agua residual doméstica rural con pretratamiento de pozo séptico” en este, se recolectaron muestras de agua provenientes de los efluentes del humedal durante seis semanas cada once días, para después calcular el porcentaje de remoción de contaminantes del agua luego de su paso por el humedal; para este cálculo se tuvieron en cuenta los resultados del afluente en el día uno y el efluente en el día once. Analizando para cada muestra parámetros como DBO_5 , Nitrógeno total, Fosforo total, Coliformes totales y DQO, teniendo como resultado que los humedales aportan una significativa remoción de los contaminantes del agua residual proveniente de un pozo séptico, por lo que estas aguas serian aptas para reutilizar en el riego de plantas y/o para vertimientos en el suelo o cuerpo de agua; siendo una excelente opción como post tratamiento de las aguas residuales domésticas en áreas y zonas rurales sin acceso a alcantarillado.

9 METODOLOGÍA

9.1 ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la empresa Palmas del Cesar S.A., ubicada en el municipio de San Martín Cesar, corregimiento de minas, localizada a $7^{\circ}53'39''$ Norte con $73^{\circ}27'30''$ Oeste, la cual cuenta con una serie de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas STARD, ubicados en diferentes sectores dentro de sus instalaciones, para dar tratamiento a las aguas residuales producidas por las actividades cotidianas del personal, como uso de sanitarios, lavamanos, entre otros.

El área de estudio se estableció de acuerdo a las zonas que cuentan con un STARD, posteriormente se identificaron los diferentes puntos de muestras como se observa a continuación.

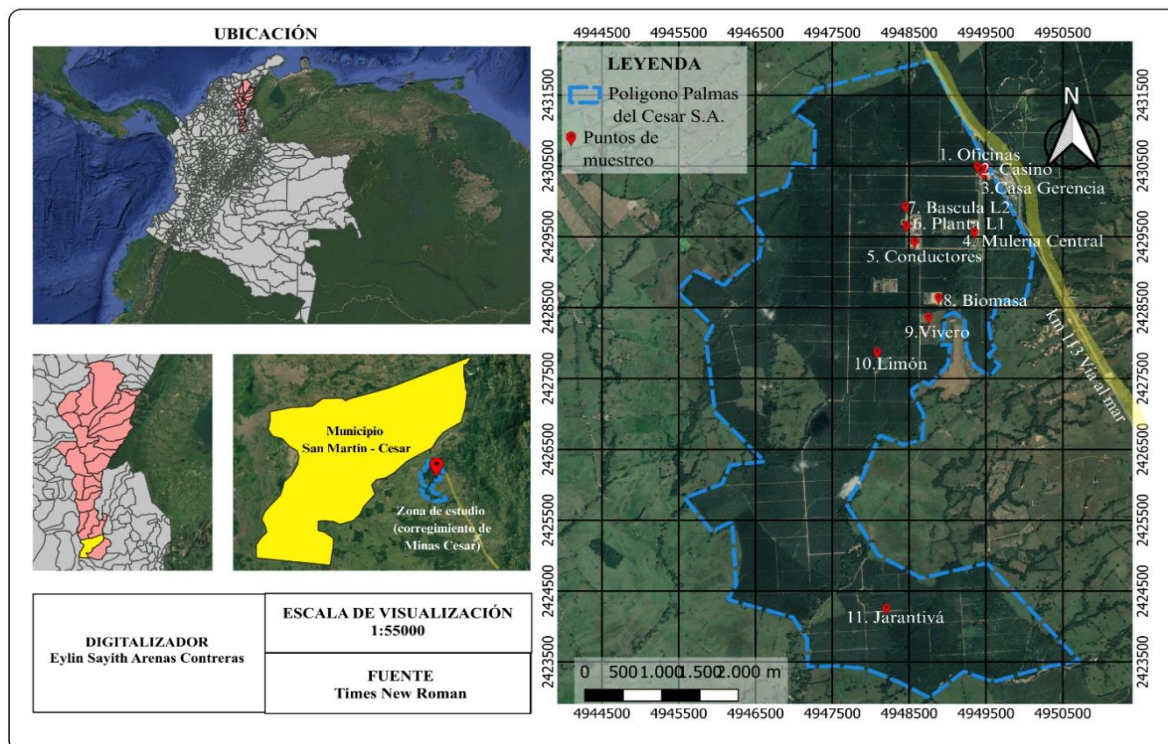


Figura 2. Ubicación geográfica de la empresa Palmas del Cesar.

Fuente: Autor, (2025)

En el sector se cuenta con una temperatura media anual superior a 24 °C, con presencia de precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anuales. Según la Corporación Autónoma Regional del Cesar CORPOCESAR, en el municipio de San Martín, Cesar, se pueden encontrar tres zonas de vida: bosque muy húmedo premontano (bmh-PM), Bosque húmedo tropical (bh-T) y Bosque Húmedo premontano (bh-PM) (Alcaldía de San Martín, 2024).

La economía del municipio de San Martín, se basa en la agroindustria del cultivo de palma, explotación de petróleo y ganadería. En cuanto a la agro industria se destaca la empresa Palmas del Cesar, ubicada en el corregimiento de Minas, esta cuenta con cultivos de palma propios adecuadamente planificados para el corte de racimos de fruta y planta extractora, donde el aceite de palmiste y el aceite crudo son enviados a la ciudad de Medellín (Corpocesar, 2017).

9.2 DESARROLLO METODOLÓGICO

9.2.1 Línea y Sub-línea de investigación

De acuerdo a las líneas de investigación establecidas por el programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, este proyecto se encuentra ubicado dentro la línea de Saneamiento Básico, con sub-línea de investigación en Sistemas Alternativos de tratamiento y depuración de aguas residuales.

9.2.2 Tipo de investigación

Este proyecto corresponde a una investigación descriptiva con un enfoque cuantitativo, basado en un diseño no experimental, ya que los datos serán recolectados en un solo momento, directamente de la zona de estudio, tal como se dan en su contexto natural, sin manipular los datos obtenidos. De este modo, se podrá determinar la situación actual del lugar de estudio (Hernandez Sampieri et al., 2006).

9.2.3 Población

La población de este proyecto, abarca los catorce (14) sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD) existentes dentro de las instalaciones de la empresa Palmas del Cesar S.A.

9.2.4 Muestra

Las muestras seleccionadas para este proyecto fueron once (11) Sistemas de Tratamiento de aguas residuales domésticas, ubicados dentro la plantación central de la empresa.

9.2.5 Metodología para la recolección y análisis de muestras

Etapas de identificación: en esta etapa se revisó la normativa legal vigente aplicable a los vertimientos de agua residual domestica tratada directamente al suelo, incluyendo los parámetros y valores límites permisibles que deben cumplir todas las aguas residuales domésticas que pasaron por un tratamiento previo. De acuerdo a esto, se tuvo en cuenta la Resolución 0699 de 2021 por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones.

Etapas de diagnóstico: en esta etapa se conoció el comportamiento actual de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en los últimos tres años, por medio de un análisis cualitativo, el cual fue comparado con la Resolución 0699 de 2021 y se determinó su cumplimiento.

Etapas de campo: en esta etapa se llevó a cabo el trabajo de campo, durante el cual se identificaron los puntos de muestreo como se observa en la tabla 1. Posteriormente, el día 09 de agosto del 2024, se recolectaron dos muestras simples de agua residual doméstica en cada punto de muestreo, una en la entrada del sistema (afluente) y otra en la salida del sistema

(efluente). Además, se realizó la medición In Situ de parámetros físicos como turbidez (medida con un turbidímetro Hanna HI 93703), temperatura (medida con un termómetro digital Hanna HI98501) y Conductividad Eléctrica (medida con un conductímetro HACH HQ40D), así como de parámetros químicos, como el pH (medido con ayuda de un potenciómetro Hanna HI98127).

Tabla 1. Ubicación de los puntos seleccionados para el muestro.

N°	ID sistema	Ubicación geográfica
1	Oficinas	07°53'42,11"N – 73°27'31,77"W
2	Casino	07°53'41,99"N – 73°27'30,17"W
3	Casa Gerencia	07°53'38,07"N - 73°27'28,37"W
4	Mulería Central	07°53'38,07"N - 73°27'34,55"W
5	Conductores	07°53'06,00"N - 73°27'59,82"W
6	Planta Línea 1	07°53'10,28"N - 73°28'03,08"W
7	Báscula Línea 2	07°53'24,23"N - 73°28'04,17"W
8	Biomasa	07°52'40,44"N - 73°27'49,35"W
9	Jarantiva	07°50'51,37"N - 73°28'24,66"W
10	Limón	07°52'09,37"N - 73°28'17,30"W
11	Jarantiva	07°50'51,37"N - 73°28'24,66"W

Etapas de laboratorio: las muestras de agua residual doméstica recolectadas en la etapa de campo, fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica; teniendo en cuenta el instructivo de toma y preservación de muestras del (IDEAM, 2020). Se analizaron parámetros como DQO y Sólidos Suspendidos Totales, para determinar la eficacia del proceso en cada sistema de tratamiento.

DQO: en el cual se utilizó el método de oxidación con dicromato, determinado con ayuda de viales de reactivos utilizando un espectrofotómetro portátil HACH DR1900, para la determinación de la demanda química de oxígeno a rango bajo (Balvin, 2020).

Sólidos Suspendidos Totales: determinado a través del método gravimétrico, utilizando materiales como embudo buchner, matraz, bomba de vacío, filtro, probeta, capsula de evaporación y pizas para manipulación del filtro (IDEAM, 2020).

Primero, se debe colocar el filtro pre pesado y secado en el embudo. Luego, el filtro debe humedecerse con un poco de agua destilada para que se adhiera a la base perforada del embudo, y se ajusta firmemente el embudo en el matraz. Con la ayuda de la probeta, se mide el volumen deseado de agua. A continuación, se enciende la bomba de vacío y se vierte la muestra de agua cuidadosamente sobre el filtro. Una vez terminado el proceso de filtración, se coloca la muestra de agua filtrada en una capsula de evaporación pre pesada y secada, para someterla a un proceso de evaporación. Una vez que se haya evaporado, se deja enfriar la muestra en un desecador y posteriormente se pesa en una balanza analítica. Los resultados se obtienen mediante la resta del peso final de la capsula después del proceso de evaporación, con el peso inicial de la capsula pre pesada y secada.

