


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL



EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO MUNICIPAL PARA AGUAS
RESIDUALES UBICADA EN EL BARRIO SAN SEBASTIÁN,
JOCOTÁN CHIQUIMULA

IRIS ISABEL GARCÍA GUTIÉRREZ

CHIQUIMULA, GUATEMALA, ENERO 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO MUNICIPAL PARA AGUAS
RESIDUALES UBICADA EN EL BARRIO SAN SEBASTIÁN,
JOCOTÁN CHIQUIMULA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

IRIS ISABEL GARCÍA GUTIÉRREZ

Al conferírsele el título de

INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUMULA, GUATEMALA, ENERO 2024

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**



**RECTOR
M.A. WALTER RAMIRO MAZARIEGOS BIOLIS**

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Lic. Zoot. Merlin Wilfrido Osorio López
Representante de Profesores:	Mtro. Helmuth Cesar Catalán Juárez
Representante de Profesores:	Mtro. José Emerio Guevara Auxume
Representante de Graduados:	Ing. Agr. Henry Estuardo Velásquez Guzmán
Representante de Estudiantes:	A.T. Zoila Lucrecia Argueta Ramos
Secretaria:	Licda. Yessica Azucena Oliva Monroy

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	Mtro. Carlos Leonel Cerna Ramírez
Coordinador de Carrera:	Mtro. José Ramiro García Álvarez

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	Mtro. Fredy Samuel Coronado López
Secretario:	Mtro. Victor Augusto Sandoval Roque
Vocal:	Mtro. José Ramiro García Álvarez

TERNA EVALUADORA

Presidente:	Mtro. Luis Fernando Quijada Beza
Secretaria:	Ing. Karla Patricia Carrera Franco
Vocal:	Mtro. Victor Augusto Sandoval Roque

Chiquimula, enero 2024

Señores

Consejo Directivo

Centro Universitario de Oriente –CUNORI-

Ciudad de Chiquimula

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO MUNICIPAL, PARA AGUAS RESIDUALES, UBICADA EN EL BARRIO SAN SEBASTIÁN, JOCOTÁN CHIQUIMULA”**, como requisito previo a optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente:

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Iris Isabel García Gutiérrez', written over a circular stamp or watermark.

Iris Isabel García Gutiérrez

Chiquimula, 15 de enero de 2024

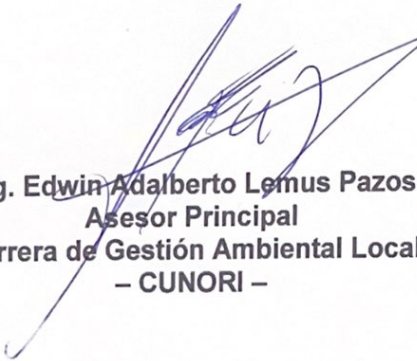
Licenciado Zootecnista
Merlin Wilfrido Osorio López
Director
CUNORI

Estimado Licenciado Osorio:

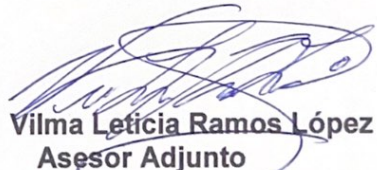
En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación de la Carrera de Gestión Ambiental Local, para asesorar a la estudiante **IRIS ISABEL GARCÍA GUTIÉRREZ** en el trabajo de investigación denominado **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO MUNICIPAL, PARA AGUAS RESIDUALES, UBICADA EN EL BARRIO SAN SEBASTIÁN, JOCOTÁN CHIQUIMULA”**, tenemos el agrado de dirigirnos a usted para informarle que se ha procedido a asesorar y orientar a la sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En nuestra opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomendamos la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el Grado Académico de Licenciada.

Atentamente,
“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Edwin Adalberto Lemus Pazos
Aesor Principal
Carrera de Gestión Ambiental Local
- CUNORI -



Licda. Vilma Leticia Ramos López
Aesor Adjunto
Carrera de Gestión Ambiental Local
- CUNORI -

D-TG-IGAL-054/2024

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante IRIS ISABEL GARCÍA GUTIÉRREZ titulado “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO MUNICIPAL, PARA AGUAS RESIDUALES, UBICADA EN EL BARRIO SAN SEBASTIÁN, JOCOTÁN CHIQUIMULA”, trabajo que cuenta con el aval de su Asesor, de la carrera de Gestión Ambiental Local. Por tanto, la Dirección del CUNORI, con base en las facultades que le otorgan las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria, **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a veintitrés de enero de dos mil veinticuatro.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Lic. Zoot. Merlin Wilfredo Osorio López

**DIRECTOR
CUNORI – USAC**



ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Nuestro Padre creador, por derramar la sabiduría y darme la fortaleza para poder llegar a la meta propuesta, por nunca dejar que me diera por vencida y enseñarme que los planes de Él son perfectos, aunque yo no comprenda el proceso.

A MIS PADRES

Ángel García Gutiérrez y Victoria Gutiérrez Mendoza, por su esfuerzo, su amor, su apoyo en los momentos donde yo más lo necesité, a ellos por ser unos padres ejemplares y trabajadores que con lucha y esfuerzo hicieron de mí una persona que quiere seguir luchando por sus sueños.

A MIS HERMANAS

Yoselin García, Heydi García, Bayron García, por su apoyo y compartir momentos maravillosos a lo largo de mi vida.

A MIS SOBRINOS

Ángel Javier y Jorge Ángel, que apenas son unos pequeños angelitos pero con su ternura me sacan una sonrisa al llegar a casa.

A MIS ABUELOS

Que descansan en paz, los llevo siempre en mi corazón.

A MI FAMILIA EN GENERAL

Que estuvieron de una u otra manera apoyándome a lo largo de mi carrera.

A MIS AMIGOS

Por sus muestras de cariño y momentos compartidos a lo largo de la carrera.

**A MIS COMPAÑEROS
DE TRABAJO Y
AMIGOS**

Que me apoyaron en el proceso de mi trabajo de graduación.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

**A LA UNIVERSIDAD DE SAN
CARLOS DE GUATEMALA**

Máxima casa de estudios de Guatemala de la que estoy orgullosa de pertenecer y que me dio la oportunidad de ser una profesional.

**AL CENTRO UNIVERSITARIO DE
ORIENTE –CUNORI-**

Por ser la casa de estudios para mi formación como profesional. Por todo lo aprendido en la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

A MIS CATEDRÁTICOS

Por la enseñanza y experiencia compartida, por el cariño mostrado a lo largo de la carrera. Gracias por esos consejos, paciencia y apoyo.

A MIS ASESORES

Ing. Edwin Adalberto Lemus y Lcda. Leticia Ramos, por su apoyo y asesoría. Mi más sincero agradecimiento hacia ustedes.

**A LA MUNICIPALIDAD DE
JOCOTÁN**

Por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación dentro de sus instalaciones.

A TODOS LOS PRESENTES

Por acompañarme y brindarme un poco de su tiempo en este día muy importante para mi vida.

GLOSARIO

CUNORI	Centro Universitario de Oriente
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
INFOM	Instituto de Fomento Municipal
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
PH	Potencial de hidrógeno
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
4. JUSTIFICACIÓN	6
5. OBJETIVOS	7
5.1 General	7
5.2 Específicos	7
6. MARCO TEÓRICO	8
6.1 Acuerdo gubernativo 236-2006 y su reforma 285-2022	8
7. MARCO REFERENCIAL	21
7.1 Descripción	21
7.2 Ubicación	22
7.3 Clima	23
7.4 Hidrología	23
7.5 Zonas de vida	23
7.6 Bosques	24
7.7 Fauna	24
8. MARCO METODOLÓGICO	24
8.1 Factores ambientales y geográficos que generan mayor impacto.	24
8.2 Descripción del funcionamiento de la planta	26
8.3 Establecer puntos de monitoreo	29
8.4 Recolección de muestras	30
8.5 Control del muestreo	31
8.6 Equipo de muestreo	31
8.7 Preparación del equipo para muestreo	31
8.8 Determinación de parámetros a nivel de laboratorio	32

8.9	Análisis e interpretación de la información obtenida	33
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
9.1	Identificación de los barrios que generan mayor impacto en la PTAR	34
9.2	Establecimiento de los puntos de monitoreo	37
9.3	Parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados	37
9.4	Determinación de la eficiencia de la PTAR	39
9.4.1	Temperatura °C	40
9.4.2	Potencial de hidrógeno (pH)	41
9.4.3	Material flotante	42
9.4.4	Sólidos suspendidos totales.	42
9.4.5	Nitrógeno total	44
9.4.6	Fósforo total	45
9.4.7	Dureza	46
9.4.8	Color Unidades Platino/Cobalto	47
9.4.9	Turbidez	48
9.4.10	Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	49
9.4.11	Demanda química de oxígeno (DQO)	50
9.4.12	Análisis microbiológico	52
9.5	Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento	53
9.6	Lineamiento de manejo para la eficiencia del sistema de tratamiento	54
10.	CONCLUSIONES	57
11.	RECOMENDACIONES	58
12.	REFERENCIAS	59
13.	APÉNDICE	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Página
1.	Límites máximos permisibles	9
2.	Parámetros físicos, químicos y microbiológicos	10
3.	Definición de zonas de vida del municipio	23
4.	Especies forestales y frutales	24
5.	Fauna silvestre existente en el municipio de Jocotán	24
6.	Monitoreos realizados	29
7.	Horarios con más carga de agua residual	30
8.	Parámetros según acuerdo gubernativo 236-2006	32
9.	Ubicación puntos de muestreo	37
10.	Resultado promedio de datos obtenidos en laboratorio	39
11.	Resultados obtenidos en temperatura	40
12.	Resultados de PH	41
13.	Resultados de material flotante	42
14.	Resultados de sólidos Suspendidos Totales	43
15.	Resultados de nitrógeno total	44
16.	Resultados del fósforo	45
17.	Resultados de dureza	46
18.	Resultados de color	47
19.	Resultados de turbidez	48
20.	Resultado de demanda biológica de oxígeno	50
21.	Resultados de demanda química de oxígeno	51
22.	Resultado de coliformes fecales, totales y escherichia coli	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1.	Mapa de Ubicación del municipio de Jocotán	22
2.	Flujo grama de la planta de tratamiento	27
3.	Plano de planta en conjunto de PTAR	28
4.	Mapa de ubicación y vías de acceso a la planta de tratamiento	35
5.	Ubicación de lugares y puntos que generan mayor impacto	36
6.	Datos graficados de temperatura	40
7.	Resultados graficados de pH	41
8.	Resultados gráficos de sólidos suspendidos totales	43
9.	Resultados gráficos Nitrógeno total	44
10.	Resultados graficados de fósforo total	46
11.	Comportamiento de resultados de dureza	47
12.	Resultados gráficos de color	48
13.	Resultados gráficos de Turbidez	49
14.	Resultados de (DBO ₅)	50
15.	Resultados de DQO	51

RESUMEN

El Reglamento de descargas y reúso de aguas residuales entró en vigor el 12 de mayo del año 2006 con la finalidad de establecer los criterios, límites permisibles y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior con el propósito de prevenir el impacto adverso del ambiente, mantener el equilibrio ecológico y propiciar el mejoramiento progresivo de la calidad de las aguas y así contribuir a la sostenibilidad del recurso hídrico.

En respuesta al cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 y su reforma, que contienen el “Reglamento para las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos”. La municipalidad de Jocotan, busca financiamiento y formula el proyecto construcción del sistema de tratamiento para aguas residuales ubicada en el Barrio San Sebastián del mismo municipio.

El presente estudio se realizó con el objeto de evaluar las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua en el proceso de purificación en el sistema de tratamiento de aguas residuales ubicada en barrio San Sebastián del municipio de Jocotán, la cual sirvió para proponer lineamientos claves en el funcionamiento de la planta todo esto basado en los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros evaluados.

Para la fase de campo se realizó un total de 3 monitoreos en un período de 3 meses (abril, mayo, junio, del año 2023); donde se establecieron 2 puntos de muestreo (1 muestra en la entrada y 1 muestra en la salida). Se analizaron 14 parámetros, siendo estos; Temperatura, PH, material flotante, sólidos suspendidos, nitrógeno total, fosforo total, dureza, color, turbidez, DBO5, DQO, Coliformes totales, coliformes fecales y, determinando parámetros a nivel de campo y laboratorio en las instalaciones del Centro Universitario de Oriente - CUNORI-.

Para conocer el comportamiento y eficiencia del sistema de tratamiento de agua residual tipo ordinario de la planta de tratamiento ubicada en el Barrio San Sebastián, se realizaron tres diferentes monitoreos, considerando como punto de muestreo el afluente y efluente de los cuales se obtuvieron un promedio.

En los resultados obtenidos se pudo observar y concluir que la mayoría de parámetros si cumplen con lo establecido en el acuerdo, pero no se realizan análisis de agua cada cierto tiempo, porque la municipalidad no le asigna un presupuesto fijo a la Unidad de Plantas de Tratamiento, según comenta el técnico encargado de la planta, no se había realizado ningún análisis desde que la planta fue construida y puesta en funcionamiento (V.E. Vásquez, comunicación personal, 28 de septiembre de 2022).

Para evaluar la eficiencia y el comportamiento del funcionamiento de la PTAR se tomó como referencia el punto de muestreo número 2 (salida/efluente), dado que, luego de ser tratada el agua, se evalúa su nivel de contaminación para verificar que cumpla con la normativa, en este caso; con el Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006 y así poder conocer la eficiencia de la PTAR.

De 14 parámetros evaluados, no se cumplen con 3 parámetros físicos: Nitrógeno total 174.33 mg/l, fosforo total 21.04 mg/l y turbidez 17.33 UTN este último no está incluido en los parámetros del acuerdo gubernativo 236-2006 sin embargo se tomó en cuenta debido a que es uno de los parámetros importantes para una mejor eficiencia en la cloración del agua, 3 parámetros los bacteriológicos: coliformes fecales, coliformes totales y Escherichia coli están en ≥ 2400 NMP/100ML. La PTAR es eficiente en los parámetros físico químicos, mas no se cumple con la eficiencia requerida en los parámetros bacteriológicos.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se presenta el fenómeno de concentración de la población en localidades urbanas, con mayor énfasis en las regiones menos desarrolladas. Estos fenómenos poblacionales impactarán el uso de agua potable al disminuir la disponibilidad media natural per cápita.

