

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN QUÍMICA COHORTE 2021

Tema: FITOREMEDIACIÓN CON ALGAS (*Scenedesmus, sp.*) DE CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA CURTIDURÍA TUNGURAHUA.

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Magíster en Química.

Modalidad del Trabajo de Titulación: Proyectos de desarrollo.

Autor(a): Ingeniera Química, Yesenia Elizabeth Cunalata Ponluisa

Director(a): Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás, Mg.

Ambato – Ecuador

2024

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia Magíster , e integrado por los señores: Ingeniera Nelly del Pilar Pazmiño Miranda Magister y Química Marcia Eduvijos Buenaño Sánchez Magíster, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: “Fitorremediación con algas (Scenedesmus, sp.) de contaminantes de las aguas residuales de la empresa “Curtiduría Tungurahua” elaborado y presentado por la señora Ingeniera Química Yesenia Elizabeth Cunalata Ponluisa para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster en Química; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Firmado electrónicamente por:
ELSA PILAR URRUTIA
URRUTIA

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
NELLY DEL PILAR
PAZMINO MIRANDA

Ing. Nelly del Pilar Pazmiño Miranda Mg.
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
MARCIA EDUVIJES
BUENANO SANCHEZ

Quim. Marcia Eduvijos Buenaño Sánchez Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “Fitorremediación con algas (*Scenedesmus*, *sp.*) De contaminantes de las aguas residuales de la empresa Curtiduría Tungurahua”, le corresponde exclusivamente a: Ing. Yesenia Elizabeth Cunalata Ponluisa Autora bajo la Dirección de Quim. Lander Vinicio Pérez Aldas Mg., director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Yesenia Elizabeth Cunalata Ponluisa

c.c.: 180375294-6

AUTORA



Quim. Lander Vinicio Pérez Aldas, Mg.

c.c.: 1802706596

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Firmado electrónicamente por:
**YESENIA ELIZABETH
CUNALATA PONLUISA**

Ing. Yesenia Elizabeth Cunalata Ponluisa

c.c.: 18037542946

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Portada.....	i
A la Unidad Académica de Titulación.....	ii
CAPÍTULO I.....	13
1.1. Introducción.....	13
1.2. Justificación.....	14
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. General.....	16
1.3.2. Específicos	16
CAPÍTULO II	17
MARCO TEÓRICO.....	17
a) ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	17
b) FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA	18
Agua	18
Calidad de agua.....	19
Proceso de Curtido	19
Aguas residuales (AR):	22
Aguas Residuales en Curtiembres:.....	23
Tratamiento de aguas residuales (TAR).....	23
Características físicas y químicas del agua residual.	24
Contaminantes en el tratamiento de agua residual industrial.....	24
Tratamiento primario	25
Tratamiento secundario.....	26
Fitorremediación	27
Microalgas.....	27
Géneros y especies de microalgas en la industria de las curtiembres	27
Crecimiento Algal	28
Parámetros físicos para el crecimiento de las microalgas.	29
CAPÍTULO III	32
MARCO METODOLÓGICO.....	32
3.1. Tipo de investigación	32

3.2. Población o muestra:	33
3.3. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender	33
3.4. Recolección de información:.....	34
3.5. Técnicas:	36
CAPÍTULO IV	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
CAPÍTULO V	54
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS.	54
5.1. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones.....	54
ANEXOS.....	58
CAPÍTULO VI.....	67
6.1 Título	67
6.2. Descripción	67
6.3 Desarrollo de la propuesta.....	68
6.3.1. Caracterización del agua residual de la curtiembre.....	68
6.3.2. Cultivo de la microalga (Scenedesmus, sp.) en el agua residual	68
6.3.3. Determinación de la concentración de la microalga.	69
6.3.4. % Remoción de contaminantes	69
6.3.5. Recursos económicos.....	69
6.3.6. Cronograma de actividades	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades físicas y químicas del agua residual.	24
Tabla 2 Parámetros a controlar en la remoción de contaminantes	29
Tabla 3 Determinación de sólidos totales disueltos	36
Tabla 4 Determinación de cromo hexavalente por el método colorimétrico	37
Tabla 5 Determinación de DBO.....	37
Tabla 6 Determinación de DQO.....	39
Tabla 7 Características fisicoquímicas del agua residual de Curtiduría Tungurahua utilizada para la presente investigación.....	43
Tabla 8 Parámetros iniciales del agua caracterizada para cada reactor.....	45
Tabla 9 Concentración al inicial y final de los contaminantes, y porcentajes de remoción obtenidos con el proceso de fitorremediación con el 10% de masa microalga <i>Scenedesmus</i> , sp.....	47
Tabla 10 Concentración al inicial y final de los contaminantes, y porcentajes de remoción obtenidos con el proceso de fitorremediación con el 20% de masa microalga <i>Scenedesmus</i> , sp.....	49
Tabla 11 Concentración al inicial y final de los contaminantes, y porcentajes de remoción obtenidos con el proceso de fitorremediación con el 30% de masa microalga <i>Scenedesmus</i> , sp.....	50
Tabla 12 Concentraciones de los contaminantes, y porcentajes de remoción obtenidos con el proceso de fitorremediación con los diferentes % de masa microalga <i>Scenedesmus</i> , sp.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Flujograma de curtiembre.....	20
Figura 2 Entre las etapas del proceso de curtido tenemos las siguientes.	21
Figura 3 a) Tanque donde se unifican las 3 líneas de AR b) Tanque neutralizador c) Área de dosificación de PAC (coagulante y floculante) d) Sedimentador.	26
Figura 4 Esquema del Fotobiorreactor empleados en los cultivos.....	35
Figura 5 PAC y polímero aniónico que se utiliza para realizar el proceso de floculación.....	42
Figura 6 Agua residual tratada.	44
Figura 7 Crecimiento algal de los 3 reactores con el tiempo y su concentración en mg/ml.	46
Figura 8 % Remoción para el Reactor 1 (T1)	48
Figura 9 % Remoción para el Reactor 2 (T2)	50
Figura 10 % Remoción para el Reactor 3 (T3)	51
Figura 11 % de Remoción de los 3 Rectores (T1, T2, T3)	52

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la sabiduría, inteligencia y entendimiento para cumplir cada meta que me he propuesto.

A mi familia, en especial a mis hijos Carlos y Camila, quienes han sido mi mayor apoyo en cada momento. También a mi esposo quiero agradecerle por ser mi compañero y motivación.

A mi director de trabajo de titulación Quim. Lander Pérez por su ayuda incondicional.

A las Instituciones quienes me permitieron utilizar sus laboratorios y desarrollar el conocimiento necesario para la ejecución de este trabajo de investigación

DEDICATORIA

Con todo mi corazón este proyecto se lo dedico primero a Dios y todos quienes estuvieron presentes en el trayecto y aportaron con un granito de arena, un abrazo, un consejo o una palabra de motivación.

Este logro se lo dedico a ellos, Carlos y Camila, quienes son mi orgullo y fortaleza.

RESUMEN EJECUTIVO

En la presente investigación se realizó el proceso de fitorremediación con microalgas *Scenedesmus sp.*, al agua residual de la Curtiembre CURTIDURIA TUNGURAHUA, las aguas residuales de curtiembre representan un problema ambiental y de salud pública, esto se debe a las altas concentraciones de cromo, DBO, DQO, sulfatos entre otros. A pesar de un tener un pretratamiento y un tratamiento primario no se logra una remoción alta de contaminantes es por ese motivo que se vio la utilización de microorganismos como las microalgas, debido a que gracias a su habilidad para emplear compuestos inorgánicos y acumular metales y otras sustancias que provocan la contaminación. Desde la microalga *Scenedesmus, sp.*, se pueden obtener nitrógeno, fosforo y cromo, en comparación a otros microorganismos. En los 3 reactores utilizados con 10%, 20% y 30% en volumen de la microalga, en los 3 rectores se observaron el crecimiento de la microalga y la eficacia de los microorganismos se logró en el reactor 3 T3 con DBO 71,78% DQO 90,80% y sulfatos 58,07% en un tiempo de 29 días. Finalmente, el método de fitorremediación presenta una alta eficacia con relación a otros tratamientos y las descargas cumplen con la normativa ambiental vigente.

DESCRIPTORES: CURTIEMBRE, DBO, DQO, FITORREMEDIACIÓN, SULFATOS.

ABSTRACT

In the present investigation, the phytoremediation process was carried out with the microalga *Scenedesmus* sp., to the wastewater of the TUNGURAHUA Tannery, the wastewater from the tannery represents an environmental and public health problem, this is due to the high concentrations of chromium, DBO, DQO, sulfates among others. Despite having a pretreatment and a primary treatment, a high removal of contaminants is not achieved, which is why the use of microorganisms such as microalgae was seen, due to their ability to use inorganic compounds and accumulate metals and other substances that cause pollution. Nitrogen, phosphorus and chromium can be obtained from the microalgae *Scenedesmus*, sp., compared to other microorganisms. In the 3 reactors used with 10%, 20% and 30% by volume of microalgae, the growth of microalgae was observed in the 3 reactors and the efficiency of the microorganisms was achieved in reactor 3 T3 with DBO 71.78%. DQO 90.80% and sulfates 58.07% in a period of 29 days. Finally, the phytoremediation method is highly effective in relation to other treatments and the discharges comply with current environmental regulations.

KEYWORDS: TANNERY, BOD, COD, PHYTOREMEDIATION, SULFATES.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.Introducción

La empresa Curtiduría Tungurahua es aquella cuyo fin es el de convertir las pieles de ganado vacuno en un material resistente y que no se degrade con el tiempo es conocido como cuero. Para esto se realiza un proceso de 3 etapas principales en las que se utilizan 3 líneas: pelambre, curtido y teñido. Cada una de las líneas es expuesta a lavados y baños preparados con productos químicos; su agua residual es depositada en unos tanques de pretratamiento para luego ser unificadas y llevar a un tratamiento primario.