Etapas de desarrollo:

- **Propuestas de mejora:**

Se planteó propuestas de mejora con el propósito de que los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas de la empresa Palmas del Cesar S.A., mantengan un adecuado funcionamiento y del mismo modo garantizar unos efluentes que cumplan con los valores máximos permisibles establecidos en la normatividad ambiental vigente.

9.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para el análisis de los datos obtenidos a partir de las caracterizaciones físicas y químicas de los últimos tres años realizadas por la empresa Palmas del Cesar S.A., se empleó estadística descriptiva, complementada de gráficos generados en Microsoft Excel para mostrar la información de manera más resumida y para determinar la eficacia de remoción de contaminantes, como Sólidos suspendidos totales, turbidez y DQO, de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas se realizó mediante la ecuación 1.

$$\%E = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100 \quad (1)$$

Donde:

%E: Eficacia en la remoción del sistema

C_0 : Carga contaminante en la entrada del sistema (DQO, Turbiedad o SST)

C: Carga contaminante en la salida del sistema (DQO, Turbiedad o SST)

Los resultados obtenidos de la evaluación de la eficacia de los sistemas de tratamiento, será importante para establecer propuestas que permitan mejorar la calidad de los efluentes provenientes de cada sistema.

10 RESULTADOS Y ANÁLISIS

10.1 ANÁLISIS CUALITATIVO DE LAS CARACTERIZACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ÚLTIMOS TRES AÑOS.

En el siguiente análisis se dará a conocer el porcentaje de incumplimiento de cada parámetro de calidad evaluado, en donde se utilizaron los datos resultantes de las caracterizaciones físicas y químicas realizadas a los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas durante los últimos tres años (2021 – 2023), llevados a cabo por laboratorios debidamente acreditados por el IDEAM (ver Anexo 1). Estos datos fueron comparados con la actual Resolución 0699 de 2021 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones”.

- **Temperatura**

En la tabla 16 Anexo 1 se puede observar, que en los años evaluados el efluente de cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, presentó valores dentro de los límites establecidos por la Norma.

Los periodos 2022-2, 2023-1 y 2023-2, fueron los semestres con un promedio de temperaturas más altas y constantes; siendo 29,85 la temperatura máxima promediada y 29,81 la mínima, que pueden ser producto de las condiciones climáticas o factores ambientales.

- **pH**

El 45% de los sistemas de tratamiento incumplen en los valores de pH en al menos uno de los semestres evaluados (ver Anexo 1, tabla 17). Siendo los sistemas de tratamiento de Jarantiva y Vivero las que han presentado valores de pH inferiores a 6,5 para el segundo semestre del 2021. El sistema de tratamiento del Casino ha presentado pH ácidos entre 5,11

y 5,88 en las muestras correspondientes al 2021-1, el año 2022 y el 2023-2; que podrían ser producto del uso de productos de limpieza, descomposición de restos de alimentos o residuos de algunas bebidas o vinagres. Luego están los sistemas de tratamiento de la Planta y Báscula línea 2 que han presentado valores de pH superiores a 8,5 para el 2021-1 y 2023-2, respecto a los máximos y límites permisibles establecidos en la Resolución 0699 del 2021.

- **Sólidos Suspendidos Totales**

El 27% de los sistemas de tratamiento incumplen en los valores de sólidos suspendidos totales en al menos uno de los semestres evaluados (ver Anexo 1, tabla 18). Siendo los sistemas de tratamiento del Casino y Planta las que han presentado valores de incumplimiento superiores a 50 (mg L^{-1}) en la remoción de sólidos suspendidos totales en el 2021-1, el año 2022 y el 2023 -1. Luego está el sistema de Báscula línea 2, que solo ha presentado valores de incumplimiento en uno de los semestres analizados. Estos problemas posiblemente son causados por las actividades industriales que se realizan en estos lugares, tales como la extracción del fruto de palma y producción de alimentos para empleados.

- **Grasas y Aceites**

El 18 % de los sistemas de tratamiento incumplen en los valores de grasas y aceites en al menos uno de los semestres evaluados (ver Anexo 1, tabla 19). Siendo el 2021-1 y el año 2022 donde se presentaron muestras con niveles de Grasas y Aceites en el agua superiores a 20 (mg L^{-1}), según lo establecido por la Resolución 0699 de 2021. Donde los sistemas de tratamiento de aguas residuales del del área del Casino y Planta son los principales contribuyentes con este incumplimiento, registrando el mayor dato de ineficiencia en el Casino de 450 (mg L^{-1}) en el año 2022-1 y el menor de 49,9 (mg L^{-1}) en el 2021-1, mientras que en el sistema de tratamiento de la planta el mayor dato registrado fue de 140 (mg L^{-1}) en el 2021-1 y el menor de 21 (mg L^{-1}) en el 2022-2. Estos altos valores de Grasas y Aceites obtenidos en el efluente de los sistemas de tratamiento pueden ser causado por falta de

mantenimiento, acumulación de residuos o un volumen de grasas ingresadas al sistema que excedió la capacidad de tratamiento del sistema, afectando su eficiencia.

- **DQO**

El 54% de los sistemas de tratamiento incumplen en los valores de DQO en al menos uno de los semestres evaluados (ver Anexo 1, tabla 20). Siendo los sistemas de tratamiento de aguas residuales del casino, oficinas, mulería, planta, báscula línea 2 y mulería el limón. Los que obtuvieron niveles de DQO superiores a los 200 ($\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$) establecidos en la Normativa. Destacando el sistema de tratamiento del área del Casino, el cual durante los semestres que se ha monitoreado este parámetro ha presentado valores muy por encima a los establecidos en la Resolución 0699 de 2021, siendo el valor máximo reportado de 1042 ($\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$) en el semestre 2023-1 y el mínimo reportado de 568 en el semestre 2023-2. Los altos valores de DQO presentes en el agua residual pueden ser por falta de mantenimiento en los sistemas de tratamiento, como también el uso de detergentes.

- **Sólidos Sedimentables**

El 9% de los sistemas de tratamiento incumplen en los valores de sólidos sedimentables en al menos uno de los semestres evaluados (ver Anexo 1, tabla 21). Donde se evidencia que los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas logran una efectiva remoción de los sólidos sedimentables, mostrando valores constantemente por debajo de los límites establecidos por la norma. Sin embargo, se destaca un resultado de 2 (mg L^{-1}) en la unidad de tratamiento del área de báscula línea 2 durante el semestre 2022-2, el cual es superior a lo establecido por la Resolución. Posiblemente por una sobrecarga del sistema en ese periodo.

- **Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)**

El 55% de los sistemas de tratamiento incumplen en los valores de sustancias activas al azul de metileno en al menos uno de los semestres evaluados (ver Anexo 1, tabla 22). Siendo los

sistemas de tratamiento de las áreas de casa gerencia, oficinas, mulería y planta, los que han presentado valores de sustancias activas al azul de metileno superiores a 0,5 (mg L⁻¹) durante el semestre 2023-2. El sistema de tratamiento del casino para el 2022-2 y el año 2023 ha registrado presencia de sustancias activas al azul de metileno superiores a lo establecido en la Norma, siendo 4,66 (mg L⁻¹) el registro con mayor presencia de SAAM y 0,8 (mg L⁻¹) el menor; este problema posiblemente se da por el uso de detergentes para la limpieza y otros productos químicos.

- **Conductividad Eléctrica**

El 100% de los sistemas de tratamiento incumplen en los valores de conductividad eléctrica en al menos uno de los semestres evaluados (ver Anexo 1, tabla 23). Siendo los sistemas de tratamiento del Casino y Oficinas las que han presentado valores de conductividad eléctrica superiores a 700 µS/cm en los semestres evaluados. Estos casos de altos niveles de conductividad en el agua residual pueden ser atribuido al uso de desinfectantes, detergentes y productos para la limpieza.

- **Fósforo**

El 100% de los sistemas de tratamiento incumplen en los valores de fósforo en al menos uno de los semestres evaluados (ver Anexo 1, tabla 24), ya que, en el 2022-2 y el año 2023, se obtuvieron valores superiores a 2 (mg L⁻¹) que es lo que establece la Resolución 0699 del 2021. Las altas concentraciones de fósforo en el agua residual, se da como resultado del uso de detergentes o como parte de las excreciones humanas.

- **Nitrógeno**

El 100% de los sistemas de tratamiento incumplen en los valores de nitrógeno en al menos uno de los semestres evaluados (ver Anexo 1, tabla 25). Siendo las unidades de tratamiento de Casa Gerencia, Casino, Oficinas, Mulería, Planta, Labrador, Progreso, Venecia, Báscula

Línea 2 y Mulería Limón, los que registraron presencia de Nitrógeno superiores a 20 (mg L^{-1}) en el 2023 -2. El sistema de tratamiento de la Planta, ha registrado la mayor presencia de Nitrógeno en el 2023 -2 con un valor de 150 (mg L^{-1}), superando los límites máximos permisibles por la Resolución 0699 de 2021. La presencia de Nitrógeno en el agua residual puede darse por la presencia de excreciones humanas, así como el uso de productos químicos como detergentes y productos de limpieza.

- **Cloruros**

En el (Anexo 1, tabla 26) se puede observar, que en los años evaluados el efluente de cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, mostró valores de presencia de Cloruros dentro de los límites establecidos por la Norma. Sin embargo, en el sistema del área del Casino, se destaca un resultado de 163 (mg L^{-1}) superior a lo establecido en la Resolución 0699 de 2021. Los altos niveles de Cloruro en el agua residual se pueden dar por la presencia de excrementos humanos, la orina o el uso de productos de limpieza y detergentes.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las caracterizaciones físicas y químicas realizadas al agua residual doméstica en los últimos tres (3) años, se identificó que los siguientes parámetros no cumplen con la normatividad vigente, afectando la eficacia de los sistemas de tratamiento.

pH: en los sistemas de casino, planta, Jarantiva, Vivero, Báscula línea 2.

SST: en los sistemas de Casino, Planta y Báscula línea 2.

Grasas y Aceites: en los sistemas de Casino y Planta.

DQO: en los sistemas de Casino, Oficinas, Mulería, Planta, Báscula línea 2 y Mulería el limón.

SAAM: en los sistemas de Casa gerencia, Casino, Oficinas, Mulería y Planta.

Conductividad Eléctrica: en los sistemas de Casa gerencia, Casino, Oficinas, Mulería, Planta, Conductores, Biomasa, Vivero, Báscula línea 2 y Mulería el limón.

