



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE LA CENTRAL TÉRMICA LA PROPICIA DE LA  
PROVINCIA DE ESMERALDAS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: BRITANY LIZBETH GONZÁLEZ GUAMÁN**

**DIRECTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA MSc.**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Britany Lizbeth González Guamán

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Britany Lizbeth González Guamán, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de mayo de 2023



**Britany Lizbeth González Guamán**

**175088859-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL TÉRMICA LA PROPICIA DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS**, realizado por la señorita: **BRITANY LIZBETH GONZÁLEZ GUAMÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Segundo Hugo Calderón, Mgs. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-05-10
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, Mgs. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-05-10
Ing. Cesar Arturo Punte Guijarro, PhD. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-05-10

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación le dedico a mi familia, de manera muy especial a mis padres Mónica y Carlos quienes me han apoyado en cada etapa de mi vida tanto personal como académica, a mis hermanas Cindy, Camila y Angie, a mi abuelo materno Segundo Ramón Guamán quién fue mi inspiración y fortaleza en cada momento y me cuida desde el cielo.

Britany

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por su amor y bendiciones que me brinda cada día para seguir adelante, por levantarme y guiarme en el camino personal y profesional.

A mis amados padres Mónica Guamán y Carlos González, por los consejos, apoyo y ejemplo que me dan cada día para ser una excelente persona, a mis hermanas Cindy, Camila y Angie quienes me ayudan y apoyan en cada momento, a mis padrinos Lucía González y Gustavo Guamán quienes me brindan sus consejos y experiencias para salir adelante en mi vida, a mis abuelos Mercedes, Ramón y Claudia, a mi familia paterna y materna por cada palabra de aliento y el afecto que me brindan siempre. A mis amigos Grace, Alexandra, Shela y Roger, quienes estuvieron a mi lado en cada etapa de la carrera en los momentos buenos y malos, con enojos y alegrías, pero siempre unidos, a Genesis, Jennifer, Edwin y Kevin por formar unos excelentes grupos de trabajo, a una persona muy especial que la vida me dio Kevin Ango por su cariño, paciencia, y apoyo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que me ayudo con todos los elementos para cumplir mi meta y formarme como una excelente profesional.

A mi directora del trabajo de titulación Ing. Mabel Parada y a mi asesor Ing. Cesar Puente, personas que me guiaron y me han llevado por el camino de la excelencia, por el apoyo y las bases que me dieron para el presente trabajo.

Un agradecimiento especial para la Central Térmica Propicia con la guía del Ing. Diego Méndez por su apoyo y por la apertura para la realización de la parte experimental del trabajo de titulación.

Britany

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN .....	xiv
SUMMARY / ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Planteamiento del problema .....	3
1.3.	Justificación.....	3
1.4.	Objetivos.....	4
1.4.1.	<i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO .....	5
2.1.	Antecedentes de investigación .....	5
2.2.	Referencias teóricas .....	6
2.2.1.	<i>Normativa del medio ambiente para aguas residuales</i> .....	6
2.2.2.	<i>Planta termoeléctrica</i> .....	6
2.2.3.	<i>Tipos de aguas</i> .....	6
2.2.3.1.	<i>Aguas residuales</i> .....	6
2.2.3.2.	<i>Aguas superficiales</i> .....	7
2.2.3.3.	<i>Aguas subterráneas</i> .....	7
2.2.3.4.	<i>Aguas para uso urbano</i> .....	7
2.2.4.	<i>Caracterización de aguas residuales</i> .....	7
2.2.5.	<i>Contaminantes del agua</i> .....	7
2.2.6.	<i>Carga de contaminantes</i> .....	8
2.2.7.	<i>Toxicidad</i> .....	8

2.2.8.	<i>Cuerpo receptor</i> .....	8
2.2.9.	<i>Depuración</i> .....	8
2.2.10.	<i>Descarga</i> .....	8
2.2.11.	<i>Efluente</i> .....	9
2.2.12.	<i>Tratamientos de aguas contaminadas</i> .....	9
2.2.12.1.	<i>Tratamiento primario</i> .....	9
2.2.12.2.	<i>Tratamiento secundario</i> .....	9
2.2.12.3.	<i>Tratamiento terciario y avanzado de las aguas residuales</i> .....	9
2.2.13.	<i>Parámetros de control</i> .....	9
2.2.13.1.	<i>pH</i> .....	10
2.2.13.2.	<i>Conductividad</i> .....	10
2.2.13.3.	<i>Sólidos totales</i> .....	10
2.2.13.4.	<i>Sólidos sedimentables</i> .....	10
2.2.13.5.	<i>Sólidos suspendidos</i> .....	10
2.2.13.6.	<i>Turbidez</i> .....	11
2.2.13.7.	<i>Coloides</i> .....	11
2.2.13.8.	<i>Demanda Química de Oxígeno</i> .....	11
2.2.13.9.	<i>Demanda Biológica de Oxígeno</i> .....	11
2.2.13.10.	<i>Aceites y grasas</i> .....	11
2.2.14.	<i>Pruebas de tratabilidad</i> .....	11
2.2.14.1.	<i>Pruebas de jarras</i> .....	12

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	14
3.1.	<b>Tipo de proyecto</b> .....	14
3.2.	<b>Localización del proyecto</b> .....	14
3.3.	<b>Ingeniería del proyecto</b> .....	15
3.4.	<b>Métodos y técnicas</b> .....	16
3.4.1.	<i>Métodos</i> .....	16
3.4.1.1.	<i>Método inductivo</i> .....	16
3.4.1.2.	<i>Método deductivo</i> .....	16
3.4.1.3.	<i>Método experimental</i> .....	16
3.5.	<b>Equipos actuales de la PTAR inicial</b> .....	17
3.6.	<b>Estudio técnico preliminar</b> .....	20



3.6.1.	<i>Características fisicoquímicas de los efluentes que componen las aguas residuales industriales de la central térmica</i> .....	20
3.7.	<b>Técnicas para el análisis después del tratamiento</b> .....	21
3.7.1.	<i>Aceite y grasas</i> .....	21
3.7.2.	<i>Sólidos totales</i> .....	22
3.7.3.	<i>Sulfatos</i> .....	23
3.7.4.	<i>Turbiedad</i> .....	24
3.7.5.	<i>Conductividad</i> .....	25
3.7.6.	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i> .....	25
3.7.7.	<i>Temperatura</i> .....	26
3.7.8.	<i>Color</i> .....	27
3.7.9.	<i>Sólidos disueltos totales</i> .....	28
3.7.10.	<i>Sólidos suspendidos</i> .....	28
3.7.11.	<i>Demanda Química de Oxígeno</i> .....	30
3.7.12.	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i> .....	31
3.7.13.	<i>Hierro</i> .....	32
3.7.14.	<i>Sólidos sedimentables</i> .....	34
3.7.15.	<i>Cobre</i> .....	34
3.7.16.	<i>Fósforo total</i> .....	35
3.7.17.	<i>Cloro</i> .....	36
3.8.	<b>Plan de muestreo</b> .....	38
3.9.	<b>Pruebas de tratabilidad</b> .....	38
3.9.1.	<i>Prueba de jarras</i> .....	38
3.9.1.1.	<i>Coagulante utilizado</i> .....	39
3.9.1.2.	<i>Gradiente de velocidad</i> .....	39
3.10.	<b>Cálculos para la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales</b>	40
3.10.1.	<i>Caudal</i> .....	40
3.10.2.	<i>Canal</i> .....	41
3.10.2.1.	<i>Radio Hidráulico</i> .....	41
3.10.2.2.	<i>Velocidad de aproximación de la rejilla</i> .....	41
3.10.3.	<i>Rejillas</i> .....	42
3.10.3.1.	<i>Área entre Barras de la Rejilla</i> .....	42
3.10.3.2.	<i>Longitud de las rejillas sumergidas en el agua residual</i> .....	42
3.10.3.3.	<i>Determinación del número de barras en la rejilla</i> .....	43
3.10.3.4.	<i>Longitud de la rejilla</i> .....	43
3.10.4.	<i>Tanque de igualación</i> .....	44

3.10.5.	<i>Tanque de aireación</i> .....	44
---------	----------------------------------	----

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	45
4.1.	<b>Datos del estudio preliminar del análisis del laboratorio de la Central Térmica Propicia</b> .....	45
4.2.	<b>Caracterización fisicoquímica postratamiento</b> .....	47
4.2.1.	<i>Caracterización fisicoquímica postratamiento de la planta propuesta</i> .....	47
4.3.	<b>Resumen de resultados de caracterización fisicoquímica de la planta de tratamiento propuesta</b> .....	48
4.3.1.	<i>pH</i> .....	49
4.3.2.	<i>Conductividad</i> .....	50
4.3.3.	<i>Sólidos disueltos</i> .....	50
4.3.4.	<i>Sólidos totales</i> .....	51
4.3.5.	<i>Sólidos suspendidos</i> .....	51
4.3.6.	<i>Temperatura</i> .....	52
4.3.7.	<i>Hierro</i> .....	52
4.3.8.	<i>Sólidos sedimentables</i> .....	53
4.3.9.	<i>Sulfatos</i> .....	53
4.3.10.	<i>Fosfatos</i> .....	54
4.3.11.	<i>Cloro</i> .....	54
4.3.12.	<i>DQO</i> .....	55
4.3.13.	<i>DBO</i> .....	55
4.4.	<b>Porcentajes de remoción de parámetros fuera de los límites permisibles</b> .....	56
4.4.1.	<i>Porcentaje de remoción de los parámetros analizados</i> .....	56
4.5.	<b>Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales</b> .....	57
4.5.1.	<i>Diagnóstico inicial de la planta</i> .....	57
4.5.2.	<i>Propuesta para la implementación de la PTAR</i> .....	57
4.5.2.1.	<i>Niveles de filtrado</i> .....	59
4.5.3.	<i>La zona aerobia</i> .....	59
4.5.4.	<i>Línea de muestreo</i> .....	60
4.5.5.	<i>Sistema de dosificación biocida</i> .....	60
4.5.6.	<i>Instrumentos de monitoreo y control</i> .....	60
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	61

**RECOMENDACIONES** ..... 62

**GLOSARIO**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Reporte de análisis de la PTARS .....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Reporte de análisis de la PTAR de la CTP .....	7
<b>Tabla 1-3:</b> Equipos actuales de la PTARS.....	17
<b>Tabla 2-3:</b> Datos promedios reportados por el área de control de calidad .....	20
<b>Tabla 3-3:</b> Técnica para determinar aceites y grasas .....	21
<b>Tabla 4-3:</b> Técnica para determinar sólidos totales .....	22
<b>Tabla 5-3:</b> Técnica para determinar sulfatos .....	23
<b>Tabla 6-3:</b> Técnica para determinar la turbiedad.....	24
<b>Tabla 7-3:</b> Técnica para determinar la conductividad .....	25
<b>Tabla 8-3:</b> Técnica para determinar el potencial de hidrógeno .....	25
<b>Tabla 9-3:</b> Técnica para determinar la temperatura.....	26
<b>Tabla 10-3:</b> Técnica para determinar el color.....	27
<b>Tabla 11-3:</b> Técnica para determinar sólidos disueltos totales .....	28
<b>Tabla 12-3:</b> Técnica para determinar sólidos suspendidos .....	28
<b>Tabla 13-3:</b> Técnica para determinar la demanda química de oxígeno .....	30
<b>Tabla 14-3:</b> Técnica para determinar la demanda bioquímica de oxígeno.....	31
<b>Tabla 15-3:</b> Técnica para determinar el hierro .....	32
<b>Tabla 16-3:</b> Técnica para determinar sólidos sedimentables.....	34
<b>Tabla 17-3:</b> Técnica para determinar el cobre .....	34
<b>Tabla 18-3:</b> Técnica para determinar el fósforo total .....	35
<b>Tabla 19-3:</b> Técnica para determinar el cloro.....	36
<b>Tabla 20-3:</b> Pruebas de coagulación.....	39
<b>Tabla 21-3:</b> Dimensiones del canal.....	41
<b>Tabla 22-3:</b> Información para la implementación de las rejillas .....	42
<b>Tabla 23-3:</b> Dimensiones del tanque de igualación.....	44
<b>Tabla 24-3:</b> Dimensiones del tanque de aireación.....	44
<b>Tabla 1-4:</b> Resultados del análisis posterior al tratamiento .....	47
<b>Tabla 2-4:</b> Resultados de los análisis fisicoquímicos después del tratamiento .....	49
<b>Tabla 3-4:</b> Remoción de los parámetros analizados .....	56
<b>Tabla 4-4:</b> Parámetros para el análisis de muestras .....	57
<b>Tabla 5-4:</b> Características de la rejilla .....	59

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-3:</b> Ubicación Geográfica de la Central Térmica Propicia.....	14
<b>Ilustración 2-3:</b> Diagrama de bloques de la planta actual .....	15
<b>Ilustración 1-4:</b> Análisis de laboratorio 2020.....	45
<b>Ilustración 2-4:</b> Análisis de laboratorio 2021.....	46
<b>Ilustración 3-4:</b> Análisis de laboratorio 2022.....	46
<b>Ilustración 4-4:</b> pH antes y después del tratamiento .....	49
<b>Ilustración 5-4:</b> Conductividad antes y después del tratamiento.....	50
<b>Ilustración 6-4:</b> Sólidos disueltos antes y después del tratamiento .....	50
<b>Ilustración 7-4:</b> Sólidos totales antes y después del tratamiento.....	51
<b>Ilustración 8-4:</b> Sólidos suspendidos antes y después del tratamiento.....	52
<b>Ilustración 9-4:</b> Temperatura antes y después del tratamiento.....	52
<b>Ilustración 10-4:</b> Hierro antes y después del tratamiento.....	53
<b>Ilustración 11-4:</b> Sólidos sedimentables antes y después del tratamiento .....	53
<b>Ilustración 12-4:</b> Sulfatos antes y después del tratamiento .....	54
<b>Ilustración 13-4:</b> Fosfatos antes y después del tratamiento.....	54
<b>Ilustración 14-4:</b> Cloro antes y después del tratamiento .....	55
<b>Ilustración 15-4:</b> DQO antes y después del tratamiento .....	55
<b>Ilustración 16-4:</b> DBO antes y después del tratamiento.....	56
<b>Ilustración 17-4:</b> Esquema inicial de la PTAR.....	57
<b>Ilustración 18-4:</b> Esquema de las rejillas .....	59
<b>Ilustración 19-4:</b> Diagrama de la propuesta de la PTAR .....	60

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** ACUERDO MINISTERIAL NO. 028. TABLA 10: LÍMITES DE DESCARGA A  
UN CUERPO DE AGUA DULCE

**ANEXO B:** DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA RECOLECCIÓN DE AGUAS  
RESIDUALES

**ANEXO C:** ANÁLISIS DE LABORATORIO POST-TRATAMIENTO

## RESUMEN

Se optimizó la planta de tratamiento de aguas residuales de la Central Térmica Propicia de la provincia de Esmeraldas, cumpliendo los parámetros de control establecidos en el acuerdo ministerial No. 028 para la descarga de agua dulce en el río Teaone. Para cumplir con este objetivo se valoró un tratamiento por coagulación de la planta de aguas residuales, para tres tipos de efluentes: purgas y venteo del sistema de enfriamiento, purgas de caldera, y edificio principal, que conforman el efluente residual de la Central Térmica Propicia, mediante pruebas de jarras, teniendo como referente las variables de temperatura, pH, sólidos suspendidos, y conductividad, las cuales son las principales condiciones que permiten definir la calidad del agua previa a su descarga para la generación de energía. De acuerdo con los resultados obtenidos a nivel de laboratorio, aplicando policloruro de aluminio, se presentan datos comparativos empleando el Método Lineal Generalizado, indicando resultados donde se lograron remover más del 90% en parámetros como sólidos suspendidos y color, siendo el policloruro de aluminio el más eficiente. Finalmente se concluye que las aguas residuales industriales, se pueden reutilizar en los procesos como riego de jardinería de la Central, con previo tratamiento de coagulación, floculación y sedimentación, pero siendo necesario un post tratamiento con un biocida que sea factible su manejo y en control de descargas al río.

**Palabras clave:** <AGUAS RESIDUALES>, <COAGULACIÓN>, <CENTRAL TÉRMICA>, <OPTIMIZACIÓN >, <PRUEBA DE JARRAS>, <EFLUENTE>.

1071-DBRA-UPT-2023



## **SUMMARY / ABSTRACT**

The residual water treatment plant of the Propicia Thermal Power Plant in the province of Esmeraldas was optimized to comply with the control parameters established in ministerial agreement No. 028 for the discharge of fresh water into the Teaone River. To meet this objective, a coagulation treatment of the residual water plant was evaluated for three types of effluents: cooling system purges and venting, boiler purges, and the main building, which make up the waste effluent of the Propicia Thermal Power Plant, through jar tests, taking as a reference the variables of temperature, pH, suspended solids, and conductivity, which are the main conditions that allow defining the quality of water prior to its discharge for power generation. According to the results obtained at the laboratory level, applying aluminum polychloride, comparative data are presented using the Generalized Linear Method, indicating results in which more than 90% of parameters such as suspended solids and color were removed, with aluminum polychloride being the most efficient. Finally, it is concluded that industrial residual water can be reused in processes such as garden irrigation at the plant, with prior treatment of coagulation, flocculation and sedimentation, but post-treatment with a biocide is necessary for feasible management and control of discharges to the river.