Curtiduría Tungurahua a pesar de utilizar técnicas de producción más limpias, productos químicos amigables con el ambiente, tener el pretratamiento para recuperar el pelo, sólidos suspendidos, un tratamiento primario con coagulación y floculación, presenta efluentes que exceden los límites máximos permisibles de descarga a la alcantarilla establecidos en el TULSMA Tabla 10.

Existen diversos tratamientos que se han propuesto para reducir los contaminantes de estas aguas, en los tratamientos físico químicos está el desbaste, coagulación y floculación, entre otros. Por eso es que los tratamientos biológicos están ganando terreno, tienen varias ventajas una de ellas el bajo costo de implementación, fácil de operar. Otra propuesta es los procesos biotecnológicos, en este tratamiento se utiliza bacterias, hongos y microalgas con el fin de oxidar aeróbicamente o anaeróbicamente la materia orgánica del agua contaminada, una gran ventaja aparte de bajar los contaminantes del agua es la generación de biomasa que son utilizados para diversos procesos uno de ellos puede ser la producción de biodiesel. (Rosales et al., 2018)

Debido a esta problemática se aplica un método de fitorremediación con microalgas (*Scenedesmus, sp.*) como tratamiento secundario con el fin de reducir los parámetros contaminantes de los efluentes. Las microalgas se han empleado en la fitorremediación debido a que son organismos capaces de realizar el proceso de fotosíntesis capturando el carbono de la atmósfera y son 10 veces más eficientes que la biomasa terrestre. (Usui & Ikenouchi, 1997)

Entre las ventajas de utilizar las microalgas está su bajo costo de implementación, al momento de aplicarse no producen toxinas y el aumento de oxígeno disuelto al ambiente.

1.2. Justificación

En el Ecuador el autor (Ilbay, 2021) expone en su tesis con el tema “*ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA DEL CURTIDO DE PIELES*” expone que existe una gran variedad de empresas dedicadas a la actividad económica de la curtiembre, de las cuales solo el 60% cuenta con el permiso ambiental las cuales provocan una contaminación al medio ambiente, puesto que, no todas las industrias cuentan con un adecuado tratamiento de los desechos generados, radica la importancia de establecer un análisis del sistema de tratamiento de aguas residuales, las alternativas de tratamiento contribuirán el control y la prevención de la contaminación del medio ambiente.

Según Greenpeace (Greenpeace, 2012), para obtener una tonelada de cuero terminado se estima que son necesarios aproximadamente 500 kg de agentes químicos para su transformación, de los cuales el 85% de dichos productos se convierten en desechos residuales del proceso, que al final son elementos tóxicos para cualquier ser vivo. Sin olvidar como desecho también a los restos de animales como piel cruda, grasa y pelo, que se descarta que, al combinarse para su eliminación, produce un considerable volumen de residuos líquidos y sólidos que son vertidos a los afluentes hídricos de las regiones, determinando así el alto nivel

de contaminación de la industria curtiembre. Al ser esto expuesto en los ríos, se provoca una contaminación en la fauna, eliminando a los seres como peces, larvas naturales del agua y flora como plantas acuáticas. (Silva, 2022, #)

Una vez realizado el proceso de pelambre se obtiene en las aguas residuales presencia de pelo grasa, carnaza y restos de sulfuro del mismo proceso, estas aguas son enviadas a un tratamiento de recuperación del sulfato y posteriormente son descargadas a la planta de tratamiento de aguas residuales.

En el proceso de curtido se obtiene en las aguas residuales, el agente químico con mayor presencia que es el cromo (Cr) en su trivalente (Cr^3), que es menos tóxica, pero dicho elemento si es descargado directamente a la alcantarilla se oxida convirtiéndose en Cromo hexavalente (Cr^6) altamente tóxico, estas aguas se realiza un proceso de recuperación de cromo donde posteriormente se descarga a la planta de tratamiento de aguas residuales, por esta razón es de vital importancia realizar un tratamiento de aguas residuales evitando así afecciones graves a la salud y todos los seres vivos.

A pesar de realizar un tratamiento primario a las aguas residuales industriales los valores no están dentro de los parámetros establecidos en la Norma de Calidad Ambiental y de descargas de efluentes: recurso agua, es por eso que nace la propuesta de tratar esta agua con un proceso fitorremediación con microalgas en específico la *Scenedesmus*, sp. Sabemos que llevar un tratamiento de fitorremediación es muy favorable para el ambiente y también el bajo costo que implica su aplicación, con ello se logra una buena optimización del tratamiento de aguas residuales de la curtiembre.

1.3.Objetivos

1.3.1. General

- Aplicar el método de Fitorremediación con microalgas (*Scenedesmus*, sp.) para la degradación de contaminantes de las aguas residuales de la empresa “Curtiduría Tungurahua”.

1.3.2. Específicos

- Caracterizar mediante el análisis físico, químico y microbiológico las aguas residuales producto del proceso de tratamiento primario en la empresa “Curtiduría Tungurahua”
- Analizar la capacidad enzimática de las microalgas (*Scenedesmus*, sp.) en el proceso de degradación de los contaminantes de agua residual industrial.
- Evaluar la eficiencia de remoción por fitorremediación de diferentes contaminantes presentes en las aguas residuales de la empresa “Curtiduría Tungurahua”.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

a) ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La gran mayoría de curtiembres en Ecuador son una de las industrias más contaminantes. En la provincia de Tungurahua, las curtiembres son una actividad económica muy importante. El 75% de las curtiembres del Ecuador se encuentran en esta provincia. CURTIDURÍA TUNGURAHUA tiene 3 líneas que son la línea de pelambre, curtido y teñido, durante los procesos de pelambre y curtido se utiliza grandes volúmenes de azufre y cromo, por lo cual genera unos efluentes industriales rico en estos elementos, que hace 2 años eran vertidos directamente a la alcantarilla sin ningún tratamiento previo. Estas aguas residuales presentan valores altos de DQO, DBO₅, cromo, sulfuros, tenso activo además de nitrógeno y fósforo. (Silva & Salinas, 2022)

En estudios previos según los autores (Juárez, Mendoza Zuta, Armas Juárez, & Cruz Salinas, 2022) se ha detectado que una de las etapas del proceso de transformación de la piel al cuero, que mayor impacto tiene sobre el recurso hídrico es la de pelambre y curtido por este motivo hemos elegido este tipo de efluentes para tratarlo con un proceso fitorremediación, ya que la descarga de estos efluentes representa la mayor cantidad de carga orgánica e inorgánica con presencia de sulfuro, cromo, etc.

(López-García, 2022), expone en su artículo científico titulado “*Tratamiento de aguas residuales urbanas secundarias con una microalga marina tolerancia al amonio bajo mediante adsorción a base de zeolita*” donde se estudiaron la microalga *dinoflagelada Amphidinium* como tratamiento secundario en aguas residuales urbanas con bajo contenido de amonio, cabe destacar que en los

últimos años se utilizan microalgas en el campo de tratamiento de aguas residuales debido a su efectividad y su bajo costo.

El autor (Ballén-Segura, 2016) expone en su artículo científico “*Uso de Scenedesmus sp. para la Fitorremediación de Aguas Residuales de Curtiembres*” en este estudio evalúa el crecimiento de las microalgas *Scenedesmus sp.* en tres diluciones diferentes de aguas residuales (20%, 50% y 100%) en una curtiduría en Bogotá, Colombia, por un período de 15 días. Se evaluó la remoción de cromo hexavalente, nutrientes (nitritos, nitratos, fosfatos y sulfatos) y Dilución Bioquímica de Oxígeno (DBO). Los resultados indican un crecimiento de *Scenedesmus sp* proporcional a la dilución del efluente, con mayor biomasa en aguas residuales sin diluir. Esta biomasa logró la remoción de Cr+6 (>98%), nitratos (>90%) y fosfatos (>99%) y DBO (>88%) lo que se puede atribuir a un efecto compartido microalgas-bacterias.

(Hernández, 2015) en su artículo titulado “*Uso de lagunas algales de alta tasa para tratamiento de aguas residuales*” para la descontaminación de aguas residuales industriales se han propuesto muchos sistemas entre el uso de las algas tiene un futuro muy prometedor debido a su efectiva remoción de contaminantes, y no solo la eliminación de contaminantes sino la utilización de esta biomasa como biocombustible.

b) FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

Agua

El agua dulce, necesaria para conservar la vida en el planeta se ha convertido en un recurso escaso además de que es un recurso no renovable. Por este motivo las

aguas residuales están siendo utilizadas como regadío en las zonas más pobres y subdesarrolladas del planeta. (Candela, 2015)

La irregular distribución del agua, su mala calidad ocasionada por la contaminación sea esta industrial o doméstica y la progresiva demanda de los distintos recursos hídricos. el agua es uno de los recursos esenciales en el funcionamiento de industrias, más en el estudio de curtiembres ya que el proceso de producción requiere abundante agua, el proceso de pelambre donde se retira el pelo las grasas y todas las impurezas que se encuentran en la piel del ganado vacuno, a fin de que el cuero tenga la calidad, textura y color requerida. (Ilbay, 2021)

Calidad de agua

Definimos calidad de agua a la descripción de las características químicas, físicas y microbiológicas del agua dependiendo del uso que se le va a dar, puede ser uso agrícola, como jardinería o para descargar en la alcantarilla.