Fosforo (P): en los sistemas de Casa gerencia, Casino, Oficinas, Mulería, Planta, Conductores, Biomasa, Jarantiva, Vivero, Báscula línea 2 y Mulería el limón.

Nitrógeno (N): en los sistemas de: Casa gerencia, Casino, Oficinas, Mulería, Planta, Conductores, Biomasa, Jarantiva, Vivero, Báscula línea 2 y Mulería el limón.

Siendo los sistemas pertenecientes a las áreas de Casino, Planta y Báscula línea 2 los que más presentan parámetros con cargas contaminantes por fuera de norma, afectando el efluente.

El Fósforo (P), Nitrógeno (N) y Conductividad Eléctrica son los parámetros con mayor presencia en todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Por lo que será necesario la implementación de otra unidad de tratamiento de tipo terciario, que permita depurar aquellos contaminantes que no lograron ser removidos por su paso en el sistema de tratamiento.

10.2 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO SEGÚN LA NORMATIVIDAD VIGENTE

Todas las aguas residuales domesticas de la empresa Palmas del Cesar S.A., pasan por un tratamiento antes de ser devueltas al medio ambiente. Sin embargo, en los análisis físicos y químicos realizados en los efluentes se presentaron valores que sobrepasan los límites establecidos por la actual normativa para vertimientos de aguas residuales domesticas tratadas al suelo.

En las caracterizaciones fisicoquímicas se analizaron parámetros como pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Grasas y Aceites, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos y Sólidos sedimentables, que posteriormente fueron comparados con los valores establecidos por la Resolución 0699 del 2021.

En las tablas 2 a 12 se mostrarán los valores obtenidos en los análisis físicos y químicos realizado anteriormente a la salida (efluente) de cada sistema de tratamiento, los cuales serán comparados con los valores establecidos en la Resolución 0699 de 2021, y servirán como

punto de partida para el desarrollo de propuestas que contribuyan en la reducción de la carga contaminante de los efluentes.

Tabla 2. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de Casa Gerencia con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Casa Gerencia				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	28,3	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	7,03	6,5 – 8,5	Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	98,8	200	Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	15,2	50	Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	0,1	1,5	Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	10,0	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0,5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	545	700	Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	3,11	2,0	No Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	42,78	20	No Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	(mg L ⁻¹)	66,0	140	Cumple

Tabla 3. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD del Casino con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Casino				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	28,3	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	5,13	6,5 – 8,5	No Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	885	200	No Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	112	50	No Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	1,0	1,5	Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	10	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0,5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	811	700	No Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	2,23	2,0	No Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	42,78	20	No Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	(mg L ⁻¹)	66	140	Cumple

Tabla 4. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de las Oficinas con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Oficinas				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	29,2	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	7,16	6,5 – 8,5	Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	130,0	200	Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	9,9	50	Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	0,1	1,5	Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	10,0	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0,5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	1.288	700	No Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	18,25	2,0	No Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	37,03	20	No Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	(mg L ⁻¹)	97,5	140	Cumple

Tabla 5. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de la Mulería central con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Mulería Central				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	28,2	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	7,22	6,5 – 8,5	Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	137,0	200	Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	14,5	50	Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	0,1	1,5	Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	10,0	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0,5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	987	700	No Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	3,12	2,0	No Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	101,70	20	No Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	(mg L ⁻¹)	54,5	140	Cumple

Tabla 6. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD del área de Conductores con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Conductores				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	28,2	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	7,20	6,5 – 8,5	Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	124,0	200	Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	50,5	50	No Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	6,0	1,5	No Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	10,0	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0,5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	587	700	Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	4,17	2,0	No Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	42,53	20	No Cumple
Cloruros (Cl⁻)	(mg L ⁻¹)	44,5	140	Cumple

Tabla 7. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de la Planta línea 1 con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Planta Línea 1				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	30,7	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	7,63	6,5 – 8,5	Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	126,0	200	Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	32,4	50	Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	0,1	1,5	Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	10,0	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0,5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	1.210	700	No Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	6,12	2,0	No Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	30,65	20	No Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	(mg L ⁻¹)	84,0	140	Cumple

Tabla 8. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de Báscula Línea 2 con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Báscula Línea 2				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	28.6	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	7,37	6.5 – 8.5	Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	60,6	200	Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	90,9	50	No Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	0,1	1.5	Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	10,0	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0.5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	725	700	No Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	1,32	2.0	Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	59,30	20	No Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	(mg L ⁻¹)	49,0	140	Cumple

Tabla 9. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de Biomasa con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Biomasa				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	29,7	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	7,24	6,5 – 8,5	Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	16,2	200	Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	5,0	50	Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	0,1	1,5	Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	10,0	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0,5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	906	700	No Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	3,67	2,0	No Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	27,02	20	No Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	(mg L ⁻¹)	71,0	140	Cumple

Tabla 10. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de la Mulería el limón con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Mulería Limón				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	29,4	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	7,43	6,5 – 8,5	Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	57,4	200	Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	5,0	50	Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	0,1	1,5	Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	10,0	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0,5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	1.234	700	No Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	13,03	2,0	No Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	80,81	20	No Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	(mg L ⁻¹)	87,5	140	Cumple

Tabla 11. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD de Jarantiva con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Jarantiva				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	28,3	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	7,66	6,5 – 8,5	Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	35,5	200	Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	5,0	50	Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	0,1	1,5	Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	11,1	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0,5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	745	700	No Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	2,82	2,0	No Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	23,14	20	No Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	(mg L ⁻¹)	98,0	140	Cumple

Tabla 12. Comparación de los datos obtenidos en el último monitoreo realizado al STARD del Vivero con la Resolución 0699 de 2021.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Vivero				
Parámetro	Unidad	Valor salida del sistema	Resolución 0699 de 2021	Estado
Temperatura	°C	28,3	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar	
pH	Und pH	6,57	6,5 – 8,5	Cumple
DQO	(mg L ⁻¹) O ₂	10,0	200	Cumple
SST	(mg L ⁻¹)	27,0	50	Cumple
SSED	(mg L ⁻¹)	0,1	1,5	Cumple
Grasas y Aceites	(mg L ⁻¹)	10,0	20	Cumple
SAAM	(mg L ⁻¹)	0,5	0,5	Cumple
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	265	700	Cumple
Fósforo Total (P)	(mg L ⁻¹)	1,21	2,0	Cumple
Nitrógeno (N)	(mg L ⁻¹)	41,16	20	No Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	(mg L ⁻¹)	20,5	140	Cumple

Se puede determinar que los parámetros físicos y químicos que más exceden los valores límites máximos permisibles establecidos por las actual Normativa para vertimientos de aguas residuales domésticas tratadas al suelo son, el fósforo (P), nitrógeno (N) y conductividad eléctrica, que, por sus altas concentraciones, pueden modificar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo y agua, convertirse en un problema a futuro, ya que agotan la riqueza de los suelos, causan eutrofización en aguas subterráneas o acuíferos cercanos (Rivas et al., 2009).

10.3 EFICACIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Palmas del Cesar S.A. cuenta con una serie de STARD, para dar tratamiento a las aguas residuales que son generadas por actividades diarias de los empleados como uso de sanitarios, duchas, entre otros con el propósito de devolvérselas al medio ambiente en mejores condiciones. Por tal razón, se calculó la eficacia de cada sistema de acuerdo a la remoción de parámetros como DQO, SST y Turbiedad.

Tabla 13. Resultados de eficacia de los STARD, en la remoción de parámetros, como DQO, SST y Turbiedad.

ID Sistema	DQO			SST			TURBIEDAD		
	Afluente (mg L ⁻¹)	Efluente (mg L ⁻¹)	% E	Valor Afluente (mg L ⁻¹)	Valor Efluente (mg L ⁻¹)	% E	Valor Afluente (mg L ⁻¹)	Valor Efluente (mg L ⁻¹)	% E
Casa Gerencia	3516,0	98,8	97,2%	0,09	0,04	55,5%	78,9	65,6	16,9%
Casino	3849,0	885,0	77,0%	0,03	0,02	33,3%	174,0	138,0	20,6%
Oficinas	3544,0	130,0	96,3%	0,05	0,03	40,0%	99,0	94,7	4,3%
Mulería Central	3503,0	137,0	96,1%	0,06	0,03	50,0%	191,0	106,0	44,5%
Planta Línea 1	3526,0	126,0	96,4%	0,03	0,01	66,6%	59,6	5,8	90,2%
Conductores	3507,0	124,0	96,5%	0,11	0,05	54,5%	143,0	71,9	49,7%
Báscula Línea 2	3520,0	60,0	98,3%	0,05	0,03	40,0%	51,8	28,3	45,3%
Biomasa	3594,0	16,2	99,5%	0,05	0,03	40,0%	2,5	0,7	72%
Vivero	3567,0	10,0	99,7%	0,4	0,1	75,0%	12,2	9,6	21,3%
Mulería Limón	3565,0	57,4	98,4%	0,06	0,01	83,3%	24,5	1,0	95,9%
Jarantiva	3571,0	35,5	99,0%	0,03	0,02	33,3%	89,3	3,0	96,6%

De acuerdo a la tabla 13, se puede observar que varios de los sistemas presentan bajos niveles de eficacia en algunos parámetros, pero los porcentajes de eficacia más bajos, son los obtenidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas perteneciente al área del casino con valores de remoción de turbiedad y Sólidos Suspendidos por debajo del 40% y en DQO con un 77%, lo que puede indicar sobre cargas del sistema, por tal razón, se cree necesario la implementación de un humedal artificial como tratamiento terciario para disminuir valores por encima de los límites máximos permisibles de aquellos parámetros fisicoquímicos establecidos por la Normatividad y aumentar la eficacia de los sistemas de tratamiento, devolviendo al medio ambiente efluentes en mejores condiciones.

10.4 ALTERNATIVAS DE MEJORA

Con el propósito de mejorar la eficacia de los sistemas de tratamientos de aguas residuales domésticas de la empresa, se plantearán las siguientes alternativas de mejora que conllevarán a la reducción de la carga contaminante del efluente.

En primer lugar, para reducir la presencia de las sustancias activas al azul de metileno, Cloruros y fosfatos, en los efluentes, se debería realizar el cambio de los detergentes empleados comúnmente para la limpieza, por unos detergentes biodegradables más amigables con el medio ambiente; como aquellos con formulaciones basadas en sulfonatos de alquilo lineales (ALS). El cual es un ingrediente que en su estructura molecular no cuenta con presencia de un anillo bencénico lo que facilita su biodegradabilidad (Ramírez, 2006).