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³, de estos el 97.5% es agua salada, el 2.5%, es decir 35 millones de km³, es agua dulce y de ésta casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. (Sistema de Información Nacional del Agua [SINA], 2019)

El agua se encuentra de diversas formas en la naturaleza y está relacionada estrechamente con el ambiente que la rodea, alterando sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas de manera natural o bien por causas de origen antropogénico. El ser humano busca asentarse donde el recurso agua es abundante, de buen sabor e inocuo para la salud.

Las aguas residuales son una variedad cuyas propiedades están comprometidas negativamente debido a la influencia humana. Se generan de diversas formas, teniendo cada una su categoría según el origen: doméstico, industrial, pecuario, agrícola, recreativo, entre otras. La exposición del ser humano con las aguas residuales puede causarle enfermedades e incluso hasta la muerte. (Europa Press, 2021)

Se estima que en Guatemala solo el 20% de los recursos hídricos que ensuciamos se limpia antes de devolverse a los cuerpos de agua, un problema grave y sin una solución, al menos a corto plazo. Hace 15 años, el 5 de mayo del 2006, fue aprobado el acuerdo gubernativo 236-2006, Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, el cual en su artículo 24 especifica que las

municipalidades deben contar con sistemas de tratamiento. (Morales Rodas, 2021)

El municipio de Jocotán no está exento del crecimiento poblacional y gran parte de las actividades económicas requieren descargar aguas residuales. El gobierno municipal debe garantizar la salud de sus habitantes, debiendo considerar un tratamiento adecuado de las aguas residuales de origen doméstico, las cuales suelen contener gran cantidad de materia orgánica, así como restos de jabones, detergentes, grasas entre otras sustancias. Siendo en muchas ocasiones los cuerpos de agua los receptores directos de estos elementos.

El municipio cuenta actualmente con tres plantas de tratamiento ubicadas en diferentes puntos de municipio y cada una posee un sistema de tratamiento fisicoquímico y bacteriológico para alcanzar los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y su reforma 285-2022.

El presente estudio se realizó con el objeto de evaluar las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua en el proceso de purificación en el sistema de tratamiento de aguas residuales ubicada en barrio San Sebastián del municipio de Jocotán, con el propósito de generar información que permitió a la municipalidad saber con qué porcentaje se está cumpliendo con lo establecido en el acuerdo gubernativo de aguas residuales.

Con los resultados obtenidos durante la evaluación, permitirá al municipio adoptar nuevos compromisos, objetivos y acciones que permitan reducir los impactos y minimizar los riesgos de degradación del medio ambiente.

2. ANTECEDENTES

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), a través del Viceministerio del Agua, en un taller donde se discutió el tratamiento de las aguas residuales, y el acceso al agua potable y saneamiento, expresó Martín Méndez, viceministro del Agua, que, a nivel de la región y todo el mundo, la población tiene necesidad de acceso; por eso se celebra el Día Mundial del Agua, para hacer conciencia e incentivar sobre la importancia que tiene el agua para el desarrollo y la salud humana.

Según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, en el área de Chiquimula una de las principales causas de la morbilidad infantil es el síndrome diarreico intenso; es importante indicar que esta enfermedad se contrae principalmente por el consumo de agua contaminada con bacterias coliformes.

La contaminación producida por los vertidos incontrolados de las aguas residuales domésticas, es uno de los problemas más grandes que enfrenta el municipio y que poco a poco se han intentado revertirlos y frenar así el deterioro ambiental, los cuales son causados por el manejo inadecuado de las aguas residuales en diferentes actividades domésticas las cuales conllevan a gestionar soluciones sostenibles al medio ambiente. (Química Ecológica, 2023)

En Jocotán, según la municipalidad, el 100% de los hogares usan letrinas lavables. Cuando proviene de estos se descarga en cunetas que a su vez conducen todo hasta el río Grande, el cual pasa por Camotán, Jocotán y Zacapa.

Las aguas residuales no tratadas desembocan en el río y este lo absorbe o se crean acumulados donde aparecen criaderos de zancudos y moscas, pues no cuentan con ningún sistema de procesamiento. Además, cuenta con número poblacional extenso y es uno de los municipios de mayor comercio en la región.

En el centro del municipio podemos visualizar muchos locales comerciales que son arrendados a personas vecinas de otros municipios, en los cuales se observaban diferentes tipos de negocios que demandan uso de agua excesivo, tales como, comedores, carnicerías, tienda de abarrotes, entre otros.

De acuerdo con el Instituto de Fomento Municipal (INFOM), los concejos municipales deben construir plantas de tratamiento porque son “entes generadores” y, por lo tanto, tienen responsabilidad por sus residuos líquidos y sólidos.

En respuesta al cumplimiento del acuerdo Gubernativo 236-2006 y sus reformas, que contienen el “Reglamento para las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos”, el día 17 de agosto del 2018 se presenta la evaluación ambiental inicial del proyecto **“Construcción sistema de tratamiento aguas residuales Barrio San Sebastián Jocotán, Chiquimula”**. Con el estudio de Evaluación Ambiental presentado, se inician los expedientes dentro del Ministerio de Ambiente, para su aprobación.

EL 21 de agosto de ese mismo año, la delegación departamental de Chiquimula del MARN emitió bajo su responsabilidad el dictamen y aprobó la viabilidad ambiental del proyecto Construcción del **“Sistema de Tratamiento de aguas Residuales Barrio San Sebastián Jocotán, Chiquimula”**.

Se inició la construcción y actualmente la PTAR está en total funcionamiento. Para lo cual es necesario evaluar la eficiencia de la misma realizando análisis de laboratorio en muestras tomadas al inicio y al final del sistema.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Apenas 6 de cada 10 habitantes de América Latina cuentan con conexión domiciliaria a una red de alcantarillado y un escaso 30 a 40 % de las aguas residuales recolectadas es sometido a tratamiento. Estas cifras son sorprendentes dado los altos niveles de urbanización e ingresos, estos acarrearán graves consecuencias para la salud pública. (Brault y Marmanillo, 2020)

El uso excesivo del agua da lugar a una serie de impactos ambientales negativos que se manifiestan al desarrollar actividades como: uso en los comedores, en los hogares para lavado de ropa, uso en la cocina, limpieza entre otros, en los locales comerciales, como panaderías, tiendas de abarrotes, ferreterías, clínicas médicas, farmacias y muchos otros. (AguasResiduales.INFO, 2021)

Jocotán es el municipio más poblado del área Chorti y de mucho comercio por tanto las actividades en los hogares y locales comerciales son excesivas, produciendo así grandes cantidades de aguas residuales de tipo ordinario que, si no se recolectan y tratan adecuadamente.

Debido a esto se construyeron tres plantas de tratamiento ubicadas en diferentes puntos del municipio, una en barrio Shalom Jocotán, una en colonia el Javial, pero su estructura y funcionamiento fue afectada durante el paso del huracán ETA y IOTA, hasta el momento no ha tenido reparaciones, y la última ubicada en el Barrio San Sebastián.

Sin embargo, a pesar de que existen sistemas de tratamiento de aguas residuales, no se realizan análisis de manera constante el cual hace que no se tengan datos específicos de la eficiencia del funcionamiento del sistema y se desconoce en qué estado de calidad el agua es depositada al Río Grande (V.E. Vásquez, comunicación personal, 6 de febrero de 2023).

4. JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales de tipo ordinario son generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado, las cuales producen un nivel de contaminación del agua que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones, grasa animal, aceites, carbohidratos, pesticidas en pequeñas cantidades, contaminantes prioritarios que precisan de un proceso para su eliminación.

En el municipio de Jocotán, debido a que el agua residual tratada se descarga al Río Grande, es necesario evaluar el funcionamiento de la planta para cumplir con lo que establece el Reglamento de Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236- 2006 y su reforma 285-2022, para mitigar los impactos negativos provenientes de las actividades domésticas que se realizan y permitir promover la conservación del recurso hídrico.

Se necesita tener un seguimiento y control adecuado de las aguas residuales ordinarias, para el cual se analizará la carga de contaminación del agua a la entrada y salida de la planta, esto para evaluar la eficiencia del sistema y verificar si cumple con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y su reforma 285-2022, reducir los impactos y los riesgos hacia la población y el medio ambiente.

Se busca analizar la calidad del agua del sistema de tratamiento de aguas residuales ubicado en el Barrio San Sebastián del municipio de Jocotán, y determinar la eficiencia y calidad del funcionamiento del sistema cuando el agua residual es desechada al río Grande. La investigación tiene como objetivo revisar indicadores relacionados con la calidad del agua que permitan determinar si los sistemas utilizados para su tratamiento son eficaces, por tal motivo es importante conocer la calidad del agua en el proceso de beneficiado.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Evaluar la eficiencia en el funcionamiento de la planta de tratamiento municipal para aguas residuales por medio de indicadores fisicoquímicos, bacteriológicos y volumétricos, para determinar la calidad del agua en su disposición final sobre El Rio Grande.

5.2 Específicos

- Caracterizar las aguas residuales en el afluente y efluente del sistema de tratamiento para aguas residuales, según los Acuerdos Gubernativos 236-2006 y su reforma 285-2022.
- Determinar la eficiencia del funcionamiento de la planta de tratamiento para aguas residuales por medio de indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y volumétricos.
- Proponer lineamientos para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR, ubicada en el barrio San Sebastián.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Acuerdo gubernativo 236-2006 y su reforma 285-2022

El objeto del presente Reglamento es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reusó de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita: (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN)

- a. Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
 - b. Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
 - c. Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.
- (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN)

También es objeto del presente Reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

6.1.1 Aplicación

El presente Reglamento debe aplicarse a:

- a. Los entes generadores de aguas residuales;
- b. Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;
- c. Las personas que produzcan aguas residuales para reusó;
- d. Las personas que reúsen parcial o totalmente aguas residuales; y
- e. Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

6.1.2 Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores según acuerdo Gubernativo 236-2006.

Los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores son:

Tabla 1: *Límites máximos permisibles*



MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES GUATEMALA, C.A.

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN.

6.1.3 Parámetros de aguas residuales:

Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes: (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN)

Tabla 2: *Parámetros físicos, químicos y microbiológicos*

No.	Parámetros	Dimensionales	Símbolo
1	Temperatura	Grados Celsius	c°
2	Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	U
3	Grasas y Aceites	Miligramos por litro	ml/g
4	Material flotante	Ausencia/Presencia	A/P
5	Sólidos suspendidos totales	Miligramos por litro	ml/g
6	Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	ml/g
7	Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	ml/g
8	Nitrógeno total	Miligramos por litro	ml/g
9	Fósforo total	Miligramos por litro	ml/g
10	Arsénico	Miligramos por litro	ml/g
11	Cadmio	Miligramos por litro	ml/g
12	Cianuro total	Miligramos por litro	ml/g
13	Cobre	Miligramos por litro	ml/g
14	Cromo hexavalente	Miligramos por litro	ml/g
15	Mercurio	Miligramos por litro	ml/g
16	Níquel	Miligramos por litro	ml/g
17	Plomo	Miligramos por litro	ml/g
18	Zinc	Miligramos por litro	ml/g
19	Color	Unidades Platino Cobalto	Pt, Co
20	Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	NMP/100ML

6.1.4 Aguas residuales

Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas, se encuentra contaminada, producto de la actividad humana en hogares, comercios, industrias y agricultura. Al estar contaminada debe ser desalojada y conducida mediante una red de alcantarillas hasta las plantas de tratamiento de aguas residuales (estaciones de depuración) donde es procesada para ser reutilizada o devuelta al medio natural en condiciones adecuadas. (Ferrovia-Recursos, 2023)

6.1.5 Aguas residuales domesticas u ordinarias

“Las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado” (Ferrovia-Recursos, 2023).

6.1.6 Afluente

“El agua captada por un ente generador que ingresa a un reservorio, o algún proceso de tratamiento” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.7 Efluente

Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias. (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN)

6.1.8 Caracterización de un efluente o un afluente (agua)

“La determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el presente Reglamento” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.9 Cuerpo receptor

“Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.10 Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un ducto, ya sea tubería, cañería, oleoducto, río, canal, por unidad de tiempo. Generalmente, el caudal se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área determinada en una unidad de tiempo específica. (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN)

6.1.11 Carga

“Es el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.12 Lodos

“Los sólidos con un contenido variable de humedad proveniente del tratamiento de aguas residuales” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.13 Estabilización de lodos

“El proceso físico, químico o biológico al que se someten los lodos para condicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.14 Punto de descarga

“El sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.15 Reúso

El reúso del agua residual es una solución al problema de la escasez de agua puesto que se liberan recursos de agua para otros usos, o para su conservación. Además, los productos secundarios del tratamiento de las aguas residuales pueden convertirse en valiosos para la agricultura y la generación de energía, haciendo que las plantas de tratamiento de aguas residuales sean más sostenibles ambiental y financieramente. (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN)

6.1.16 Caracterización de aguas para reúso

Un porcentaje de afluente del sistema de tratamiento para agua especial, alrededor del 60% este caudal será dirigido hacia sistema de captación identificado como noria, para su uso en calderas, considerando que el caudal a utilizar pasa a través de un sistema de filtración, con el objetivo que el agua que ingrese al sistema de calderas no pueda afectar su desempeño. (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN)

6.1.17 Monitoreo

“El proceso mediante el cual se obtiene, interpreta y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reúso y lodos” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.18 Caracterización de una muestra

“La determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos” (Solís Flores, 2020 p. 106).

6.1.19 Tipos de muestras

- **Muestra simple**

“Es aquella que es tomada en un tiempo y lugar determinado, para su análisis individual. Deberá recolectarse durante la jornada de trabajo de la empresa” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

- **Muestra compuesta**

“Dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.20 Parámetro

“Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos asignándole un valor numérico” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.21 Temperatura °C

La temperatura es una medida de la energía, se mide en una escala de grados Centígrados. Es uno de los parámetros más importantes de la calidad de agua, debido a que afecta la química del agua e influye en la cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua. Los valores de temperatura en el agua residual dependerán de la zona y época del año en la que se realice la medición, de los valores de temperatura depende el proceso biológico de depuración.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35 °C. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

6.1.22 Potencial de hidrógeno (Ph)

Unos de los parámetros que se utiliza para determinar la calidad del agua y verificar si la norma cumple con los límites máximos permisibles es el análisis de pH. Este nos permite establecer que tan acida o básica es una solución, donde su rango es de 0 a 14; estos valores son de vital importancia en procesos industriales debido a que puede afectar a la calidad de producto, por lo que en el tratamiento de aguas residuales es necesario controlar los niveles de pH a fin de garantizar condiciones óptimas para conseguir las reacciones químicas o microbianas deseadas y que el proceso resulte eficiente. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

6.1.23 Nitrógeno total

La presencia de concentraciones altas de nitrógeno conlleva a consecuencias ambientales y sanitarias en el recurso hídrico como aumento de la acidez, eutrofización y toxicidad de los ecosistemas

acuáticos. Asimismo, la presencia de alto nitrógeno en el agua establece riesgos para el ser humano por la ingesta o contacto directo con compuestos como toxinas liberadas por floraciones de cianobacterias en ambientes eutrofizados. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

6.1.24 Fosforo total

El fósforo total es la suma de todas las formas de fósforo existente: fosfatos, fosfatos condensados y orgánicos. Los altos niveles de fósforo en los vertidos de aguas residuales pueden afectar considerablemente al ecosistema.