Proceso de Curtido

En el proceso de curtido de cuero se emplean fundamentalmente dos métodos: uno en base de sales de cromo y otro a base de agentes vegetales. El 80 % de las industrias dedicadas a la actividad del curtido de pieles utiliza el proceso basado en las sales de cromo.

Figura 1 *Flujograma de curtiembre.*

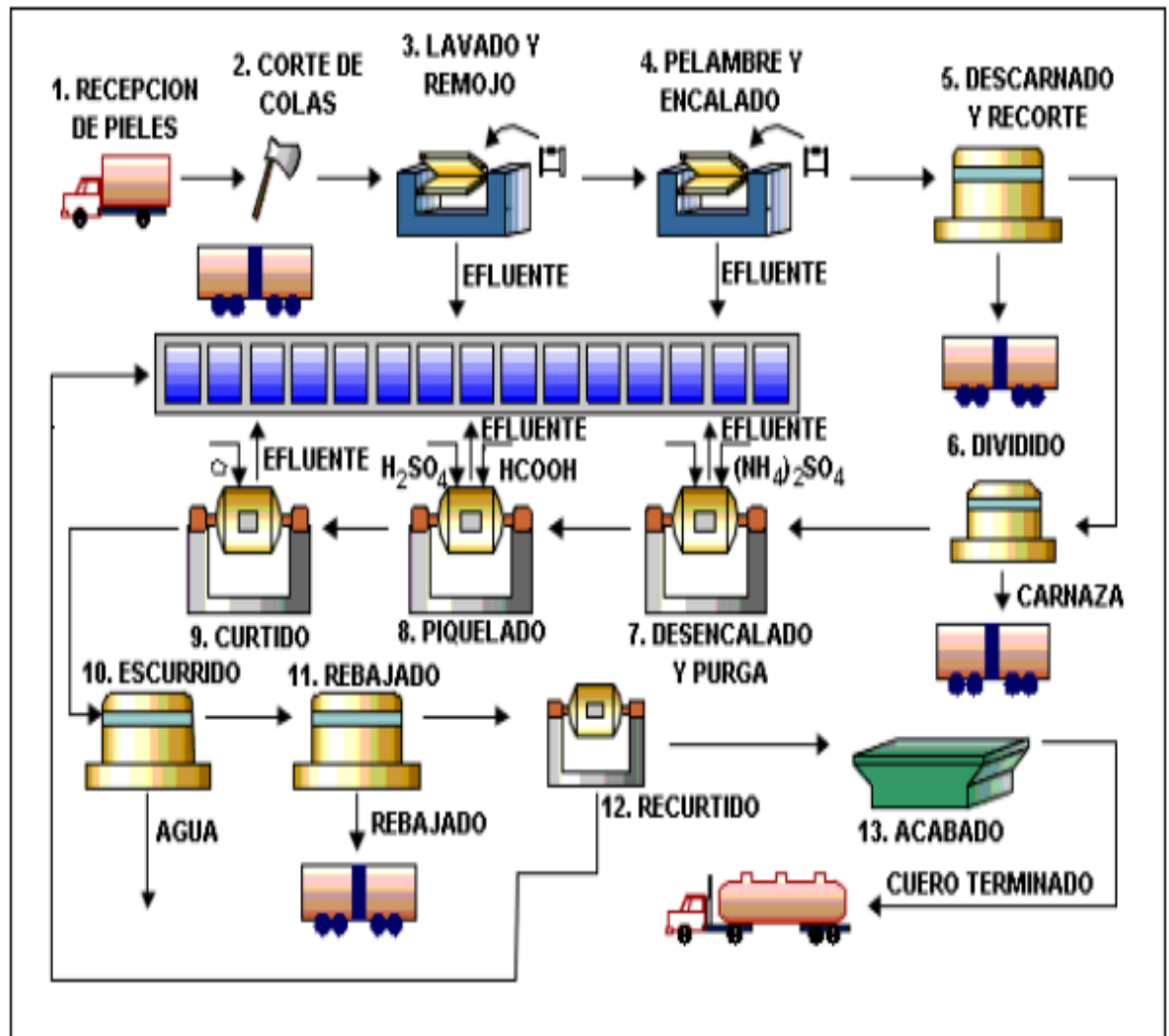
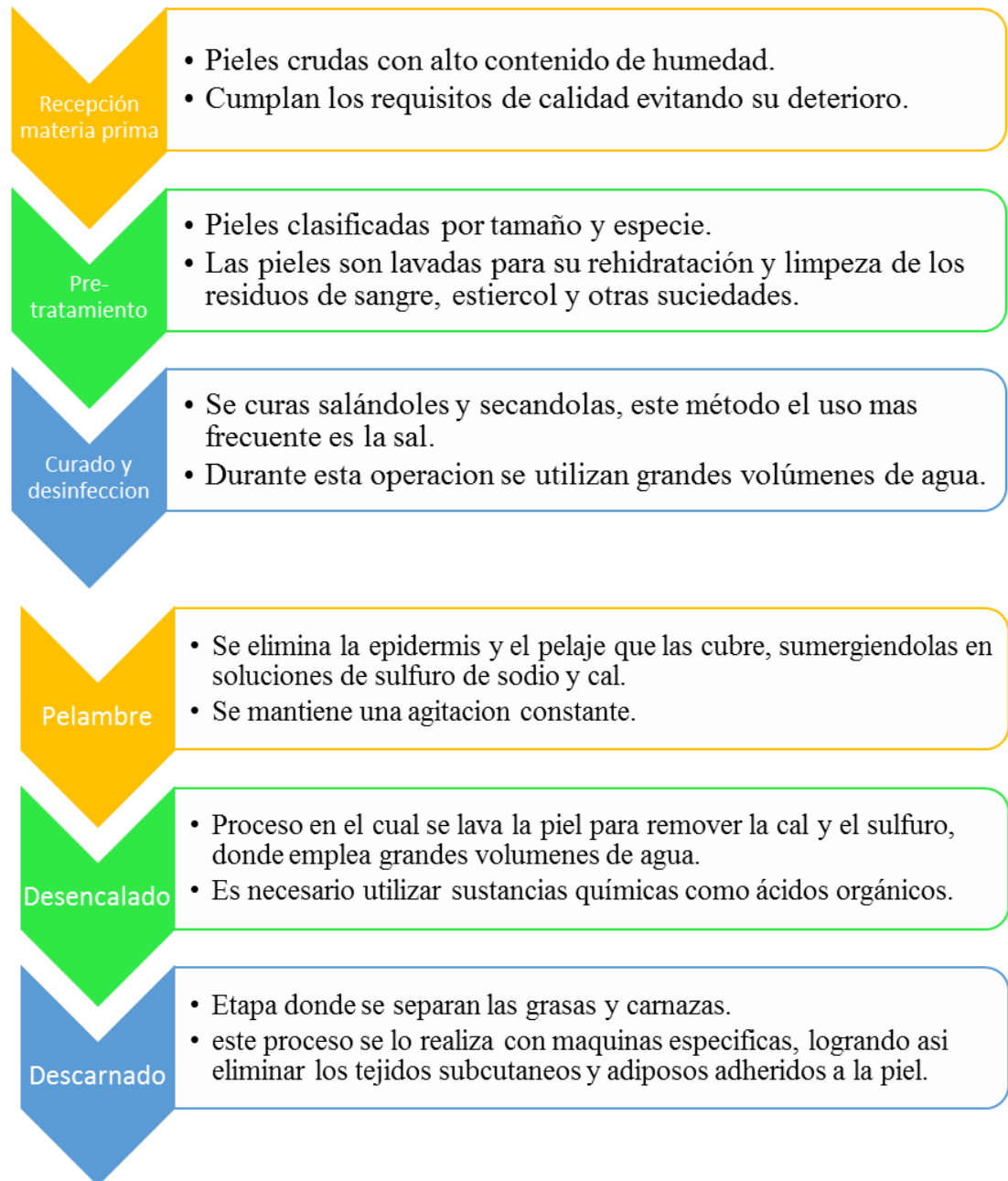


Figura 2 Entre las etapas del proceso de curtido tenemos las siguientes.





Fuente: Yesenia C,2023.

Aguas residuales (AR):

Las aguas residuales son aquellas aguas que ha sufrido una alteración en sus características físicas, químicas o biológicas por la introducción de contaminantes

como residuos sólidos, químicos, domésticos, industriales, agrícolas, etc., afectando directamente los ecosistemas acuáticos y su entorno.

AR son cuatro fuentes fundamentales de aguas residuales las cuales son:

- 1- Aguas domésticas o urbanas.
2. Aguas residuales industriales.
3. Escorrentías de usos agrícolas.
4. Pluviales.

Aguas Residuales en Curtiembres:

La contaminación de efluentes por la actividad de curtiembre crece de manera exponencial siendo el Río Ambato y Pachanlica principales fuentes hídricas de la Región presentando un alto contenido de cromo, plomo, hierro, grasas, plaguicidas, bacterias entre otros procedentes de las curtiembres, incrementando el riesgo al área del Agro, los animales de la Zona y salud de la población. (Silva, 2022)

Tratamiento de aguas residuales (TAR)

En su forma más simple, una planta de tratamiento de aguas residuales evacúa sólidos, reduce la materia orgánica y los contaminantes y restaura la presencia de oxígeno. Los sólidos incluyen todo, desde trapos y maderas, a arena y partículas pequeñas que se encuentran en las aguas residuales. La reducción de la materia orgánica y de los contaminantes es llevada a cabo usando bacterias útiles y otros microorganismos que se usan para consumir la materia orgánica en el agua residual. Las bacterias y los microorganismos son luego separados del agua. La restauración del oxígeno es importante ya que el agua debe tener suficiente oxígeno para sostener la vida. (BELZONA, 2010)

Características físicas y químicas del agua residual.