Tabla 14. Comparación de los detergentes convencionales y biodegradables.

Detergentes convencionales	Detergentes biodegradables
• Elaborado a base de sustancias químicas. • Usa tensoactivos como dodecylbencensulfonato de sodio (C₁₂H₂₅-C₆H₄-SO₃Na), el cual hace de los detergentes un contaminante persistente. • Tiene presencia de productos surfactantes, fosfatos y nitrógeno que pueden causar afectaciones en suelos y cuerpos de agua. • Cadenas de alquilo con ramificaciones, impidiendo su degradación por los microorganismos. • Gran contaminante del suelo y agua.	• Se descomponen de forma natural. • Tienen una cadena lineal de hidrocarburos facilitando su degradación. • Cadenas de alquilo sin ramificaciones • Son fácilmente degradados por los microorganismos evitando contaminación.

Seguidamente, con el propósito de reducir la concentración de parámetros como fósforo (P), nitrógeno (N), DQO, SST y grasas y aceites, se propone la implementación de un humedal artificial (Anexo 2), en el cual se empleará un monocultivo de plantas macrófitas. Que pueden transportar el oxígeno de la atmósfera por medio de las hojas y tallos hasta las raíces favoreciendo la producción de reacciones que degradan la materia orgánica y la nitrificación, ya que la degradación de contaminantes del agua residual domestica con macrófitas se da a través de mecanismos primarios como la degradación de la materia orgánica por un conjunto de microorganismos facultativos provenientes de las raíces de las plantas (López & Rodriguez, 2016).

También, será necesario la implementación de un plan de capacitación (Anexo 4) por el cual se dé a conocer información básica de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas a los empleados, aclarando la manera correcta de hacer uso de los sistemas sanitarios y los efectos negativos de los detergentes con altos niveles de fosfatos, con el fin de que estos sistemas funcionen adecuadamente y así mantener su eficiencia.

- **Diseño del humedal**

A través de los datos obtenidos de la eficacia de los sistemas de tratamiento se determinó la importancia de la implantación del humedal artificial en cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, por el cual se elaboró el cálculo de diseño de dicho humedal (ver anexo 2). Seguidamente para comprar la eficacia del humedal se decidió realizar una prueba a escala de laboratorio, haciendo uso de una muestra de agua de 5 galones de uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas que presenta mayor incumpliendo de los valores máximos permisibles establecidos por la resolución 0627 de 20021.

La muestra de agua se mantuvo en el humedal con un tiempo de retención hidráulica de tres (3) días, asimismo, se hizo la recolección de una muestra de agua resultante, teniendo en cuenta el instructivo de toma y preservación de muestras del IDEAM, para ser enviada a un laboratorio certificado y acreditado en normas internacionales de calidad, para posteriormente realizar el cálculo de eficacia del humedal.

- **Cálculo eficacia del humedal**

De acuerdo a los resultados obtenidos de la caracterización física y química realizada a la muestra de agua del humedal artificial (ver Anexo 3), se realizó el cálculo de la eficacia para la remoción de contaminantes de este sistema, de acuerdo a los valores limites permisibles de la resolución 0699 de 2021.

Tabla 15. Datos de la eficacia y cumplimiento con la Resolución 0699 de 2021, de la muestra de agua residual (efluente), luego de su paso por el humedal artificial.

Parámetro Analizado	Valor Afluente (mg L ⁻¹)	Valor Efluente (mg L ⁻¹)	Estado	% Eficacia
pH	5,13,00	8,30	Cumple	---
Conductividad eléctrica	811,00	1071,00	No Cumple	---
DBO ₅	---	43,90		---
DQO	885,00	106,00	Cumple	88,02%
Fósforo Total	2,23	0,88	Cumple	60,54%
Grasas y Aceites	10,00	<5,00	Cumple	50,00%
Nitratos	---	0,60	---	---
Nitritos	---	0,01	---	---
Nitrógeno Kjeldahl	---	5,29	---	---
Nitrógeno Total	42,78	5,90	Cumple	86,21%
Sólidos Suspendidos	112,00	46,40	Cumple	58,57%
Surfactantes SAAM	0,50	0,32	Cumple	36,00%

Se puede observar que el agua residual del área del casino obtuvo mejores resultados en su efluente después de su paso por el humedal, con resultados en la remoción de contaminantes mayor al 50%, contribuyendo en el cumplimiento de los límites permisibles de la Resolución 0699 de 2021.

El prototipo de humedal con macrófita *Alocasia Macrorrhizos* (oreja de elefante), ayuda en la disminución de la mayoría de los parámetros fisicoquímicos exigidos por la actual resolución para el vertimiento de aguas residuales tratadas al suelo, ya que, este tipo de planta puede asimilar los nutrientes del agua logrando su purificación, como es el caso del fósforo, que es removido por la planta e incorporado en su tejido vegetal, además, tiene la capacidad de transportar oxígeno hasta sus raíces para que los microorganismos heterótrofos lo utilicen y así contribuyen en la reducción de los contaminantes presentes en el agua a través de procesos de degradación aerobios (Sarco et al., 2017).

11 CONCLUSIONES

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la empresa Palmas del Cesar S.A., enfrentan mayores complicaciones en la remoción de parámetros como el fósforo y nitrógeno, con valores que superan los límites establecidos por la Resolución 0699 de 2021. El sistema de tratamiento de aguas residuales del área del Casino es el que presenta mayores retos en la eliminación de contaminantes, indicando que los efluentes de dicho sistema no pueden ser vertidas al suelo.

Los porcentajes de eficacia más bajos en la remoción de los parámetros analizados se reportaron en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del Casino con 77% en DQO, 33% en SST y 21% para Turbiedad, estos bajos niveles de eficacia son el resultado de sobrecargas en el sistema o fallas en alguna de las unidades de tratamiento, por tal razón será necesaria la implementación de los humedales artificiales como estrategia para optimizar el rendimiento de los STRAD.

El humedal artificial de flujo superficial diseñado a escala de laboratorio para una muestra de agua del STRAD del Casino, demostró ser una buena opción como parte del tratamiento de las aguas residuales domésticas, ya que los análisis de laboratorio realizados al efluente después de un tiempo de retención hidráulica de tres (3) días, presentan una eficacia en la remoción de contaminantes del 88% en DQO, 60,5% en Fósforo, 50% en Grasas y Aceites, 86% en Nitrógeno y un 36% en Sustancias Activas al Azul de Metileno. Manteniendo el efluente dentro de los valores límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 0699 de 2021, indicando que las aguas residuales serán aptas para ser vertidas al suelo.

12 RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de los humedales artificiales en todos los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, ya que estos son de bajo costo operativo, purifican y regulan las cargas contaminantes del agua a través de procesos o naturales de las plantas, permitiendo efluentes que cumplan con los valores máximos permisibles de la resolución 0699 de 2021.

Además, se recomienda promover una cultura hacia el cambio de los productos de limpieza convencionales que contienen compuestos químicos, fosfatos y sustancias surfactantes no biodegradables, y optar por aquellos con formulaciones biodegradables. Esto contribuirá en la mejora de la calidad del agua, garantizando un entorno más limpio y sostenible para las futuras generaciones.

Finalmente, se recomienda continuar con los planes de capacitación en diversos temas de interés, como el consumo responsable del agua, clasificación de residuos entre otros. Ya que estos fomentan cultura de conciencia ambiental, promoviendo hábitos que contribuyen a la mejora del entorno.

13 OTRAS ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA PRÁCTICA

Durante el periodo de prácticas académicas se llevaron a cabo las siguientes actividades.

Monitoreo de la calidad del Biocompost: Esta tarea se basa en el análisis constante de un determinado lote de Biocompost en un periodo de 60 días; a través de la medición diaria de parámetros fisicoquímicos como pH y temperatura, los cuales son esenciales para la gestión del proceso de compostaje, garantizando que se esté dando el adecuado proceso de crecimiento y desarrollo de los microorganismos que se encargan de descomponer la materia orgánica.

Manejo de las bases de datos de los consumos de agua: Se realiza un registro y actualización diaria de los consumos de agua realizados en los pozos subterráneos ubicados en diferentes sectores de la empresa, donde se verifica si se exceden los niveles máximos de consumo de agua establecidos y posterior mente se envía un reporte periodo de estos consumos a la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR).

Campañas de reforestación: Periódicamente las instituciones educativas de las áreas aledañas a la empresa Palmas del Cesar, solicitan una donación de árboles y acompañamiento, para actividades de siembra de árboles en zonas de amortiguación o cerca de las rondas hídricas. En estos acompañamientos se les enseña a los participantes de dicha actividad la manera correcta de sembrar un árbol y los cuidados que se le deben brindar a futuro para asegurar su crecimiento y contribuir con la preservación del medio ambiente.

Elaboración de proyectos PRAE: Se elaboraron cuatro Proyectos Ambientales Escolares en temas como: Ahorro y uso eficiente del agua, disposición y aprovechamiento de residuos, educación ambiental en sitios de paseo y manejo adecuado de los aceites usados de cocina, para que los estudiantes de los grados décimo y undécimo de las instituciones educativas de las áreas de influencia de la empresa Palmas del Cesar S.A. puedan prestar el servicio social obligatorio, participando directamente en los proyectos ambientales escolares.

14 BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía de San Martín, C. (2024, August 10). *Ecología San Martín Cesar*.
<https://www.sanmartin-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Ecologia.aspx>
- Almanza, L. (2015). *Aspectos Generales Del Diseño Hidraulico*.
- Arcos, C. L., & Yarce, D. M. (2005). *Evaluación de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales con filtro anaerobio de flujo ascendente ubicada en el colegio académico de Asnazú-Suarez(Cauca)*. 1–23.
- Auccatinco, H. R. (2021). *Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cusipata, provincia Quispicanchi – Cusco*. 1–110.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11355>
- Balvin, B. (2020). *Propuesta Del Mejoramiento En La Eficiencia De La Ptar Chilpina, Distrito Socabayaprovincia Arequipa-Departamento Arequipa*. 0–294.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11454/ISbabeb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barrantes, E., & Cartín, M. (2017). *Eficacia del tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica en la Sede de Occidente, San Ramón, Costa Rica*. 9(1), 193–197. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v9n1/1659-4266-cinn-9-01-00193.pdf>
- Batero, C. Y., & Cruz, O. E. (2007). *Evaluación de filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFAs) con medio de soporte en guadua para la remoción de materia orgánica de un agua residual sintética*. 7(3), 213–221.