**Keywords:** < RESIDUAL WATER >, < COAGULATION >, < THERMAL POWER PLANT >, < OPTIMIZATION >, < JAR TESTING >, < EFLUENT >.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132



## **INTRODUCCIÓN**

La provincia de Esmeraldas está ubicada al norte del país en la región costa, es una zona muy poblada, con una cantidad aproximada de 650.000 habitantes ocupando un territorio de 16.132 km<sup>2</sup>, dentro de su territorio hay varias industrias importantes entre ellas la Central Termoeléctrica Esmeraldas y Central Térmica Propicia mismas que se encuentran cerca del río Teaone.

La Central Térmica Propicia se localiza en el Km 7 ½ vía a Atacames, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales diseñada para minimizar el impacto negativo que generaría la descarga al río. Las aguas residuales de la planta llegan de los sanitarios, lavamanos y duchas del edificio principal luego pasa por una etapa de filtrado que actualmente cabe recalcar que por falta de mantenimiento no se ha realizado el cambio de la rejilla filtrante, la segunda etapa inicia al llegar a un tanque de almacenamiento donde se le inyecta aire por un tiempo determinado esperando que activen las bacterias provenientes de los desechos (sanitarios), posterior a un control de residencia por decantación se separan los lodos pesados y se descarga el agua superficial con una tubería subterránea directamente al río.

La optimización de la planta de tratamiento pretende implementar líneas de muestreo, programas de monitoreo, frecuencia de análisis y un plan de control, y de este modo garantizar una mejor calidad del agua que se vierte en el río Teaone y a su vez precautelar una menor contaminación.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes

La generación de aguas residuales contaminadas es una variable que acompaña a la sociedad desde sus inicios, en la actualidad la contaminación que se genera en los ríos, lagos y mares en su mayoría provienen de descargas directas de aguas contaminadas de origen urbano, industrial o actividades agrícolas. La importancia de tomar acciones inmediatas sobre estas temáticas, que permitan dimensionar y minimizar la contaminación de los cuerpos receptores, sobre todo considerando que es de estos mismos cuerpos, todas las plantas de potabilización toman agua para luego distribuirlas a la población.

A nivel mundial se han realizado numerosos esfuerzos para mitigar la contaminación de las aguas de manera general, en países desarrollados con las mejores tecnologías han contribuido significativamente para optimizar por procesos de tratamiento de aguas previos a sus descargas, permitiendo realizar cada vez mejores controles sobre los procesos de tratamiento. Una de las alternativas tecnológicas para la depuración de las aguas residuales que ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas ha sido la de los tratamientos biológicos en ambientes anaerobios (GOMEZ, 2019), este proceso consiste en la dosificación de cepas bacterianas capaz de sintetizar todos los nutrientes existentes en el agua en un ambiente anaerobio para garantizar la reducción de las colonias bacterianas por degradación propia y luego decantar los lodos y por la parte superficial descargar el agua tratada.

En América Latina este tipo de tratamiento tiene gran aceptación y aplicación, dado a sus bajos costos y buenos resultados, esto incorporado a los nuevos diseños de biodigestores anaerobios de alta tasa (OROZCO y GIRALDO, 2005) permiten minimizar las zonas muertas, mejorando el rendimiento sobre todo por la aplicación de bacterias ácido-génicas y su posterior control poblacional previo a las descargas finales.

La Central Térmica Propicia, de la ciudad de Esmeraldas, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales diseñada para minimizar el impacto negativo que generaría la descarga al río, actualmente la planta de tratamiento donde se almacena todo el agua contaminada no cuenta con un sistema óptimo para su descarga por lo que durante cada determinado tiempo se contrata un autotanque para realizar la evacuación y disposición final de esta aguas, y a su vez adaptarse a mejorías del proceso para optimizar su funcionamiento, y dar cumplimiento a lo establecido en la Legislación Ambiental del Ecuador.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La planta de tratamiento de aguas residuales de la Central Térmica Propicia tiene una capacidad de almacenamiento de 40 metros cúbicos y una capacidad de procesamiento de 1 metro cubico por hora, el proceso inicia por la recolección de todas las aguas de los sanitarios, lavamanos, y duchas del edificio principal, luego pasa por una etapa de filtrado que actualmente por falta de mantenimiento no se ha realizado el cambio de la rejilla filtrante, la segunda etapa inicia al llegar a un tanque de almacenamiento donde se le inyecta aire por un tiempo determinado esperando que activen las bacterias provenientes de los desechos (sanitarios), posterior a un control de residencia por decantación se separan los lodos pesados y se descarga el agua superficial con una tubería subterránea directamente al río, no se realiza ningún tipo de monitoreo o control sobre la calidad de agua que se descarga (CELEC, 2021).

En este contexto, de acuerdo con datos de la propia organización la Central Térmica Propicia, durante el año 2020 y 2021, ha recibido observaciones de no conformidad por parte del Ministerio de Ambiente y se debe implementar los procesos necesarios en la planta de tratamiento de aguas residuales que permitan mejorar la calidad del agua en el punto de descarga.

La organización a pesar de contar con la motivación legal necesaria para desarrollar un plan de mejora les limita la falta de profesionales en el tema. Con este antecedente, a través de este proyecto se pretende desarrollar un proceso de tratamiento microbiano aerobio y un sistema de dosificación biocida adaptable a la infraestructura existente en la PTAR que permita realizar muestreos, monitoreo y control de la calidad de agua que se descarga, a fin de optimizar en términos de calidad el tratamiento de la planta de aguas residuales.

Dicho proyecto se realizará bajo la autorización de Dirección General de la organización y de acuerdo con los resultados obtenidos por el monitoreo de análisis, esta formará parte de una línea base para su posible implementación.

## **1.3 Justificación**

La ingeniería química es la rama de las ingenierías encargada por excelencia de evaluar, diseñar, optimizar, modelar, industrializar, controlar, monitorear, y gestionar distintos procesos de transformación y reacción de la materia ya sean esto cambios físicos, químicos o físico químicos. La Central Térmica Propicia cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que actualmente no permite realizar muestreo en líneas o rutinarios para hacer seguimiento de control en la calidad de agua, ya que a partir del monitoreo se puede establecer puntos de mejora.

La optimización para la PTAR tiene como finalidad de obtener la depuración del agua que cumplan con los límites permitidos en la norma citada en el ACUERDO MINISTERIAL No. 028,

(Sustituyese el libro vi del texto unificado de legislación secundaria), tomando como referencia la Tabla 10: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, permitiendo así que se controle y minimice el impacto ambiental, además de implementar líneas de muestreo, programa de monitoreo, frecuencia de análisis, plan de control beneficiando de manera directa a la organización y de manera indirecta a toda la población que utiliza el agua del río Teaone.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Optimizar la planta de tratamiento de aguas residuales de Central Térmica Propicia, mediante un programa de monitorio y control de resultados.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Diagnosticar los puntos de mejora del proceso actual mediante la caracterización de las aguas residuales antes y después de la planta de tratamiento.
- Realizar las pruebas de trazabilidad para la identificación de los puntos de mejora de la PTAR.
- Plantear las alternativas adecuadas para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento.
- Valorar los parámetros de control en el tratamiento de la planta de acuerdo a la normativa legal vigente del país.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de investigación

La Central Térmica Propicia, ubicada estratégicamente frente a la Refinería de Esmeraldas, es una Termoeléctrica construida en 1976, cuenta con 3 motores de combustión interna y una capacidad nominal de 8 MW de generación, para aporte del Sistema Nacional Interconectado, con una demanda promedio anual de 17664 MW (CENACE, 2021), para su normal operación requiere de 15 operarios por día.

Desde el diseño de construcción se incorporó una planta para tratar los desechos líquidos generados para minimizar el impacto negativo previo a su descarga al río Teaone, y dar cumplimiento a lo establecido en la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

El presente trabajo se realiza en la planta de Tratamiento de aguas residuales de la Central Térmica “Propicia”, con el objetivo de optimizar su desempeño en contraste con la Legislación Nacional abarcando elementos tanto de su operación actual, así como fundamentaciones para propuestas de alternativas de mejoras. A continuación, se muestra los análisis iniciales existentes suministrados por la empresa con un periodo de tendencia desde el 2018 hasta el 2021.

**Tabla 1-2:** Reporte de análisis de la PTARS

Parámetros	Unidades	Rango de Control	2018	2019	2020	2021
<i>Ph</i>	–	6,0 - 9,0	7,31	6,5	7,1	6,1
<i>Conductividad.</i>	µs/cm	Max 3000	352	760	985	1201
<i>SOLIDOS D. TOTALES</i>	mg/L	Max 1500	193,6	254	751	415
<i>SOLIDOS TOTALES</i>	mg/L	Max 1600	193,42	254	274	406
<i>SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES</i>	mg/L	Max 130	0,18	20	50	67,8
<i>TEMPERAT.</i>	°C	< 32	26,7	28,5	31,5	30,6
<i>Hierro</i>	mg/L	Max.10,0	0,14	0,7	0,51	0,35
<i>SOLIDOS SEDIMENTABLES</i>	mL/L	Max.1,0	0,1	0,1	0,1	0,1
<i>SULFATO</i>	mg/L	Max 1000	68,1	70	68,4	69,7

**Fuente:** Archivo Propicia / 2022

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

## **2.2 Referencias teóricas**

### **2.2.1 Normativa del medio ambiente para aguas residuales**

La normativa vigente exige que el retorno de las aguas residuales a los ríos o lagos nos convierte en usuarios directos o indirectos de las mismas, y a medida que crece la población, aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente.

En la concepción clásica del problema de la contaminación del agua, los ríos se consideran los receptores naturales de las aguas residuales, con su correspondiente carga de contaminantes y nutrientes. Las cargas, o concentración de contaminantes y nutrientes, constituyen el objeto de la regulación, por parte de las leyes, decretos y normas, para establecer la calidad apropiada del agua, de acuerdo con los diferentes usos aplicables a ella (MINISTERIO DEL AMBIENTE. Texto Unificado de la Legislación Ambiente Secundaria. Edición especial. Corporación de Estudios y Publicaciones, Quito, 2002, p.620).

### **2.2.2 Planta termoeléctrica**

Las plantas termoeléctricas son las que utilizan combustibles fósiles para poder generar energía eléctrica, mediante la energía térmica para ello utiliza un ciclo termodinámico de agua-vapor. Los principales componentes de la planta son caldera, serpentines, turbina de vapor y generador (Endesa, 2022).

### **2.2.3 Tipos de aguas**

El agua es un recurso natural muy indispensable el cual otorga varios beneficios, el estudio de las propiedades del agua nos recuerda el papel fundamental que este elemento desempeña en nuestra vida. Sin embargo, se trata de un recurso bajo amenaza extrema debido a las acciones del ser humano, entre los tipos de agua se encuentra los descritos a continuación (Twenergy, 2020).

#### **2.2.3.1 Aguas residuales**

Este tipo de aguas corresponde a las aguas con impurezas que se encuentran en las alcantarillas procedentes de uso doméstico e industrial, el tratamiento inadecuado genera problemas ambientales y algunas enfermedades (Twenergy, 2020).

### 2.2.3.2 Aguas superficiales

Son aquellas corrientes en la superficie de las tierras, estas se producen por el escurrimiento del agua de la lluvia generada por las precipitaciones de las cuencas (Ministerio, 2021).

### 2.2.3.3 Aguas subterráneas

Como el nombre lo dice son aquellas que están bajo la tierra, huecos o arenas, se mantienen en acuíferos y se extrae por medio de pozos, el beneficio que genera esta agua es que al momento de burbujear ayuda a mantener los niveles superficiales de agua (Hermann, y otros, 2022).

### 2.2.3.4 Aguas para uso urbano

Agua que el ser humano consume y utiliza diariamente, el mayor consumo se da en el uso doméstico y en las industrias, ofrece un amplio campo para la sensibilización y la puesta en valor del agua (Fundación Nueva Cultura del Agua, s. f.).

## 2.2.4 Caracterización de aguas residuales

Hace referencia a la descripción de la distribución de las propiedades físicas, químicas y biológicas, llevando así a una descripción de los procesos unitarios que afectan la calidad del agua en el medio ambiente (Gil, 2020).

## 2.2.5 Contaminantes del agua

Abarca a todos los desechos que demandan oxígeno, tales como basura, desechos químicos de fábricas, virus fertilizantes, entre otros, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua, otro contaminante son las aguas residuales industriales (Euroinnova Business School, 2021).

Las impurezas suspendidas y disueltas pueden ser clasificadas según su diámetro:

**Tabla 2-2:** Reporte de análisis de la PTAR de la CTP

Tipo de impureza	Diámetro (m)
Sólidos suspendidos	$> 10^{-3}$
Sólidos coloidales	$10^{-9} - 10^{-6}$
Sólidos disueltos	$< 10^{-9}$

Fuente: Tratamiento de aguas – J. Rpgger, 2015

Elaborado por: González Guamán, Britany, 2023.

### **2.2.6 Carga de contaminantes**

Medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo en relación con la corriente residual. A nivel funcional, un complejo microbiano resume las actividades de todas sus partes, la descontaminación de aguas residuales significa que pueden eliminar gran cantidad de contaminantes orgánicos siempre que se mantenga la compatibilidad metabólica y los cambios ambientales en sus hábitats permitan la coexistencia entre las bacterias pertenecientes a la colonia (Ochoa & Montoya, 2010).

### **2.2.7 Toxicidad**

La toxicidad de los residuos de compuestos emergentes y sus productos de transformación conduce al daño que estos provocan a diversos organismos vivos presentes en el ecosistema. Los residuos tóxicos son considerados como residuos capaces de causar efectos biológicos indeseables, causando daños a los organismos vivos y ecosistemas, causando potencialmente toxicidad aguda, crónica o ecológica (Rodríguez,2020).

### **2.2.8 Cuerpo receptor**

Los cursos de agua existentes o naturales, presas, cauces de ríos, aguas o bienes nacionales a los que se descargan las aguas residuales, así como los terrenos a los que se infiltran o bombean, pueden contaminar el suelo u otro acuífero (Aguamarket,2021).

### **2.2.9 Depuración**

El tratamiento de aguas residuales incluye una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que eliminan los contaminantes del agua para uso humano. La depuración de aguas residuales de núcleos urbanos o polígonos industriales se realiza en una planta de tratamiento (ACCIONA,2020).

### **2.2.10 Descarga**

Bombeo de corrientes de aguas residuales domésticas o industriales a alcantarillas o cuerpos receptores. La descarga en cuerpos de agua se puede realizar siempre que hayan sido pretratados para eliminar los agentes nocivos en las aguas residuales (MAATE,2017).



### ***2.2.11 Efluente***

Las aguas residuales líquidas se definen como el agua que ingresa a un sistema de drenaje, cuyas características han sido alteradas por el uso doméstico o industrial, o el agua de lluvia que fluye sobre superficies recubiertas (GRUPO VENTO, 2017).

### ***2.2.12 Tratamientos de aguas contaminadas***

Es el proceso donde, con la tecnología y el proceso adecuado, se purifica el agua, eliminando los contaminantes y dejando el agua apta para los procesos posteriores que se necesiten, en muchos casos para humanos (Acuatecnica, 2018).

#### ***2.2.12.1 Tratamiento primario***

En la fase inicial la planta puede contar con materiales que dañan la maquinaria, el proceso para eliminar cierta cantidad se da mediante mallas o varillas verticales, posterior a ello pasan a una trituración para eliminar la materia orgánica (Cervantes, 2019).

#### ***2.2.12.2 Tratamiento secundario***

Al pasar por la fase anterior existe un máximo del 60% de sólidos suspendidos, en esta segunda fase se elimina en mayor proporción la materia orgánica, para ello se utilizan microorganismos aerobios ya que las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitrato y fosfato, y otra materia orgánica. La generación de nueva materia orgánica es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico (Cervantes, 2019).

#### ***2.2.12.3 Tratamiento terciario y avanzado de las aguas residuales***

El tratamiento terciario se usa comúnmente para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado incluye etapas adicionales para mejorar la calidad de las aguas residuales mediante la eliminación de contaminantes potencialmente dañinos (Cervantes, 2019).

### ***2.2.13 Parámetros de control***

Son niveles que permiten determinar ejecutar cambios durante una etapa de planificación.

#### 2.2.13.1 *pH*

El pH del agua indica cuán ácida o alcalina es, por tanto, un indicador imprescindible, ayudando a determinar la relatividad o no del agua utilizada en el proceso de riego. Para medir el pH del agua se utiliza una escala de 0 a 14, donde 7,0 se considera neutro. Así, las lecturas están por encima de 7,0 y hasta 14,0; indican que son soluciones básicas o alcalinas. Sin embargo, se consideran ácidos cuando tienen un pH inferior a 7,0 (Electrónica, 2021).

#### 2.2.13.2 *Conductividad*

Existe una relación específica con la temperatura ya que los resultados se expresan interpolando los valores de conductividad a 20 o 25°C. El rango de la conductividad en aguas residuales urbanas son 500 a 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Torres, 2021).