En la **Tabla 1** describiremos brevemente las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, los contaminantes de importancia de cada tratamiento residual.

Tabla 1 *Propiedades físicas y químicas del agua residual.*

PROPIEDADES	CARACTERÍSTICAS
Físicas	Color
	Olor
	Sólidos disueltos totales
	Temperatura
Químicas	Grasas animales
	Sulfatos
	Cromo 3+
	Cromo 6+
	pH
	DBO
	DQO

Contaminantes en el tratamiento de agua residual industrial.

- **Sólidos en suspensión:** Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y condiciones anaerobias cuando se vierten agua residual sin tratar al entorno acuático.
- **Materia orgánica biodegradable:** Compuesto principalmente de proteínas, carbohidratos, grasas de animales, materia orgánica biodegradable, tenemos 2 que son DQO (demanda química de oxígeno) y DBO (demanda bioquímica de

oxígeno). Si descargamos al entorno directamente lleva al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y desarrollo de condiciones sépticas.

- **Metales pesados:** Los metales pesados son frecuentemente añadidos al agua residual industrial, sean estas empresas textiles, curtiembres, entre otras, que contaminan con metales que son difíciles de ser removidos con 1 solo tratamiento y peor aún si los vertemos directamente al ambiente estamos matando tanto al suelo como a nosotros mismo.

Tratamiento primario

En su forma más simple, una planta de tratamiento de aguas residuales evacua sólidos, reduce la materia orgánica y los contaminantes y restaura la presencia de oxígeno. Los sólidos incluyen todo, desde pelo, grasas, arena y partículas pequeñas que se encuentran en las aguas residuales.

El tratamiento primario toma del desagüe crudo o de ingreso y retira entre un 40% y 60% de sólidos arrastrados. La serie de pasos que componen en tratamiento primario es llamada a veces clarificación.



Figura 3 *a) Tanque donde se unifican las 3 líneas de AR b) Tanque neutralizador c) Área de dosificación de PAC (coagulante y floculante) d) Sedimentador.*

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario tiene como propósito completar el proceso para eliminar los contaminantes, de tal modo que se evacue el 90% de los contaminantes que no se logró en la sedimentación primaria, generalmente dentro de este tipo de contaminantes se encuentran parte coloides y necesariamente toda aquella disuelta.

El más común es el tratamiento biológico que consiste en utilizar microorganismos y bacterias para degradar estos contaminantes o materia orgánica, la desventaja de este tratamiento son sus lodos, al no ser bien

gestionados ocasionan un mal olor y molestia para aquellas empresas que se trabaja con este tipo de tratamiento.

Otro tratamiento menos estudiado es la biorremediación donde se utilizan microbios, algas o enzimas para limpiar el agua y el suelo. (BELZONA, 2010, #)

Fitorremediación

Según (Mendoza et al., 2016, #) es una alternativa de tratamiento económico para aguas residuales en cuanto a operación y mantenimiento, ya que no requiere de energía, es amigable con el ambiente y eficiente para reducir la carga de contaminantes de aguas residuales a niveles bajos usando vegetales, ya sean plantas vasculares y no vasculares como las microalgas. (Bendezú et al., 2021)

Microalgas

Son organismos fotosintéticos no vasculares que contienen clorofila como su pigmento fotosintético primario y poseen una estructura reproductora simple, algunas microalgas además de contener clorofila contienen pigmentos carotenoides. (Dawes, 1976)

Géneros y especies de microalgas en la industria de las curtiembres

El autor (Jácome et al., 2021) expone en su artículo científico “*Microalgas en el tratamiento de aguas residuales generadas en industrias de curtiembres*” el objetivo de este estudio sobre la utilización de microalgas para tratar aguas residuales procedentes de curtiembres, las especies legales predominantes dentro de este sistema abierto van a depender de factores ambientales. Las especies más utilizadas en estos procesos de biorremediación son las: *Scenedesmus sp*, *Espirulina sp*, *Chlorellan sp* y *Pseudochorella sp*, importantes por su alta

eficiencia en la remoción de cromo y materia orgánica como fuente de alimento. Estas microalgas actúan reteniendo componentes químicos adicionales como sulfatos, cloruros, lo que contribuye a altos niveles de sólidos disueltos totales (TDS), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Crecimiento Algal

Existen de 3 a 5 fases generalmente reconocidas del crecimiento de la población de microalgas la cual depende del estado nutricional de las células. La duración de cada fase puede acortarse, alargarse o apenas crecer dependiendo de diversos factores como: nutrientes, luz, temperatura, estado del agua, entre otros. (Paniagua, 1991)

Fase inducción o retraso de crecimiento: Es la fase donde las células en el cultivo apenas empiezan a absorber los nutrientes presentes en el medio, no se registra un incremento aparente de células.

Fase exponencial: En esta fase la reproducción celular es extremadamente rápida y constante, de tal manera que el crecimiento de la población celular es exponencial. Si se controla la dilución del cultivo esta etapa puede controlarse por semanas. en esta etapa se recomienda cosechar las células durante la fase exponencial si van usar células como inóculos para otros cultivos.

Fase de declinación relativa del crecimiento: El crecimiento de la población celular continua en esta fase, pero en una proporción menor, disminuyendo la tasa de crecimiento, esto se puede deber a factores tales como: alteración del pH medio, agotamiento de los nutrientes, reducción de la intensidad de la luz y auto inhibición debido a la producción de metabolitos, entre otros.

Fase estacionaria: Durante el periodo de esta fase no hay un aumento de la población celular, ya que el número permanece relativamente constante.

Fase de muerte: La disminución progresiva de las células es evidente en esta etapa, propiciando el fin del cultivo. (Abalde et al., 2020) (Paniagua, 1991)

Parámetros físicos para el crecimiento de las microalgas.

Los parámetros más importantes que regulan el crecimiento de las microalgas son la cantidad y la calidad de nutrientes, CO₂, agitación, temperatura, luz, pH.

A continuación, en la **Tabla 2** detallaremos los parámetros más importantes y que función tiene cada uno de ellos.

Tabla 2 *Parámetros a controlar en la remoción de contaminantes*

Parámetros	Descripción
Temperatura	La temperatura para los cultivos de las microalgas va de 20 °C a 24 °C, aunque esto puede variar dependiendo del medio de cultivo y la especie. La <i>Scenedesmus</i> puede soportar temperaturas de 17 a 27 C.
pH	Según (Morales et al., 2019) El rango de pH es de 6 a 9 con un rango óptimo de 8 a 9. Con esto se concluye que el alga no crece en un medio ácido.
Luz	Este factor es relevante para el cultivo de microalgas debido a que permite el proceso de fotosíntesis y oxidación de elementos químicos. Es de vital importancia la luz y existe un rango óptimo para el adecuado crecimiento de la biomasa. (Acien et al., 2017)

Nutrientes	(Hernández & Labbé, 2014) considera que las microalgas utilizadas para los procesos de biorremediación cuentan con un alto rendimiento en la absorción de nutrientes a diferentes condiciones ambientales. Los macronutrientes esenciales son carbono nitrógeno y fósforo, siendo el Carbono el de mayor importancia ya que a través de la fotosíntesis es transformado en carbohidratos requeridos para el crecimiento de la biomasa. (Jean, 2020)
DBO	La demanda bioquímica de oxígeno, más conocida como DBO, es una medida que se utiliza para conocer la fuerza contaminante de las aguas residuales. Se la define como la cantidad de oxígeno que se requiere a las bacterias para estabilizar la materia orgánica biodegradable. La DBO está relacionada con el material carbonoso orgánico y relacionado con el material nitrogenado, usualmente llamado amoníaco.
DQO	Según (Castillo et al., 2020) estima que la demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar completamente la materia orgánica en una muestra de CO₂ y agua.
Agitación	Este parámetro es uno de los más importantes, ya que confiere la homogeneidad requerida en el reactor evitando así su sedimentación y aumentando su crecimiento. La agitación puede ser manual o eléctrica dependiendo del volumen.

	(Jean, 2020)
Sulfuros	El sulfuro presente en el agua residual de curtiembre proviene del proceso de pelambre.
Fuente: Yesenia, 2024	

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

En la presente investigación utilizamos los siguientes niveles: Experimental, Cuantitativa y Explicativa.

Experimental: El presente trabajo de investigación tiene un enfoque experimental porque se diseña y se construye a escala de laboratorio 3 reactores para determinar la eficiencia de degradación de los contaminantes físicos, químicos y microbiológicos por fitorremediación con microalgas (*Scenedesmus, sp.*).

Realizaremos una simulación en reactores abiertos de 6 litros de agua residual resultante del tratamiento primario con la microalga a masas de 10 mg/L 30 mg/L y 50 ml/L durante 25 días.

Para la determinación de la actividad enzimática se realizó un seguimiento diario del crecimiento de la microalga por un periodo total de 45 días. Se realizaron mediciones ópticas con una longitud de onda de 660 nm en un espectrofotómetro UV/visible.

Los datos fueron transformados a biomasa en peso seco utilizando la relación $Y = 0.192999X + 0.09812$.

Cuantitativa: Pues se determina la concentración mediante el análisis físico, químico y microbiológico los contaminantes generados en las aguas residuales producto del proceso de tratamiento primario en la empresa “Curtiduría Tungurahua y el grado de degradación por la fitorremediación con microalgas (*Scenedesmus, sp.*).

Los parámetros físico químicos y microbiológicos a analizar en la caracterización del agua residual son los siguientes:

- DBO5
- DQO
- Sólidos totales disueltos
- Cromo hexavalente
- Cromo total
- Sulfatos
- Aceites y grasas

Explicativa: Con los resultados de las pruebas de los reactores logramos calcular la capacidad de remoción que tiene la microalga (*Scenedesmus, sp.*) en las aguas residuales de curtiembre, estas al ser altamente contaminantes y al contener un alto contenido de DBO y DQO, materia orgánica, siendo estos parámetros el alimento del alga.