- Campo, U. J. F. (2022). *Estado del arte de los sistemas sépticos para el tratamiento del agua residual en zonas rurales*. 1–68.
https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/31573/5/CampoJuan_2022_SaneamientoZonasRurales
- Cardona, A. V. C. (2006). *Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas ubicada en el municipio de la Tebaida. 1*, 105–112.
- Cely, C. N. J., Bonilla, G. C. A., & Carrillo, S. G. A. (2022). Tratamientos de aguas residuales. In *Tratamientos de aguas residuales*.
- Corpocesar. (2017). *resolucion-0702-28-07-2017-DG.pdf* (p. 28).
<https://www.corpocesar.gov.co/files/resolucion-0702-28-07-2017-DG.pdf>
- Correa, T. S. N., Reátiga, A., Duran, M. C., & Florville, T. R. (2023). Eficiencia de la aplicación de Chrysopogon zizanioides en un sistema de agua residual doméstica rural con pretratamiento de pozo séptico. *Información Tecnológica*, 34(5), 1–10.
<https://doi.org/10.4067/s0718-07642023000500001>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Andrade, M., & Pérez, L. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales - Universidad Mayor de San Simón*.
<https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Fuentes, R. R. M., Ramos, L. J. A., Jimenez, M. M. del carmen, & Esparza, S. M. (2015). *Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3d*. 31(3), 253–264.

- Garzón Zúñiga, M. A., González Zurita, J., & García Barrios, R. (2016). Evaluación de un sistema de tratamiento doméstico para reúso de agua residual. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 32(2), 199–211. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.06>
- Gutiérrez, C. O. D. (2022). *¿Qué es un tanque séptico y como funciona?* <https://es.linkedin.com/pulse/qué-es-un-tanque-séptico-y-como-funciona-gutiérrez-coronado>
- Hernández, G. W. F., & Larrota, R. S. A. (2017). Evaluación de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la provincia comunera, Santander- Colombia S. *Journal GEEJ*, 27. <https://test.repositoriodigital.com/handle/123456789/37820>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptisa Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación*.
- IDEAM. (2019). Estudio nacional del agua 2018. In *Cartilla ENA 2018*.
- IDEAM. (2020). *Instructivo de toma y preservación de muestras sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad del ideam*. 1–21.
- Lizarazo, B. J. M., & Orjuela, G. M. I. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. *Universidad Nacional de Colombia*, 82. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/20486/marthaisabelorjuela2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, L. E., & Rodríguez, M. J. (2016). *Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial como tratamiento de agua residual doméstica en la vereda Bajos de Yerbabuena en el municipio de Chía, Cundinamarca*. https://bibliotecadigital.oducal.com/Record/ir-ing_ambiental_sanitaria-

1374/Description?sid=360597#tabnav

Lozada, C. D. L., & Giraldo, J. E. A. (2019). Origen de los olores en plantas de tratamiento de aguas residuales. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & Garcia, M. C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 4, 72–82.

MinAgricultura. (2023). *Almidón de bore tiene poder descontaminante de ríos y quebradas*. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Almidón-de-bore-tiene-poder-descontaminante-de-ríos-y-quebradas.aspx>

MinAmbiente. (2023). *Estudio nacional del agua 2022*. Ministerio de Medio Ambiente.

Ministerio de Ambiente. (2018). *Decreto 50 de 2018*. 1–13. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85084>

Ministerio de Ambiente. (2021). *Resolucion 0699 De 2021*. 1974, 1–6. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0699-de-2021/>

- Ministerio de Ambiente, M. de ambiente y desarrollo sostenible. (2012). Diagnostico nacional de salud ambiental. *<https://www.minsalud.gov.co/Sites/Rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.Pdf>*, 368.
- Ministerio de Vivienda, C. y T. R. de C. (2017). Resolución 0330 de 2017. In *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Republica de Colombia*. (p. 182). <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>
- Norma RAS. (2000). Reglamento Técnico Del Sector De Saneamiento Basico Agua Potable Y Ras - 2000 - Tratamiento De Aguas Residuales. Título E. *Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Basico*, 150. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Ocampo, M. (2019). Tratamiento de aguas residuales Imagen: *Oficina de Información Científica y Tecnológica Para El Congreso de La Unión*, 52(028), 1–6. https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf
- Palmas del Cesar, P. (2021). *Palmas del Cesar*. <https://palcesar.com/>
- Ramírez, & Fernando, J. D. (2021). Sistema de medición y control de temperatura para un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales. *Investigación e Innovación En Ingenierías*, 9(1), 100–113. <https://doi.org/10.17081/invinno.9.1.4305>
- Ramírez, J. (2006). Detergentes orgánicos sintéticos y ambiente. *Hidrogénesis*, 4(1), 22–27.

- Rivas, Z., Sánchez, J., Troncone, F., Márquez, R., Ledo de Medina, H., Colina, M., & Gutiérrez, E. (2009). Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*, 34(5), 308–314. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000500004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Rojas Romero, J. A. (2014). Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios. In *Penambahan Natrium Benzoat Dan Kalium Sorbat (Antiinversi) Dan Kecepatan Pengadukan Sebagai Upaya Penghambatan Reaksi Inversi Pada Nira Tebu* (1st ed.).
- Sarco, D. G. C., Paredes, Y. E. C., & Mamani, M. E. F. (2017). Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales subsuperficiales con macrófita *Alocasia macrorrhizos* (orejas de elefante) en la urbanización los tulipanes –Chosica, Lima. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(2), 1–11. <https://doi.org/10.17162/rictd.v1i2.950>
- Yáñez, T. S. (2018). *Influencia del pH en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en humedales contruidos de flujo vertical*. 61. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/20315/YanezTorrente_Sandra_TFG_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

15 ANEXOS

ANEXO 1. ANÁLISIS DE LAS CARACTERIZACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ÚLTIMOS TRES AÑOS, REALIZADOS A LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE PALMAS DEL CESAR.

Nota: en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas de las áreas de Biomasa y Báscula línea 2, no se encuentran resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas para el año 2021 y el 2022-1, debido a que estos sistemas son nuevos y comenzaron a funcionar a partir del 2022-2

- **Temperatura**

Tabla 16. Valores referentes a la temperatura, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

TEMPERATURA							
Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h) $\pm 5^{\circ}\text{C}$ que el rango de temperatura media anual.							
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	29,2	31,3	38	29,6	29,5	28,3
2	Casino	29,1	30,7	34	33,2	29,8	29,5
3	Oficinas	29	29,4	29,4	29,7	30,5	30
4	Mulería	29	28,6	33	28,6	29,7	28,7
5	Planta	32	20,6	35,3	32,28	31,5	32,2
6	Conductores	29,1	29,7	29,5	27,9	28,6	30,1
7	Biomasa	-	-	-	30,2	30,8	30,2
8	Jarantiva	28,4	30	33,8	31,6	30	33
9	Vivero	29,5	29,1	32,9	31	28,2	30,7
10	Báscula Línea 2	-	-	-	28,8	29,7	20,3
11	Mulería Limón	27,3	30,8	31,5	28,2	29,4	31,4
PROMEDIO		26,99	24,91	26,99	29,81	29,81	29,85

En la tabla se puede observar, que en los años evaluados el efluente de cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, presentó valores dentro de los límites establecidos por la Norma. El 2022-2, 2023-1 y 2023-2, fueron los semestres con un promedio de temperaturas más altas y constantes; siendo 29,85 la temperatura máxima

promediada y 29,81 la mínima, que pueden ser producto de las condiciones climáticas o factores ambientales.

- pH

Tabla 17. Valores referentes al pH, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

		pH					
		Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h)					
		6,5 – 8,5 pH					
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	7,52	6,69	7,3	7,32	7,42	7,65
2	Casino	5,11	6,6	5,88	5,77	7,8	5,54
3	Oficinas	7,28	6,72	7,28	7,35	7,46	7,75
4	Mulería	7,7	7,25	7,7	7,92	8,15	7,49
5	Planta	7,84	7,19	8,7	7,47	7,86	8,42
6	Conductores	8,06	7,15	7,83	7,6	8,2	7,2
7	Biomasa	-	-	-	8,44	8,04	7,76
8	Jarantiva	7,8	6,2	6,63	7,78	7,57	7,96
9	Vivero	7,21	6,1	6,96	7	7,4	7,66
10	Báscula Línea 2	-	-	-	7,36	7,76	8,95
11	Mulería Limón	7,11	6,55	6,61	7,6	7,8	8,06

$$\left(\frac{5}{11}\right) * 100 = 45\%$$

En la tabla se puede observar que el 45% de los sistemas de tratamiento incumplen en al menos uno de los semestres evaluados. Siendo los sistemas de tratamiento de Jarantiva y Vivero las que han presentado valores de pH inferiores a 6,5 para el segundo semestre del 2021. El sistema de tratamiento del casino ha presentado pH ácidos entre 5,11 y 5,88 en las muestras correspondientes al 2021-1, el año 2022 y el 2023-2; que podrían ser producto del uso de productos de limpieza, descomposición de restos de alimentos o residuos de algunas bebidas o vinagres, Luego están los sistemas de tratamiento de la Planta y Báscula línea 2 que han presentado valores de pH superiores a 8,5 para el 2021-1 y 2023-2, respecto a los máximos y límites permisibles establecidos en la Resolución 0699 del 2021

- **Sólidos suspendidos totales**

Tabla 18. Valores referentes a los sólidos suspendidos totales, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES							
Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h)							
50 mg L⁻¹							
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	22,8	10	20	23	20	16,6
2	Casino	172	28,5	800	778	57	39,2
3	Oficinas	10,7	30	20	20	20	6,4
4	Mulería	14,8	50	30	23	20	12,5
5	Planta	260	10	100	49	79	10,8
6	Conductores	21,7	10,1	21	20	28	9,4
7	Biomasa	-	-	-	20	20	20
8	Jarantiva	25	10	20	20	20	21,1
9	Vivero	10,9	0,778	26	20	32	5
10	Báscula Línea 2	-	-	-	20	86	26,2
11	Mulería Limón	8,5	0,31	20	45	20	26,6

$$\left(\frac{3}{11}\right) * 100 = 27\%$$

En la tabla se puede observar que el 27% de los sistemas de tratamiento incumplen en al menos uno de los semestres evaluados. Siendo los sistemas de tratamiento del Casino y Planta las que han presentado valores de incumplimiento superiores a 50 mg L⁻¹ en la remoción de sólidos suspendidos totales en el 2021-1, el año 2022 y el 2023 -1. Luego está el sistema de Báscula línea 2, que solo ha presentado valores de incumplimiento en uno de los semestres analizados. Estos problemas posiblemente son causados por las actividades industriales que se realizan en estos lugares, tales como la extracción del fruto de palma y producción de alimentos para empleados.