Desde hace tiempo también se da mucha importancia a la eliminación de fósforo en aguas residuales. El motivo es que una elevada concentración de estos nutrientes provoca la eutrofización de las aguas de los ríos donde vierte el efluente de aguas residuales. (Nuevo, 2022)

6.1.25 Dureza

Durante la digestión de los fangos, debe monitorizarse la dureza para optimizar la eficiencia. La biodegradación del jabón y la absorción de oxígeno por parte de los fangos activados se ven afectadas debido a las altas concentraciones de dureza.

Por otro lado, un agua dura puede reseca ligeramente la piel y el cabello, favorece la acumulación de calcio y precipitación de restos de jabón en electrodomésticos y tuberías, aunque las protege de su corrosión (un agua blanda favorece la corrosión de tuberías). También se debe tener en cuenta que la dureza altera el gusto del agua y esto puede ser mejor aceptado o no. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

6.1.26 Color

La presencia de color en las aguas residuales puede deberse a varios procesos de fabricación. El color no solo puede afectar el valor estético del agua, si las aguas residuales coloreadas se descargan a la naturaleza, la actividad de la fotosíntesis es limitada, lo que está demostrado que causa efectos perjudiciales en los ecosistemas acuáticos.

El color verdadero es el que depende solamente del agua y las sustancias disueltas en ella, mientras que el color aparente incluiría también las partículas en suspensión. Estas últimas son las responsables de la turbidez del agua. (Rabanales Bravo, 2015 p. 76)

6.1.27 Turbidez

La turbidez impacta en los ecosistemas acuáticos por dispersar la luz solar y reducir la concentración de oxígeno. Afecta a la fotosíntesis, así como a la respiración y reproducción de los peces. Las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos tóxicos.

La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia menor será su calidad.

Una vez clarificada el agua, la última etapa en la PTAR es la desinfección. Para este fin, es importante que el agua tenga baja turbidez. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

6.1.28 Sólidos suspendidos totales

“Los sólidos suspendidos totales se utilizan para evaluar la calidad del agua después de un proceso de tratamiento; cuando están presentes, contiene una cantidad significativa de los contaminantes presentes en el agua”. (Sandoval Roque, 2014)

6.1.29 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius. (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN)

6.1.30 Demanda química de oxígeno (DQO)

“La medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química” (Acuerdo gubernativo No. 236-2006, MARN).

6.1.31 Coliformes fecales

Es un parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales. La presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. (Solís Flores, 2020 p. 106)

6.1.32 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR

También conocido como proceso de depuración, es un sistema utilizado para remover contaminantes del agua. Eventualmente el agua usada se descontamina a través de medios naturales, pero eso requiere mucho tiempo; en una planta de tratamiento se acelera este proceso, así podemos reutilizar el agua en actividades diversas como la agricultura, la industria y la recreación. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

6.1.33 Función de una planta de tratamiento de aguas residuales

Existen varios niveles de defensa: pre tratamiento, tratamiento primario, secundario, avanzado y varios tratamientos especiales que se pueden utilizar después de todos ellos. El proceso de defensa o saneamiento inicia desde el momento en que el agua potable es utilizada y arrojada al drenaje, así la red de drenaje capta y transporta las aguas negras o residuales. (Solís Flores, 2020 p. 106)

6.1.34 Niveles de tratamiento de aguas residuales

Pre tratamiento: Es esencialmente físico; la primera etapa es la descontaminación, en esta fase se remueven sólidos presentes en las aguas residuales a través de rejillas y desarenadores (partículas pesadas como grava, arena y semillas). (Comisión Nacional del Agua, 2015)

Tratamiento primario: Puede ser físico o físico-químico y se realiza en tanques de sedimentación para remover parte de los contaminantes y retirarlos como lodo en el fondo de los tanques. Este lodo después de ser procesado puede ser usado como abono. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

Tratamiento secundario: Es esencialmente biológico, en esta etapa las bacterias benéficas se emplean intencionalmente para consumir otra parte de contaminantes que no fueron removidos en el tratamiento primario. La aireación, es decir, la incorporación de oxígeno o aire al agua contribuye al bacteriano. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

Tratamiento avanzado: Después de los tratamientos anteriores, se ha logrado eliminar un 85% de los contaminantes de las aguas residuales y queda por eliminar los nutrientes que favorecen el crecimiento de la flora acuática (algas y lirios), como son el fósforo y el amoníaco que proviene del escurrimiento agrícola, de desechos humanos y del uso de detergentes. Estos son eliminados por medio de: (Comisión Nacional del Agua, 2015)

- a. **Filtración:** A través de materiales granulares de diversos tipos y tamaños, tales como arena fina y carbón.
- b. **Desinfección:** Es la etapa final en la que se utilizan productos químicos como el cloro. La luz solar desinfecta el agua de forma natural por lo que se pueden usar luces especiales que emiten rayos ultravioletas. (Comisión Nacional del Agua, 2015)

Al completar estos cuatro tratamientos el agua está lista para su reuso en diversas actividades o para regresar a la naturaleza sin causar daños ecológicos.

7. MARCO REFERENCIAL

7.1 Descripción

El municipio de Jocotán se encuentra constituido por 32 Aldeas y 154 Caseríos, administrado a través de una Corporación Municipal, cuyo líder, es el Alcalde, vela por el desarrollo de todas las comunidades y es apoyado por el trabajo que realizan los Alcaldes Auxiliares, que se encuentran distribuidos en todas las comunidades.

La cabecera municipal o región urbana, está conformada por los barrios: EL Calvario, Cementerio, San Sebastián, San Lorenzo, Barrio nuevo, Barrio El Jabillal y Barrio El Mitch.

El total de viviendas es de 815 casas y el total de familias que residen en el Área Urbana es de 846. El 95% de las familias poseen viviendas, y únicamente el 3% de los pobladores alquilan la vivienda en la que habitan. De las viviendas ubicadas en los barrios céntricos, cuentan con una Construcción aceptable, de block, cemento, lamina o teja. La mayoría de las viviendas cuentan con los servicios básicos de agua potable, drenaje, recolección de basura, energía eléctrica y un 10% cuenta con teléfono domiciliar.

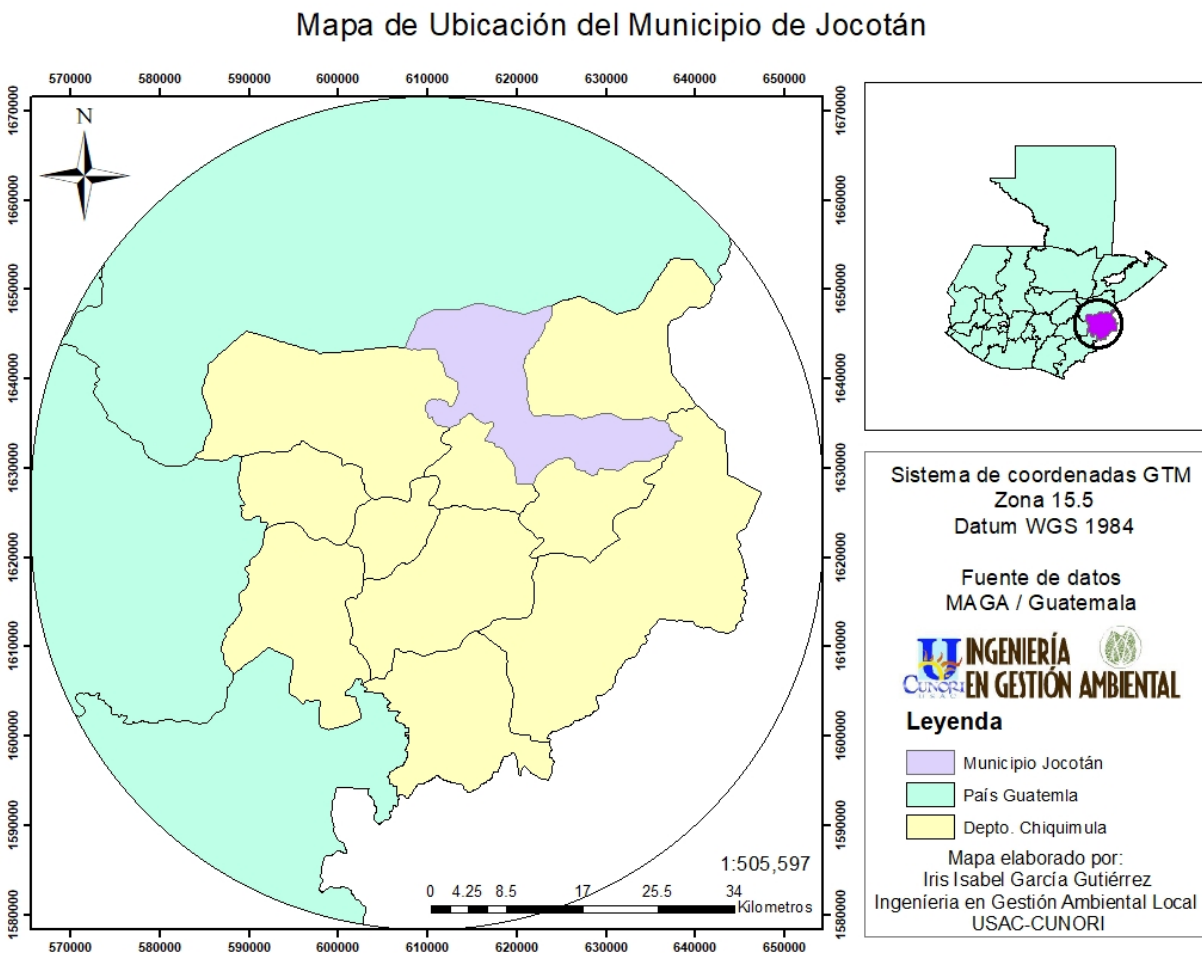
El municipio cuenta con los distintos medios de comunicación ya que es un pueblo de mucho comercio y visitado por una población extensa de los diferentes municipios, Aldeas, departamentos y a la vez por la Hermana República de Honduras. Por lo que vale mencionar que cuenta con Correos, teléfonos domiciliarios, Emisoras, Cobertura de teléfono Celular, Cable local, carretera asfaltada, y carreteras de terracería en la mayor parte del área rural.

La mayoría de las familias se dedican al comercio, empleados, micro industria y servicios. (Municipalidad de la Villa de Jocotán, 2015)

7.2 Ubicación

El municipio de Jocotán se localiza a 30 km de Chiquimula, se encuentra ubicado en latitud norte 14° 49' 10" y longitud oeste 89° 23' 25", con una elevación de 457 m.s.n.m., colinda al norte con los municipios de Zacapa y La Unión, al este con Camotán y Esquipulas; al sur con los Olopa y San Juan Ermita, y al oeste con Chiquimula. (Municipalidad de la Villa de Jocotán, 2015)

Figura 1: *Mapa de Ubicación del municipio de Jocotán*



7.3 Clima

“Bosque seco sub tropical en un 15% del territorio con precipitaciones de 500 a 1,000 mm, aquí se encuentra la región urbana de la Villa de Santiago Jocotán” (Municipalidad de la Villa de Jocotán, 2015).

7.4 Hidrología

En el municipio de Jocotán se encuentra dentro de la microcuenca del río Jupilingo. Predomina la cuenca del río Torja (17%); sigue la del río Shalagua (15%); luego está la Quebrada Seca (12%); la Quebrada Lachor y el río Cayar ambas micro cuencas ocupando el 11% del área del municipio. Las demás micro cuencas abarcan entre el 8% y el 2% del área municipal. (Municipalidad de la Villa de Jocotán, 2015)

7.5 Zonas de vida

Utilizando la metodología de Clasificación de Zonas de Vida desarrollado por Holdridge, en el municipio se han identificado 3 zonas de vida que son: (Municipalidad de la Villa de Jocotán, 2015)

Tabla 3: *Definición de zonas de vida del municipio*

Simbología	Zonas de vida	Descripción
Bh-S(t)	Bosque húmedo sub-tropical templado	En el 77% del territorio, especialmente en el área rural con precipitaciones de 1,100 a 1,350 mm; y una época de lluvias de mayo a noviembre.
Bs-S	Bosque seco subtropical	Con un 18% del territorio, la precipitación varía de los 600 a los 900 mm.
Me-S	Monte espinoso sub-tropical	En un 5% de su territorio en la colindancia con los municipios de Zacapa y Chiquimula

7.6 Bosques

“Esta región se cuenta con bosques relativamente pequeños” (Municipalidad de la Villa de Jocotán, 2015).

Tabla 4: *Especies forestales y frutales*

Nombre científico	Nombre Común
Pinusoocarpa	Pino De Ocote
Curatella americana	Lengua De Vaca
Quercus spp	Encino
Byrsonimacrassifolia	Nance
Grilicidiasepium	Madre Cacao
Coffeaarabica	Café
Spondias purpurea	Jocote
Leucaenaleucocephala	Yaje
Annona reticulata	Anona

7.7 Fauna

Son muchas las especies de animales silvestres, propias de esta zona, sin embargo, por el aumento de la población, la caza indiscriminada y expansión de la frontera agrícola, se han ido ahuyentando e incluso desapareciendo algunas de las especies. (Municipalidad de la Villa de Jocotán, 2015)

Tabla 5: *Fauna silvestre existente en el municipio de Jocotán*

Nombre común	Nombre científico
Ardilla	Sciurus vulgaris
Venado Cola Blanca	Odocoileus virginianus
Tacuazín	Procyon lotor
Zanate	Didelphis marsupialis
Colibrí	Quiscalus mexicanus
Zorro	Mellisuga helenae

8. MARCO METODOLÓGICO

8.1 Factores ambientales y geográficos que generan mayor impacto

Jocotan es un municipio que cada año tiene aumento en su población ya que personas del área rural han migrado al área urbana, teniendo en el mismo un puesto o lugar de trabajo, las actividades comerciales han sido por años el sustento de vida de los pobladores.