Con estos parámetros obtuvimos la capacidad de remoción y qué cantidad de masa es el adecuado para la efectiva remoción de los contaminantes.

3.2. Población o muestra:

La población considerada para la presente investigación es la Empresa “CURTIDURÍA TUNGURAHUA” de donde obtuvimos las muestras de agua residual tratada después de un Tratamiento primario realizado en la misma empresa.

3.3. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

Hipótesis:

La remoción de contaminantes mediante el uso de un proceso de fitorremediación de aguas residuales producto del proceso de tratamiento primario en la empresa “Curtiduría Tungurahua” es mejorada con el proceso aplicado.

Pregunta científica:

¿Qué se pretende lograr al momento de utilizar las microalgas en la remoción y reducción de contaminantes en el agua residual?

Idea a defender

Al momento de utilizar las microalgas para la remoción y reducción de contaminantes, facilita el proceso de remoción de los contaminantes de naturaleza inorgánica, materia orgánica del agua de manera más efectiva, además e igual la microalga se la puede utilizar después del proceso de tratamiento del agua como biomasa para generar energía.

Es una de las nuevas tecnologías que son amigables con el medio ambiente.

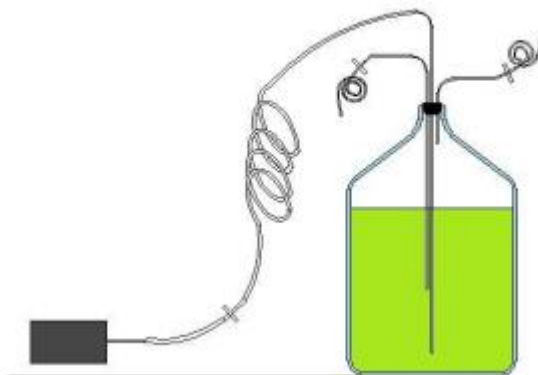
3.4. Recolección de información:

La recolección de información se realizará en los siguientes puntos.

1. Primero procedemos a caracterizar el agua residual mediante ensayos fisicoquímicos realizados a nivel de laboratorio tomando una muestra compuesta del agua residual tratada después del tratamiento primario para su posterior análisis en base a la Norma NTE INEN 2169.
Con un muestreo compuesto cuyo objetivo es estimar la concentración promedio en lugar de la variabilidad o las concentraciones extremas para muestras tomadas, esta mezcla física proporciona un grado de precisión y exactitud más que el promedio matemáticamente calculado del análisis de todas las muestras.

2. Se realiza la simulación con los reactores abiertos, agua residual con microalga (*Scenedesmus, sp.*) 6 litros de agua residual con 10 mg/L 30 mg/L y 50 mg/L. Durante un tiempo determinado de 29 días.

Figura 4 Esquema del Fotobiorreactor empleados en los cultivos.



Fuente: (Barraza, 2011)

3. Se determina la cantidad de biomasa que más rápido remueve los contaminantes con el método colorimétrico realizado en el laboratorio acreditado del LACONAL pasando 1 día durante 29 días, también consideramos los parámetros que influyen en el proceso de fitorremediación que son el: pH, temperatura, nutrientes, luz solar, CO₂ de la atmósfera. y aireación, estos fueron analizados todos los días durante los 29 días.

Para obtener la concentración microalga en cada cultivo utilizamos el método colorimétrico, con el cual se midió la absorbancia de la muestra de los 3 cultivos a una longitud de onda de 660 nm. Y posteriormente los datos obtenidos fueron transformados a biomasa en peso seco utilizando la relación $Y = 0.192999X + 0.09812$.

4. Luego de los 29 días analizamos la muestra de agua residual resultante del proceso de fitorremediación en base a la Norma NTE INEN 2169, con estos datos calculamos el % de remoción de contaminantes.

$$\%Remoción = \frac{Concentración\ inicial - Concentración\ final}{Concentración\ inicial} * 100$$

5. De igual manera se realizó la recolección de información bibliográfica de artículos científicos, tesis y libros de confiabilidad para la realización de este trabajo de investigación.

3.5. Técnicas:

Tabla 3 *Determinación de sólidos totales disueltos*

Equipos y materiales	Reactivos	Desarrollo
● Balanza analítica ● Discos de filtrado de fibra de vidrio ● Aparato de filtrado ● Matraz de succión , de capacidad suficiente para el tamaño de muestra seleccionado ● Placa de evaporación ● Crisoles de porcelana ● Matraces volumétricos de 100-250 o 500ml. ● Horno a 180°C ● Desecador	● Agua residual ● Cloruro de sodio.	1. Filtrar un volumen de muestra suficiente si la misma presenta cierta turbiedad. 2. Transfiera el producto a un matraz de 100 ,250 o 500 ml. Dependiendo su conductividad, a mayor conductividad menor volumen para evaporar. 3. Pesar la cápsula vacía. 4. Agregue la muestra de agua para la evaporación 5. Ir agregando hasta completar volumen del matraz 6. Añádase más muestra a medida que se va evaporando 7. Una vez evaporado totalmente se guarda en el

		desecador para equilibrar la temperatura 8. Al día siguiente el frío destapar y rápidamente pesar. 9. Proceder a pesar cápsula +residuo 10. Realizar el cálculo
--	--	--

Tabla 4 *Determinación de cromo hexavalente por el método colorimétrico*

Equipos y materiales	Reactivos	Desarrollo
• Espectrofotómetro a 540 nm con celdas de vidrio de 5cm de peso óptico. • Vasos de precipitación. • Matraces aforados	• Solución de Difenilcarbazida al 5%. • Solucion de Acido Sulfúrico 1:1 • Solución madre de cromo: utilizar solución trazable. • Solución intermedia de Cromo.	• Para determinar cromo se basa en el metodo colorimetrico del cromo hexavalente con 1.5- difenilcarbazina en medio acido, lo que produce la formación de un compuesto desconocido de color rojo violeta. • Medirlo en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 450 nm y la absorbancia es proporcional a la concentración del cromo en la muestra.

Tabla 5 *Determinación de DBO*

Equipos y materiales	Reactivos	Desarrollo
• Bolsas de solución • Botella de vidrio tapada	• Ampollas Voluette • Solución tampón APHA	1. Preparar el agua para diluir la muestra utilizando una bolsa de solución tampón de

• Botella para lavado • Tijera grande • Tapa de botella DBO • Llenador de pipeta • Pipeta serológica de 1 ml • Pipeta serologica de 5 ml • Pipeta serologica de 10 ml • Probeta de 100ml • Termómetro. • Juego de accesorio DBO para sonda (51970-00) • Botella de 4 l con grifo • Botella de 10 l con grifo	para DBO, pH 7,2, tipo fosfato • Solución de cloruro de calcio APHA para DBO • Solución de cloruro férrico APHA para DBO • Solución de sulfato de magnesio APHA para DBO • Inhibidor de nitrificación . • Solución de yoduro de potasio de 100 g/l • Permanganato de potasio • Pastillas de hidróxido de sodio • Solución patrón de hidróxido de sodio, 1000 N • Solución patrón de tiosulfato, 0,025 N • Solución indicadora de almidón • Solución patrón de ácido sulfúrico, 0,020 N. • Solución patrón de ácido sulfúrico, 1000 N.	nutriente de DBO 2. Determinar el rango de los volúmenes de las muestras requeridos por la muestra; ver Elección del tamaño de la muestra a continuación de este procedimiento. 3. Medir con una pipeta serológica una serie graduada de por lo menos cuatro pero preferentemente cinco o seis porciones de muestra bien mezclada y transferirlas a botellas separadas de DBO de 300 ml y con tapón de vidrio. Agitar la muestra con la pipeta antes de colocar con la pipeta cada porción 4. Agregar dos chorros de inhibidor de nitrificación (aproximadamente 0,16 g) a cada botella, si se desea. 5. Llenar cada botella exactamente hasta el pico con agua de dilución sembrada o sin sembrar. Al agregar el agua, dejar que la misma caiga lentamente por los lados de la botella para evitar la formación de burbujas. 6. Tapar la botella cuidando de no atrapar ninguna burbuja de aire. Apretar el tapón de la botella con el dedo; luego, invertir la botella varias veces para que se mezcle. 7. Agregar al pico de la botella DBO agua de
---	---	--

		dilución suficiente para formar un sello de agua 8. Colocar una tapa de plástico en el pico de cada botella y colocar las botellas en una incubadora a $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Incubar en la oscuridad durante cinco días. 9. Cuando se haya completado el período de incubación, determinar el contenido de oxígeno disuelto (mg/l de OD restante) en cada botella tal como se describe en el Procedimiento del oxígeno disuelto de este manual o potenciométricamente, utilizando una sonda de oxígeno 10. Determinar la DBO utilizando el método gráfico tal como se indica a continuación; para obtener mayor información, ver Cálculo de los resultados: Método gráfico.
--	--	--

Tabla 6 *Determinación de DQO*

Equipos y materiales	Reactivos	Desarrollo
- Mezcladora de 2 velocidades, 120 V - Mezcladora de 2 velocidades, 240 V. - Herramienta para tapas, DQO - Reactor DQO, 120/240 V	- Agua desionizada - Tubos de reactivo para digestión DQO, 0 a 150 mg/l de DQO - Tubos de reactivo para digestión DQO, 0 a 1500 mg/l de DQO .	- Ingresar el número de programa almacenado para demanda química de oxígeno (DQO), bajo rango. - Girar el cuadrante de longitud de onda hasta que la