- **Grasas y aceites**

Tabla 19. Valores referentes a grasas y aceites, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

GRASAS Y ACEITES							
Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h)							
20 mg L⁻¹							
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	2	1,57	0,1	10	10	1,79
2	Casino	49,9	5,92	450	439	17	12,6
3	Oficinas	2	3,21	10	10	10	0,6
4	Mulería	9,89	4,45	12	10	10	0,756
5	Planta	140	1,61	45	21	19	0,5
6	Conductores	13,7	6,01	10	10	10	0,5
7	Biomasa	-	-	-	10	10	0,5
8	Jarantiva	2	0,2	10	10	10	10
9	Vivero	2	0,77	10	10	10	0,5
10	Báscula Línea 2	6,12	-	-	10	10	0,5
11	Mulería Limón	2	0,31	10	10	10	0,5

$$\left(\frac{2}{11}\right) * 100 = 18\%$$

En la tabla se puede observar, que el 18% de los sistemas de tratamiento incumplen en la remoción de Grasas y Aceites en al menos uno de los semestres evaluados. Siendo el 2021-1 y el año 2022 donde se presentaron muestras con niveles de Grasas y Aceites en el agua superiores a mg L⁻¹, según lo establecido por la Resolución 0699 de 2021.

Donde los sistemas de tratamiento de aguas residuales del área del Casino y Planta son los principales contribuyentes con este incumplimiento, registrando el mayor dato de ineficiencia en el Casino de 450 mg L⁻¹ en el año 2022-1 y el menor de 49,9 mg L⁻¹ en el 2021-1, mientras que en el sistema de tratamiento de la planta el mayor dato registrado fue de 140 mg L⁻¹ en el 2021-1 y el menor de 21 mg L⁻¹ en el 2022-2. Estos altos valores de Grasas y Aceites obtenidos en el efluente de los sistemas de tratamiento pueden ser causado por falta de mantenimiento, acumulación de residuos o un volumen de grasas ingresadas al sistema que excedió la capacidad de tratamiento del sistema, afectando su eficacia

- **Demanda química de oxígeno**

Tabla 20. Valores referentes a DQO, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

DQO							
Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h)							
200 mg L⁻¹ O₂							
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	-	-	-	177	99	70,5
2	Casino	-	-	-	1030	1042	568
3	Oficinas	-	-	-	229	160	81,5
4	Mulería	-	-	-	235	182	116
5	Planta	-	-	-	4,25	296	340
6	Conductores	-	-	-	144	47	61,6
7	Biomasa	-	-	-	124	119	20
8	Jarantiva	-	-	-	160	15	20
9	Vivero	-	-	-	17	25	20
10	Báscula Línea 2	-	-	-	70	227	20
11	Mulería Limón	-	-	-	145	227	40,9

$$\left(\frac{6}{11}\right) * 100 = 54\%$$

En la tabla se puede observar que el 54% de los sistemas de tratamiento incumplen en al menos uno de los semestres evaluados. Siendo los sistemas de tratamiento de aguas residuales del casino, oficinas, mulería, planta, báscula línea 2 y mulería el limón. Los que obtuvieron niveles de DQO superiores a los 200 (mg L⁻¹ O₂) establecidos en la Normativa. Destacando el sistema de tratamiento del área del Casino, el cual durante los semestres que se ha monitoreado este parámetro ha presentado valores muy por encima a los establecidos en la Resolución 0699 de 2021, siendo el valor máximo reportado de 1042 (mg L⁻¹ O₂) en el semestre 2023-1 y el mínimo reportado de 568 en el semestre 2323-2. Los altos valores de DQO presentes en el agua residual pueden ser por falta de mantenimiento en los sistemas de tratamiento, como también el uso de detergentes.

- **Sólidos sedimentables**

Tabla 21. Valores referentes a los sólidos Sedimentables, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SSED)							
Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h)							
1,5 (mg L⁻¹)							
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	-	-	-	0,1	0,1	0,1
2	Casino	-	-	-	0,1	0,1	0,1
3	Oficinas	-	-	-	0,1	0,1	0,1
4	Mulería	-	-	-	0,1	0,1	0,1
5	Planta	-	-	-	0,1	0,1	0,1
6	Conductores	-	-	-	0,1	0,1	0,1
7	Biomasa	-	-	-	0,1	0,1	0,1
8	Jarantiva	-	-	-	0,1	0,1	0,1
9	Vivero	-	-	-	0,1	0,1	0,1
10	Báscula Línea 2	-	-	-	2	0,1	0,1
11	Mulería Limón	-	-	-	0,1	0,1	0,1

$$\left(\frac{1}{11}\right) * 100 = 9\%$$

En las gráficas se evidencia que los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas logran una efectiva remoción de los sólidos sedimentables, mostrando valores constantemente por debajo de los límites establecidos por la norma. Sin embargo, se destaca un resultado de 2 mg L⁻¹ en la unidad de tratamiento del área de báscula línea 2 durante el semestre 2022-2, el cual es superior a lo establecido por la Resolución. Posiblemente por una sobrecarga del sistema en ese periodo.

- **Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)**

Tabla 22. Valores referentes a sustancias activas al azul de metileno, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM)							
Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h)							
0,5 (mg L ⁻¹)							
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	-	-	-	0,2	0,2	8,85
2	Casino	-	-	-	1,5	0,8	4,66
3	Oficinas	-	-	-	0,2	0,2	1,35
4	Mulería	-	-	-	0,2	0,3	7,37
5	Planta	-	-	-	0,5	0,2	7,78
6	Conductores	-	-	-	0,2	0,2	0,114
7	Biomasa	-	-	-	0,2	0,2	0,1
8	Jarantiva	-	-	-	0,2	0,2	0,1
9	Vivero	-	-	-	0,2	0,2	0,1
10	Báscula Línea 2	-	-	-	0,2	0,2	0,103
11	Mulería Limón	-	-	-	0,2	0,2	0,1

$$\left(\frac{5}{11}\right) * 100 = 55\%$$

En las gráficas se puede observar que el 55% de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incumplen en al menos uno de los semestres evaluados.

Siendo los sistemas de tratamiento de las áreas de casa gerencia, oficinas, mulería y planta, los que han presentado valores de Sustancias Activas al Azul de Metileno superiores a 0,5 mg L⁻¹ durante el semestre 2023-2. El sistema de tratamiento del casino para el 2022-2 y el año 2023 ha registrado presencia de Sustancias Activas al Azul de Metileno superiores a lo establecido en la Norma, siendo 4,66 mg L⁻¹ el registro con mayor presencia de SAAM y 0,8 mg L⁻¹ el menor; este problema posiblemente se da por el uso de detergentes para la limpieza y otros productos químicos.

Nota: para el parámetro Conductividad Eléctrica analizado a continuación, no cuenta con resultados del estudio realizado en el 2023-1, debido a que el laboratorio encargado de la actividad no registro los datos obtenidos para el parámetro.

- **Conductividad eléctrica**

Tabla 23. Valores referentes a conductividad eléctrica, obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA							
Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h)							
700 µS/cm							
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	-	-	-	7,71	-	840
2	Casino	-	-	-	1726	-	862
3	Oficinas	-	-	-	1360	-	1772
4	Mulería	-	-	-	14,25	-	1077
5	Planta	-	-	-	1437	-	1557
6	Conductores	-	-	-	967	-	708
7	Biomasa	-	-	-	1219	-	308
8	Jarantiva	-	--	-	1437	-	329
9	Vivero	-	-	-	251	-	915
10	Báscula Línea 2	-	-	-	883	-	415
11	Mulería Limón	-	-	-	19,12	-	1188

$$\left(\frac{11}{11}\right) * 100 = 100\%$$

En las gráficas se puede observar que el 100% de los sistemas de tratamiento incumplen en al menos uno de los semestres evaluados, presentando un problema significativo con la Conductividad Eléctrica. Siendo los sistemas de tratamiento del Casino y Oficinas las que han presentado valores de conductividad eléctrica superiores a 700 µS/cm en los semestres

evaluados. Estos casos de altos niveles de conductividad en el agua residual pueden ser atribuido al uso de desinfectantes, detergentes y productos para la limpieza.

- **Fósforo**

Tabla 24. Valores referentes a fósforo (P), obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

FÓSFORO (P)							
Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h)							
2 mg L⁻¹							
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	-	-	-	7,68	2,8	4,82
2	Casino	-	-	-	8	6,4	6,18
3	Oficinas	-	-	-	14,3	13,6	18,6
4	Mulería	-	-	-	5	2,8	3,87
5	Planta	-	-	-	10,6	11,28	14,7
6	Conductores	-	-	-	0,3	7,7	3,16
7	Biomasa	-	-	-	7,6	7,4	0,807
8	Jarantiva	-	-	-	8,1	1,3	1,4
9	Vivero	-	-	-	0,3	6,1	3,78
10	Báscula Línea 2	-	-	-	7,4	1,9	0,696
11	Mulería Limón	-	-	-	11	1,9	3,88

$$\left(\frac{11}{11}\right) * 100 = 100\%$$

En las gráficas se puede observar que los sistemas de tratamiento de aguas residuales incumplen en Fósforo en al menos uno de los semestres evaluados.

Ya que en el 2022-2 y el año 2023, se obtuvieron valores superiores a 2 mg/L que es lo que establece la Resolución 0699 del 2021.

Las altas concentraciones de fosforo en el agua residual, se da como resultado del uso de detergentes o como parte de las excreciones humanas.