Por tanto las actividades en los hogares y locales comerciales son excesivas, los barrios que actualmente son favorecidos, y que sus drenajes están conectados a la PTAR del Barrio San Sebastián son los siguientes: San Lorenzo, San Sebastián y el Clavario. Son los barrios donde podemos ubicar varios tipos de negocios y que poco a poco el número de población ha ido en aumento.

El 100% de los locales comerciales y hogares identificados cuentan con agua potable y su respectivo servicio de drenaje. Se tiene un aproximado de 250 familias que forman parte de los usuarios que generan aguas residuales y las mismas son depositadas a la PTAR, distribuidas en tres barrios. Los barrios antes mencionados están ubicados en centro del municipio y por tanto todas sus calles están debidamente pavimentadas.

El crecimiento de la población es un factor geográfico que podría afectar al buen funcionamiento y eficiencia de la planta, por lo tanto, se vuelve necesario evaluar la calidad con que la misma está siendo vertida a uno de los ríos más importantes que pasa por el municipio y que este también es una fuente hídrica para otras poblaciones que hacen uso de ella en su paso por otros municipios. (V.E. Vásquez, comunicación personal, 25 de mayo de 2023)

8.2 Descripción del funcionamiento de la planta

Pre tratamiento: Aquí se realiza la primera etapa de descontaminación de las aguas, se remueven sólidos de gran tamaño como troncos, pedazos de madera, trapos, botellas de plástico; en general, toda clase basura voluminosa acarreada por el sistema de alcantarillado, por medio de rejas y rejillas ubicadas en la entrada de la PTAR.

Tratamiento primario: Se realiza la segunda etapa de descontaminación por medio de tanques de sedimentación, donde se remueve parte de los contaminantes como fracciones líquidas y sólidos de lodos; los mismos se retiran como lodos en el fondo de los tanques, los cuales son retirados cada tres meses y luego pasan al patio de lodos para ser tratados.

Tratamiento secundario: Al pasar y completar el proceso en el tratamiento primario las aguas forman y pasan por una laguna de lirios acuáticos, donde se degrada la materia orgánica que logra pasar después del tratamiento en los tanques de sedimentación, llevando también nutrientes y bacterias que alimentan y favorecen el crecimiento de los lirios acuáticos, estos ayudan a reducir la cantidad de DBO y DQO que llevan las aguas residuales.

Tratamiento terciario: El agua residual pre tratada sale de la laguna de lirios y se dirige a la última fase, que es la fase de cloración de las aguas tratadas, aquí se eliminan los restos de residuos que no pudieron destruir o aprovechar los lirios acuáticos, se realiza la aplicación de cloro directamente a la caja final, donde el agua es depositada después del tratado en la laguna lirios.

Al completar las cuatro fases de tratamiento en términos generales el agua residual ordinaria o doméstica tratada está lista para ser depositada a cualquier cuerpo de agua o ser utilizada para riego en cultivos o jardín. El agua tratada en la planta del Calvario es depositada en el cauce del río Jupilingo.

Figura 2: Flujo grama de la planta de tratamiento

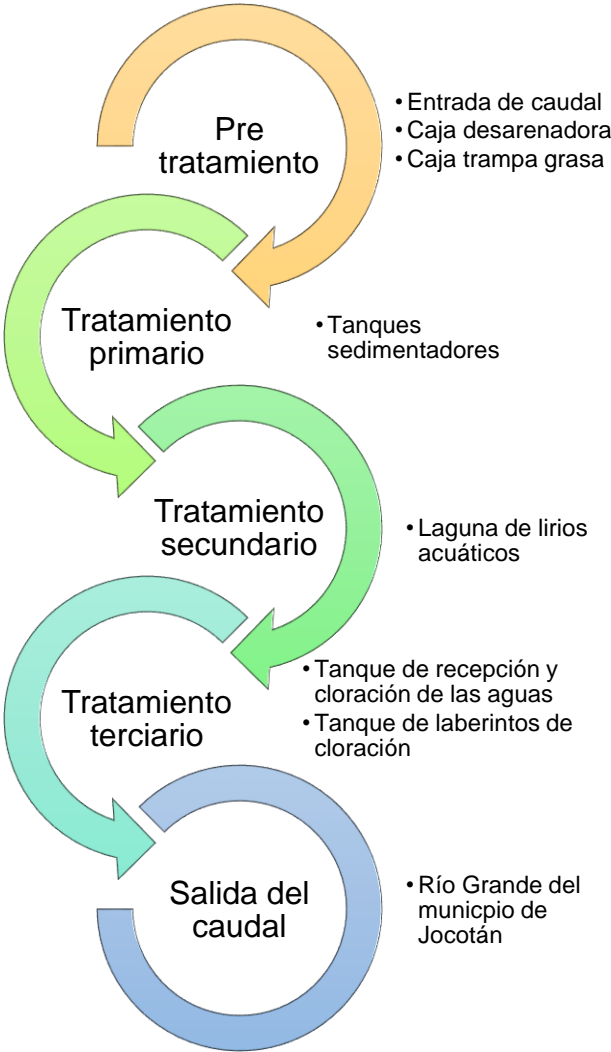
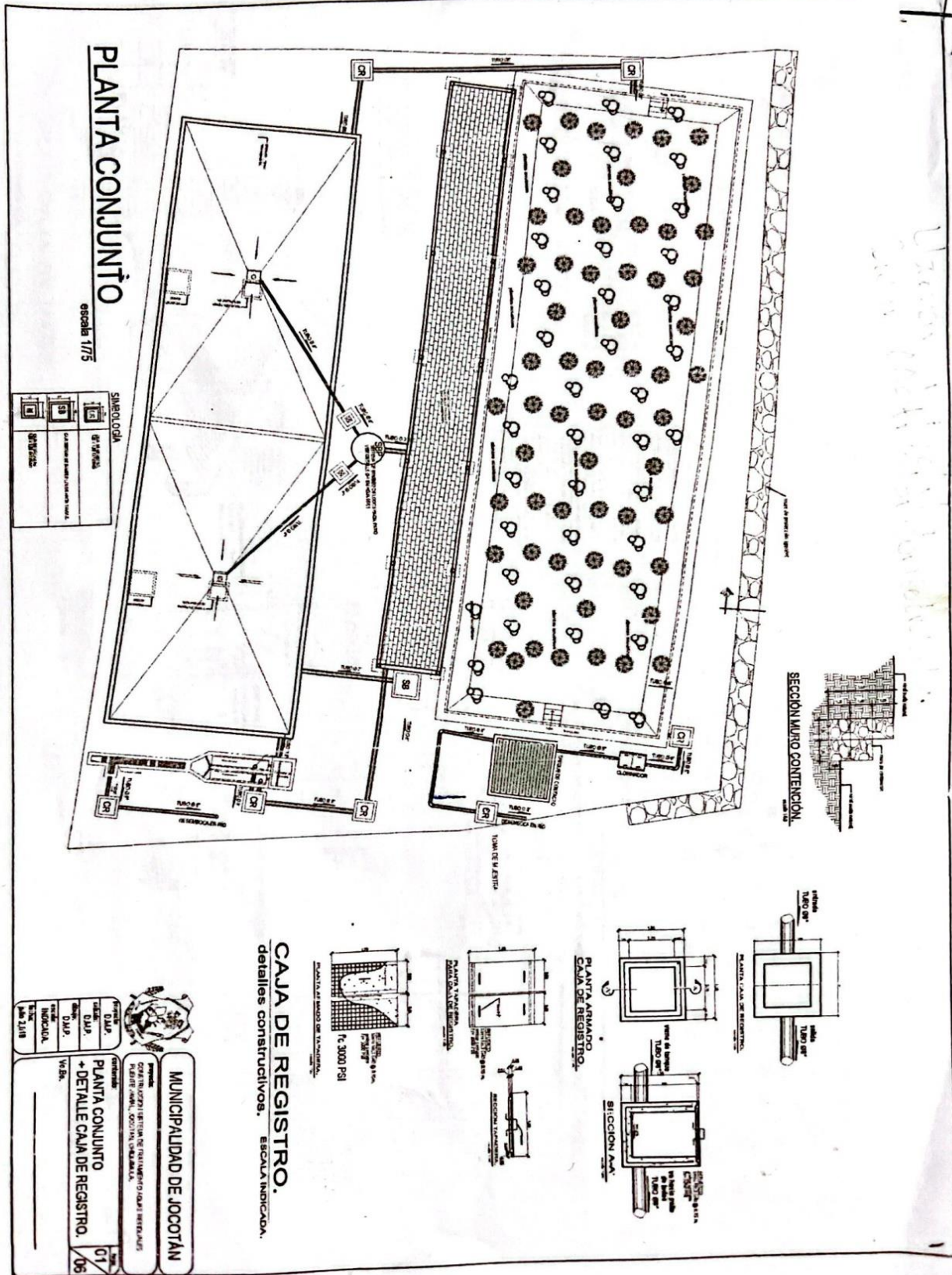


Figura 3: Plano de planta en conjunto de PTAR



8.3 Establecer puntos de monitoreo

8.3.1 Determinación de los puntos

Para poder determinar la calidad del agua residual y eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del barrio el Calvario del municipio de Jocotán se establecieron 2 puntos de monitoreo, uno en la caja de registro de ingreso y otro en la de salida, lo que da un total de 2 muestras.

El primer punto de monitoreo permitió conocer la calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento después de su utilización, el segundo punto de monitoreo permitió determinar la calidad y las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual en el proceso de tratamiento final.

8.3.2 Periodo de monitoreo

Se realizó un total de 3 monitoreos en un período de 3 meses; en cada monitoreo se tomaron 2 muestras (1 muestra en la entrada y 1 muestra en la salida).

Tabla 6: *Monitoreos realizados*

Monitoreo	Fecha	Mes
1	28/03/2023	1
2	27/04/2023	2
3	25/05/2023	3

8.3.3 Horario de descarga de aguas residuales

La descarga a la planta es de forma permanente, tomando en cuenta que hay horarios donde el incrementa la descarga de aguas residuales, según información obtenida el aumento de caudal es de 7:00 am a 11:00 am, en horarios de tarde-noche los caudales se mantiene casi similares. Los días y fechas festivas como: semana santa, diciembre, son meses donde la afluencia de personas en el municipio es mayor y por ende las descargas también aumentan. (Vásquez, 2022)

Tabla 7: *Horarios con más carga de agua residual*

Horarios con mas carga de agua residual	Dias festivos
7:00 a.m. a 11:00 a.m.	Semana Santa
	Diciembre
	Fiestas Julias
	Dia de muertos

8.4 Recolección de muestras

La recolección de muestras tuvo como objetivo obtener una parte representativa de las aguas residuales, para lo cual se analizaron las variables fisicoquímicas y microbiológicas, esto con el fin de cumplir con la normativa vigente.

Se tomaron muestras en recipientes de plástico previamente lavadas y esterilizadas, de 1 litro para las muestras fisicoquímicas y 125 cc para la muestra del análisis microbiológico.

Para realizar correctamente cada una de las fases del muestreo desde la toma hasta su entrega se tomaron en cuenta los siguientes pasos:

8.4.1 Paso 1

Los recipientes plásticos para la recolecta de la muestra deben estar previamente esterilizados, para evitar cualquier tipo de contaminación ajena a la muestra, se identificaron con una etiqueta indicando el nombre de la muestra, fecha y hora.

8.4.2 Paso 2

Antes de llenar el recipiente se debe lavar 3 veces con el agua que se va a recoger.

8.4.3 Paso 3

El traslado al laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI- para su análisis se realizó tan pronto como fue posible, manteniendo la muestra a temperatura de refrigeración (4-8 °C).

8.5 Control del muestreo

El proceso de control y vigilancia de muestreo fue esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el informe de resultados, por lo que se requirió tener un agenda diaria que permitió anotar los resultados obtenidos en campo y el registrado de las fechas y hora en que se hizo la toma de muestras en cada uno de los monitoreos.

8.6 Equipo de muestreo

Para realizar el muestreo se necesitaron los siguientes materiales:

- Para la identificación de la muestra: Cinta adhesiva y rotulador, se deben colocar previamente en los recipientes de las muestras
- Hielera, una para el transporte de las muestras fisicoquímicas y otra para la muestra microbiológica
- Papel absorbente para la limpieza del equipo de campo
- Agua destilada para lavar los instrumentos de campo
- Guantes, para evitar contaminación por contacto
- Agenda diaria
- Termómetro para la toma de dato en campo (Temperatura)

8.7 Preparación del equipo para muestreo

- a) **Termómetro:** Este equipo tiene la capacidad de medir la temperatura en el agua.
- b) **Manejo de las muestras:** Luego de la recolección de las muestras, los recipientes se deben colocar en una hielera para preservarlas a 4 °C,

colocando la muestra para el análisis microbiológico en una hielera diferente. Se debe tener cuidado con los recipientes en el traslado al laboratorio para evitar cualquier daño o alteración a las muestras.

8.8 Determinación de parámetros a nivel de laboratorio

Con el objetivo de conocer la calidad de las aguas residuales y la eficiencia de la planta de tratamiento, según lo requerido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para el seguimiento y evaluación de aguas residuales, se debió realizar como mínimo 1 monitoreo cada 3 meses, por lo que se determinó realizar 3 monitoreos en un periodo de 6 meses para obtener resultados favorables. Los parámetros, físicos, químicos y microbiológicos que se realizaron en el laboratorio ambiental de CUNORI son los siguientes:

Tabla 8: *Parámetros según acuerdo gubernativo 236-2006*

No.	Parámetros	Dimensionales	Símbolo
Parámetros físico-químico			
1	Temperatura (Dato tomado en campo)	Grados Celsius	c°
2	Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	U
3	Grasas y Aceites	Miligramos por litro	ml/g
4	Material flotante	Ausencia/Presencia	A/P
5	Sólidos suspendidos totales	Miligramos por litro	ml/g
6	Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	ml/g
7	Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	ml/g
8	Nitrógeno total	Miligramos por litro	ml/g
9	Fósforo total	Miligramos por litro	ml/g
10	Arsénico	Miligramos por litro	ml/g
11	Cobre	Miligramos por litro	ml/g
12	Cromo hexavalente	Miligramos por litro	ml/g
13	Plomo	Miligramos por litro	ml/g
14	Zinc	Miligramos por litro	ml/g
15	Color	Unidades Platino Cobalto	Pt, Co
Parámetros Biológicos			
16	Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	NMLP/100 ML

8.9 Análisis e interpretación de la información obtenida

La metodología empleada para los análisis físicos, químicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua se basó en los métodos de análisis recomendados por el “Estándar Methods of the examination of Water and Wastewater” (Método estándar para examinar agua).