#### 2.2.13.3 *Sólidos totales*

Son todos los sólidos que se encuentran en el agua residual, aguas contaminadas y lodos que producen el tratamiento (TORRES MOLINARES, 2006).

#### 2.2.13.4 *Sólidos sedimentables*

Es una medida dada por la combinación de sustancias orgánicas e inorgánicas contenidas en un líquido en forma de suspensión molecular, ionizada o de micropartículas, siempre que el sólido debe ser muy pequeño para pasar por la filtración a través de un filtro con un tamaño de 0,45 micrómetros (LENNTECH, 2020).

#### 2.2.13.5 *Sólidos suspendidos*

Partículas suspendidas en el agua tales como un coloide o por el movimiento del agua. Los sólidos en suspensión pueden eliminarse por sedimentación debido a su tamaño relativamente grande (LENNTECH, 2020).

#### *2.2.13.6 Turbidez*

Cuando el agua elimina su transparencia por la presencia de las partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia será el agua y mayor será la turbidez (LENNTECH, 2020).

#### *2.2.13.7 Coloides*

Los coloides son partículas de diámetro muy pequeño que causan la turbidez o el color del agua superficial. Debido a su muy bajo potencial de deposición, la mejor forma de eliminarlos es mediante procesos de coagulación-floculación (LENNTECH, 2020).

#### *2.2.13.8 Demanda Química de Oxígeno*

Cantidad de oxígeno que oxida la materia orgánica transformándola en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Cuanto más alta es la DQO, más contaminada está el agua. La DQO del agua industrial tiene un rango de 50 y 2000 mgO<sub>2</sub>/l, aunque puede llegar a 5000 según el tipo de industria (LENNTECH, 2020).

#### *2.2.13.9 Demanda Biológica de Oxígeno*

Oxígeno que utiliza las bacterias aerobias y anaerobias para descomponer la materia orgánica, es un proceso lento ya que depende específicamente de la temperatura (LENNTECH, 2020).

#### *2.2.13.10 Aceites y grasas*

Es cualquier material recuperado como soluto disuelto en un solvente. La muestra de agua residual fue acidificada con ácido clorhídrico y extraída por el método de extracción Soxhlet en el aparato de extracción SOX E-816. Después de que el extracto se haya secado hasta peso constante, la cantidad de aceite y grasa se determina por peso (LENNTECH, 2020).

#### **2.2.14 Pruebas de tratabilidad**

Son aquellas que permiten determinar los parámetros de diseño, las dosis precisas de insumos, así como el tamaño y tipo de las diferentes unidades que conforman una planta de tratamiento de agua.

### 2.2.14.1 Pruebas de jarras

La prueba de jarra es la técnica más extensamente usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros. En ella se trata de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio.

- Coagulación

La coagulación es un proceso químico en el que se agrega un compuesto químico, un «coagulante», al agua, para desestabilizar las partículas suspendidas y promover la formación de flóculos.

Una «partícula coloidal estable» es una partícula coloidal que permanece como una entidad separada en el agua, es decir, en un estado disperso. La razón por la cual las partículas coloidales tienden a permanecer dispersas es porque su superficie está cargada eléctricamente, generalmente con una carga negativa.

Las cargas superficiales de las partículas forman una «doble capa eléctrica»: los iones positivos en la solución de agua se acercan a la partícula con carga negativa y se concentran en su superficie. La concentración de estas cargas se reduce con la distancia de la superficie de la partícula. A medida que cargas similares se repelen entre sí, esta distribución de carga genera fuerzas de repulsión que evitan que las partículas se acerquen entre sí. (Romero Rojas, 2009, p. 239).

- Fases de la coagulación.

Desde un punto de vista esquemático, se puede considerar que la coagulación se desarrolla en cinco fases consecutivas o simultáneas que explican reacciones físicas y químicas, de la siguiente forma:

- Primera fase: Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión;
- Segunda fase: Precipitación y formación de compuestos químicos que se polimerizan;
- Tercera fase: Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides;
- Cuarta fase: Adsorción mutua entre coloides; y Quinta fase: Acción de barrido

- Floculación

La floculación puede ser ortocinética, que es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias) y es cuando los contactos son producidos por el movimiento

del fluido, o pericinética que es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento Browniano (Pérez J. A., s.f.).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

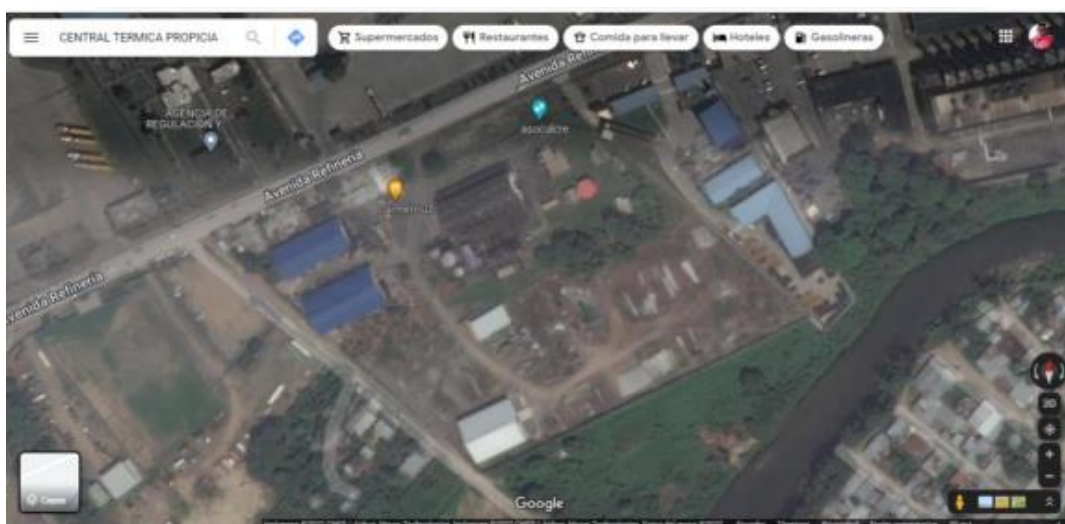
#### 3.1 Tipo de proyecto

Este proyecto es de tipo técnico cuya finalidad es optimizar la planta de tratamiento de aguas residuales teniendo como base los datos y cálculos necesarios que se requiere para el desarrollo del proyecto. Además, se utilizará los métodos deductivo, inductivo y experimental para la obtención de los parámetros que son necesarios para un buen funcionamiento de la planta.

Es de tipo experimental ya que la información que se obtiene es directa de la Central Térmica, mediante las muestras tomadas para su análisis y compararlas con los parámetros permitidos en la normativa del ACUERDO MINISTERIAL No. 028.

#### 3.2 Localización del proyecto

La Central Térmica Propicia se encuentra ubicada en la Provincia de Esmeraldas, Cantón Esmeraldas, Parroquia Vuelta Larga, en una extensión aproximada de 85,7 m<sup>2</sup> y circunscrito bajo los siguientes linderos: Por el norte Carretera Esmeraldas-Atacames km 7 1/2, por el sur con el Río Teacone, por el este con la estación de carga de GLP Gasito de EP Petroecuador, y por el oeste Bodegas de CENEL Esmeraldas. Localizada diagonal a la Refinería de Esmeraldas lo que permite el abastecimiento de combustible directamente de los tanques de almacenamiento de Refinería.



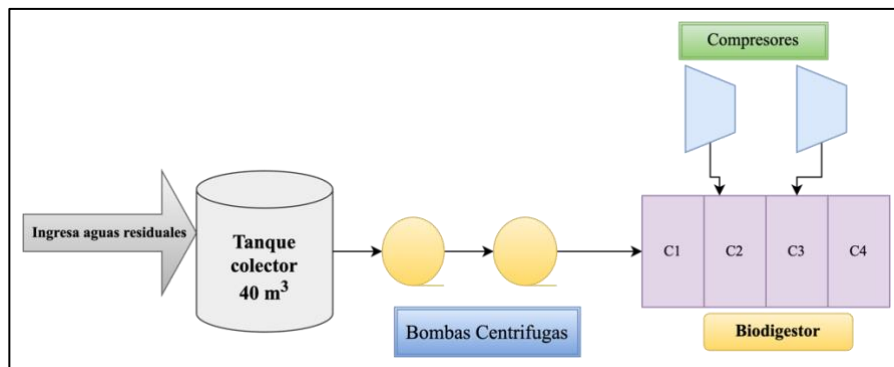
**Ilustración 1-3:** Ubicación Geográfica de la Central Térmica Propicia

**Fuente:** Google Maps, 2023.

### 3.3 Ingeniería del proyecto

La Central Térmica Propicia desde su construcción contaba con una planta para el tratamiento de aguas residuales, pero por diversas limitaciones presupuestarias y operativas recién en el 2018 se la puso en servicio como tal, dado a que antes de este tiempo funcionaba con una piscina de almacenamiento para su posterior descarga con auto tanque.

La planta cuenta con un tanque colector subterráneo de 40 metros cúbicos de capacidad, hacia donde se direccionan todas las aguas contaminadas, a través de dos bombas verticales centrifugas para enviar el agua desde el colector hasta el biodigestor. El biodigestor está segmentado en cuatro cámaras, también cuenta con dos compresores para la inyección de aire al biodigestor.



**Ilustración 2-3:** Diagrama de bloques de la planta actual

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

Para el tratamiento de las aguas residuales el principio de ingeniería que se aplica; consiste en hacer que los contaminantes presentes en las aguas residuales se convierta en el sustrato que servirá como alimento para los microorganismos que podrían ser dosificados o que vienen en el agua, así dotados de alimentos y de oxígeno disueltos en el agua los microorganismos se pueden alimentar e incrementar rápidamente su población hasta descontaminar todo el agua, luego por la estrangulación de aire se regula la población micro orgánica hasta tener niveles mínimos, que se pueden controlar con agentes químicos, todo esto segmentado en tres etapas; pre tratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.

Pero actualmente la falta de monitoreo y control hace imposible determinar el correcto funcionamiento de la planta ya que dicha planta de tratamiento de aguas residuales de la Central Propicia funciona totalmente modo manual, y no existe un régimen común de operación.

### **3.4 Métodos y técnicas**

#### **3.4.1 Métodos**

Para el desarrollo del proyecto se requiere los métodos deductivo, inductivo y experimental para conocer los acontecimientos importantes que se tiene en el tratamiento de aguas residuales y a su vez optimizar el funcionamiento de la planta.

##### *3.4.1.1 Método inductivo*

En este trabajo de integración curricular se recolecto todas las aguas provenientes de los sanitarios, lavamanos, y duchas del edificio principal de la Central Térmica, con la finalidad de saber el consumo total del agua que ingresa en la planta. Posteriormente se realizó 40 muestras del agua residual la cual fueron llevadas al laboratorio de la Central Térmica Propicia y constatar que los parámetros se encuentren en los límites de la normativa vigente.

##### *3.4.1.2 Método deductivo*

Mediante el método deductivo en este proyecto brindará una información de la contaminación producida en el agua y por ende el efecto que ocurre en el medio ambiente, obteniendo como resultado la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales basadas en los parámetros de la normativa del ACUERDO MINISTERIAL No. 028 y así el efluente tratado sea el óptimo para la descarga en el río Teaone.

##### *3.4.1.3 Método experimental*


Los métodos experimentales se utilizan para el análisis físico, químico y microbiológico del agua residual de la planta de tratamiento de la Central Térmica Propicia, se realizó pruebas de jarras para la optimización de dicha planta y así el agua pueda descargarse hacia un medio de agua dulce como es el río Teaone







### 3.5 Equipos actuales de la PTAR inicial

Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales de la Central Térmica Propicia cuenta con algunos equipos para su funcionamiento, sin embargo, ya se encuentran deteriorados, como se describe en la siguiente tabla:

**Tabla 1-3: Equipos actuales de la ptars**

No	Equipo	Descripción	Estado actual	Fotografía
1	Cribado o Rejilla	Retiene los sólidos de gran tamaño, con el fin de que no obstruyan las líneas o dañen los equipos como las bombas de succión	En funcionamiento, pero presenta avances de corrosión.	

2	Tanque de sedimentación	No presenta de agitación, donde se origina la precipitación de los sólidos hacia el fondo del tanque	El tanque actual Cisterna de hormigón tipo API.	
3	Bombas de succión	<p>Dos bombas verticales, tipo centrifuga para realizar el trasvase del agua residual a ser tratada hacia los reactores biológicos de zonas anaerobias y aerobias, características</p> <p>Caudal: 2.2 m3/h</p> <p>Potencia: 1 HP</p> <p>Frecuencia: 60 Hz</p> <p>Presión máx.: 25 bar</p> <p>Temperatura. Máxima de trabajo: 120 °C</p>	En funcionamiento	

4	Filtros	Retienen sólidos remanentes en las líneas de succión.	La planta no cuenta con sistemas de filtración en las líneas de succión, pero existen, un recipiente en la línea de succión que sirve para realizar la carga en positivo (succión positiva)	
5	Tanque reactor biológico	Se origina el proceso de tratamiento de las aguas residuales. Se potencia la proliferación de los organismos deseables	En funcionamiento	

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

### 3.6 Estudio técnico preliminar

#### 3.6.1 Características fisicoquímicas de los efluentes que componen las aguas residuales industriales de la central térmica

Una vez identificados y cuantificados los efluentes que componen los vertimientos industriales de la termoeléctrica Propicia, se consultaron los datos históricos del registro de control de calidad que el proceso realiza, a fin de establecer las características de cada uno de estos, ya que condicionan directamente las características fisicoquímicas del efluente y son el punto de partida en el desarrollo de la etapa preexperimental.

Los parámetros analizados, corresponden a datos reportados por el área de control de calidad del ciclo agua vapor, entre diciembre de 2019 y mayo de 2021; para la torre de enfriamiento se tomaron las variables de pH, conductividad, ortofosfatos, temperatura, turbiedad, hierro y sólidos suspendidos.

Para cada uno de estos se hallaron las medias aritméticas y los resultados se presentan en la Tabla 2-3; el cual permite establecer que el agua de la purga de la torre de enfriamiento presenta una temperatura promedio de 26,24°C, un pH de 7,27, es decir, es un agua neutra, con un contenido considerable de sólidos disueltos, medidos indirectamente por la conductividad, mediana turbiedad y bajo contenido de sólidos suspendidos, lo cual interfiere también en los contenidos de color.

**Tabla 2-3:** Datos promedios reportados por la empresa

Parámetros	Unidades	PTARS
pH	-	7,27
Conductividad	μs/cm	297,03
Ortofosfatos	mg/L	0,301
Temperatura	°C	26,24
Turbiedad	FAU	2,57
Hierros	mg/L	0,143
Sólidos suspendidos	mg/L	3,195
Sólidos disueltos	mg/L	163,36

**Fuente:** Central Térmica Propicia, 2023.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7 Técnicas para el análisis después del tratamiento

#### 3.7.1 Aceite y grasas

**Tabla 3-3:** Técnica para determinar aceites y grasas

Código: STANDARD METHODS 5530-C				
Fundamento	Instrumentos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
El aceite o la grasa disuelta o emulsionada es extraída del agua por íntimo contacto con el triclorotrifluoroetano. Algunas grasas y ácidos grasos especialmente no saturados, extraíbles, se oxidan con rapidez; en consecuencia, se incluyen precauciones especiales con respecto a la temperatura y desplazamiento de vapor del disolvente para reducir este efecto. Representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable biológicamente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embudo de separación: 1L, con llave de paso de TFE.</li> <li>• Matraz de destilación de 125 ml.</li> <li>• Baño de agua</li> <li>• Papel filtro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido clorhídrico, HCl, 1 + 1.</li> <li>• Triclorotrifluoroetano: (1,1,2- tricloro-1,2,2- trifluoroetano), punto de ebullición 47 °C.</li> <li>• Sulfato de sodio, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, cristal anhidro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etiquetado de botella con 1 ml de muestra</li> <li>• Acidificar con 5ml de HCl y pasar por el embudo hasta un pH de 2 o inferior.</li> <li>• Drenar la capa del disolvente con un papel filtro después de que se forme dos capas.</li> <li>• Añadir 1g de sulfato de sodio y drenar si la capa no está clara.</li> <li>• Extraer 30 ml de disolvente por dos veces.</li> </ul>	<p>La ecuación de determinación de aceites y grasas es la siguiente:</p> $mg \text{ de aceites y } \frac{grasas}{L} = \frac{(A - B)X100}{ml \text{ de muestra}}$ <p>Donde,  A= la ganancia total del peso  B= peso del matraz tarado menos el residuo calculado.</p>