● Reactor DQO, 120/240 V ● Adaptador para tubos DQO, DR/2010 ● Pipeta TenSette, 0,1 a 1,0 ml. ● Pipeta volumétrica Clase A, 2,00 ml ● Bulbo de seguridad para llenado de pipetas ● Estante para tubos de ensayo	● Solución patrón de DQO, 300 mg/l ● Solución patrón de DQO, 1000 mg/l ● Ftalato de ácido de potasio, solución ácida ● Ácido sulfúrico, solución ácida ● Sulfato de mercurio	pantalla pequeña muestra ● Colocar el adaptador para tubos de DQO en el soporte de celdas con el marcador hacia la derecha. ● Limpiar la parte exterior del blanco con una toalla. ● Colocar el blanco en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador. ● Presionar: ZERO ● Limpiar la parte exterior del tubo de muestra con una toalla. ● Colocar el tubo en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador. ● Presionar: READ
--	--	---

3.6. Procesamiento de la información y análisis estadístico:

Una vez realizado el análisis experimental de las aguas residuales tratadas procedemos a tabular los datos obtenidos para posteriormente compararlos con la Norma TULSMA y para esto vamos utilizar el método estadístico Excel el cual se obtendrá la actividad enzimática de la microalga para comparaciones múltiples.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La empresa Curtiduría Tungurahua tiene actualmente una PTAR y una Planta de recuperación de Cromo, la PTAR consiste en un Pretratamiento y un Tratamiento primario.

Pretratamiento:

- Cribado de pelo proveniente de la línea de pelambre.
- Trampa de grasas proveniente de la línea de pelambre y curtido del cuero.

Tratamiento primario:

Las aguas residuales que se obtiene en la Curtiduría Tungurahua son de 3 líneas:

Primera: Pelambre 110 m³/día

Segundo: Curtido 18 m³/día

Tercero: Teñido 20 m³/día

Se unifica las 3 aguas, la unificación que se lleva a cabo es con el agua de teñido sin tratar, es por ello que se la realiza en el tanque de NEUTRALIZACIÓN de ISA, si bien es cierto que si manejamos estos valores de pH tan altos y tan bajos al mezclarlos generamos gas sulfhídrico, eso obtenemos al mezclar en volúmenes iguales pero en este caso sabemos que del 100% que mezclamos en el día el 80% es agua de pelambre y el 20% se reparten entre agua de curtido y de teñido, por lo tanto el pH no se ve afectado de 12.9 solo bajamos a pH = 9.

Una vez neutralizado el agua con pH de 9 el agua es sometida al proceso de coagulación y floculación con P.A.C. (policloruro de aluminio) y polímero aniónico

Figura 5 PAC y polímero aniónico que se utiliza para realizar el proceso de floculación.



Fuente: Cunalata, Y. (2024)

Posteriormente el agua después de este proceso ingresa al sedimentador. Removiendo cerca del 60% de sólidos suspendidos y casi un 35% de DBO₅ y DQO. El agua que se caracterizo es la que tenemos después de realizar el pretratamiento y tratamiento primario.

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

Como podemos observar en la **Tabla 7** encontramos los resultados detallados respecto a los parámetros del agua después de un pretratamiento y tratamiento primario, en el Informe de resultados N.- **A23-718** donde se observa que los parámetros DBO, DQO y Sulfuros siguen fuera de los límites permisibles admitidos según el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) Libro VI Anexo 1 Tabla 9.

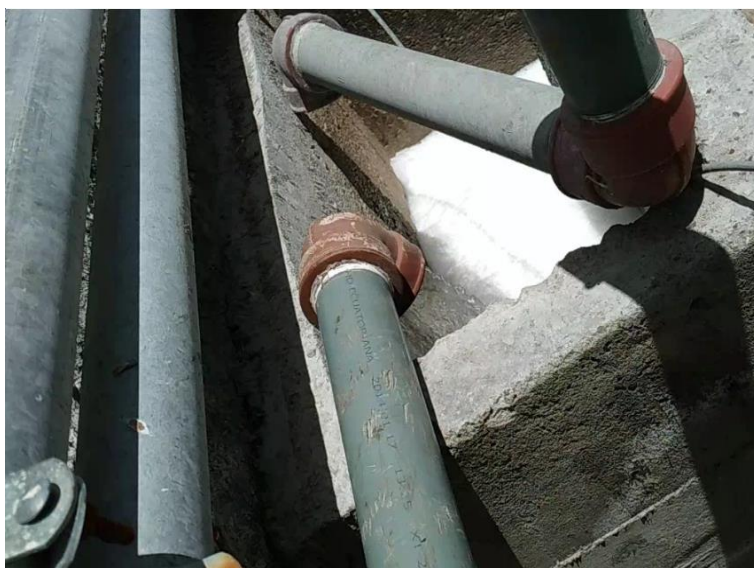
Tabla 7 Características fisicoquímicas del agua residual de Curtiduría Tungurahua utilizada para la presente investigación.

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITE
Aceites y grasas	PE-08 SM 5520 B, Ed. 23 2013	mg/l	52.0	70
Caudal de descarga	Aforo volumétrico	l/s	0.50	No aplica
Color real	PE-26 SM 5530 C E d, 23 2017	Pt-Co	19.82	No aplica
Cromo Total	EPA Method 6010 B Rev.5 July. 2018 (Validado Modificado, 2022)	mg/l	0.851	No aplica
Cromo Hexavalente	PE-07 SM 3500-Cr B Ed. 23 2017	mg/kg	<0.1	0.5
DBO	PE-17 SM 5210 B, Ed. 23, 2017	mg/l	915.2	250
DQO	PE-34 SM 5220 D, Ed. 24, 2023	mg/l	3304.7	500
Sulfatos	PE-15 SM 4500 E, Ed. 23 2017	mg/l	930.9	400
Sulfuros	PE-14 SM 4500-S2- D, Ed. 23, 2017	mg/l	1.08	1.0
pH	PE-01 4500 H+ B, Ed. 23, 2017	u pH	6.55	6-9
Sólidos suspendidos totales	PE-05 SM 2540 D, Ed. 23 2017	mg/l	128.40	220
Tensoactivos	PE-12 SM 5540 C, Ed. 23 2017	mg/l	0.27	2.0

Fuente: Propia (2024).

Donde el DQO, DBO₅ y Sulfuros siguen siendo alto sus valores, esto se debe a que existe mucha carga orgánica que no se puede degradar solo con un pretratamiento y tratamiento primario al igual el sulfuro presente con un fuerte olor que lo caracteriza, lo podemos observar en la **Figura 6**.

Figura 6 Agua residual tratada.



Fuente: Cunalata, Y. (2024)

4.2. ANALIZAR LA CAPACIDAD ENZIMÁTICA DE LAS MICROALGAS (*Scenedesmus*, sp.) EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL.

El crecimiento de la microalga *Scenedesmus*, sp en el agua residual se basó en la medición de la biomasa lo realizamos con el método de densidad óptica o colorimétrico el cual se basó con la ecuación de la recta o regresión lineal simple y se realizó con los datos obtenidos de la absorbancia la concentración de biomasa presente en cada uno de los Tratamientos (reactores)

Las microalgas poseen una capacidad fitorremediadora que consiste en la eliminación de contaminantes, la actividad enzimática de la microalga (*Scenedesmus*, *sp.*) se llevó a cabo con el fin de saber que tan rápido se puede descontaminar el agua y el crecimiento algal. Para esto es necesario tener las condiciones de la reacción.

- pH
- Temperatura
- Concentración de la microalga (*Scenedesmus*, *sp.*)

El pH que se logró en la investigación es 7,1 en el primer reactor, 7,3 en el segundo reactor y en el tercer reactor es de 7,6. La temperatura oscila entre los 22 °C para el adecuado crecimiento de las microalgas, cabe recalcar los nutrientes presentes en el agua a tratar para poder degradar los contaminantes y se encuentran detallados en la **Tabla 8**.

Tabla 8 *Parámetros iniciales del agua caracterizada para cada reactor.*

Reactor	Temperatura	pH	DBO	DQO	Sulfato
Reactor 1	22,6	7,1	434	624	660
Reactor 2	22,8	7,3	307,4	879	534
Reactor 3	22,7	7,6	258,2	303,7	389,9

Fuente: Yesenia, 2024

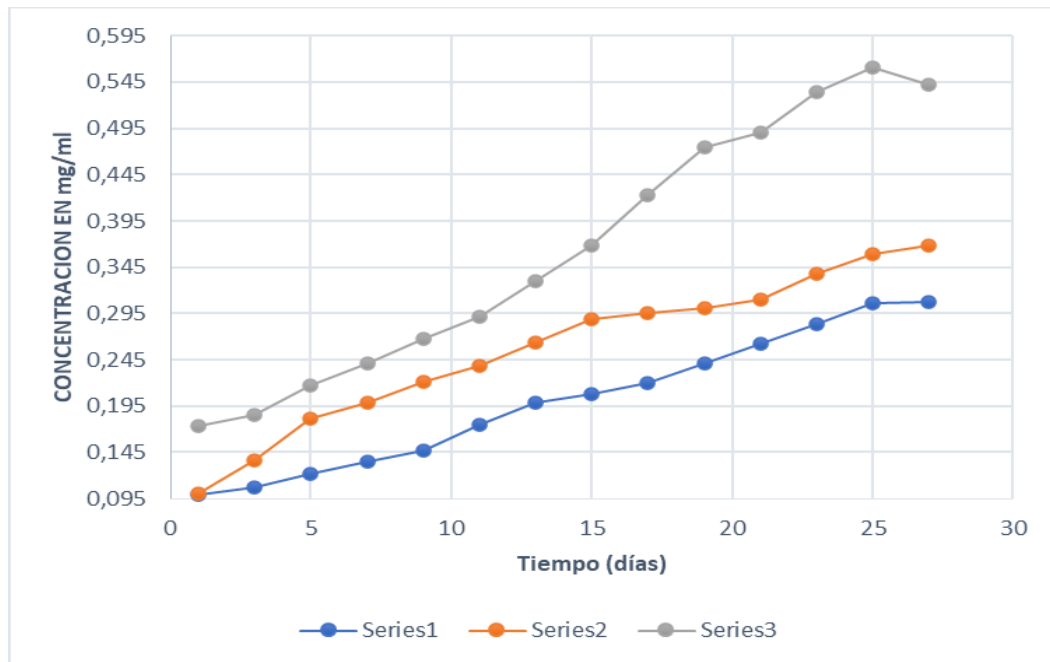
Crecimiento algal:

La microalga *Scenedesmus* *sp.* mostró afinidad y crecimiento después de 3 días, las concentraciones diferentes en cada tratamiento (T1, T2, T3) se puede reflejar en la **Figura 6**, T1 (10ml) y T2 (20ml) la productividad celular no se ve tan acelerada, empieza a crecer de manera lenta, y en el T3 (50ml) la producción celular es más acelerada debido que su concentración de la microalga es mayor.