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Identificación de los barrios que generan mayor impacto en la PTAR

En la figura 5 podemos observar la ubicación de los tres barrios: San Lorenzo, Clavario, San Sebastián; son los que actualmente tiene influencia en el depósito de aguas residuales en PTAR.

Debido a la cantidad de casas comerciales y hogares que vierte sus aguas a la PTAR se vuelve necesario evaluar la calidad con que la misma está siendo vertida a uno de los ríos más importantes que pasa por el municipio y que este también es una fuente hídrica para otras poblaciones que hacen uso de ella en su paso por otros municipios.

En los mapas que se muestran a continuación (figura 4 y 5) podemos observar que el Río pasa a un costado de la planta, que es en donde actualmente se deposita las aguas tratadas; también observamos los puntos más importantes y de mayor impacto en generación de aguas residuales.

La planta actualmente recibe una cantidad de 545.85 m³/día (22743.73 lts/hr) de aguas residuales, estos datos nos indican que la cantidad de agua residual que ingresa es un número bastante significativo, siendo esta la planta que beneficia a los tres barrios más poblados e importantes en el comercio del municipio. (V.E. Vásquez, comunicación personal, 25 de mayo de 2023)

Figura 4: Mapa de ubicación y vías de acceso a la planta de tratamiento

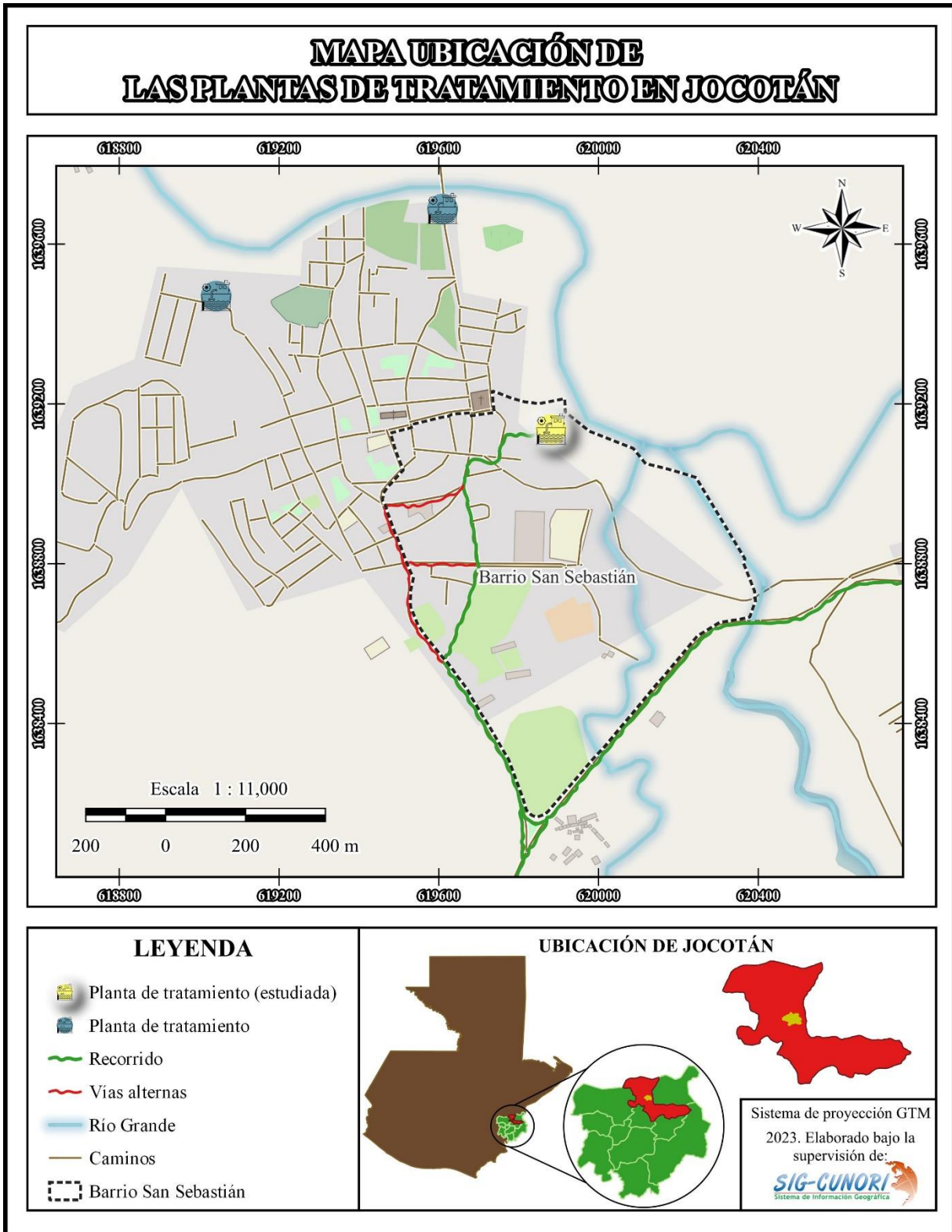
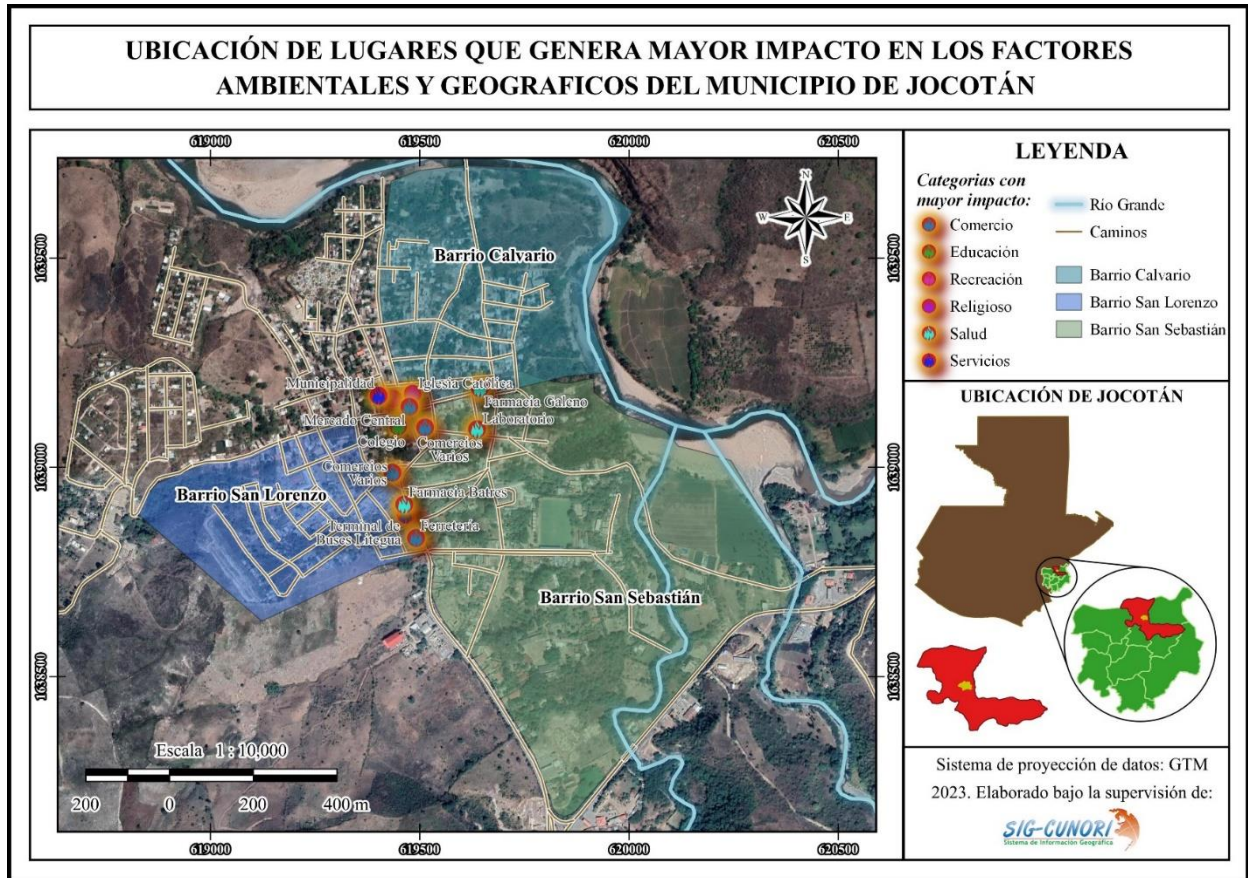


Figura 5: Ubicación de lugares y puntos que generan mayor impacto en el depósito de aguas residuales



9.2 Establecimiento de los puntos de monitoreo

Se evaluaron las características físicas, químicas y microbiológicas del agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales en la planta ubicada en el Barrio San Sebastián, donde se establecieron 2 puntos de monitoreo.

Tabla 9: *Ubicación puntos de muestreo*

Punto de muestreo	Ubicación	Descripción
1	Entrada	El primer punto permite conocer la calidad del agua que ingresa al sistema después de su utilización
2	Salida	El segundo punto permite conocer la calidad y características del agua luego del proceso de tratamiento final

9.3 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados en la PTAR

Se realizó un estudio en un periodo de 3 meses (marzo, abril y mayo del año 2023) las muestras se tomaron en ese lapso de tiempo por recomendación (tomar en cuenta los meses de verano para no alterar resultados) de profesionales con conocimientos específicos en el tema de trabajo de investigación presentado.

Los 14 parámetros evaluados fueron seleccionados con base en que el laboratorio ambiental de agua en el Centro Universitario de Oriente no cuenta aún con el material e instrumentos necesarios para la evaluación de todos los parámetros que se describen el artículo 20, del acuerdo Gubernativo 236-2006.

Se tomaron en cuenta los tres meses de verano, ya que los meses venideros eran de invierno y esto pudo haber afectado en alteración de resultados; se analizaron

14 parámetros, siendo 11 parámetros físico químicos y 3 bacteriológicos descritos a continuación.

Físico químicos: Temperatura, PH, material flotante, solidos suspendidos, nitrógeno total, fosforo total, dureza, color, turbidez, DBO5, DQO,

Bacteriológicos: Coliformes totales, coliformes fecales y eschericha coli, determinando parámetros a nivel de campo y laboratorio en las instalaciones del Centro Universitario de Oriente -CUNORI-

En la tabla 10 se puede observar los resultados promedios en cada punto de muestreo comparados con el límite máximo permisible según el Acuerdo Gubernativo 236-2006; resaltando con el color gris los parámetros que sobrepasan lo establecido por el reglamento.

En el punto de muestreo 2 (salida) se obtuvo un resultado de fósforo total 21.04 mg/l, nitrógeno total 195 mg/l y Turbidez 17.33 UTN, indicando que no se encuentra dentro de los valores requeridos.

Tabla 10: Resultado promedio de datos obtenidos en laboratorio

Parámetros	Resultado promedio		Límite máximo Permisible acuerdo 236-2006	
	Entrada punto 1	Salida punto 2		
Temperatura (°C campo)	28.33	26.67	TCR +/-7	
Potencial de Hidrógeno (U)	6.5	7.08	6 a 9	
Material flotante (P/A)	Presente	Ausente	Ausente	
Sólidos suspendidos (mg/l)	1216.67	148.5	150	
Nitrógeno total (mg/l)	174.33	146.23	25	
Fosforó total (mg/l)	17.42	21.04	15	
Dureza (mg/l)	165	163.33	500	
Color (Unidades platino/cobalto)	1866.67	383.33	750	
Turbidez (UTN)	370.33	17.33	15	
DBO5 (mg/l)	96.33	64.67	100	
DQO (mg/l)	169.33	85.67	150	
Bacteriológico NMP/100ml	Coliformes totales	≥ 2400	≥ 2400	<1x10 ⁴
	Coliformes fecales	≥ 2400	≥ 2400	<1x10 ⁴
	Escherichia coli	≥ 2400	≥ 2400	<1x10 ⁴

9.4 Determinación de la eficiencia de la PTAR

La eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domiciliarias se determinó con base en la comparación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del efluente con los límites máximos permisibles del acuerdo gubernativo 236-2006.

9.4.1 Temperatura °C

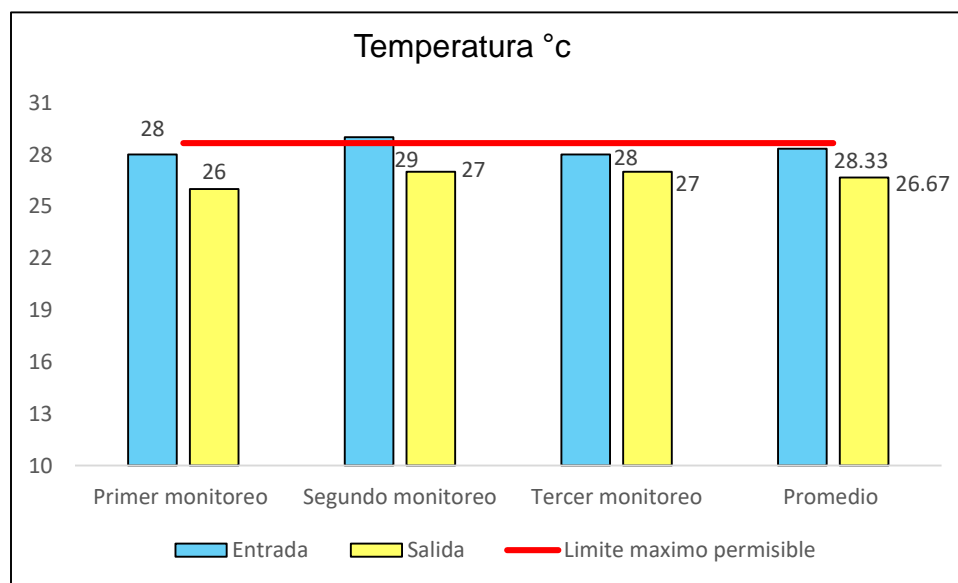
En la tabla 11 se reflejan los resultados obtenidos en campo de temperatura en grados Celsius de la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales, con su respectivo promedio, la temperatura del agua en el punto de muestreo 1 proviene del agua que ingresa al sistema de tratamiento luego de ser utilizada, la cual tuvo un valor promedio de 28°C, luego pasa por el proceso de desinfección hasta llegar al tratamiento final donde se obtiene 26°C de temperatura en el puto de muestreo 2.

Temperatura del cuerpo receptor es de 28.66°C, la cual nos indica que sí está dentro del límite requerido por el acuerdo gubernativo 236-2006.