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.2 Sólidos totales

**Tabla 4-3:** Técnica para determinar sólidos totales

Código: MÉTODO HACH			
Fundamento	Instrumentos	Procedimiento	Cálculo
Los sólidos totales es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua. Se puede calcular tomando la suma de las concentraciones de todos los cationes y aniones indicados en la parte del análisis del agua o puede también ser medida evaporando una muestra de agua para secarla y posteriormente pesar sus residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cápsulas de evaporación adecuadas al volumen de la muestra</li> <li>• Estufa</li> <li>• Desecador con sílica azul como indicador colorimétrico de humedad</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Agitador magnético</li> <li>• Placa calefactora</li> <li>• Probetas de diferentes volúmenes</li> </ul>	<p>Preparación de la cápsula de evaporación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Encender la estufa a 103-105° C.</li> <li>• Introducir una cápsula limpia durante una hora.</li> <li>• Llevar la cápsula al desecador hasta que se vaya a emplear.</li> <li>• Pesarla inmediatamente antes de usar y registrar el dato (Peso A). Determinación de sólidos totales:</li> <li>• Esperar que la muestra se encuentre a temperatura ambiente.</li> <li>• Seleccionar el volumen de muestra de acuerdo con el aspecto de la misma; habitualmente éste estará entre 25 y 100 mL.</li> <li>• Mezclar bien la muestra y depositar el volumen seleccionado en la cápsula de evaporación previamente tarada.</li> <li>• Colocar la cápsula en una placa calefactora y evaporar la muestra hasta casi sequedad, pero evitando ebullición y salpicaduras.</li> <li>• Llevar la muestra evaporada a la estufa a 103-105 °C por 1 hora. A criterio del analista, el secado puede extenderse hasta el día siguiente, cuando el tipo de muestra haga suponer alto contenido de sales y se considere ausencia de compuestos orgánicos que puedan perderse con un calentamiento prolongado.</li> <li>• Enfriar la cápsula en el desecador.</li> <li>• Pesar rápidamente para evitar cambios en el peso por exposición al aire y/o degradación del residuo y registrar los datos.</li> </ul>	<p>Se utiliza la fórmula:</p> $mg \text{ sólidos totales } / L = \frac{(B - A) \times 100}{volumen \text{ de muestra } (ml)}$ <p>Donde,  A= peso de la cápsula de evaporación vacía (mg)  B= peso de la cápsula de evaporación + residuo seco (mg)</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repetir el calentamiento sólo por 1 hora, hasta que la diferencia con la pesada previa sea <math>&lt; 4\%</math> ó <math>&lt; 0.5</math> mg (seleccionar el valor que resulte menor), con lo cual se considera se obtuvo peso constante.</li> <li>• El peso finalmente obtenido será Peso B.</li> </ul>	
--	--	--	--

Fuente: Métodos Normalizados, Franson, 1992

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023

### 3.7.3 Sulfatos

**Tabla 5-3:** Técnica para determinar sulfatos

Código: STANDARD METHODS			
Fundamento	Instrumentos	Procedimiento	Cálculo
<p>Los sulfatos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y son relativamente abundantes en las aguas duras. El ion sulfato precipita en medio ácido con cloruro de bario formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro para trabajar a 420 nm con celdas de 1 cm de paso óptico.</li> <li>• Vidriería: vasos de precipitados, agitadores de vidrio, volumétricos</li> </ul>	<p>Las condiciones ambientales no son críticas para la realización de este ensayo.</p> <p>Preparación de la curva de calibración:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipetear volúmenes crecientes de la solución patrón de sulfato y completar a volumen con agua desionizada para obtener al menos seis concentraciones comprendidas en el intervalo de 0 a 40 mg/L.</li> <li>• Transferir los patrones a vasos de precipitado de 100 ml. Adicionar a cada patrón 2.5 ml de solución acondicionadora y agitar con varilla de vidrio; adicionar una cucharilla de cristales de cloruro de bario y agitar nuevamente en forma vigorosa.</li> <li>• Leer antes de 5 minutos en espectrofotómetro a 420 nm con celdas de 1 cm de paso óptico.</li> <li>• En función del espectrofotómetro utilizado, crear la curva de calibración.</li> </ul> <p>Determinación de sulfatos en muestras:</p>	<p>Lectura directa.</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferir 50 ml de muestra a un vaso de precipitados de 100 ml, adicionar 2.5 ml de solución acondicionadora y agitar; adicionar una cucharilla de cristales de cloruro de bario y agitar nuevamente en forma vigorosa.</li> <li>• Leer antes de 5 minutos en espectrofotómetro a 420 nm con celdas de 1 cm de paso óptico respecto a la curva de calibración de sulfato. Si la absorbancia de la muestra resultase mayor que la del mayor patrón, es necesario repetir el proceso mediante la lectura de diluciones de la muestra. Para esto, debe realizarse como mínimo dos diluciones, se calculará el coeficiente de variación y si éste no supera 10 %, se 41 informará el valor promedio; en estos casos, es necesario multiplicar previamente por el factor de dilución.</li> </ul>	
--	--	---	--

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.4 Turbiedad

**Tabla 6-3:** Técnica para determinar la turbiedad

Código: STANDARD METHODS 2130-B				
Fundamento	Instrumentos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Intensidad de color en el agua. Identificación de impurezas de origen inorgánico y orgánico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbidímetro</li> <li>• Celda</li> <li>• Pizeta</li> <li>• Muestra de agua oleosa</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar en la celda el agua a analizar</li> <li>• Colocar la celda en el turbidímetro</li> <li>• Leer según la escala deseada (0-1,0-10,0-100 NTU)</li> </ul>	Lectura directa

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.



### 3.7.5 Conductividad

**Tabla 7-3:** Técnica para determinar la conductividad

Código: STANDARD METHODS 2510-B				
Fundamento	Instrumentos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Es la capacidad de una solución para transportar corriente eléctrica, depende de la presencia de iones y su concentración total, de su movilidad valencia y sus concentraciones relativas, así como de la temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductímetro</li> <li>• Vaso de precipitado de 250 ml</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar la muestra problema en un vaso de precipitación y verter en el recipiente del conductímetro.</li> <li>• Tomar la lectura en el conductímetro.</li> <li>• Leer según la escala deseada (0-1,0-10,0-1000) micro ohms*cm</li> </ul>	Lectura directa

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.6 Potencial de hidrógeno (pH)

**Tabla 8-3:** Técnica para determinar el potencial de hidrógeno

Código: STANDARD METHODS 4500-b				
Fundamento	Instrumentos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo

<p>El pH es el parámetro que nos indica la alcalinidad o acidez del agua, tiene un rango de 1 a 14. Si el agua es ácida el pH es menor a 7, si es básica mayor a 7, si es igual a 7 es neutro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH metro</li> <li>• Buffer 7</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibrar el equipo utilizando buffer.</li> <li>• Introducir el electrodo en la muestra, agitar suavemente.</li> <li>• Esperar unos segundos que se estabilice, y tomar la lectura.</li> </ul>	Lectura directa
--	--	--	--	-----------------

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.7 *Temperatura*

**Tabla 9-3:** Técnica para determinar la temperatura

<b>Código:</b> STANDARD METHODS 2550-A				
<b>Fundamento</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculo</b>

<p>La temperatura es un parámetro físico que afecta mediciones de otros como pH, alcalinidad o conductividad. Las temperaturas elevadas resultantes de descargas de agua caliente pueden tener un impacto ecológico significativo por lo que la medición de la temperatura del cuerpo receptor resulta útil para evaluar los efectos sobre éste.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cualquier equipo portátil para medir diferentes parámetros como conductímetro, oxímetro, pHmetro o sonda multiparamétrica, que permita la determinación simultánea de temperatura.</li> <li>• La temperatura en estos equipos suele tener una resolución de <math>\pm 0.1</math> o <math>0.01^{\circ}\text{C}</math> y el intervalo de medición va desde 0 hasta al menos <math>50^{\circ}\text{C}</math>, con lo cual logra abarcarse el intervalo habitualmente presente en las muestras.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• La temperatura debe medirse directamente en el cuerpo de agua. En los casos que esta operación se dificulte y se obtenga una muestra con algún dispositivo de muestreo (como frasco, botella muestreadora o balde), la temperatura debe medirse a la mayor prontitud posible directamente en dicho dispositivo para así minimizar cualquier error</li> </ul>	<p>Lectura directa</p>
--	---	--	---	------------------------

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.8 Color

**Tabla 10-3:** Técnica para determinar el color

Código: STANDARD METHODS 2120-C				
Fundamento	Instrumentos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
<p>El color nos indica la existencia de impurezas presentes en un líquido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de 250 ml</li> <li>• Colorímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua destilada</li> <li>• Muestra de agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar el 10 mL de muestra problema en un envase, introducir cuidadosamente en el colorímetro,</li> </ul>	<p>Lectura directa</p>

			poner en 465 nm y por último anotar el valor de la lectura	
--	--	--	--	--

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.9 Sólidos disueltos totales

**Tabla 11-3:** Técnica para determinar sólidos disueltos totales

<b>Código: MÉTODO HACH</b>				
<b>Fundamento</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculo</b>
Cantidad de materia disuelta en un volumen de agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrodo sensible HACH</li> <li>• Vaso de precipitado de 250 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar aproximadamente 100 ml de agua cruda en un vaso de 250 ml.</li> <li>• Leer directamente en el equipo</li> </ul>	Lectura directa

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.10 Sólidos suspendidos

**Tabla 12-3:** Técnica para determinar sólidos suspendidos

<b>Código: STANDARD METHODS 2540-D</b>			
<b>Fundamento</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculo</b>

<p>La determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) se basa en el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a 103-105o C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. La diferencia entre los sólidos totales y los disueltos totales puede emplearse como estimación de los sólidos suspendidos totales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo de filtración - Filtros para análisis gravimétrico: AP40 Millipore o equivalente (como GF 1822047 o 934AH Whatman)</li> <li>• Estufa</li> <li>• Desecador con sílica azul como indicador colorimétrico de humedad</li> <li>- Balanza analítica</li> <li>• Agitador magnético</li> <li>• Probetas de diferentes volúmenes</li> </ul>	<p>Las condiciones ambientales no son críticas para la realización de este ensayo. Preparación del filtro de fibra de vidrio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alistar la estufa a una temperatura entre 103-105o C.</li> <li>• Empleando grafito, marcar el filtro de forma inequívoca (ej.: mediante numeración consecutiva).</li> <li>• Colocar el filtro (con la cara rugosa hacia arriba), en el equipo de filtración.</li> <li>• Aplicar vacío y lavar el filtro con 3 porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada.</li> <li>• Mantener la filtración hasta la remoción total de las trazas de agua. Desechar el filtrado.</li> <li>• Retirar el filtro, colocarlo en un papel de aluminio y secarlo en estufa a 103-105°C durante una hora.</li> <li>• Enfriar en el desecador hasta su empleo, pesar el filtro, y registrar los datos.</li> <li>• Repetir hasta que la variación del peso sea &lt; 4% o de 0.5 mg (lo que resulte menor). Anotar el peso del filtro (peso A). Análisis de la muestra:</li> <li>• Esperar a que la muestra se encuentre a temperatura ambiente. - En función del aspecto de la muestra, seleccionar el volumen a filtrar (ver nota).</li> <li>• Coger el filtro previamente tarado del desecador, llevarlo al equipo de filtración e iniciar la succión.</li> <li>• Agitar la muestra adecuadamente y depositar el volumen seleccionado sobre el filtro.</li> </ul>	<p>Para la obtención del resultado se debe utilizar la siguiente fórmula:</p> <p><i>mg de sólidos suspendidos totales</i></p> $/L = \frac{(B - A)X100}{\text{volumen de muestra (ml)}}$ <p>Donde,</p> <p>A= peso del filtro seco antes de la filtración</p> <p>B= peso del filtro + residuo seco</p>
---	---	---	--

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una vez que la muestra haya terminado de filtrar, lavar 3 veces sucesivas con volúmenes de 10 ml de agua destilada dejando secar entre lavados.</li> <li>• Retirar el filtro y llevarlo al papel de aluminio (al mismo donde se guardó en el desecador) y secarlo en la estufa a 103-105o C durante una hora. A criterio del analista, el secado puede extenderse (incluida toda la noche), cuando la apariencia física de la muestra denote presencia de grasa o alto contenido de sales.</li> <li>• Enfriar en desecador, pesar el filtro y registrar los datos.</li> <li>• Repetir el ciclo de secado, enfriamiento, desecado y pesado, hasta que la variación del peso sea &lt; 4% o de 0.5 mg (lo que resulte menor). Anotar los pesos del filtro (peso B).</li> </ul>	
--	--	--	--

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.11 Demanda Química de Oxígeno

**Tabla 13-3:** Técnica para determinar la demanda química de oxígeno

<b>Código:</b> STANDARD METHODS 5220-B				
<b>Fundamento</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculo</b>

<p>Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición, la muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio. El dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotométricamente</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor de DQO</li> <li>• Probeta graduada</li> <li>• Vaso de precipitación</li> <li>• Tubos de reactivos de digestión con tapa</li> <li>• Toallas de papel</li> <li>• Pipetas volumétricas</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precalentar a 150°C el digestor de DQO y tomar la muestra Homogeneizada.</li> <li>• Añadir la disolución digestora respectiva.</li> <li>• Colocar agua en el tubo del blanco de reactivos.</li> <li>• Colocar los tubos en el digestor y dejar por 2h.</li> <li>• Retirar los tubos del digestor y dejar enfriar</li> <li>• Medir la absorbancia en el espectrofotómetro previamente calibrado o cuantificar por titulación</li> </ul>	<p>El DQO se expresa mg O<sub>2</sub>/L y se obtiene a partir de la siguiente fórmula:</p> $DQO = (V1 k VP \times 8000) / Vs$ <p>Dónde,  V1= volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testido.  V2= volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra.</p>
---	---	--	---	---

Fuente: Métodos Normalizados, Franson, 1992

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.12 Demanda Bioquímica de Oxígeno

**Tabla 14-3:** Técnica para determinar la demanda bioquímica de oxígeno

Código: STANDARD METHODS 5210-C				
Fundamento	Instrumentos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo

<p>Se llena una muestra hasta rebosar un frasco hermético e incubarlo a una temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación el ROB se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo de DBO</li> <li>• Botellas de incubación</li> <li>• Grasa</li> <li>• Tampones de copa</li> <li>• Capsula magnética</li> <li>• Probeta graduada</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Embudo</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentar o enfriar la muestra hasta 2°C de la temperatura de incubación (20°C).</li> <li>• En una probeta verter 160ml de la muestra en una botella oscura.</li> <li>• Mezclar en cada botella de la muestra una barra magnética.</li> <li>• Añadir el contenido Buffer nutritivo para DBO para obtener un crecimiento óptimo de bacterias.</li> <li>• Rosear grasa en la boca de cada botella para sellar con el tampón de copa.</li> <li>• Añadir LiOH en un tubo de ensayo colocado en cada botella sobre el tampón de copa y colocar en el equipo.</li> <li>• A temperatura de 20°C = 2 °C colocar en el equipo en la incubadora o estufa.</li> <li>• Seleccionar el tiempo necesario.</li> </ul>	<p>Cuando el agua de la disolución no está sembrada:</p> $ROB5 = (D1 - D2)/P$ <p>Cuando el agua de disolución está sembrada:</p> $ROB \left( \frac{5mg}{l} \right) = ((D1 - D2) - (B1 - B2) \times f) / P$
---	---	--	--	--

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.13 Hierro

**Tabla 15-3:** Técnica para determinar el hierro

<b>Código:</b> STANDARD METHODS 3500- Fe B				
<b>Fundamento</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculo</b>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipeta</li> <li>• Vaso de precipitación</li> <li>• Piseta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hierro FerroVer</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Agua residual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro HACH, DR 2800: Programas Almacenados</li> <li>• Seleccionar el test: 265 Hierro FerroVer Preparación de la muestra:</li> <li>• Llenar una cubeta de 10 ml hasta la marca con la muestra <ul style="list-style-type: none"> <li>- Añadir un sobre de reactivo en polvo de Hierro FerroVer</li> </ul> </li> <li>• Agitar con rotación para mezclar (una coloración anaranjada indica la presencia de hierro) • Seleccionar en la pantalla el temporizador de 3 min. Preparación del blanco:</li> <li>• Llenar otra cubeta de 10 ml hasta la marca con la muestra</li> <li>• Después de que suene el temporizador limpiar bien la cubeta con el blanco y colocar en el porta cubetas</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: cero</li> <li>• Aparecerá en la pantalla: 0.00 mg/l Fe</li> <li>• Limpiar el exterior de la muestra preparada y colocar en el porta cubetas</li> <li>• Seleccionar: Medición</li> <li>• Leer el resultado: mg/l Fe</li> </ul>	Lectura directa
--	---	--	--	-----------------

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.14 Sólidos sedimentables

**Tabla 16-3:** Técnica para determinar sólidos sedimentables

Código: STANDARD METHODS 4500-PC				
Fundamento	Instrumentos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas, así como los residuos domésticos e industriales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capsula de Porcelana</li> <li>• Platino</li> <li>• Vaso alto de sílice</li> <li>• Mufla</li> <li>• Baño de vapor</li> <li>• Desecador</li> <li>• Balanza analítica</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumétrico</li> <li>• Llenar un cono Imhoff hasta una marca con la muestra y dejar sedimentar 45 minutos removiendo constantemente.</li> </ul>	<p>Para la obtención del resultado de los mg de sólidos sedimentados se utiliza la fórmula:</p> $mg \frac{SS}{l} = mg \text{ de } \frac{STSuspensión}{l}$ <p style="text-align: right;">– <i>kmg SNS/L</i></p> <p>Dónde,            SS = sólidos sedimentables            STS= sólidos totales en suspensión SNS=            sólidos no sedimentables</p>