- **Nitrógeno**

Tabla 25. Valores referentes a nitrógeno (N), obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

NITRÓGENO (N)							
Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h)							
20 mg L ⁻¹							
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	-	-	-	69	26	39,5
2	Casino	-	-	-	85	38	42,7
3	Oficinas	-	-	-	74	3,6	150
4	Mulería	-	-	-	76	51	24,1
5	Planta	-	-	-	81	35	165
6	Conductores	-	-	-	46	8	15,8
7	Biomasa	-	-	-	37	31	7,94
8	Jarantiva	-	--	-	50	3	10,2
9	Vivero	-	-	-	13	22	2,08
10	Báscula Línea 2	-	-	-	36	46	5,95
11	Mulería Limón	-	-	-	44	46	66,3

$$\left(\frac{11}{11}\right) * 100 = 100\%$$

En las gráficas se puede observar que los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la empresa incumplen en al menos uno de los semestres evaluados. Siendo las unidades de tratamiento de Casa Gerencia, Casino, Oficinas, Mulería, Planta, Labrador, Progreso, Venecia, Báscula Línea 2 y Mulería Limón, los que registraron presencia de Nitrógeno superiores a 20 mg L⁻¹ en el 2023 -2. El sistema de tratamiento de la Planta, ha registrado la mayor presencia de Nitrógeno en el 2023 -2 con un valor de 150 mg L⁻¹, superando los límites máximos permisibles por la Resolución 0699 de 2021. La presencia de Nitrógeno en el agua residual puede darse por la presencia de excreciones humanas, así como el uso de productos químicos como detergentes y productos de limpieza.

- **Cloruros**

Tabla 26. Valores referentes a cloruros (Cl), obtenidos del monitoreo de los efluentes en cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en los últimos tres años.

CLORURO (Cl)							
Categoría III (Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h)							
140 mg L⁻¹							
Nº	ID SISTEMA	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	2023-1	2023-2
1	Casa gerencia	-	-	-	77	24	58,9
2	Casino	-	-	-	163	42	83,7
3	Oficinas	-	-	-	107	74	121
4	Mulería	-	-	-	62	42	41,3
5	Planta	-	-	-	107	68	117
6	Conductores	-	-	-	74	26	44
7	Biomasa	-	-	-	97	89	12,3
8	Jarantiva	-	-	-	82	13	11,9
9	Vivero	-	-	-	10	13	65,7
10	Báscula Línea 2	-	-	-	73	53	31,5
11	Mulería Limón	-	-	-	80	53	70,7

$$\left(\frac{1}{11}\right) * 100 = 9\%$$

En las gráficas se puede observar, que en los años evaluados el efluente de cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, mostró valores de presencia de Cloruros dentro de los límites establecidos por la Norma. Sin embargo, en el sistema del área del Casino, se destaca un resultado de 163 mg L⁻¹ superior a lo establecido en la Resolución 0699 de 2021. Los altos niveles de Cloruro en el agua residual se pueden dar por la presencia de excrementos humanos, la orina o el uso de productos de limpieza y detergentes. De acuerdo a los resultados obtenidos de las caracterizaciones físicoquímicas realizadas al agua residual doméstica en los últimos tres (3) años, se identificó que los siguientes parámetros no cumplen con la normatividad vigente afectando la eficacia de los sistemas de tratamiento.

ANEXO 2. CÁLCULO DE DISEÑO HUMEDAL ARTIFICIAL

- **Cálculo caudal de diseño**

El caudal de diseño se calculará partiendo del de las metodologías de diseño del RAS 2000 del número de personas promedio que hacen uso de los sistemas de tratamiento.

$$Q = p * q \frac{L}{\text{día}}$$

$$Q = 66 * 70 \frac{L}{\text{día}} = 4.620 \frac{L}{\text{día}}$$

P= número de usuarios (66 personas)

Q= caudal medio diario (70 L/persona)

- **Cálculo concentración del efluente**

Se calcula la concentración del efluente para luego poder determinar la eficiencia en la remoción de contaminantes del humedal (Rojas Romero, 2014).

$$C = C_o \exp (-Kt * t)$$

C= Concentración del efluente (mg/l)

C_o= Concentración del afluente (mg/l)

Kt= Constante de primer orden en función de la temperatura (d⁻¹)

t= Tiempo de retención hidráulica (días)

- **Cálculo de la constante de primer orden en función de la temperatura (Kt)**

$$Kt = 1.104 * 1.06^{(T-20)}$$

Kt= Constante de primer orden en función de la temperatura (d⁻¹)

T= Temperatura promedio (°C)

- **Cálculo del área superficial del humedal**

El área del humedal se calculará por medio de la cinética del proceso, de acuerdo al modelo de diseño establecido en el ras 2000.

$$A_s = \frac{Q * Ln \left(\frac{C_o}{C} \right)}{Kt * h * \mu}$$

$$A_s = \frac{4.620 * Ln \left(\frac{C_o}{C} \right)}{Kt * 0.6 * \mu}$$

Q= Caudal de diseño o medio diario de las aguas servidas m³/d

C= Concentración del efluente (DBO₅)

Co= Concentración del afluente (DBO₅)

Kt= Constante de primer orden en función de la temperatura (d⁻¹)

μ= Porosidad del medio filtrante

h= Profundidad del humedal (se asumen 0.6 m)

- **Cálculo del área de la sección transversal**

Se utilizará la ley de Darcy, para determinar el área de la sección transversal ya que se suele utilizar en el diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial.

$$Q = K_s * S * A_c$$

Despéjanos la ecuación para poder determinar el área transversal y queda así:

$$Ac = \frac{Q}{(K_s * S)}$$

$$Ac = \frac{4,620 \frac{m^3}{día}}{(1000 \frac{m}{día} * 0.008)} = 0.5775 m^2$$

Ac= Área transversal (m²)

Q= Caudal a través del humedal

Ks= Conductividad Hidráulica (valor correspondiente a arena gruesa utilizada en el lecho) (Rojas Romero, 2014).

S= Pendiente del lecho (se asume en 0.8 y se usa como fracción decimal, se usa menor al 1% según el ras 200 ya que se maneja un flujo pequeño)

- **Cálculo de la carga hidráulica o superficial.**

$$So = \frac{Q}{A} = 2.0 m$$

$$So = \frac{4.62 \frac{m^3}{día}}{23.1 m^2} = 2.0 \frac{m}{día}$$

So= Carga hidráulica o superficial

Q= caudal a través del humedal

As= Área superficial del humedal

- **Cálculo del ancho del humedal**

$$W = \frac{A_c}{h}$$

$$W = \frac{0.5775 \text{ m}^2}{0,6 \text{ m}} = 0.9625 \text{ m}$$

W= Ancho del humedal

Ac= Área transversal del humedal

h= profundidad del humedal, asumida 0,6 m tomado de (Norma RAS, 2000)

- **Cálculo del largo del humedal**

$$L = \frac{A_s}{w}$$

$$L = \frac{23.1 \text{ m}^2}{0.9625 \text{ m}} = 24 \text{ m}$$

As= Área superficial del humedal

W= ancho real del humedal (se ajusta a criterio del diseñador con el fin de mantener una relación largo – ancho)

- **Cálculo del volumen**

Caudal se pasa a m3 día

$$V = Q * t$$

$$V = 4.62 * 3 = 13.86 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del área superficial**

$$A = \frac{V}{h}$$

$$A = \frac{13.86 \text{ m}^3}{0.6 \text{ m}} = 23.1 \text{ m}^2$$

- **Cálculo del tiempo de retención hidráulica**

$$t = \frac{L * W * h * \mu}{Q}$$

t= Tiempo de retención hidráulica del humedal (se toman 3 días)(Rojas Romero, 2014).

W= Ancho del humedal

L= Largo del humedal

h= Profundidad del humedal (asumida 0.6 m)

Q= Caudal del humedal

μ= Porosidad del humedal

- **Cálculo del número de macrófitas**

$$N_p = \frac{A_s}{\text{área ocupada por planta}}$$

$$N_p = \frac{23.1 \text{ m}^2}{0.09 \frac{\text{m}^2}{\text{planta}}} = 256.66 - 257 \text{ plantas}$$

Np= número de macrófitas

As= área superficial del humedal

- **Selección de la vegetación**

La selección de la vegetación se realizará de acuerdo a la capacidad que tengan de adaptarse a las condiciones climáticas locales donde se implementará el proyecto, por tal razón, se selecciona la *Alocasia macrorrhizos* (oreja de elefante), proveniente de las regiones tropicales del sudeste asiático (Sarco et al., 2017).

La *Alocasia macrorrhizos* es una planta considerada como maleza, que suele darse en zonas húmedas, cercanas a ríos y quebradas, suele crecer entre 0.5m y 1.6m de altura; con un poder purificador de aproximadamente un 80% (MinAgricultura, 2023).

Esta especie ayuda en la remoción y control de parámetros fisicoquímicos como: pH, temperatura, turbiedad, conductividad eléctrica, DQO, fosfatos, sólidos, entre otro. Por lo que se considera viable en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

- **Taxonomía**

Tabla 27. Taxonomía de la macrófita Oreja de elefante.

Reino	Plantae
Clase	Liliopsida
Familia	Araceae
Genero	Alocasia
Nombre científico	<i>Alocasia macrorrhizos</i>
Nombre común	Oreja de elefante
Clima	Tropical

Fuente: (Sarco et al., 2017)

ANEXO 3. RESULTADOS DE LABORATORIO DE LA MUESTRA DE AGUA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.