Tabla 11: *Resultados obtenidos en temperatura*

Temperatura °c					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	28	29	28	28.33	TCR +/-7
Salida	26	27	27	26.67	

Figura 6: *Datos graficados de temperatura*



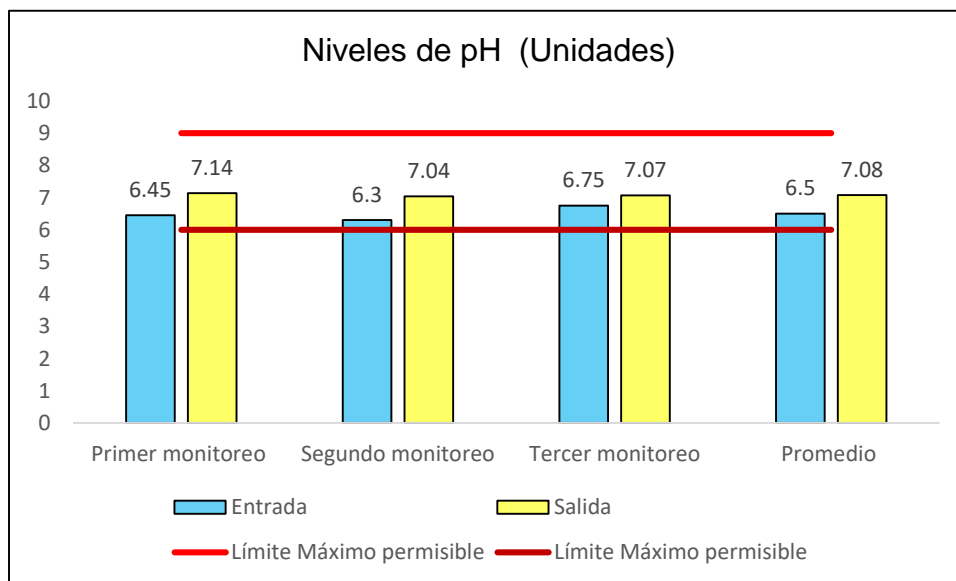
9.4.2 Potencial de hidrógeno (pH)

En la tabla 12, se presentan los resultados de análisis de pH obtenidos en los diferentes monitoreos de los puntos de muestreo establecidos en la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en Barrio San Sebastián, Jocotán, comparados con el límite permisible por el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Se puede observar que el valor promedio del agua que ingresa a la planta de tratamiento luego de su utilización es de 6.50 unidades y como tratamiento final se obtiene un valor promedio de pH de 7.08 unidades en el punto 2 (salida).

Tabla 12: *Resultados de PH*

PH (Unidades)					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	6.45	6.3	6.75	6.50	6 a 9
Salida	7.14	7.04	7.07	7.08	

Figura 7: *Resultados graficados de pH*



El comportamiento del parámetro de pH es de 6.50 a 7.08 unidades en promedio de los diferentes monitores realizados, cada resultado comparado con el límite máximo permisible, siendo este de 6 a 9, nos indica que en ambos puntos del muestreo el nivel de pH se encuentra dentro del límite máximo permisible establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

9.4.3 Material flotante

En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos a nivel de laboratorio del parámetro de material flotante, que se representa como presente/ausente, comparados con el límite máximo posible según el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Se observa que el agua al entrar al sistema de tratamiento sí tiene presencia de material flotante y al pasar por el proceso de desinfección en el punto de muestreo 2 (salida) ya se encuentra ausente, cumpliendo con lo requerido por la normativa vigente.

Tabla 13: *Resultados de material flotante*

Material flotante (Presente/ausente)					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente
Salida	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	

9.4.4 Sólidos suspendidos totales.

En la tabla 14 se muestra un comparativo de los resultados obtenidos a nivel de laboratorio en los 2 puntos de muestreo establecidos en la planta de tratamiento de aguas residuales del Barrio San Sebastián Jocotán, con el límite permisible por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

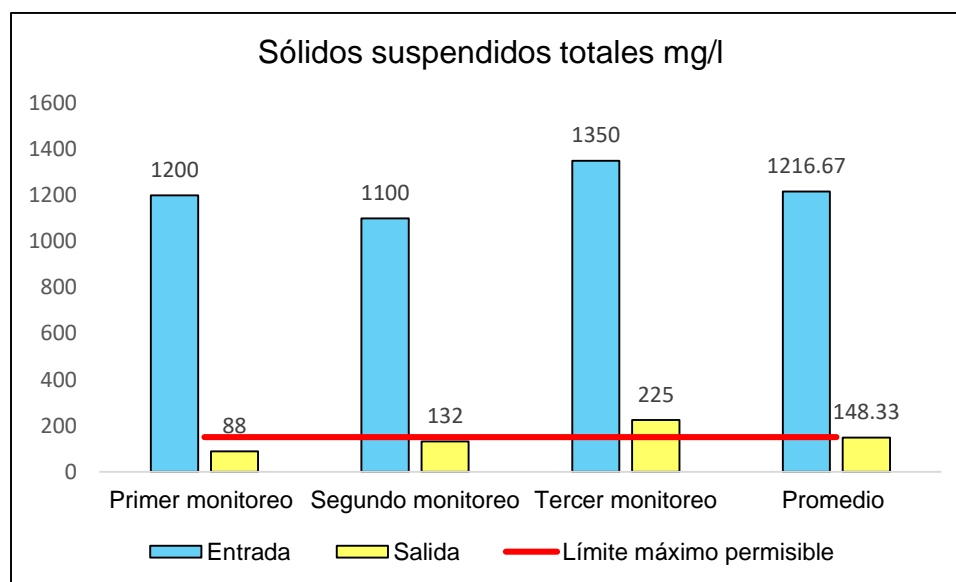
Se puede observar los resultados obtenidos en los puntos de muestreo con su respectivo promedio, donde se refleja el promedio del punto de muestreo número 1 (entrada) presenta un valor de 1216.67 mg/l, que al pasar por un proceso de

sedimentación y filtración, el agua post tratamiento presenta en el punto de muestreo 2 (salida) un valor de 148.33 mg/l, el cual sí cumple con el límite máximo permisible por el Acuerdo Gubernativo 236-2006. En el primer monitoreo que se realizó en el punto 2, sí se cumplió con el rango aceptable; en el segundo y tercer monitoreo en el punto 2, ya no se cumplió con el rango establecido por la norma.

Tabla 14: *Resultados de sólidos Suspendidos Totales*

Sólidos suspendidos totales (mg/l)					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	1200	1100	1350	1216.67	150
Salida	88	132	225	148.33	

Figura 8: *Resultados gráficos de sólidos suspendidos totales*



Como se puede observar en la gráfica, los sólidos suspendidos totales que al comprar los promedios con el límite máximo se están cumpliendo con ello; esto indica que la eficiencia está en un porcentaje bastante elevado, esto ayuda que el agua también tenga un buen alcance de eficiencia en turbidez.

9.4.5 Nitrógeno total

La presencia de concentraciones altas de nitrógeno conlleva a consecuencias ambientales y sanitarias en el recurso hídrico como aumento de la acidez, eutrofización y toxicidad de los ecosistemas acuáticos.

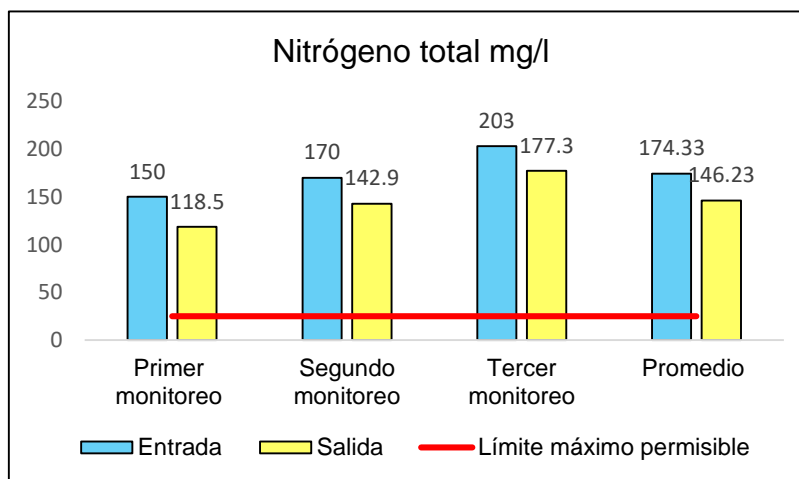
En la tabla 15 se muestran los resultados de las concentraciones de nitrógeno en mg/l en cada punto de muestreos comparados con el límite máximo permisible del Acuerdo Gubernativo 236-2006. se puede observar el punto de muestreo 1 (entrada) un valor promedio elevado al límite máximo permisible de 174.33 mg/l y luego del tratamiento final presenta un valor promedio en el punto de muestreo 2 (salida) de 146.23 mg/l, lo que indica que sobrepasa el rango requerido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 siendo este de 20 mg/l.

Realizan la aplicación de hipoclorito de sodio de manera inadecuada, debido a que no llevan un control, no realizan esta acción siguiendo un plan donde se cumpla un horario específico cada día.

Tabla 15: *Resultados de nitrógeno total*

Nitrógeno Total (mg/l)					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	150	170	203	174.33	25
Salida	118.5	142.9	177.3	146.23	

Figura 9: *Resultados gráficos Nitrógeno total*



Podemos observar los resultados obtenidos en la gráfica donde el punto promedio del nitrógeno en el punto de muestreo 2 es de 146.23 mg/l, donde indica que el proceso de tratamiento secundario no está siendo eficiente ya que sobrepasa el límite máximo permisible.

9.4.6 Fósforo total

En la tabla 16 se muestran los resultados obtenidos a nivel de laboratorio de fósforo total en mg/l en cada etapa de monitoreo en los dos puntos de muestreo establecidos en la planta de tratamiento comparados con el límite máximo posible requerido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

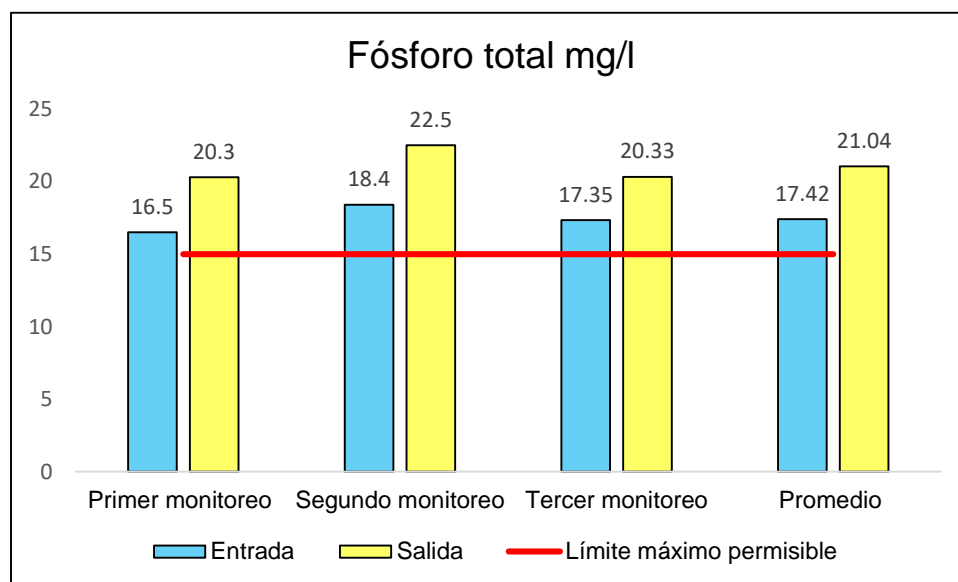
No se cumple con los límites establecidos, ya que la laguna de lirios no está haciendo una completa desinfección en estos parámetros esto por varios factores, no se tiene combinación de más plantas acuáticas.

Tabla 16: *Resultados del fósforo*

Fosforo Total (mg/l)					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	16.5	18.4	17.35	17.42	15
Salida	20.3	22.5	20.33	21.04	

Según los datos obtenidos y el comportamiento de la gráfica, el fósforo asciende y es la tendencia en áreas urbanas, los procesos de depuración de aguas residuales solo puede eliminar de 1 a 2 mg/l, así que una cantidad considerable de fósforo se descarga en el efluente final.

Figura 10: Resultados graficados de fósforo total



9.4.7 Dureza

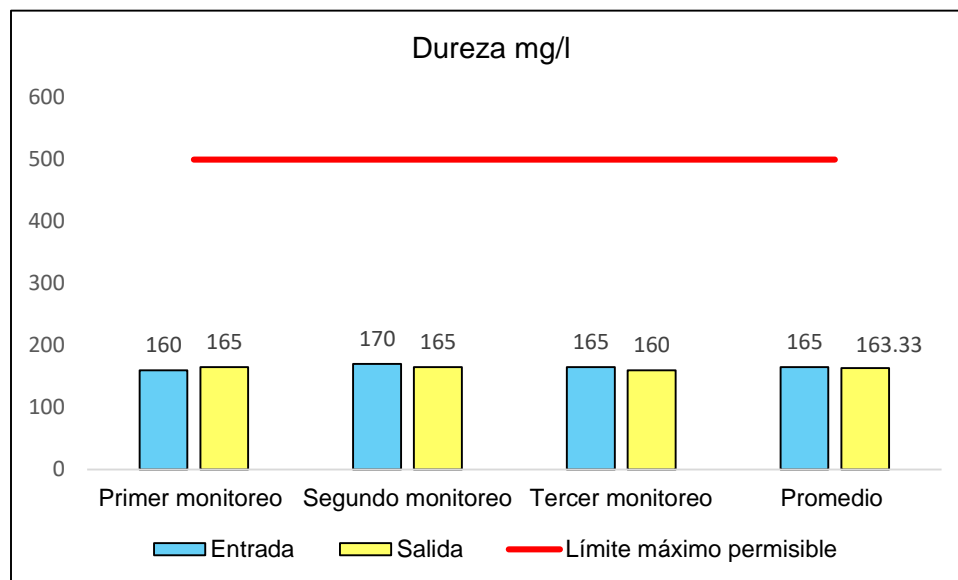
En la tabla 17 se muestran los resultados obtenidos a nivel de laboratorio de dureza mg/l en cada etapa de monitoreo en los dos puntos de muestreo establecidos en la planta de tratamiento comparados con el límite máximo aceptable requerido en las normas COGUANOR. Para la cual si se cumplen.

No se encontraron aguas duras, la descarga de agua residual que llega a la planta no es influenciada por industrias, la cantidad de agua ingresada PTAR son aguas ordinarias.