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.15 Cobre

**Tabla 17-3:** Técnica para determinar el cobre

Código: STANDARD METHODS 3500- Cu B				
Fundamento	Instrumentos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo

<p>Las sales de cobre se utilizan en los sistemas de suministro de agua para control de crecimientos biológicos en depósitos y tuberías de distribución y para catalizar la oxidación de manganeso. La corrosión de las aleaciones que contienen cobre en accesorios de tuberías puede introducir cantidades medibles de cobre en el agua de un sistema de conducción. El cobre es esencial para los seres humanos; se calcula en 2,0 mg la necesidad diaria de cobre para una persona adulta</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipeta</li> <li>• Vaso de precipitación</li> <li>• CuVer 1</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro HACH, Programas Almacenados</li> <li>• Seleccionar el test: Cobre</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de 10 ml hasta la marca con la muestra Preparación de la muestra:</li> <li>• Añadir un sobre de reactivo en polvo CuVer 1 - Agitar en rotación para mezclar</li> <li>• Seleccionar en la pantalla del temporizador un tiempo de 5 min para empezar el periodo de reacción. - Preparación del blanco:</li> <li>• Llenar otra cubeta con 10 ml de la muestra</li> <li>• Después que suene el tiempo del temporizador, limpiar la cubeta con el blanco</li> <li>• Colocar en el porta cubetas</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: cero</li> <li>• Aparecerá en la pantalla: 0.00 mg/l Cu.</li> <li>• Limpiar el exterior de la muestra preparada y colocar en el porta cubetas - Seleccionar: Medición - Leer el resultado: mg/l Cu</li> </ul>	<p>Lectura directa</p>
---	--	--	--	------------------------

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.16 Fósforo Total

**Tabla 18-3:** Técnica para determinar el fósforo total

Código: STANDARD METHODS 4500-PC				
Fundamento	Instrumentos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo

<p>El fósforo generalmente se presenta formando parte de la materia orgánica. Por tanto, para determinar el fósforo total, se necesita de un método que sea capaz de oxidar los compuestos orgánicos presentes en la muestra para liberar el fósforo como ortofosfato.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo colorimétrico</li> <li>• Espectrofotómetro</li> <li>• Fotómetro de filtro</li> <li>• Aparato de filtración y papel de filtro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución acuosa de indicador de fenolftaleína</li> <li>• Carbón activado</li> <li>• Reactivo vanadato-molibdato</li> <li>• Solución patrón de fosfato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajuste del pH de la muestra</li> <li>• Eliminación del color de la muestra</li> <li>• Desarrollo de color en la muestra</li> <li>• Preparación de la curva de calibrado</li> </ul>	<p>Cálculo:</p> $mg \frac{P}{l}$ $= \frac{mg P(en 50 ml volumen final) \times 1000}{ml muestra}$
--	---	---	---	--

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 3.7.17 Cloro

**Tabla 19-3:** Técnica para determinar el cloro

Código: MÉTODO HACH 2004				
Fundamento	Instrumentos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo

<p>La determinación del cloro total en muestras que contengan materia orgánica plantea problemas especiales. Debido a la presencia de amoníaco, aminos y compuestos orgánicos, particularmente nitrógeno orgánico, el cloro residual existe en estado combinado</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de precipitación de 50ml</li> <li>• Equipo HACH</li> <li>• Pipeta de 1ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactivo DPD, reactivo para cloro libre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar en 25ml de muestra de agua cruda con el reactivo DPD.</li> <li>• Esperar 3 min.</li> <li>• Colocar 10 ml en la celda</li> <li>• Medir en el HACH</li> </ul>	<p>Lectura directa</p>
---	---	---	--	------------------------

**Fuente:** Métodos Normalizados, Franson, 1992.

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### **3.8 Plan de muestreo**

El muestreo correcto permite conocer los datos reales de la contaminación de las aguas residuales producidos en la planta de la Central Térmica Propicia, para ello dicho muestreo se realiza de manera manual basándose en la norma NTE INEN 2169:2013 (AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS), además para la toma de muestras se tiene como referencia los lineamientos establecidos, por la norma técnica NTE INEN 2 176 y NTE – ISO 5667, las cuales establecen los principios generales que se deben aplicar en el diseño de programas de muestreo para los propósitos del control de la calidad, la caracterización de la calidad, y la identificación de las fuentes de contaminación del agua, incluyendo los sedimentos y lodos.

Los muestreos de las aguas residuales industriales en la central termoeléctrica, se realizarán durante un periodo de cuatro meses, tomando aleatoriamente 40 muestras puntuales (una por día) de forma no consecutiva; además como la planta opera continuamente (teóricamente a la misma productividad), la hora del muestreo se elegirá de manera aleatoria, de este modo se garantiza una mayor representatividad y reproducibilidad, lo que por ende le da confiabilidad a los resultados; esto aplica en el desarrollo de las dos etapas (pre-experimental y experimental); por otro lado el punto de muestreo, corresponde a la descarga o vertimiento de las aguas residuales del sistema de tratamiento final que realiza el proceso; ya que esta es la calidad de agua sobre los cuales se han planteado los objetivos de proyecto.

### **3.9 Pruebas de tratabilidad**

#### ***3.9.1 Prueba de jarras***

Para la realización de los ensayos de Jarras, se tiene como referente la Norma Técnica Colombiana – NTC 3903 de 1996, la cual establece un procedimiento general para la evaluación de un tratamiento encaminado a reducir el material disuelto, en suspensión, coloidal y no sedimentable del agua mediante coagulación-floculación química, seguida por sedimentación mediante la gravedad. La norma suministra una evaluación sistemática de las variables que se encuentran normalmente en el proceso de coagulación - floculación y a través de esta, se establece el procedimiento general para la realización de los diferentes ensayos de jarras en las etapas preexperimental y experimental, teniendo en cuenta las variaciones en del gradiente de velocidad en la primera etapa y en la segunda, estos valores serán fijos como resultado de la fase preexperimental.

### 3.9.1.1 Coagulante utilizado

El coagulante utilizado para la prueba de tratabilidad se lo considero debido a la recomendación del técnico encargado de la Central Térmica Propicia, el cual es el:

- a) Policloruro de Aluminio (coagulante inorgánico)

### 3.9.1.2 Gradiente de velocidad

Para determinar los gradientes de velocidad, se toman como referencia la curva de calibración obtenida por Bohle (1970), la cual está calibrada para jarras cilíndricas de 1 litro y emplea las siguientes fórmulas:

$$G=0,25 (r.p.m)^{1,25}$$

$$r.p.m=3,0 G^{0,8}$$

Desde un punto de vista general, la suma de condiciones como el gradiente de velocidad, tipos de coagulantes y orden de adicción, lo que se logra con esto, es determinar una dosis óptima de coagulantes; es por ello que durante cada ensayo se deben evaluar los resultados de cuatro jarras, es decir, cuatro dosis diferentes por cada tipo de coagulante, asignado un rango de dosificación en orden ascendente y en el caso de ser necesario de que la dosis óptima quede en los extremos, se deben ajustar más jarras por encima o por debajo.

**Tabla 20-3:** Pruebas de coagulación

	JARRA No	1	2	3	4
<b>Químicos usados en orden de adición</b>	Muestra 1 ppm	30			
	Muestra 2 ppm		35		
	Muestra 3 ppm			40	
	Muestra 4 ppm				45
<b>Características de los FLOCS</b>	Veloc. de formac.*	1,5	1,5	1	1
	* tamaño	1	1	1	1
	Veloc. de asiento.*	1,5	1,5	1	1,5
	Calidad del Clarif.*	1,5	1,5	1	1,5
<b>Características del clarificado</b>	Conduct. US/CM	325	325	328	330
	Turbidez NTU	2,62	2	1,74	2,06

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

- Cálculo del requerimiento diario de dosificación del policloruro de aluminio

Con los datos de la prueba de jarras se determina experimentalmente la dosis requerida de policloruro de aluminio:

$$\frac{10 \text{ ml PAC}}{1 \text{ L agua residual}} = \frac{1 \text{ g PAC}}{1 \text{ L agua residual}}$$

Por tanto, se tomará en cuenta el volumen total de agua a tratar considerando el caudal:

$$CR - PAC = \frac{1 \text{ g PAC}}{1 \text{ L agua residual}} \times \frac{2 \text{ m}^3}{\text{hora}} \times \frac{24 \text{ horas}}{\text{día}} \times \frac{1000 \text{ L de agua residual}}{1 \text{ m}^3}$$

$$CR - PAC = \frac{48000 \text{ g PAC}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$CR - PAC = \frac{48 \text{ kg de PAC}}{\text{día}}$$

El requerimiento diario del policloruro de aluminio para tratar un volumen de 48 m<sup>3</sup> es de 48 Kg por día en la Central Térmica Propicia.

### 3.10 Cálculos para la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales

#### 3.10.1 Caudal

La medición del caudal es una operación física unitaria que más se utiliza en el tratamiento de aguas residuales y la forma más sencilla de calcular los caudales es el método volumétrico, para ellos se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde:

**Q** = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

**V** = Volumen (m<sup>3</sup>)

**t** = Tiempo (s)

El caudal promedio es 2 m<sup>3</sup>/h.

$$Q = \frac{2 \text{ m}^3}{\text{h}} \times \frac{24 \text{ h}}{\text{día}}$$

$$Q = 48 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Con el caudal encontrado se trabajará en todos los cálculos del proyecto.



### 3.10.2 Canal

Los canales son importantes en la planta ya que por ahí recorre el agua hacia diferentes lugares y en algunas ocasiones se implementa rejillas para un mejor tratamiento.

**Tabla 21-3:** Dimensiones del canal

Dimensiones del canal	Unidades	Medida
Base	M	0,50
Altura	M	0,30
Distancia	M	0,60

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 3.10.2.1 Radio Hidráulico

$$R_{HC} = \frac{bc \times h_c}{bc + 2h_c}$$

Donde:

$R_{HC}$  = Radio hidráulico del canal (m)

$bc$  = Base del canal (m)

$h_c$  = Altura del canal (m)

$$R_{HC} = \frac{0,50 \times 0,60}{0,50 + 2(0,30)}$$

$$R_{HC} = \frac{0,3}{1,1}$$

$$R_{HC} = 0,27 \text{ m}$$

#### 3.10.2.2 Velocidad de aproximación de la rejilla

Cálculo de la velocidad de aproximación del agua residual

$$V_{ap} = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S_H^{1/2}$$

Donde:

$V_{ap}$  = Velocidad de aproximación (m/s)

$n$  = Coeficiente de Manning (0,013 para hormigón)

$R$  = Radio hidráulico (m)

$S_H$  = Gradiente hidráulico (m/m) (0.00057)

$$V_{ap} = \frac{1}{0,013} \times (0,27)^{2/3} \times (0,00057)^{1/2}$$

$$V_{ap} = 0,767 \text{ m/s}$$

### 3.10.3 Rejillas

Las rejillas permiten proteger todo tipo de equipos que cuenta la planta evitando así daños y obstrucciones, para la implementación de rejillas se debe tener en cuenta los factores que se mencionan en la siguiente tabla:

**Tabla 22-3:** Información para la implementación de las rejillas

Características	Unidades	Valor
Ancho	M	0,6
Espesor	Mm	15
Separación entre barras	Mm	30
Pendiente con la vertical	Grados	45

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 3.10.3.1 Área entre Barras de la Rejilla

Para encontrar el área entre barra y barra en una reja, se utiliza la siguiente expresión.

$$A_p = \frac{Q}{V_{ap}}$$

Dónde:

**Q** = Caudal ( $m^3/s$ )

**V<sub>ap</sub>** = Velocidad de aproximación ( $m/s$ )

**A<sub>p</sub>** = Área de paso entre barras ( $m^2$ )

$$A_p = \frac{0,00055 \text{ m}^3/s}{0,767 \text{ m/s}}$$
$$A_p = 0,00724 \text{ m}^2$$

#### 3.10.3.2 Longitud de las rejillas sumergidas en el agua residual

Para la determinación de la longitud de la rejilla que va a estar sumergida en el agua a tratar se empleara la ecuación expresada de la siguiente manera.

$$L_{sg} = \frac{n_{m\acute{a}x}}{\text{sen}\varphi}$$

Dónde:

**L<sub>sg</sub>** = Longitud de rejilla sumergida (m)

**n<sub>máx</sub>** = Nivel máximo (m)

**φ** = ángulo de inclinación de la rejilla (grados)

Pero antes se debe encontrar en nivel máximo del agua ( $n_{m\acute{a}x}$ ) mediante la siguiente ecuación

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{Q}{V_{ap} \times B}$$

Dónde:

$n_{m\acute{a}x}$  = Nivel máximo (m)

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$B$  = Ancho de la rejilla (m)

$V_{ap}$  = Velocidad de aproximación (m/s)

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{0,00055 \text{ m}^3/\text{s}}{0,767 \text{ m}/\text{s} \times 0,6 \text{ m}}$$

$$n_{m\acute{a}x} = \mathbf{0,00119 \text{ m}}$$

$$L_{sg} = \frac{n_{m\acute{a}x}}{\text{sen}\phi}$$

$$L_{sg} = \frac{0,00119 \text{ m}}{\text{sen}45}$$

$$L_{sg} = \mathbf{0,00168 \text{ m}}$$

### 3.10.3.3 Determinación del Número de Barras en la Rejilla

Para determinar el número de barras que forman la rejilla se emplea la siguiente expresión:

$$N_b^\circ = \frac{B}{W + e}$$

Dónde:

$N_b^\circ$  = Número de barras

$W$  = Separación entre barras (m)

$B$  = Ancho del canal (m)

$e$  = Espesor máximo de las barras(m)

$$N_b^\circ = \frac{0,60}{0,03 + 0,015}$$

$$N_b^\circ = \mathbf{13 \text{ barras}}$$

### 3.10.3.4 Longitud de la rejilla

$$L = \frac{B}{\text{Sen } \theta}$$

Donde:

$B$  = ancho de la rejilla

$$L = \frac{0,60 \text{ m}}{\text{Sen } 45}$$

$$L = \mathbf{0,85 \text{ m}}$$

### 3.10.4 Tanque de igualación

El tanque de igualación absorbe los caudales en horas pico de tal manera que a la planta de tratamiento ingrese un caudal homogéneo y constante.

**Tabla 23-3:** Dimensiones del tanque de igualación

Dimensiones	Unidad	Medida
Largo	m	1
Ancho	m	2,5
Alto	m	1,8
Volumen	m <sup>3</sup>	4,5

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

### 3.10.5 Tanque de aireación

En la zona de aireación, se desarrolla el proceso biológico de digestión aerobia conocida como Lodos Activados mediante aireación extendida.

**Tabla 24-3:** Dimensiones del tanque de aireación

Dimensiones	Unidad	Medida
Largo	m	3,5
Ancho	m	2,5
Alto	m	1,8
Volumen	m <sup>3</sup>	15,75


Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Datos del estudio preliminar del análisis del laboratorio de la Central Térmica Propicia

Se realizó una investigación de los datos existentes de los tres años anteriores de muestreo y análisis de las aguas residuales que se genera en la Central Térmica Propicia.

		CENTRAL TERMICA PROPICIA					CODIGO:			
		ÁREA DE CONTROL QUÍMICO					VERSION: 1.0			
		REPORTE DE ANÁLISIS FISIQUÍMICO					Página: 1 de 1			
		SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES					FECHA:			
FECHA MUESTREO	27/6/20		Ing. Marcos Cortez Bone							
FECHA ANALISIS:	27/6/20		Ing. Marcos Cortez Bone							
Parámetros	Unidades	Rango de Control	PTARS	PTAO	Parámetros	Unidades	Rango de Control	PTARS	PTAO	
Ph	-	6,0 - 9,0	8	7	COBRE	mg/L	Max 1,0	-	-	
Conduct.	µs/cm	Max 3000	213,1	4024,2	ZINC	mg/L	Max 5,0	0,57	0,64	
SOLIDOS D. TOTALES	mg/L	Max 1500	117,205	2213,31	FOSFORO TOTAL	mg/L	Max 10	0,17	0,08	
SOLIDOS TOTALES	mg/L	Max 1600	117,095	2213,19	DBO	mg/L	100	-	-	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	Max 130	0,11	0,12	CLORO	mg/L Cl	Max 0,5	0,11	0,21	
TEMPERAT.	°C	< 32	26,5	26,3	SILICE	mg/L		-	-	
Hierro	mg/L	Max 10,0	0,19	0,42	DQO	mg/L	200	-	-	
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	Max 1,0	0,1	0,1	MATERIA FLOTANTE	VISIBLE	AUSENCIA	Ausencia	Ausencia	
SULFATO	mg/L	Max 1000	85	113	TURBIDEZ	NTU		0,97	1,03	
<b>Observaciones:</b>										
De acuerdo a la Reforma al Anexo 1, Tabla 10, Libro VI del TULSMA: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES - RECURSO AGUA										
Los parámetros en ambas plantas de aguas residuales, se encuentran dentro de los límites permisibles.										

#### Ilustración 1-4: Análisis de laboratorio 2020

Fuente: Laboratorio de la CTP, 2020.