REPORTE DE RESULTADOS N° 233575

Fecha de emisión:	16 de octubre de 2024	Código de la muestra:	233575
Solicitante:	JOSE JAVIER CABRERA CABRERA		
Dirección:	Calle 12 #30a-19		
Muestra:	AGUA RESIDUAL TRATADA PALMAS DEL CÉSAR		
Fecha de muestreo:	23 de septiembre de 2024	Matriz:	Agua Tratada
Fecha de recepción:	26 de septiembre de 2024	Responsable de muestreo:	SOLICITANTE
Envase o empaque:	Plástico	Procedimiento de muestreo:	SOLICITANTE
Tipo de muestreo:	Puntual	Tamaño de la muestra:	4 L
Condiciones de recepción de la muestra:	Refrigeradas	Plan de muestreo:	//
Observaciones:	//		

ANÁLISIS DE LABORATORIO							
FECHA DE ANÁLISIS	VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES			
26/09/2024	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (25 °C)	SM 2510 B	1071	µs/cm			
27/09/2024 02/10/2024	DBO ₅	SM 5210 B, SM 4500 O H	43,9	mg O ₂ /L			
27/09/2024	DQO	SM 5220 C	106	mg O ₂ /L			
8/10/2024	FÓSFORO TOTAL	SM 4500-P B, E	0,88	mg P/L			
2/10/2024	GRASAS Y ACEITES	SM 5520 D	<5,0	mg/L			
26/09/2024	NITRATOS	Méthode par spectrométrie d'absorption molaire, J. Rieder, 1a Ed. 2009	0,60	mg NO ₃ ⁻ / N/L			
26/09/2024	NITRITOS	SM 4500-NO ₂ ⁻ B	0,011	mg NO ₂ ⁻ / N/L			
30/09/2024	NITRÓGENO KJELDAHL	SM 4500-N _{org} C SM 4500 NH ₃ B, C	5,29	mg N/L			
30/09/2024	NITRÓGENO TOTAL	CALCULO	5,90	mg N/L			
27/09/2024	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	46,4	mg/L			
26/09/2024	SURFACTANTES - SURFACTANTES ANIÓNICOS COMO (SAAM)	SM 5540 C	0,32	mg SAAM/L			
[A] Variables realizadas en SIAMA, acreditadas por IDEAM Resolución 1277 de 2019, extensión Resolución 0150 de 2020, extensión Resolución 0743 de 2023, extensión Resolución 0977 de 2023. [S] Variables subcontratadas [A] [S] Variables subcontratadas con laboratorio acreditado SM: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. AWWA, WEF, APHA 23th. SAAM, calculado como Dodecilo sulfato, sal sódica (SDS), 288,38 g/mol. OBSERVACIONES: La muestra a la que se refieren los datos de este reporte, ha sido proporcionada por el SOLICITANTE, por lo tanto SIAMA no es responsable del origen o fuente de donde se ha extraído dicha muestra. En consecuencia los datos que figuran en el informe no constituyen una garantía de la representatividad de la (s) muestra(s) y por tanto se refiere(n) única y exclusivamente a dicha(s) muestra(s). Por solicitud del cliente se analiza la muestra teniendo en cuenta que el tiempo para el análisis de alguna(s) variable(s) supera las recomendaciones de los métodos estándar. Por solicitud del cliente se analiza la muestra teniendo en cuenta que las condiciones de preservación para el análisis de alguna(s) variable(s) no son las recomendadas en los métodos estándar. Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados con el máximo rigor de la ley.							
Código	R - PSA- 008	Versión	0.4	Fecha	10/02/2020	Página	1 de 2

Servicios Integrados para la Industria del Agro, Minero - Energética y el Medio Ambiente.

www.siama.co

REPORTE DE RESULTADOS N° 233575

Fecha de emisión:	16 de octubre de 2024	Código de la muestra:	233575
Solicitante:	JOSE JAVIER CABRERA CABRERA		
Dirección:	Calle 12 #30a-19		
Muestra:	AGUA RESIDUAL TRATADA PALMAS DEL CÉSAR		
Fecha de muestreo:	23 de septiembre de 2024	Matriz:	Agua Tratada
Fecha de recepción:	26 de septiembre de 2024	Responsable de muestreo:	SOLICITANTE
Envase o empaque:	Plástico	Procedimiento de muestreo:	SOLICITANTE
Tipo de muestreo:	Puntual	Tamaño de la muestra:	4 L
Condiciones de recepción de la muestra:	Refrigeradas	Plan de muestreo:	//
Observaciones:	//		

OBSERVACIONES:

Por solicitud del cliente se analiza la muestra teniendo en cuenta que los recipientes recibidos para el análisis de alguna(s) variable(s) no son los recomendados en los métodos estándar.

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA.

Este reporte de resultados es válido únicamente si tiene sello seco.

Aprobó:



ALBIO ENRIQUE ESPINOSA SAFAR
GERENTE GENERAL
QUÍMICO-PQ-00996

FIN DEL REPORTE DE RESULTADOS

Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados con el máximo rigor de la ley.

Código	R - PSA- 008	Versión	0.4	Fecha	10/02/2020	Página	2 de 2
--------	--------------	---------	-----	-------	------------	--------	--------

Servicios Integrados para la Industria del Agro, Minero - Energética y el Medio Ambiente.

www.siama.co

Carretera 24 No. 36 - 11. Teléfonos: +57 607 634 80 00 Celular 318 707 0821 Bucaramanga - Colombia. info@siama.co

ANEXO 4. PLAN DE CAPACITACIÓN PARA EL USO Y FUNCIONAMIENTO ADECUADO DE LOS STARD.



OBJETIVOS

Objetivo general

Brindar al personal conocimientos sobre mantenimiento, normativa vigente, mejores prácticas para el uso adecuado de los sistemas, con el propósito de garantizar un óptimo funcionamiento y mantener la eficiencia operativa de los STARD.

Objetivos específicos

- Promover conocimientos sobre la normativa vigente aplicable a los vertimientos de aguas puntuales al suelo.
- Fomentar conciencia sobre malas prácticas que provocan acumulación de residuos dentro de los sistemas de tratamiento.
- Incentivar el uso de detergentes más amigables con el medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales se caracterizan como aquellas procedentes del suministro de agua a una población, alteradas por su uso en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Díaz, Alvarado, & Camacho, 2012). Por lo que el tratamiento de las aguas residuales se vuelve un proceso fundamental para la conservación del medio ambiente y la salud de la población.

Este plan de capacitación es elaborado con el fin de brindar conocimientos importantes a los operarios y personal en general, sobre el mantenimiento, normativas vigentes, efectos negativos de los detergentes con altos niveles de fosfatos, así como mejores prácticas para un adecuado uso y garantizar un funcionamiento óptimo de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas STARD de la empresa Palmas del Cesar S.A.

Por lo que el compromiso de este plan de capacitación es garantizar los conocimientos necesarios a los usuarios y personal encargado del mantenimiento de los sistemas, ya que estos son importantes para reducir la presencia de contaminantes del agua y devolvérselas al medio ambiente en mejores condiciones.

NORMATIVA

NORMA	DESCRIPCIÓN
Resolución 0330 de 2017 (Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS)	Art 173: Los tanques sépticos se utilizan en los siguientes casos: para áreas desprovistas de redes públicas de alcantarillado, para vivienda rural dispersa con suficiente área de contorno para acomodar el tanque con sus procesos de postratamiento, para retención previa de los sólidos sedimentables y cuando hace parte de los alcantarillados sin anastre de sólidos. Además, brinda los parámetros generales de diseño, operación y mantenimiento de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales.
Decreto 050 de 2018	Art 2.2.3.34.9, menciona los requerimientos a tener en cuenta si se desea tener un permiso de vertimiento de aguas residuales al suelo como los datos del campo de infiltración, identificación del área donde se realizará la disposición en plano topográfico con coordenadas magna singas, el diseño del manual de operación y mantenimiento del sistema y un plan de cierre y abandono.
Resolución 0699 de 2021	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones

ACTIVIDADES DEL PLAN DE CAPACITACIÓN

Con el propósito de dar cumplimiento a los objetivos del plan de capacitación, se establecen las siguientes actividades.

TEMÁTICAS	
Uso adecuado de los Sistemas de Tratamiento	¿Qué es un STARD? ¿Cómo funcionan los SATRD? - Desechos no aptos para un TARD
Operación Eficiente de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Doméstica	- Aspectos a tener en cuenta para realizar el mantenimiento al STARD. - Monitoreo continuo y control de los sistemas.
Uso de Equipos de Protección Personal	Selección adecuada de los EPP
Detergentes	Efectos de los detergentes no biodegradables

4

MÉTODOS DE EVALUACIÓN

El siguiente método de evaluación constará de preguntas y algunos ejercicios que permitirán conocer el porcentaje de comprensión de los conocimientos adquiridos mediante el desarrollo del plan de capacitación para el uso y funcionamiento adecuado de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.

MÉTODOS DE EVALUACIÓN	
Uso adecuado de los sistemas	- Preguntas sobre que es un STARD - Identificación sobre los desechos que no deben ser arrojados por el sanitario
Operación Eficiente de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Doméstica	- Identificación de los pasos a tener en cuenta para realizar mantenimiento a los STARD - Preguntas teóricas
Uso de Equipos de Protección Personal	Identificación y preguntas sobre que EPP se deben usar para realizar una inspección o el mantenimiento de los STARD
Detergentes	Preguntas sobre los efectos de los detergentes

5

INDICADOR

- Asistencia a la capacitación

$$\text{Asistencia a la capacitación} = \left(\frac{\text{N}^\circ \text{ de personas que asistieron}}{\text{N}^\circ \text{ de personas convocadas}} \right) \times 100$$

6

ANEXO 5. MATERIAL DE APOYO PARA EL DESARROLLO DEL PLAN DE CAPACITACIÓN.

¿Sabes qué se debe tener en cuenta para el mantenimiento de un STARD?

- 1 Verificar que la cerca de alambre que rodea el sistema se encuentre en buen estado.
- 2 Podar la maleza hasta un metro a la redonda del encercamiento.
- 3 Verificar que las tapas de inspección se encuentren en buen estado.
- 4 Evacuar sólidos inorgánicos con ayuda de una pala o desnatador.
- 5 Medir altura de los lodos con ayuda de una vara de medición.
- 6 Limpiar las paredes de los tanques con ayuda de un cepillo y escoba.



¡RECUERDA!

Para garantizar el funcionamiento efectivo de los sistemas se deben realizar:

- Revisiones periódicas de las condiciones físicas y operativas.
- Mantener por separado las aguas de lluvia con las aguas residuales.






Más allá del sistema de tratamiento



Pero primero...

¿Sabes qué es un STARD?



Es un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

Que se encarga de realizar un pretratamiento a las aguas residuales generadas por nuestras actividades diarias, mediante la degradación y separación de la materia orgánica, transformándola en un efluente con una menor concentración de contaminantes.



¿Sabes cómo hacer un adecuado uso de los STARD?



Evita tirar por el inodoro desechos sólidos como:

- 1 Toallitas húmedas
- 2 Empaques
- 3 Toallitas sanitarias
- 4 Esponjas
- 5 Y cualquier artículo fabricado en plásticos y látex





¡Sabías que!

Los productos frecuentemente empleados en la limpieza y desinfección contienen altas concentraciones de compuestos químicos como fósforo, nitrógeno y cloruros. Estos ingredientes pueden afectar negativamente las propiedades del suelo y provocar eutrofización en los cuerpos de agua.



ANEXO 6. REGISTRO FOTOGRÁFICO.

A) Fotografías de la recolección muestras de agua residual.



B) Análisis de las muestras en laboratorio en la Universidad Popular del Cesar.



C) Montaje para implementación del humedal artificial.



D) Implementación plan de capacitación para la reducción de material no deseado en los STARD.