Tabla 17: Resultados de dureza

Dureza (mg/l)					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	160	170	165	165.00	500
Salida	165	165	160	163.33	

Figura 11: Comportamiento de resultados de dureza



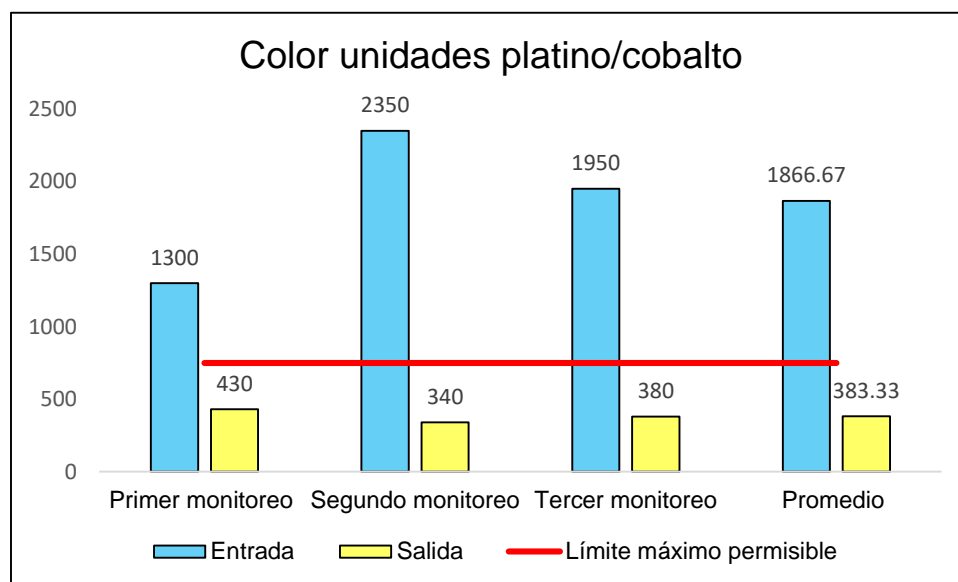
9.4.8 Color Unidades Platino/Cobalto

En el punto de muestreo 2 (salida), post tratamiento, se observa que los valores en cada monitoreo son inferiores al rango aceptable y el valor promedio de 383.33 unidades platino/cobalto, cumpliendo con el límite máximo permisible de la normativa vigente, el cual indica que se debe de encontrar el rango de 750.

Tabla 18: Resultados de color

Color (unidades platino/cobalto)					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	1300	2350	1950	1866.67	750
Salida	430	340	380	383.33	

Figura 12: Resultados gráficos de color



9.4.9 Turbidez

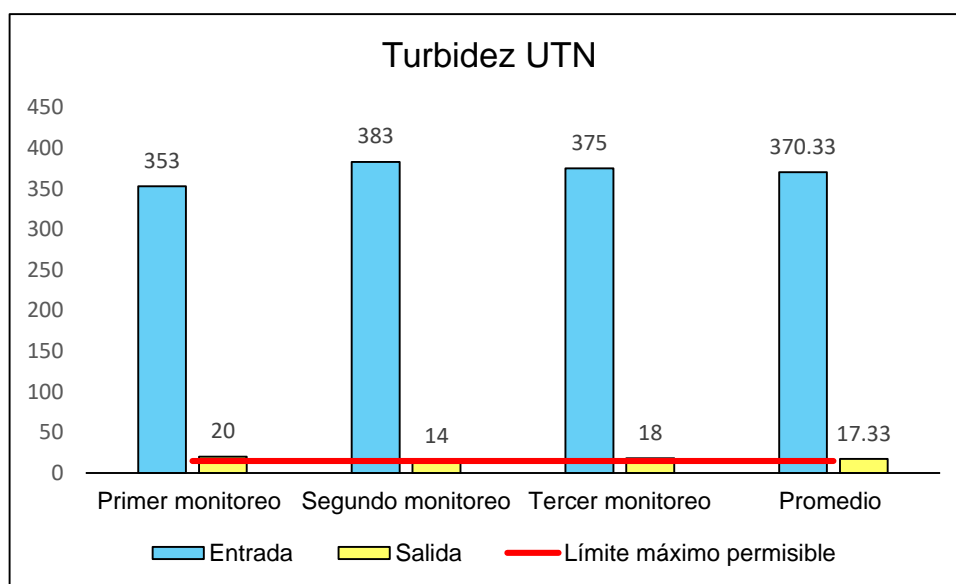
Aunque de este parámetro no se hace mención el acuerdo gubernativo 236-2006, se considera importante evaluarlo ya que la turbidez es enemiga de la efectividad en el proceso de desinfección que se lleva a cabo con cualquiera de las opciones hipoclorito u otros

Tabla 19: Resultados de turbidez

Turbidez (UTN)					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	353	383	375	370.33	15
Salida	20	14	18	17.33	

En la figura 13 se muestran los resultados obtenidos a nivel de laboratorio de turbidez (Unidades de Turbidez Nefelométrica (UTN)) donde se refleja los datos de los tres monitores realizados, reflejando un promedio de 17.33 UTN para el cual no se cumple con el límite máximo aceptable según las normas COGUANOR.

Figura 13: Resultados gráficos de Turbidez



9.4.10 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

En la tabla 20 se muestran los resultados de análisis a nivel de laboratorio para el parámetro de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en miligramos por litro (mg/l) en las diferentes etapas de monitoreo en los 2 puntos de muestreo establecidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta ubicada en el barrio San Sebastián, Jocotán, comparado con lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

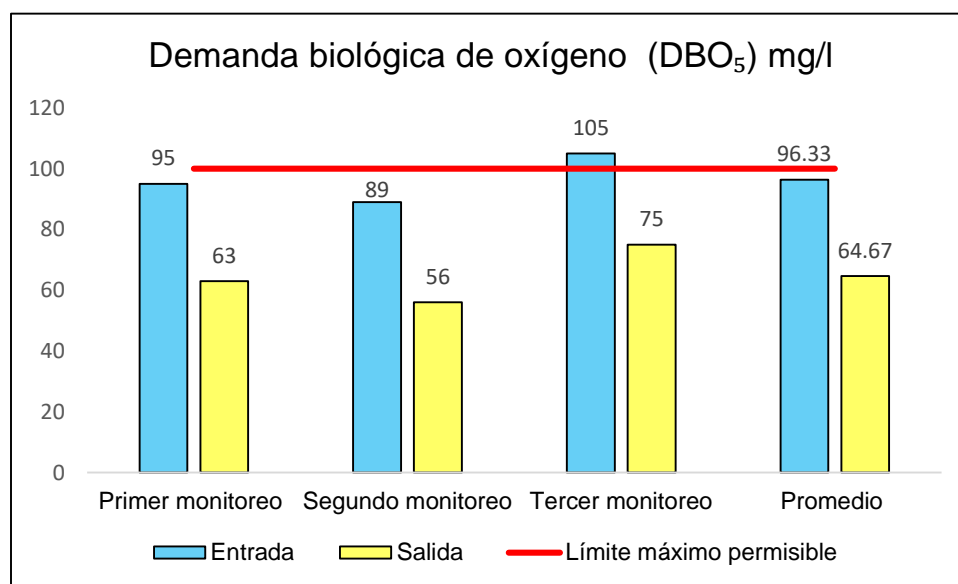
El comportamiento de la demanda biológica de oxígeno varía en las diferentes etapas de monitoreo, mostrando un valor promedio en el punto de muestreo 1 (entrada) 96.33 mg/l hasta pasar la fase final que se presenta en el punto de muestreo 2 (salida) con un valor promedio de 64.67 mg/l, comparado con el límite máximo permisible según el reglamento de aguas residuales y disposición de lodos 236-2006, si se encuentra dentro del rango establecido.

Tabla 20: Resultado de demanda biológica de oxígeno

Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅) mg/l					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	95	89	105	96.33	100
Salida	63	56	75	64.67	

Se puede observar en la figura 14, el comportamiento de la DBO₅, después de pasar por todo el proceso de tratamiento, en donde se ve que sí se logra remoción significativa, cumpliendo con lo que indica el acuerdo gubernativo 236-2006.

Figura 14: Resultados de (DBO₅)



9.4.11 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno del agua representa la cantidad de oxígeno necesaria para descontaminar la materia orgánica presente en el agua procedente de viviendas individuales, de aguas pluviales, del alcantarillado o de fosas sépticas.

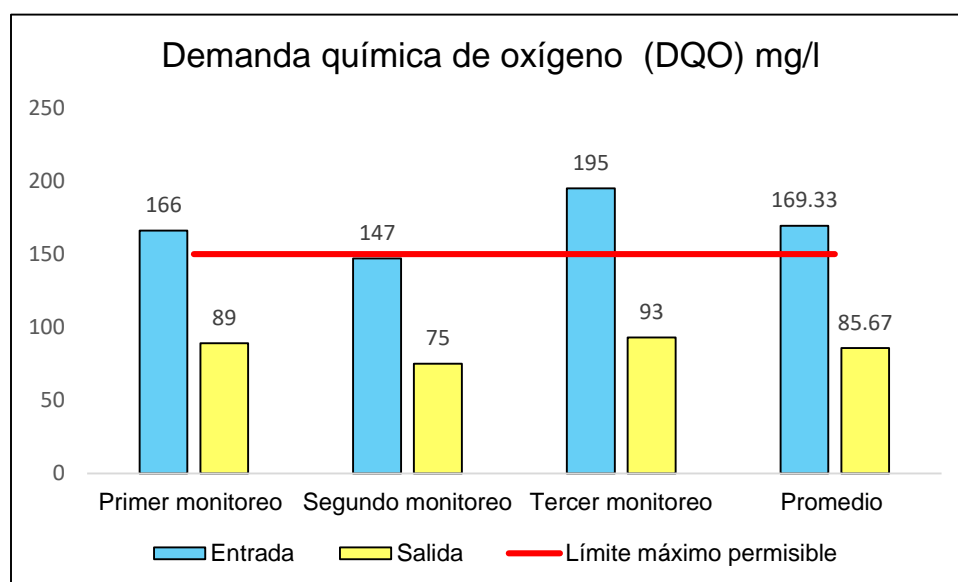
En la tabla 21 se representan los resultados de análisis de demanda química de oxígeno (DQO) en miligramos por litro (mg/l) para cada punto de muestreo y en cada etapa de monitoreo. El punto de muestreo 1 (entrada) representa un valor promedio de 169.33 mg/l, posterior al proceso de tratamiento final en el punto de muestreo 2 (salida) refleja un valor promedio de 85.67 mg/l.

Tabla 21: *Resultados de demanda química de oxígeno*

Demanda química de oxígeno (DQO) mg/l					
Punto de muestreo	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Promedio	Límite Máximo permisible
Entrada	166	147	195	169.33	150
Salida	89	75	93	85.67	

Se puede observar en la figura 15 el comportamiento de la DQO, después de pasar por todo el proceso de tratamiento en donde se ve que sí se logra una remoción aceptable dentro de los límites máximos permisibles.

Figura 15: *Resultados de DQO*



9.4.12 Análisis microbiológico

En la tabla 22 se muestran los resultados promedio obtenidos a nivel de laboratorio del análisis microbiológico comparado en el límite máximo permisible del Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006. Los resultados obtenidos muestran que sí hay presencia de colonias en un número mayor o igual a 2400 NMP/100ml.

Los químicos que se están utilizando para la eliminación de coliformes, debido a su mal manejo, no están siendo eficientes significativamente en el funcionamiento de la planta.

Según se puede ver en los anexos, la estructura de la planta cuenta con un tanque de cloración y se le aplica pastillas de hipoclorito cada 2 días, 3 veces por semana que debido a la cantidad de agua que ingresa la dosis debería ser más constante. Para que la cloración sea efectiva también influye el nivel de pH y el tiempo de contacto que tiene el agua con el cloro, la acción que hace el tanque de six sax, es retardar la salida de las aguas tratadas para un mayor tiempo de contacto.

Tabla 22: *Resultado de coliformes fecales, totales y escherichia coli*

Análisis microbiológico a nivel de laboratorio				
Punto de muestreo	Coliformes Totales	Escherichia Coli	Coliformes Fecales	Límite Máximo permisible
Entrada	Mayor o igual a 2400.00 NMP/100 ml	Mayor o igual a 2400.00 NMP/100 ml	Mayor o igual a 2400.00 NMP/100 ml	< 1x10 ⁴
Salida	Mayor o igual a 2400.00 NMP/100 ml	Mayor o igual a 2400.00 NMP/100 ml	Mayor o igual a 2400.00 NMP/100 ml	< 1x10 ⁴

9.5 Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento

Para conocer el comportamiento y eficiencia del sistema de tratamiento de agua residual tipo ordinario de la planta de tratamiento ubicada en el Barrio San Sebastián se realizaron tres monitoreos diferentes, considerando como punto de muestreo el afluente y efluente de los cuales se obtuvieron un promedio.

Como se observa en la tabla 10, de los 14 parámetros realizados a nivel de campo y laboratorio, 3 parámetros físicos no cumplen con lo requerido por la normativa, siendo estos: nitrógeno con un total de 146.23 mg/l, fósforo con un total de 21.04 mg/l, turbidez con un total de 17.33 UTN y 3 parámetros bacteriológicos: Coliformes totales, Coliformes fecales y Escherichia, donde se pudo observar que sí existen colonias en ≥ 2400 NMP/100 ml.

La tasa de concentración de estos parámetros se debe a que los efluentes de agua residual varían en sus características a lo largo del tiempo y dependen mucho del tipo de población o ente generador. La planta actualmente recibe una cantidad de 545.85 m³/día (22743.73 lts/hr) de aguas residuales.

Según datos obtenidos en laboratorio y anteriormente descritos en la PTAR, actualmente es eficiente en parámetros físico-químicos, cumpliendo con los límites establecidos por el acuerdo gubernativo 236-2006. En parámetros microbiológicos podemos observar los resultados de la tabla 10, la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) no cumple con los límites máximos permisibles, de tal forma el proceso de tratamiento terciario (cloración) no está siendo eficiente en la disminución o eliminación de coliformes totales, coliformes fecales y eschericha coli que el agua contiene.

La eficiencia de remoción en la planta no es óptima para nitrógeno y fósforo total, por lo que se debe implementar y mejorar el sistema de eliminación de nutrientes cuando el agua va a ser descargada al río ya que el agua de la planta se une después al río Grande y el exceso de nutrientes causa problemas de eutrofización, además de que estos compuestos son tóxicos para la vida acuática.

9.6 Lineamiento de manejo para la eficiencia del sistema de tratamiento

Para obtener resultados eficientes en la PTAR ubicada en el Barrio San Sebastián Jocotán, se plantean dos estrategias; la primera, orientada al manejo operativo del sistema; y la segunda, al aprovechamiento de agua tratada y los lodos.

a. Estrategia 1: Manejo óptimo del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Para lograr tener resultados óptimos se proponen las siguientes acciones para el manejo adecuado del sistema de tratamiento.