CELEC EP CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR UNIDAD DE NEGOCIO TERMOSMERALDAS		CENTRAL TERMICA PROPICIA ÁREA DE CONTROL QUÍMICO REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES							CODIGO: VERSION: 1.0 Página: 1 de 1 FECHA:	
FECHA MUESTRA:	29/9/21	Ing. Marcos Cortez Bone								
FECHA ANALISIS:	29/8/21	Ing. Marcos Cortez Bone								
Parámetros	Unidades	Rango de Control	PTARS	PTAO	Parámetros	Unidades	Rango de Control	PTARS	PTAO	
Ph	-	6,0 - 9,0	7	7	COBRE	mg/L	Max 1,0	0,24	0,29	
Conduct.	µs/cm	Max 3000	218,4	387,5	ZINC	mg/L	Max 5,0	0,46	0,61	
SOLIDOS D. TOTALES	mg/L	Max 1500	120,12	213,125	FOSFORO TOTAL	mg/L	Max 10	0,11	0,08	
SOLIDOS TOTALES	mg/L	Max 1600	120,01	213,025	DBO	mg/L	100	-	-	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	Max 130	0,11	0,1	COLORO	mg/L Cl	Max.0,5	0,1	0,15	
TEMPERAT.	°C	< 32	24,8	25,1	SILICE	mg/L		-	-	
Hierro	mg/L	Max.10,0	0,14	0,21	DQO	mg/L	200	-	-	
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	Max.1,0	0,1	0,1	MATERIA FLOTANTE	VISIBLE	AUSENCIA	Ausencia	Ausencia	
SULFATO	mg/L	Max 1000	82	107	TURBIDEZ	NTU		0,87	0,92	
<b>Observaciones:</b> De acuerdo a la Reforma al Anexo 1, Tabla 10, Libro VI del TULSMA: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES - RECURSO AGUA Los parámetros en ambas plantas de aguas residuales, se encuentran dentro de los límites permisibles.										

**Ilustración 2-4:** Análisis de laboratorio 2021

**Fuente:** Laboratorio de la CTP, 2021.

CELEC EP CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR UNIDAD DE NEGOCIO TERMOSMERALDAS		CENTRAL TERMICA PROPICIA ÁREA DE CONTROL QUÍMICO REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES							CODIGO: VERSION: 1.0 Página: 1 de 1 FECHA:	
FECHA MUESTRA:	29/9/22	Ing. Marcos Cortez Bone								
FECHA ANALISIS:	29/8/22	Ing. Marcos Cortez Bone								
Parámetros	Unidades	Rango de Control	PTARS	PTAO	Parámetros	Unidades	Rango de Control	PTARS	PTAO	
Ph	-	6,0 - 9,0	7	7	COBRE	mg/L	Max 1,0	0,24	0,29	
Conduct.	µs/cm	Max 3000	218,4	387,5	ZINC	mg/L	Max 5,0	0,46	0,61	
SOLIDOS D. TOTALES	mg/L	Max 1500	120,12	213,125	FOSFORO TOTAL	mg/L	Max 10	0,11	0,08	
SOLIDOS TOTALES	mg/L	Max 1600	120,01	213,025	DBO	mg/L	100	-	-	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	Max 130	0,11	0,1	COLORO	mg/L Cl	Max.0,5	0,1	0,15	
TEMPERAT.	°C	< 32	24,8	25,1	SILICE	mg/L		-	-	
Hierro	mg/L	Max.10,0	0,14	0,21	DQO	mg/L	200	-	-	
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	Max.1,0	0,1	0,1	MATERIA FLOTANTE	VISIBLE	AUSENCIA	Ausencia	Ausencia	
SULFATO	mg/L	Max 1000	82	107	TURBIDEZ	NTU		0,87	0,92	

**Ilustración 3-4:** Análisis de laboratorio 2022

**Fuente:** Laboratorio de la CTP, 2022.

En la ilustración 1-4, 2-4 y 3-4 se muestra los análisis de laboratorio de los últimos tres años reportados por la planta de tratamiento inicial, los valores de las aguas residuales emitidas en la Central Térmica Propicia están dentro de los límites de control permitidos mismos que están mencionados en el acuerdo ministerial No. 028, para la obtención de estos valores se requiere del alquiler de un autotanque para tratar el agua lo que genera un gasto muy elevado para la industria.

## 4.2 Caracterización fisicoquímica postratamiento

### 4.2.1 Caracterización fisicoquímica postratamiento de la planta propuesta

En la siguiente tabla, se puede observar los resultados de la caracterización fisicoquímica en la planta de tratamiento propuesta, en los que se encuentran criterios que en su mayoría cumplen con los límites permitidos en el acuerdo ministerial No. 028, tabla 10: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Tabla 1-4:** Resultados del análisis posterior al tratamiento

PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE	RESULTADOS OBTENIDOS			
				PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LAS MEJORAS	CRITERIO DE RESULTADOS	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DESPUES	CRITERIO DE RESULTADOS
pH	u pH	6 - 9	$\pm 0,009$ u PH		Reportar	7,15	CUMPL E
Conductividad	Us/cm	NO APLICA	NO APLICA		Reportar	297,03	CUMPL E
Dureza	mg/l	-	-		Reportar	45	CUMPL E
Alcalinidad p	mg/l	-	-		Reportar	0	CUMPL E
Alcalinidad t	mg/l	-	-		Reportar	21	CUMPL E
Turbidez	FAU	100	$\pm 10$		Reportar	5	CUMPL E
Cloro residual	mg/l	0,5	$\pm 0,012$		Reportar	0,3	CUMPL E

Aceites y grasas	mg/l	30	$\pm 0,13$		Reportar	**	Reportar
Coliformes fecales	NMP/10 0ml	2000	-		Reportar	**	Reportar
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	100	$\pm 16,34$		Reportar	447	CUMPL E
Demanda química de oxígeno	mg/l	200	$\pm 74,6$		Reportar	829	CUMPL E
Sólidos suspendidos totales	mg/l	130	$\pm 1,7$		Reportar	3,195	CUMPL E
Sólidos totales disueltos	mg/l	1600	$\pm 3,2$		Reportar	163,36	CUMPL E
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/l	20	$\pm 0,08$		Reportar	*	Reportar
Fenoles	mg/l	0,2	$\pm 0,003$		Reportar	*	Reportar
Hierro	mg/l	10	$\pm 0,15$		Reportar	0,05	CUMPL E
Fosforo	mg/l	10	-		Reportar	0,301	CUMPL E
Cobre	mg/l	1	$\pm 0,001$		Reportar	0,05	CUMPL E
Cinc	mg/l	5	$\pm 0,01$		Reportar	-	Reportar
Sulfatos	mg/l	400	$\pm 1,96$		Reportar	32	CUMPL E
Nitritos	mg/l	1			Reportar	0,5	CUMPL E
Nitratos	mg/l	50			Reportar	5,1	CUMPL E
Tensoactivos / surfactantes	mg/l	0,5	-		Reportar	0,19	CUMPL E
Cloruros	mg/l	1000	-		Reportar	2,51	CUMPL E
Temperatura	° C	CONDICIÓN NORMAL $\pm 3$	$\pm 1$		Reportar	26	CUMPL E

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3 Resumen de resultados de caracterización fisicoquímica de la planta de tratamiento propuesta

A continuación, se resumen e interpreta los valores de los parámetros que cumplen con los límites permitidos en la tabla 10 del acuerdo ministerial No.028:



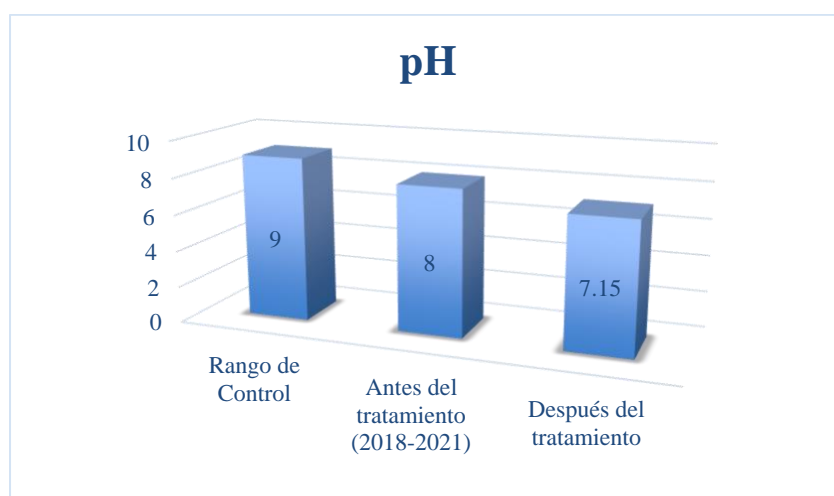
**Tabla 2-4:** Resultados de los análisis fisicoquímicos después del tratamiento

Parámetros	Unidades	Rango de Control	Antes del tratamiento (2018-2021)	Después del tratamiento
Ph	_	6,0 - 9,0	8	7,15
Conductividad.	µs/cm	Max 3000	824,5	297,03
Solidos disueltos totales	mg/L	Max 1500	403,4	163,36
Solidos totales	mg/L	Max 1600	281,855	160,165
Solidos suspendidos totales	mg/L	Max 130	34,495	25,19
Temperatura	°C	< 32	29,325	26,24
Hierro	mg/L	Max.10,0	0,425	0,05
Solidos sedimentables	mL/L	Max.1,0	0,1	0,1
Sulfato	mg/L	Max 1000	69,05	32
Fosfatos	mg/L	Max 10	1	0,301
Cloro	mg/L	Max. 0,5	0,55	0,3
DBO	mg/L	100	No reporta	5,3
DQO	mg/L	200	No reporta	7

Realizado por: González Guamán, Britany, 2022.

#### 4.3.1 pH

En este caso se muestra que hubo una disminución de pH en las aguas residuales tras el tratamiento que se le dio, a pesar de que en su inicio se encontraba dentro de los límites permitidos por la normativa teniendo así un resultado final de 7,15 inclinándose por un agua con un pH neutro, tal como se muestra en la siguiente ilustración

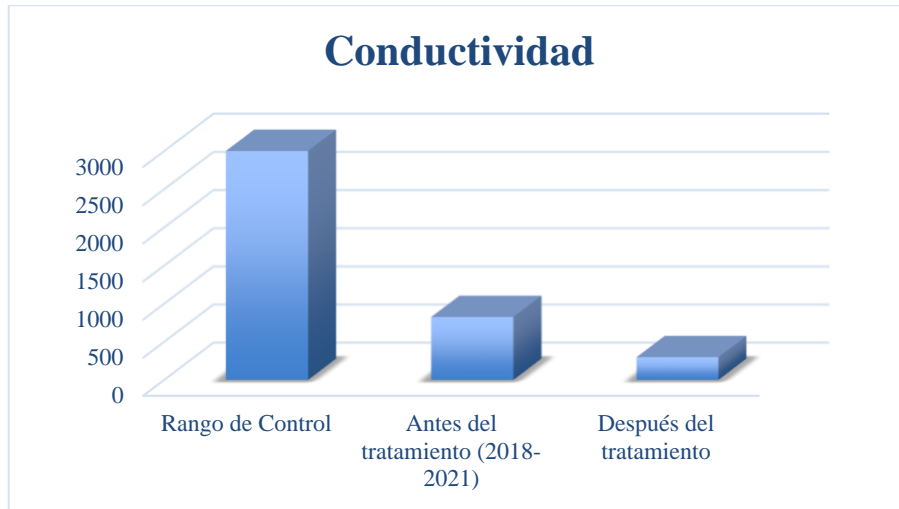


**Ilustración 4-1:** pH antes y después del tratamiento

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

### 4.3.2 Conductividad

En la ilustración se puede ver que, a pesar de estar en los límites permitidos, después del tratamiento la conductividad es de 297,03  $\mu\text{s}/\text{cm}$  demostrando así una eficiencia en la optimización del tratamiento.



**Ilustración 5-4:** Conductividad antes y después del tratamiento

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

### 4.3.3 Sólidos disueltos

En esta ilustración se puede ver que se encuentra dentro de los valores permitidos por la normativa, sin embargo, después del tratamiento se puede ver una disminución de sólidos disueltos teniendo así un valor de 163,36 mg/L.

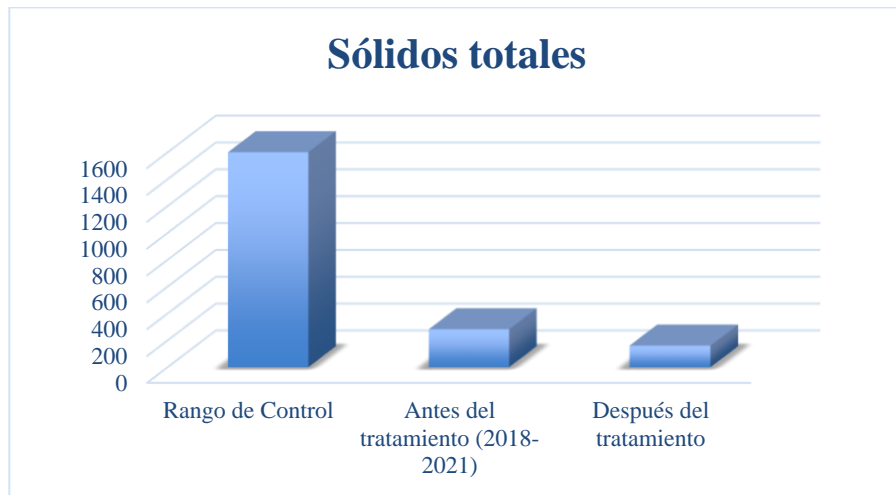


**Ilustración 6-4:** Sólidos disueltos antes y después del tratamiento

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3.4 Sólidos totales

La ilustración 7-4 muestra los valores de los sólidos totales donde el valor antes del tratamiento es de 281,855 mg/l, aun encontrándose dentro de los límites permitidos, después del tratamiento disminuye a un valor de 160,165 mg/l.



**Ilustración 7-4:** Sólidos totales antes y después del tratamiento

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3.5 Sólidos suspendidos

En esta ilustración los valores se encuentran dentro del rango de control y después del tratamiento los sólidos suspendidos disminuyeron notablemente teniendo un valor de 3,195 mg/L, demostrado una mayor eficiencia del tratamiento.

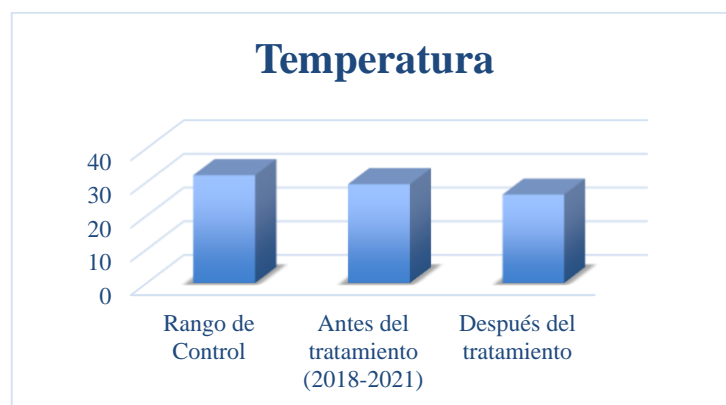


**Ilustración 8-4:** Sólidos suspendidos antes y después del tratamiento

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3.6 Temperatura

En el caso de la temperatura el valor de 26,24 °C está dentro de los límites permitidos en la tabla 10 del acuerdo Ministerial No. 028, el cual es menor a 32 °C.

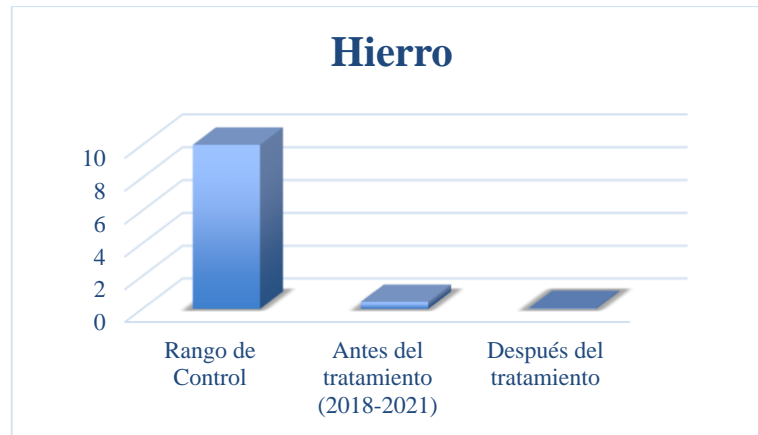


**Ilustración 9-4:** Temperatura antes y después del tratamiento

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3.7 Hierro

A pesar de estar dentro del parámetro de control el hierro después del tratamiento se obtuvo un valor de 0,05 mg/ L, siendo un valor muy optimo.