Los 3 tratamientos tienen los mismos nutrientes y los factores que tiene un poco de diferencia van el pH y esto se debe a que los 3 tratamientos iniciamos con un pH de 6,9 y colocamos las diferentes concentraciones de microalga (*Scenedesmus*, sp.) este efecto se debe a la actividad fotosintética de la alga por la asimilación de CO₂ del agua residual, el CO₂ al estar disuelto en el agua forma moléculas de ácido carbónico (H₂CO₃) que se disocia con gran facilidad en protones (H⁺) y iones de bicarbonato (HCO₃⁻). Entre más básico sea su pH mayor facilidad de crecimiento, en medio ácido es imposible su crecimiento.

Uno de los beneficios para el crecimiento es su bajo contenido de cromo ya que esta agua posee un tratamiento previo que es la de recuperación de cromo y uno de las desventajas es el alto contenido de ácido sulfhídrico, a pesar de tener todos los nutrientes necesarios para su crecimiento rápido, este parámetro hace que se crecimiento sea más lento llegando a los 29 días de descontaminación para entrar en la Norma y dar su cumplimiento.

Figura 7 Crecimiento algal de los 3 reactores con el tiempo y su concentración en mg/ml.



Fuente: Yesenia C., 2024

Según el autor (Choque & Peter , 2023) expone en su tesis “APROVECHAMIENTO DE NUTRIENTES EN AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES, COMO MEDIO DE CRECIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOMASA DE MICROALGAS” a condiciones de laboratorio la microalga en el día 12 ya crecido lo necesario y cosechada. Los resultados revelaron que la biomasa no solo redijo contaminantes sino también metales pesados. Para nuestro trabajo de investigación se logró en 29 días realizar la descontaminación esto se relaciona a la agitación que se debe realizar, en el autor (Choque & Peter , 2023) su agitación es constante durante los 12 días y en nuestra simulación solo se realizó 2 agitaciones manuales de 10 minutos cada día, con esto llegamos que la agitación debe ser permanente para un crecimiento y descontaminación más rápido.

4.3. Remoción de contaminantes

Para realizar la remoción de contaminantes se utilizó 3 diferentes concentraciones de microalga *Scenedesmus*, *sp.* en 3 reactores. La remoción de contaminantes fue más significativa en la concentración de 30 mg/L de microalga (*Scenedesmus*, *sp.*) como se puede observar en la **Tabla 11**. con un 71,78% de DBO, 90,80% de DQO y un 58,07% de Sulfatos.

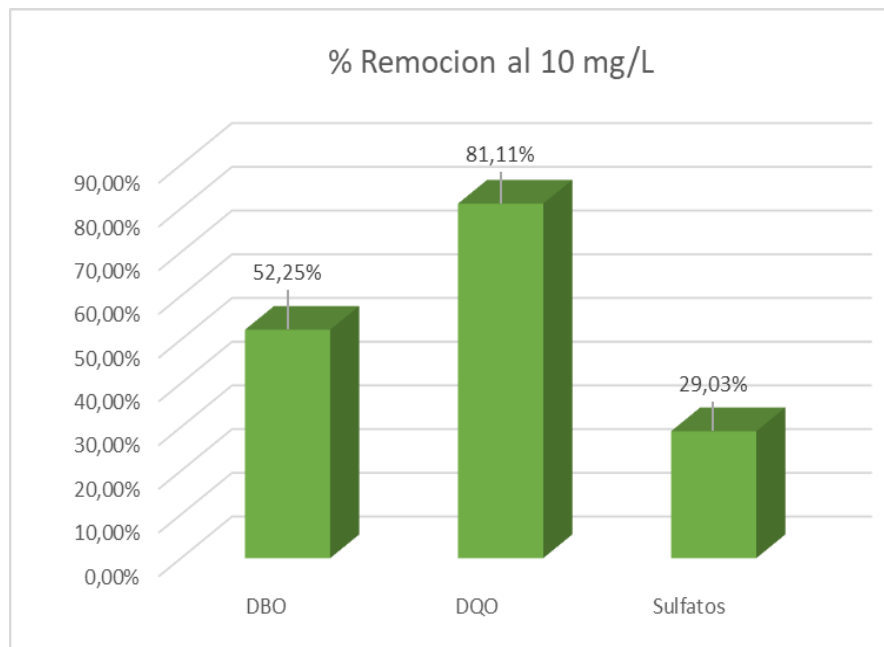
REACTOR 1 (T1)

Tabla 9 Concentración al inicial y final de los contaminantes, y porcentajes de remoción obtenidos con el proceso de fitorremediación con el 10% de masa microalga *Scenedesmus*, *sp.*

Parámetro	Concentración inicial (mg/l)	Concentración final (mg/l)	% Remoción
DBO	915.2	434	52.25
DQO	3304.2	624	81.11
Sulfatos	930	660	29.03

La remoción de los contaminantes con la concentración de la microalga (*Scenedesmus, sp*) al 10 % los detallamos en la **Tabla 9**, la concentración inicial de DBO es de 915,2 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración de 434 mg/L con un 52,25% de remoción, la concentración inicial de DQO es de 3304,2 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración final de 634 mg/L con un 81,11% de remoción, en cuanto a la concentración inicial de los sulfatos es de 930 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración final de 660 mg/L con un 29,03% al comparar los 3 parámetros con la Norma de REVISIÓN DEL ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA **Tabla 9** nos encontramos con los 3 valores aún fuera de la Norma para poder descargarla en la alcantarilla, a pesar de tener buenos porcentajes de remoción.

Figura 8 % Remoción para el Reactor 1 (T1)



Fuente: Yesenia C., 2024

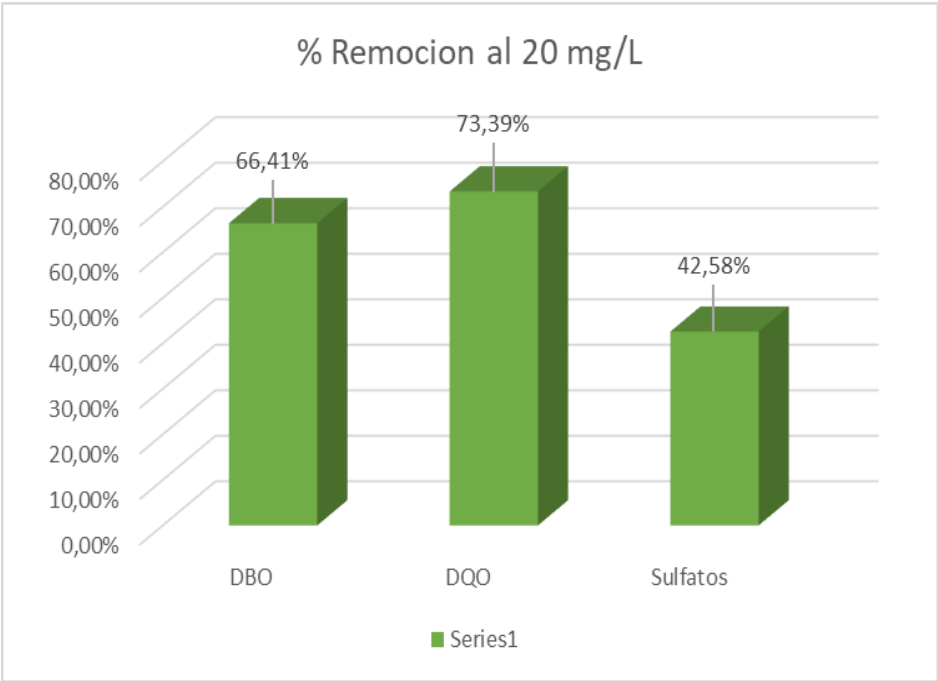
REACTOR 2 (T2)

Tabla 10 Concentración al inicial y final de los contaminantes, y porcentajes de remoción obtenidos con el proceso de fitorremediación con el 20% de masa microalga *Scenedesmus*, sp.

Parámetro	Concentración inicial (mg/L)	Concentración final (mg/L)	% Remoción
DBO	915.2	307.4	66.41
DQO	3304.2	879	73.39
Sulfatos	930	534	42.58

La remoción de los contaminantes con la concentración de la microalga (*Scenedesmus*, sp) al 20 % los detallamos en la **Tabla 10**, la concentración inicial de DBO es de 915,2 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración de 307 mg/L con un 66,41 % de remoción, la concentración inicial de DQO es de 3304,2 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración final de 879 mg/L con un 73,39 % de remoción, en cuanto a la concentración inicial de los sulfatos es de 930 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración final de 534 mg/L con un 42,58 % , al comparar los 3 parámetros con la Norma de REVISIÓN DEL ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA **Tabla 10** nos encontramos con los 3 valores aún fuera de la Norma para poder descargarla en la alcantarilla, a pesar de tener buenos porcentajes de remoción.