- **Eficientizar la aplicación de pastillas de hipoclorito y microorganismos naturales utilizados en el proceso de sedimentación**

Se debe analizar la calidad y eficiencia del proceso de tratamiento primario ya que este permite eliminar el 90% de los sólidos sedimentables y el 65% de los sólidos en suspensión, y disminuye la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), alrededor del 35% en los tanques de sedimentación.

Aumentar la dosis de aplicación de microorganismos naturales (mejora agua) porque según datos obtenidos de aforo en la planta, se tendría que aplicar 109 litros de microorganismos para lograr una mejor eficiencia. De lo contrario se podría sustituir por la aplicación de más cloro en la desinfección final de la planta.

Aumentar la aplicación de pastillas de hipoclorito; según la cantidad de agua ingresada la aplicación tendría que ser de 1 pastillas de hipoclorito por cada 15,000 litros de agua ingresada a la planta.

- **Mejora en la laguna de lirios**

Para la purificación con plantas acuáticas se recomienda combinar de 2 a 3 plantas, los cuales podrían ser lirios acuáticos o jacintos de agua (*Eichhornia crassipes*) el que actualmente se utiliza es lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), de la cual se ha descrito ampliamente su capacidad para remover contaminantes de diversos tipos de aguas residuales.

- **Monitoreo y control del proceso de tratamiento**

Es importante realizar monitoreos constantes en los diferentes puntos de muestreo con el objetivo de regular los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos para mejorar la eficiencia en el tratamiento del agua residual y de esa forma se pueda cumplir con lo requerido en el reglamento de aguas residuales y disposición de lodos, acuerdo gubernativo 236-2006.

- **Capacitación constante a operadores**

Capacitar a operadores en temas sobre “conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” esto parte de la mejora continua para llevar un control y registro de los parámetros a evaluar de la PTAR, buscando optimizar el proceso de tratamiento y así cumplir con el acuerdo gubernativo 236-2006.

b. Estrategia 2: Programa de capacitaciones para la población del área urbana del municipio de Jocotán

- **Capacitación sobre importancia de un adecuado uso del agua para nuestra salud**

Con el objetivo de dar a conocer la importancia del agua, sus principales fuentes de abastecimiento, así como la importancia que tiene para la vida, la alimentación e higiene personal, concientizar sobre el proceso de contaminación y su vinculación con la salud, para tener un recurso agua accesible y de calidad para el consumo humano familiarizar técnicas para un ahorro y un mejor consumo.

c. Estrategia 3: Aprovechamiento del agua tratada y lodos

El agua residual ya tratada puede utilizarse de diversas maneras, de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- **Uso para riego de pastos, jardines, cultivos y procesos industriales**

El agua tratada llega a su etapa final con alta concentración de fósforo y nitrógeno. Una cantidad adecuada de fósforo en las plantas ayuda a que su desarrollo sea más sano y fuerte, promoviendo la floración y que la maduración de los frutos se produzca antes. El fósforo es uno de los elementos necesarios para que sea posible la fotosíntesis, convertir y procesar la energía del sol y favorece el transporte y la absorción de otros nutrientes esenciales como el nitrógeno.

- **Realizar un análisis de lodos**

Para detectar los residuos que puedan acumular, entre ellos, materias orgánicas, nutrientes y contaminantes (metales pesados, microorganismos y dioxinas, entre otros). La presencia de ello dependerá de la composición del agua residual que se haya tratado.

Así mismo, podrá ser utilizado para distintas actividades agrícolas, en los viveros municipales que funcionan como una fuente para obtener la materia orgánica que sirve para el llenado de bolsas que son utilizadas en la germinación de semillas de árboles frutales o forestales.

10. CONCLUSIONES

1. Se evaluó la eficiencia del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), tomando en cuenta 11 parámetros físico químicos y 3 parámetros bacteriológicos, donde se determinó que la mayoría se encuentran dentro del límite máximo permisible, según el acuerdo Gubernativo 236-2006 y su reforma 285-2022.
2. Se establecieron 2 puntos de muestreo (entrada y salida), realizando 3 monitoreos en un período de 3 meses, analizando un total de 14 parámetros para determinar las características físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua del sistema de tratamiento de aguas residuales, para verificar si cumple con el Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006
3. Los parámetros en el punto de muestreo 2 (salida) que sobrepasan el límite máximo permisible del Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006 son nitrógeno con un total de 146.23 mg/l, fósforo con un total de 21.04 mg/l, turbidez con un total de 17.33 UTN y los bacteriológicos no cumplen con límite máximo aceptable.
4. Se determinó la eficiencia del funcionamiento de la PTAR, realizando un análisis comparativo de cada uno de los parámetros evaluados en el punto de muestreo número 2, donde se verificó si al finalizar el proceso los parámetros cumplen con lo requerido por el acuerdo Gubernativo 236-2006.
5. Se propusieron lineamientos, basados en los resultados obtenidos de los parámetros analizados en el laboratorio ambiental de CUNORI, enfocados en la mejora de la eficiencia del funcionamiento de la planta de tratamiento municipal para aguas residuales.

11.RECOMENDACIONES

1. La municipalidad necesita realizar un nuevo censo dentro del área urbana para actualizar el número de población que actualmente se beneficia de la planta y mejorar el funcionamiento de la PTAR con base en el crecimiento poblacional.
2. Se requiere de instrumentos de laboratorio para analizar de una manera más eficiente los parámetros de temperatura y pH a nivel de campo para lograr obtener un dato más consistente de la calidad del agua en su momento y puedan eficientizar así el proceso de tratamiento.
3. Agregar 1 o 2 especies más de plantas en la laguna de lirios, para mejorar la purificación de las aguas residuales y obtener resultados positivos en los parámetros de fósforo y nitrógeno.
4. Mejorar la separación de sólidos y la aplicación de la solución de Mejora Agua u optar por una combinación de cloro líquido junto con las patillas de hipoclorito con base en datos obtenidos de aforo en la PTAR, para reducir los niveles de los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles en el Acuerdo Gubernativo 236.2006 e incrementar la eficiencia del sistema.
5. Las patillas de hipoclorito al 70% se pueden adquirir a un precio de 20.00 quetzales cada unidad en diferentes casas comerciales del departamento de Chiquimula.
6. Realizar análisis de lodos generados, para luego ser utilizado en distintas actividades agrícolas, en los viveros municipales, entre otros; que pueden funcionar como fuente de materia orgánica para las plantas forestales y frutales.

12. REFERENCIAS

Acuerdo gubernativo no. 236-2006 [Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales]. Reglamento de descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos. 5 de mayo de 2006. <https://www.ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/07-Acuerdo-gubernativo-236-2006-Reglamento-descargas-y-reuso.pdf>

AguasResiduales.INFO. (2021). *Líderes en información, formación y conocimiento para el sector del tratamiento del agua*. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/cloracion-en-los-procesos-de-tratamiento-de-aguas-residuales>

Brault, J.- M. y Marmanillo, I. (19 de marzo de 2020). Tres soluciones para una mejor gestión de las aguas residuales en Guayaquil, Ecuador. Banco Mundial Blogs. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/tres-soluciones-para-una-mejor-gestion-de-las-aguas-residuales-en-guayaquil-ecuador>



Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de agua potable: introducción al tratamiento de aguas residuales municipales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>

Europa Press. (8 de febrero de 2021). *Según una investigación, el tratamiento de aguas residuales en el mundo aumenta al 50%*. Iagua. <https://www.iagua.es/noticias/europa-press/segun-investigacion-tratamiento-aguas-residuales-mundo-aumenta-al-50>

Ferrovial-Recursos. (2023). Aguas residuales. Ferrovial. <https://www.ferrovial.com/es/recursos/aguas-residuales/#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20son%20las%20que%20han%20sido%20usadas%20en,hayan%20mezclado%20con%20las%20anteriores.>

Instituto de Fomento Municipal. (30 de septiembre de 2022). *INFOM establece los lazos entre comunas para dar sostenibilidad a proyectos de agua y saneamiento.* Noticias INFOM. <https://www.infom.gob.gt/index.php?view=article&id=14&catid=9>

Morales Rodas, S. (22 de abril de 2021). *Día de la Tierra: tratamiento de aguas residuales, una tarea pendiente y que urge abordar.* Prensa Libre. <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/dia-de-la-tierra-tratamiento-de-aguas-residuales-una-tarea-pendiente-y-que-urge-abordar/>



Municipalidad de la Villa de Jocotán, Chiquimula, Guatemala. (2015). *Diagnóstico ambiental y política de uso y manejo de los recursos naturales en el municipio de Jocotán Chiquimula Guatemala.* Oficina Forestal Municipal. http://sintet.net/images/bliblioteca_digital/estudio_ambiental_de_jocotan.pdf

Nuevo, D. (2022). *Cloración del agua.* TECPA <https://www.tecpa.es/cloracion-tratamiento-aguas/>

Química Ecológica. (s.f.). ¿Cómo es el tratamiento de aguas residuales domésticas? <https://quimicaecologica.com/que-es-y-como-funciona-el-tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas/#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20dom%20esticas%20son%20producto%20de%20la,que%20precisa%20de%20un%20proceso%20para%20su%20eliminaci%20n.>

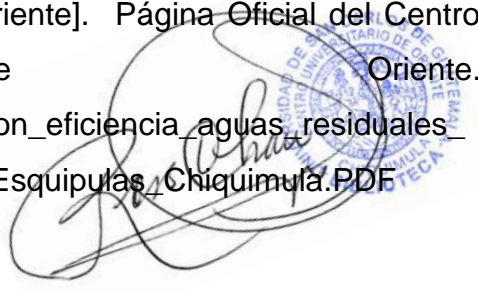
Rabanales Bravo, K. D. (2015). *Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Chichorin, del municipio de San Lucas Sacatepéquez, diagnóstico y servicios realizados en la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, Guatemala, C.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía]. Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6046/1/INFORME%20FINAL%20COMPLETO.pdf>

Sandoval Roque, V. A. (2014). *Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas mieles a partir de las características físicas, químicas y microbiológicas en el beneficio húmedo de la Finca El Cascajal, ubicado en el municipio de Esquipulas, Chiquimula 2013* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Sitio Oficial del Centro Universitario de Oriente. http://cunori.edu.gt/descargas/Evaluacion_de_la_eficiencia_del_sistema_de_tratamiento_de_aguas_mieles_a_partir_de_las_caracteristicas_fisicas_quimicas_microbiologicas_en_el_beneficio_humedo_de_la_finca_el_cascajal_ubicado_en_Esquipulas.pdf



Sistema de Información Nacional del Agua. (9 de octubre de 2019). Agua en el mundo (cap. 8). Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo#:~:text=Estos%20fen%C3%B3menos%20poblacionales%20impactar%C3%A1n%20el,disponibilidad%20media%20natural%20per%20c%C3%A1pita.&text=A%20nivel%20mundial%20se%20estima,de%20hect%C3%B3metros%20c%C>

Solís Flores, M. J. (2020). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales del beneficio húmedo de café La Planta y del beneficio húmedo de café La Misericordia, en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Página Oficial del Centro Universitario de Oriente. http://cunori.edu.gt/descargas/Evaluacion_eficiencia_aguas_residuales_beneficio_humedo_cafe_misericordia_Esquipulas_Chiquimula.PDF



13. APÉNDICE

Apéndice 1

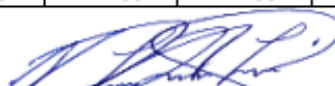
Análisis de monitoreos realizados en punto de salida y entrada



LABORATORIO AMBIENTAL
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-
CARRERA DE INGENIERIA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL
 Finca El Zapotillo, Zona 5, Municipio de Chiquimula, Chiquimula
 Tel. 78730300

Resultados obtenidos de las muestras de agua Residual de la planta de tratamiento ubicada en el barrio El Calvario, Jocotán, Chiquimula.

Parámetros		Monitoreo I- 28/03/2023		Monitoreo II- 27/04/2023		Monitoreo III-25/05/2023	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Temperatura	°C (laboratorio)	25.3	25.4	25.5	25.6	25	25.3
Ph	Unidades	6.45	7.14	6.30	7.04	6.75	7.07
Material Flotante	Presente/ausente	Presente	Ausente	Presente	Ausente	Presente	Ausente
Sólidos Suspendidos	mg/l	1200	88	1100	132.5	1350	225
Nitrogeno Total	mg/l	150	118.5	170	142.9	203	177.3
Fosforo total	mg/l	16.5	20.3	18.4	22.5	17.35	20.33
Dureza	mg/l	160	165	170	165	165	160
Color	PTCo	1300	430	2350	340	1950	380
Turbidez	NTU	353	20	383	14	375	18
DBOS	mg/l	95	63	89	56	105	75
DQO	mg/l	166	89	147	75	195	93
Bacteriológico NMP/100ml	Coliformes totales	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
	Coliformes fecales	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
	E. coli	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400


 Licda. Vilma Leticia Ramos López
 Responsable Laboratorio Ambiental



Apéndice 2

Planta de tratamiento ubicada en el Barrio San Sebastián Jocotán



PTAR completa



Canal de rejas, rejillas y desarenadores



Tanques de sedimentación



Tanques de cloración



Laguna de lirios

Apéndice 3

Recolección de muestras físico químicas y bacteriológicas para luego ser trasladadas al laboratorio



Apéndice 4

Toma de datos de parámetros tomados en campo



Apéndice 5

Identificación de las muestras tomadas en entrada y salida de caudal





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Universidad DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
BIBLIOTECA
"Lic. Zoot. Edgardo Guillén R."



**CONSTANCIA DE RECEPCION DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN
DE**

ESTUDIANTE:

Iris Isabel García Gutiérrez

REGISTRO ACADÉMICO:

201642598

CARRERA:

Ingeniería en Gestión Ambiental Local

CON EL TÍTULO:

*Evaluación de la eficiencia del
funcionamiento de la planta de tratamiento municipal
para aguas residuales ubicada en el barrio San Sebastián,
Jocotán Chiquimula.*

La encargada de Biblioteca del Centro Universitario de Oriente, hace constar que se recibió de forma virtual el TRABAJO DE GRADUACIÓN descrito anteriormente, por lo cual se le extiende la presente, de acuerdo al Artículo 58.8, del Punto NOVENO, DEL ACTA 37-2020, del Consejo Directivo del Centro Universitario de Oriente.

Chiquimula, 5 de febrero de 2024.

f) _____