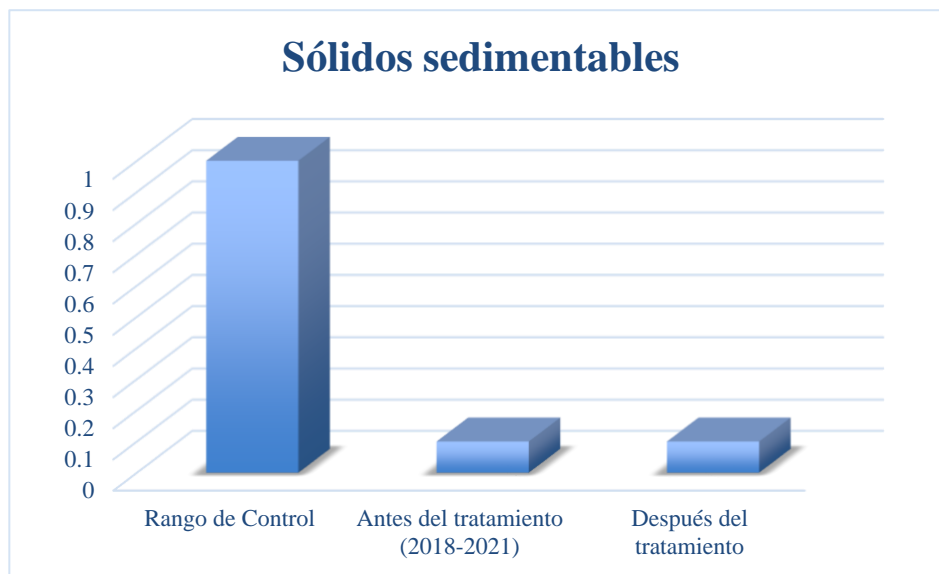


**Ilustración 10-4:** Hierro antes y después del tratamiento

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3.8 Sólidos sedimentables

En este caso, los valores de sólidos sedimentables se mantuvieron con un valor 0,1 mg/L, se encuentran dentro de los parámetros de control.

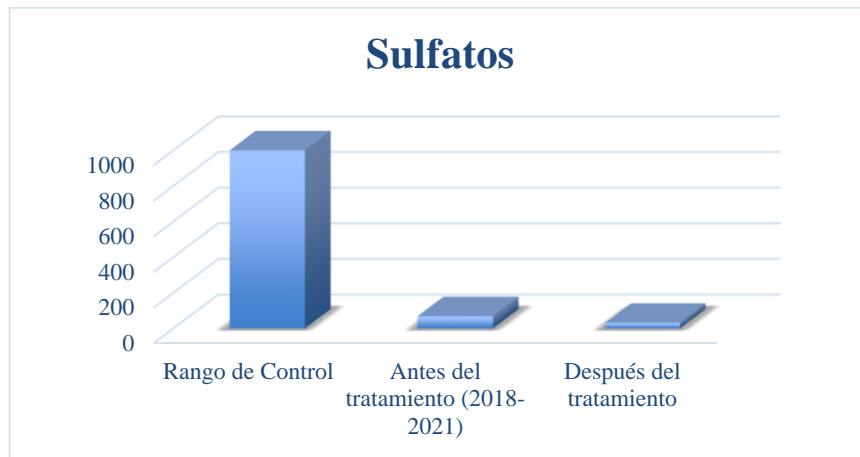


**Ilustración 11-4:** Sólidos sedimentables antes y después del tratamiento

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3.9 Sulfatos

En esta ilustración los sulfatos tienen el valor antes del tratamiento fue de 69,05 con el tratamiento el valor disminuyó a 32 mg/L, encontrándose dentro de los parámetros de la normativa.

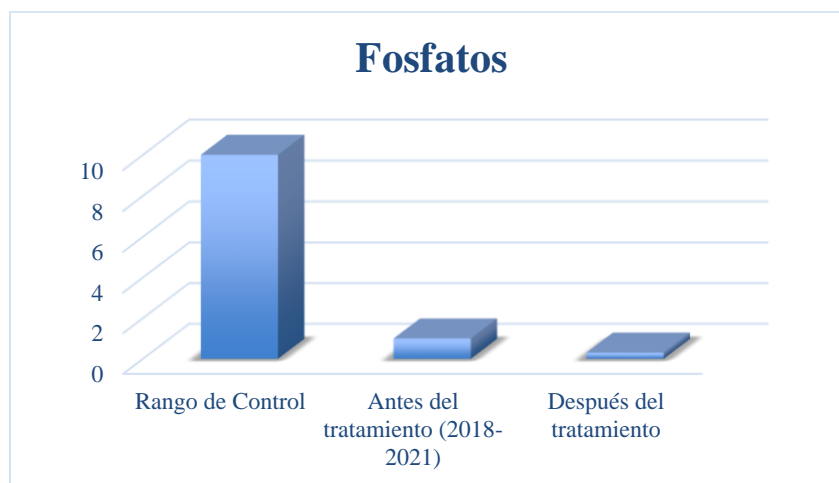


**Ilustración 12-4:** Sulfatos antes y después del tratamiento

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3.10 Fosfatos

En la ilustración 13-4 muestra los valores de los fosfatos, el valor final después del tratamiento es de 0,301 mg/l, este se encuentra muy inferior al límite de la normativa el cual es 10 mg/l.

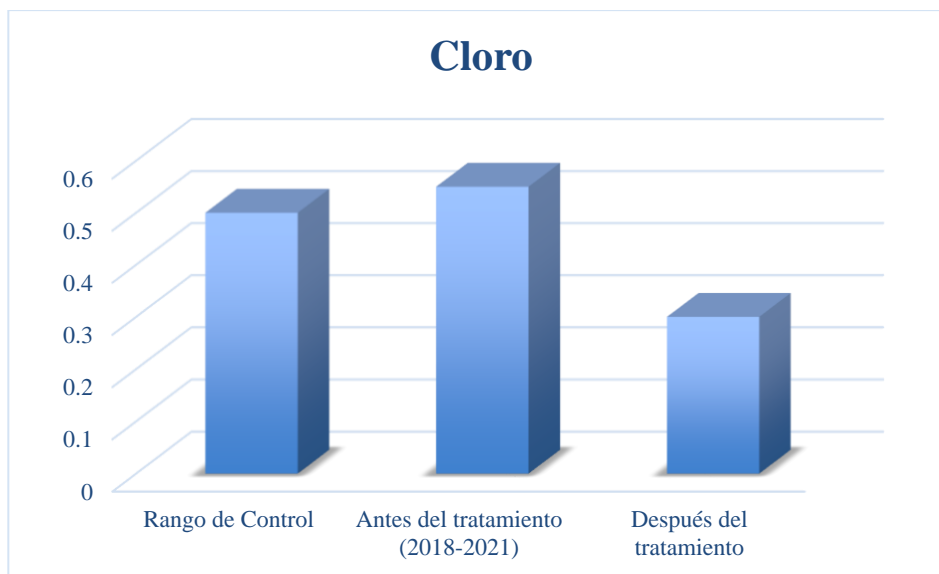


**Ilustración 13-4:** Fosfatos antes y después del tratamiento

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3.11 Cloro

Según la ilustración, el cloro antes del tratamiento alcanza un valor de 0,55 mg/l superando el parámetro de control el cual es de 0,5 mg/l, después del tratamiento se obtiene un valor de 0,3 mg/l y se logra que el valor este dentro del límite de control de la normativa.

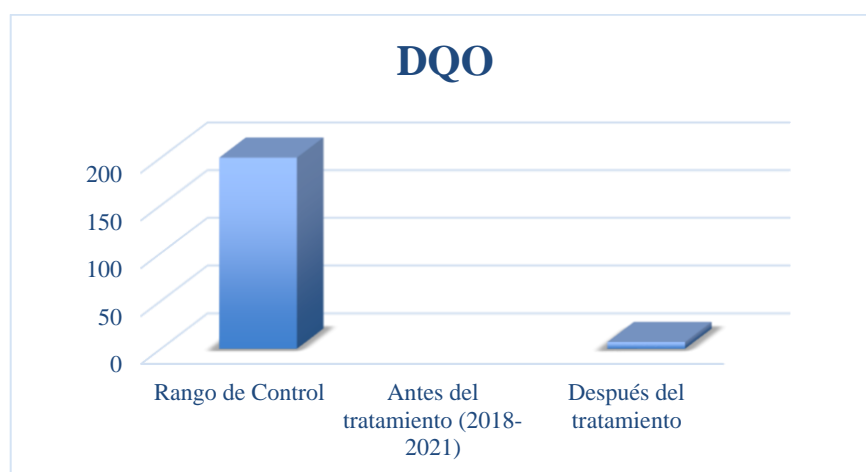


**Ilustración 14-4:** Cloro antes y después del tratamiento

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3.12 DQO

En la ilustración 15-4, se observa que antes del tratamiento no se reporta un valor de la demanda química de oxígeno, así que no se puede precisar si está dentro de los límites de control, sin embargo, después del tratamiento se reporta un valor de 7mg/l estando así dentro de los parámetros permitidos de la normativa.

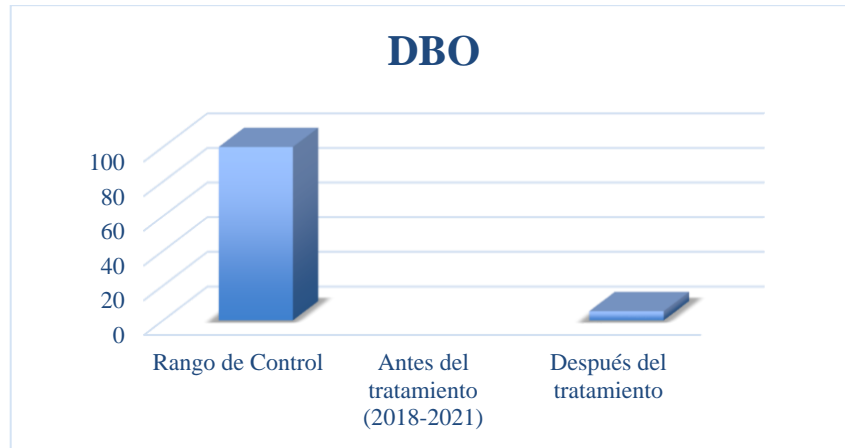


**Ilustración 15-4:** DQO antes y después del tratamiento

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.3.13 DBO

En la ilustración 16-4, se puede observar que antes del tratamiento no se reporta un valor de la demanda bioquímica de oxígeno, así que no se puede precisar si está dentro de los límites de control, sin embargo, después del tratamiento se reporta un valor de 5,3 mg/l estando así dentro de los parámetros permitidos de la normativa.



**Ilustración 16-4:** DBO antes y después del tratamiento

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.4 Porcentajes de remoción de parámetros fuera de los límites permisibles

Las tablas presentadas a continuación representan el porcentaje de remoción en cada parámetro analizado, comparando el agua residual en la planta inicial y el agua residual en la planta propuesta.

##### 4.4.1 Porcentaje de remoción de los parámetros analizados

**Tabla 3-4:** Remoción de los parámetros analizados

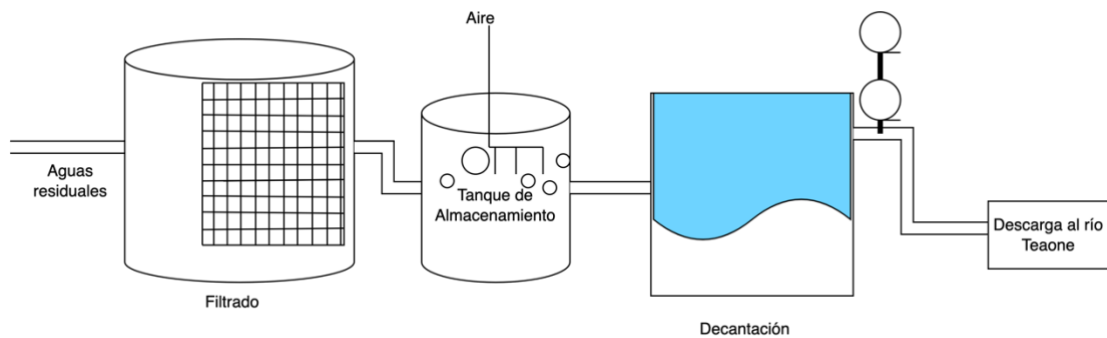
Parámetros	Agua residual	Agua tratada	% remoción
pH	8	7,15	10,6
Conductividad	824,5	297,03	63,9
Sólidos disueltos	403,4	163,36	59,6
Sólidos totales	281,85	160,16	43,2
Sólidos suspendidos	34,49	3,195	90,7
Temperatura	29,32	26,24	10,5
Hierro	0,425	0,05	88,2
Sólidos sedimentables	0,1	0,1	0
Sulfatos	69,05	32	53,7
Fosfatos	1	0,301	69,9
Cloro	0,55	0,3	45,5
DQO	-	7	100
DBO	-	5,3	100



## 4.5 Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales

### 4.5.1 Diagnóstico inicial de la planta

En la ilustración presentada a continuación, se muestra el esquema inicial de la PTAR de la Central Térmica Propicia, misma que cuenta con la rejilla corroída y sin tener un buen funcionamiento:



**Ilustración 17-4:** Esquema inicial de la PTAR

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

### 4.5.2 Propuesta para la implementación de la PTAR

Para alcanzar el objetivo de este proyecto es necesario, a través de un diagnóstico inicial puntualizar las mejoras.

De acuerdo con la generación de aguas contaminadas que son actualmente tratadas en la planta de aguas residuales y en concordancia con los operarios de la planta, se realiza un muestreo antes y un muestreo después durante 1 mes, con una frecuencia semanal.

Para esta valoración se realizan los siguientes análisis a las muestras:

**Tabla 4-4:** Parámetros para el análisis de muestras

PARÁMETROS	UNIDADES	RANGO DE CONTROL
ACEITES Y GRASAS	mg/l	Max. 30
CLORO RESIDUAL	mg/l	Max. 10
CONDUCTIVIDAD	Us/cm	Max. 3000
COLIFORMES FECALES	NMP/100ml	Max. 2000
TURBIDEZ	FAU	0,05 – 40
ALCALINIDAD	mg/l	30 – 250
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	200

HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO	mg/l	Max. 20,0
FOSFORO	mg/l	Max. 10
COBRE	mg/l	Max 1,0
HIERRO	mg/l	Max 10,0
ZINC	mg/l	Max 5,0
pH	u pH	6,0 - 9,0
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	Max 130
SOLIDOS TOTALES	mg/l	Max 1600
SULFATOS	mg/l	Max 1000
CLORUROS	mg/l	Max 250
TEMPERATURA	° C	< 35

**Fuente:** MAE,2019

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

Una vez que se realice todo el levantamiento de los datos, como resultados de los análisis de las muestras monitoreadas, estos servirán para la toma de decisión, se puede fortalecer el tratamiento y determinar en contraste con la normativa legal vigente lo necesario para su fiel cumplimiento y garantizar que al final del tratamiento el agua descargada cumpla con los requerimientos físicos químicos necesarios.

Estos datos también permitirán ejecutar las pruebas piloto implementado el proceso microbiano aerobio, el objetivo del tratamiento biológico de las aguas residuales es eliminar los contaminantes del agua mediante el uso de microorganismos. En la mayoría de los casos, la materia orgánica soluble e insoluble, así como el nitrógeno, son eliminados eficientemente por la acción biológica y también el fósforo se puede eliminar biológicamente (Sánchez, 2015).

La eliminación de la materia orgánica, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica son llevadas a cabo por una gran variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Por tanto, para diseñar efectivamente cualquier proceso de tratamiento biológico de aguas, es necesario tener en cuenta:

- Los requerimientos nutricionales de los microorganismos (necesarios para el crecimiento celular y la obtención de energía);
- El metabolismo de los microorganismos
- La relación entre crecimiento microbiano y utilización del sustrato
- Los factores ambientales que afectan el crecimiento microbiano. Entre los factores ambientales más importantes para tener en cuenta están la temperatura, el pH y el oxígeno presente en el reactor biológico.

Por lo que se propone la construcción de:

#### 4.5.2.1 Niveles de filtrado

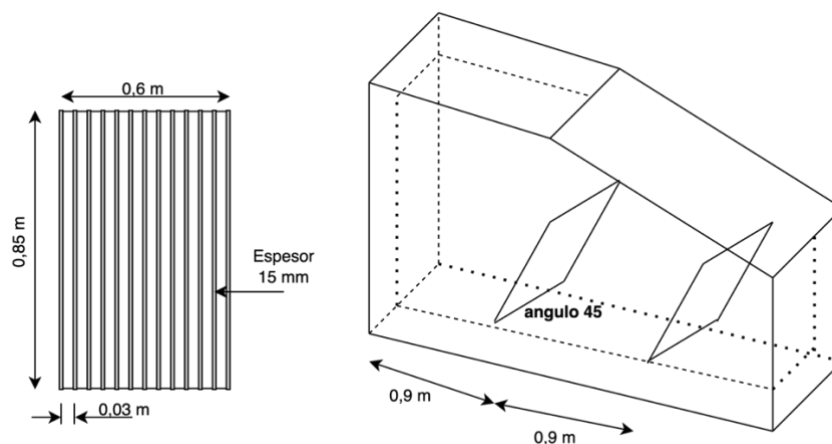
Previo al ingreso del tanque de acumulación se cuenta con una rejilla en un ángulo recto totalmente corroída, aquí se quitará esa rejilla y se pondrá doble rejilla con una inclinación de 45° con respecto al ingreso del tanque, con un espacio entre ambas rejillas no mayor a un metro, deben descansar sobre un riel para facilitar su retiro para mantenimiento periódico.

La rejilla debe tener las siguientes características:

**Tabla 5-4:** Características de la rejilla

Característica	Unidad	Valor
Espesor	mm	15
No. De barras	-	13
Inclinación	grados	45
Separación entre barras	mm	30
Longitud de la rejilla	M	0,85

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.



**Ilustración 18-4:** Esquema de las rejillas

Realizado por: González Guamán, Britany, 2023.

#### 4.5.3 La zona aerobia

Esto aportará a la oxidación biológica, mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes con mayor facilidad y velocidad, para ello es necesario instalar una línea de aire suministrada desde un compresor, la línea que se instalará desde el compresor hasta el biodigestor (tratamiento secundario) debe ubicarse previo a la zona aerobia, para ello es necesario segmentar el biodigestor con una pared de acero al carbón (mismo material del actual).

#### 4.5.4 Línea de muestreo

Previo a la descarga es indispensable construir una conexión que permita realizar muestreos periódicos del agua que se está descargando al río y evaluar su calidad, esto permitirá tomar acciones sobre el tratamiento, la línea debe ser construida en tubería de media pulgada con una válvula de corte rápido con distribución ergonómica para el operario.

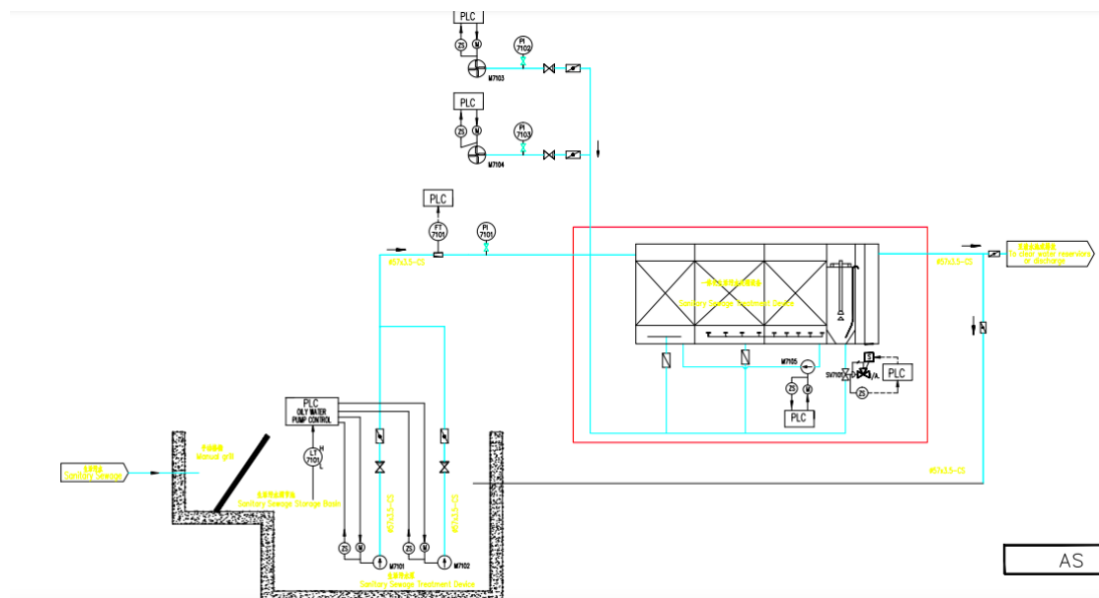
#### 4.5.5 Sistema de dosificación biocida

Posterior a la zona anaerobia en la última cámara del biodigestor es necesario instalar una línea con un sistema de dosificación biocida para el control de bacteria o cualquier organismo patógeno, este sistema debe contener un tanque de preferencia en PVC, con indicador de nivel, una bomba que permita la inyección de biocida por bombeo hacia la etapa final del biodigestor y válvulas de control antes y después de la bomba.

#### 4.5.6 Instrumentos de monitoreo y control

Todas las líneas que se construirán deben contar con la instrumentación necesaria para su monitoreo y control, indicador de presión, medidor de temperatura, medidor de humedad relativa, indicador de nivel, etc.

A continuación, se presenta el diagrama propuesto de la planta:



**Ilustración 19-4:** Diagrama de la propuesta de la PTAR

**Realizado por:** González Guamán, Britany, 2023.

## CONCLUSIONES

- Se optimizó la planta de tratamiento de aguas residuales de la Central Térmica Propicia obteniendo buenos porcentajes de remoción, en función de la línea base inicial mediante la caracterización físico químicas de las aguas residuales.
- Se diagnosticó los puntos de mejora mediante la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales generadas actualmente en la Central Térmica Propicia, de manera que se identifica parámetros fuera del control permitido por la normativa como son la demanda bioquímica de oxígeno (No reporta valor), la demanda química de oxígeno (no reporta valor), coliformes fecales (No reportan valor) al igual que el cinc (no reporta valor), mientras que los demás parámetros los valores están dentro de la normativa sin embargo se puede mejorar.
- Se realizó las pruebas de tratabilidad permitiendo diferenciar los resultados obtenidos entre el método anterior de la planta y la nueva propuesta para el tratamiento de las aguas residuales industriales de la Central Térmica Propicia, lo que ha concedido precisar que la nueva propuesta es más conveniente en función de los resultados obtenidos.
- Se planteó alternativas mediante la observación de campo y revisión de los antecedentes se identificó que es necesario incrementar dos niveles de filtrado por rejillas, una zona aerobia, instrumentos de monitoreo y control, una línea de muestreo de fácil manipulación y un sistema de dosificación biocida para el buen funcionamiento de la planta y el cumplimiento de los parámetros.
- Se valoró los parámetros de control que se encuentran dentro de la norma citada en el ACUERDO MINISTERIAL No. 028, Tabla 10: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, como son la conductividad (297,03  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), hierro ( 0,05 mg/L), sólidos totales (160,16 mg/l), sólidos suspendidos totales (3,195 mg/L), sólidos sedimentables (0,1 ml/L), DBO (5,3 mg/L), DQO (7 mg/L), cloro (0,3 mg/L), sulfatos (32 mg/L), fosfatos (0,301 mg/L) y un pH de (7,15), teniendo un porcentaje de remoción de: 10,6% de pH, 63,9% de la conductividad, 59,5 % de los sólidos disueltos, 43,2% de los sólidos totales, 90,7% de los sólidos suspendidos, 10,5 % de temperatura, 88,2% de hierro, 53,7% de sulfatos, 69,9% de fosfatos, 45,5% de cloro y 100% de DBO y DQO, validando así el tratamiento de la planta.

## **RECOMENDACIONES**

- Efectuar el mantenimiento y limpieza adecuada del sistema de tratamiento para evitar la acumulación de material particulado y mejorar la calidad del agua.
- Realizar análisis periódicos de agua para tener un control del producto final en la planta de tratamiento.
- La implementación del proyecto, dado que de continuar evita el incumpliendo de las normas ambientales.

## **GLOSARIO**

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ACUATECNICA.** *Líderes en Ingeniería Ambiental y Sanitaria* [en línea], 2018. [Consulta 20 febrero 2022]. Disponible en:  
<http://acuatecnica.com/#:%7E:text=es%20el%20proceso%20mediante%20el,casos%20para%20el%20consumo%20humano.>

**ALASINO.** *Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales* [en línea], 2009.  
Doctoral dissertation: N. P. X.

**BEDÓN GARZÓN, R.; & ALBÁN, M. A.** *Responsabilidad ambiental en Ecuador: conceptos e implementación en materia hidrocarburífera.* Ecuador; 2018.

**CERVANTES, J.** *América Latina y el Caribe busca reducir el riesgo de desastres en la agricultura y la seguridad alimentaria.* Protección civil Asesorías, 2019. [Consulta 20 febrero 2022]. Disponible en: [http://www.proteccioncivilasesorias.com/index.php/agua/tratamiento-de-agua/tratamiento-de-agua-primario-secundario-y-terciario.](http://www.proteccioncivilasesorias.com/index.php/agua/tratamiento-de-agua/tratamiento-de-agua-primario-secundario-y-terciario)

**DELOYA-MARTÍNEZ, A.** “Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales”. *Revista Tecnología en Marcha*, 2006, 19(2), pp. 31.

**ELECTRÓNICA, M.** *Qué es el pH del agua y cuál es su importancia en el rendimiento de los cultivos.* Maher Electrónica. 2021. [Consulta 20 febrero 2022]. Disponible en:  
<https://www.maherelectronica.com/que-es-el-ph-del-agua/>

**EUROINNOVA BUSINESS SCHOOL.** *Contaminantes del agua dibujos.* 2021. [Consulta 20 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.euroinnova.ec/blog/contaminantes-del-agua-dibujos#iquestqueacute-es-la-contaminacioacuten-del-agua>

**FUNDACIÓN NUEVA CULTURA DEL AGUA.** *El agua en el medio urbano.* Guía Fundación Nueva Cultura del Agua. [Consulta 20 febrero 2022]. Disponible en:  
<https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/areas/el-agua-en-el-medio-urbano>

**GIL, M.** *Nuevos conceptos en la caracterización de agua residual industrial.* iAgua, 2020. [Consulta 20 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/mauricio-gil/nuevos-conceptos-caracterizacion-agua-residual-industrial>



**GÓMEZ, Eugenio.** “Tratamientos anaerobios de las aguas residuales domésticas”. *Revista de ingeniería*, 1993, no 4, p. 1-12.

**GRUPO VENTO.** *Efluentes líquidos - Grupo Vento - Tratamiento de aguas residuales.* Grupo Vento BLOG, 2017. [Consulta 20 febrero 2022]. Disponible en:  
<https://evaporadoresindustriales.grupovento.com/efluentes-liquidos/#:%7E:text=Efluentes%20%C3%ADquidos%20industriales-,Efluentes%20%C3%ADquidos%3A%20qu%C3%A9%20son,efluentes%20%C3%ADquidos%20o%20aguas%20residuales.>

**MALDONADO, F. L.; et al.** *El constitucionalismo ambiental en Ecuador.* Actualidad Jurídica Ambiental, 2020. (97), pp. 5-31.

**MONTES REY, I. M.** *Optimización de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales en una rectificadora de tanques.* 2015.

**MOSCOSO, A. M.** *El nuevo marco jurídico en materia ambiental en Ecuador.* Estudio sobre el Código Orgánico del Ambiente. Actualidad Jurídica Ambiental, 2019. pp.3-32.

**PARRA MENDEZ, J.** *Formulación de alternativas para mejorar el rendimiento y optimización de las lagunas de oxidación en el municipio de curumani–cesar (Doctoral dissertation).* 2019

**RAMALHO, R. S.** *Tratamiento de aguas residuales.* Reverté, 2021.

**SANTANA-RODRÍGUEZ, C.; et al.** *Evaluación de la planta de tratamiento de agua para los generadores de vapor en la central termoeléctrica 10 de octubre de Nuevitas.* Tecnología Química, 2012,32(3). Pp. 265-274.

**SILVA, J. P. G.; & ORTEGA, K. A. G.** *Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Bojacá-Cundinamarca.* 2016.

**SOLIS SILVAN, R.; et al.** “Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales”. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 2012, 28(3). pp. 229-236.

**SUÁREZ ALVITES, A.** *Método de superficies de respuesta (MSR) para procesos de optimización aplicado a la filtración de lodos provenientes del sedimentador primario de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).* 2017.

**TORRES, A.** *Análisis de aguas residuales.* 2021. [Consulta 20 febrero 2022]. Disponible en: Microsoft PowerPoint. [http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion\\_ANTONIO.pdf](http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf)

**YABROUDI, S. C.; et al.** *Optimización del proceso de tratamiento de aguas residuales de una industria cervecera.* *Interciencia*, 2019, 34(11). pp.764-770.



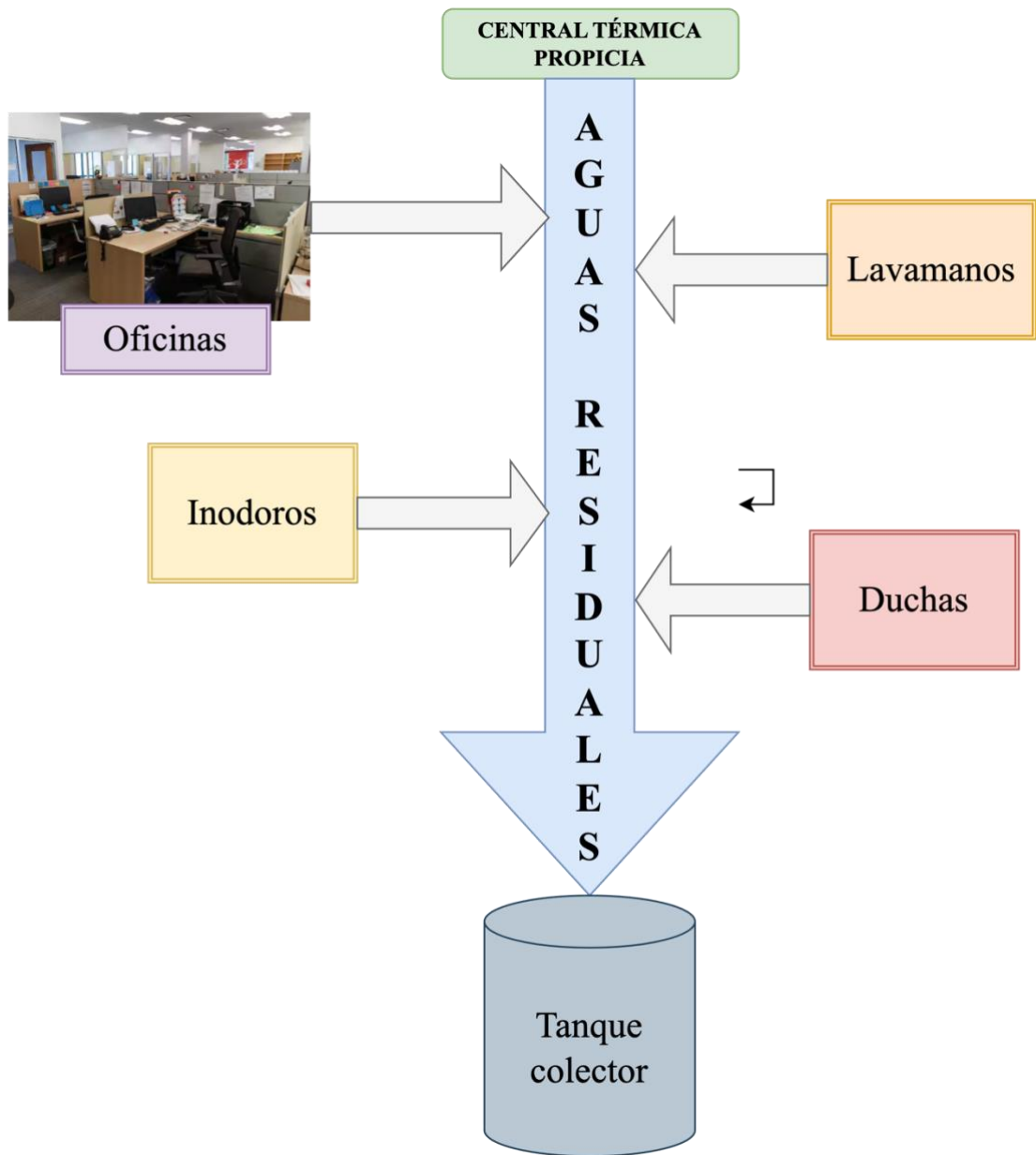
## ANEXOS

### ANEXO A: ACUERDO MINISTERIAL No. 028. TABLA 10: LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce		
	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1

Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Est. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	10000
Color real <sup>1</sup>	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>6+</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

**ANEXO B: DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA RECOLECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES**





FENOLES	mg/l	0,2	± 0,003	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
HIERRO	mg/l	10	± 0,15	0,4	0,1	0,98	0,04	0,05	0,03	0,02	0,31	0,17	0,14	0,16
FOSFORO	mg/l	10	-	1,75	1,78	3,07	1,55	1,7	1,1	1,2	1,8	1,13	1,22	1,15
COBRE	mg/l	1	± 0,001	0,29	0,06	0,17	0,02	0,02	0,01	0,02	0,4	0,09	0,07	0,05
CINC	mg/l	5	± 0,01	**	**	**	**	**	**	-	1,48	-	-	-
SULFATOS	mg/l	400	± 1,96	13	24	4,2	18	17	20	15	11	25	18	23
NITRITOS	mg/l	1		2,1		0,5	0	0	0	0	0,9	0,5	0,4	0,5
NITRATOS	mg/l	50		1,7		0,04	10,2	11,5	10,3	9,5	0,9	3,4	7,3	5,1
TENSOACTIVOS / SURFACTANTES	mg/l	0,5	-	0,09	0,16	0,04	0,21	0,22	0,19	0,14	0,29	0,21	0,17	0,19
CLORUROS	mg/l	1000	-	25	27	39	35	31	28	28	20	25	23	2,51
TEMPERATURA	° C	CONDICIÓN NORMAL ± 3	± 1	25	25	25	24	24	25	25	25	25	26	25



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 07 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Britany Lizbeth González Guamán
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Química
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1071-DBRA-UPT-2023