Figura 9 % Remoción para el Reactor 2 (T2)



Fuente: Yesenia C., 2024

REACTOR 3 (T3)

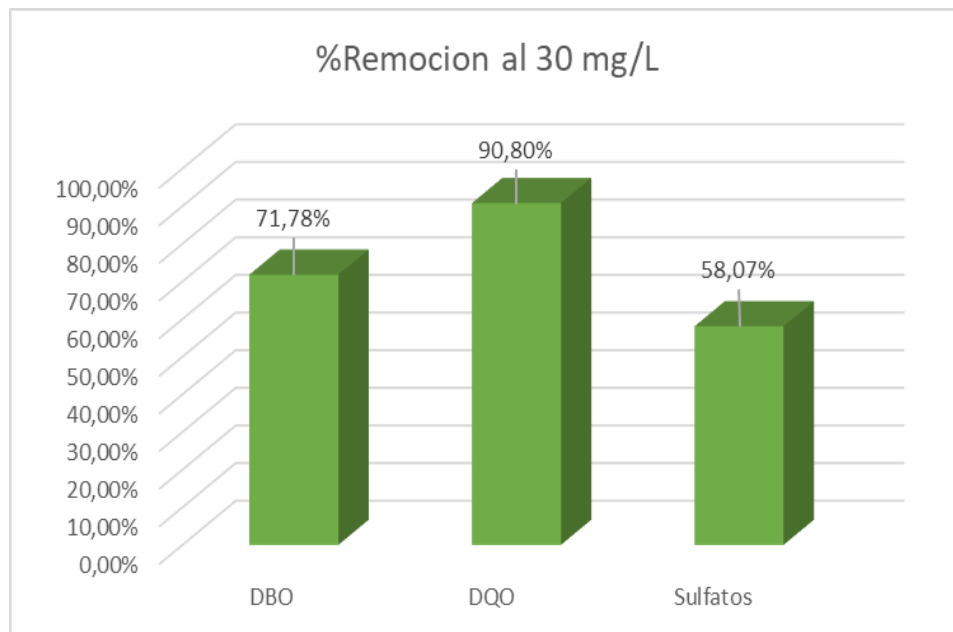
Tabla 11 Concentración al inicial y final de los contaminantes, y porcentajes de remoción obtenidos con el proceso de fitorremediación con el 30% de masa microalga *Scenedesmus*, sp.

Parámetro	Concentración inicial	Concentración final	% Remoción
DBO	915.2	258.2	71.78
DQO	3304.2	303.7	90.80
Sulfatos	930	389.9	58.07

La remoción de los contaminantes con la concentración de la microalga (*Scenedesmus*, sp) al 30 % los detallamos en la **Tabla 11**, la concentración inicial de DBO es de 915,2 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración de 258

mg/L con un 71,78 % de remoción, la concentración inicial de DQO es de 3304,2 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración final de 303,7 mg/L con un 90,80 % de remoción, en cuanto a la concentración inicial de los sulfatos es de 930 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración final de 389,9 mg/L con un 58,07 % , al comparar los 3 parámetros con la Norma de REVISIÓN DEL ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA **Tabla 11** nos encontramos con los 3 valores dentro de la Norma para poder descargarla en la alcantarilla.

Figura 10 % Remoción para el Reactor 3 (T3)

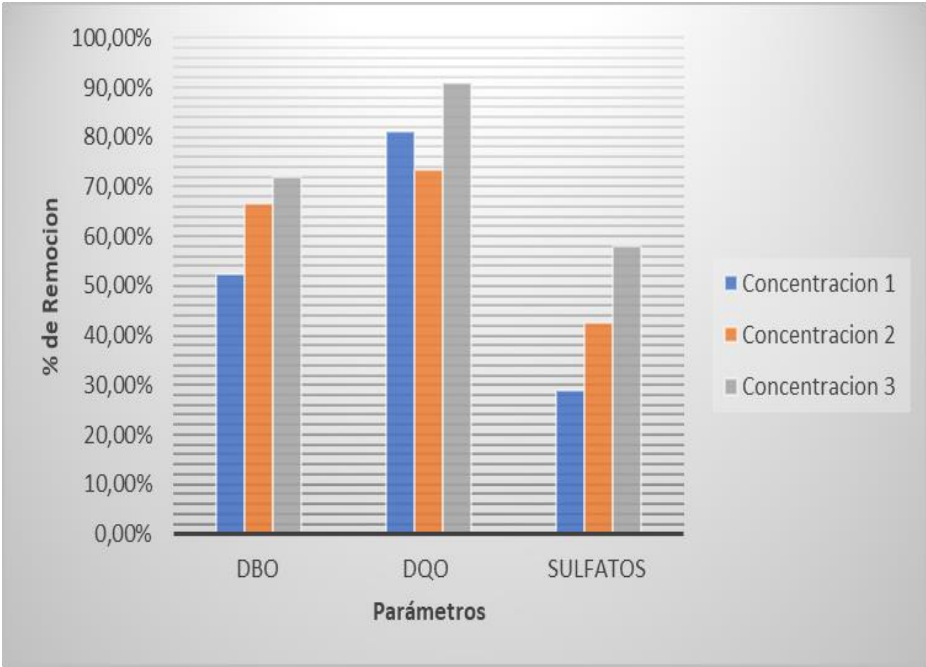


Fuente: Yesenia C., 2024

Tabla 12 Concentraciones de los contaminantes, y porcentajes de remoción obtenidos con el proceso de fitorremediación con los diferentes % de masa microalga *Scenedesmus*, sp.

Concentración	DBO	DQO	Sulfatos
Concentración 1	52,25%	81,11%	29,03%
Concentración 2	66,41%	73,39%	42,58%
Concentración 3	71,78%	90,80%	58,07%

Figura 11 % de Remoción de los 3 Rectores (T1, T2, T3)



Fuente: Yesenia C., 2024

La mayor remoción de DBO, DQO Y Sulfatos es la concentración del 30% de microalga con una descontaminación exitosa donde los parámetros están dentro de la

Norma de REVISIÓN DEL ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA. En la **Figura 11.** podemos observar el % de remoción en las diferentes concentraciones de microalgas, la mayor concentración es la que descontamina con mayor rendimiento.

El mayor porcentaje de remoción de los contaminantes es la concentración de la microalga (*Scenedesmus, sp*) al 30 % detallados en la **Tabla 11**, la concentración inicial de DBO es de 915,2 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración de 258 mg/L con un 71,78 % de remoción, la concentración inicial de DQO es de 3304,2 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración final de 303,7 mg/L con un 90,80 % de remoción, en cuanto a la concentración inicial de los sulfatos es de 930 mg/L con el tratamiento de fitorremediación obtenemos una concentración final de 389,9 mg/L con un 58,07 %, el autor (Rosales, Rodríguez, & Ballén Segura, 2018) en su artículo expone una remoción del 98% y 94% de contaminantes. Estas diferencias puede ser debido a que realizaron incubaciones menores a los días previstos, máximo se pueden incubar en unos 33 días, incluso mantener la agitación constante durante ese periodo para mayor remoción de contaminantes en menor tiempo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS.

5.1. Conclusiones

- En la aplicación del método de Fitorremediación con microalgas se logró degradar los contaminantes en su totalidad en base a los datos obtenidos, la microalga *Scenedesmus*, *sp* creció utilizando el agua residual de la curtiembre como sustrato en los reactores con diferentes concentraciones siendo el más efectivo el reactor 3 (T3) con eso se concluye que la microalga es capaz de degradar de los contaminantes presentes en estas aguas industriales.
- El agua residual de la curtiembre tiene un proceso de recuperación de cromo, pretratamiento y un tratamiento primario para su descontaminación, posterior a eso se descarga el agua tratada y esa es la que se caracterizó obteniendo altos niveles de concentración y estos son el DQO, DBO₅ y Sulfuros concluyendo que necesita un tratamiento secundario para su degradación completa.
- La actividad enzimática para su efectiva degradación de contaminantes se logra una temperatura 22,7 °C de pH 7,6 y concentración del reactor 3 (T3) al 30%, con esto se concluye que la microalga necesita de estos factores para su adecuado crecimiento con mayor temperatura y entre más básico es el pH más rápido será su crecimiento y mayor será su degradación.

5.2. Recomendaciones

- En el pretratamiento del efluente de pelambre se podría colocar una trampa de grasa.
- Se recomienda en cada una de las etapas que se realiza un tratamiento de agua debe ser tratado con el fin de reducir la carga de contaminantes a la salida de AR y así evitamos elevados costos y reducir tiempo de tratamiento de aguas residuales.
- Se recomienda que se implemente un tratamiento biológico en la PTAR Curtiduría Tungurahua, debido al requerimiento para el cumplimiento de la Norma ambiental.

5.3 Bibliografía

- Abalde, J., Cid, Á., Fidalgo, P., Torres, E., & Herrero, C. (2020). *Microalgas: cultivo y aplicaciones*. Universidade da Coruña.
- Acien, G., Molina, E., Reis, A., & Torzillo, G. (12 de 2017). Photobioreactors for the production of microalgae. *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts*, 1, 1-44. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/318031436_Photobioreactors_for_the_production_of_microalgae
- Barraza, C. R. (2011). INDUCCION LIPIDICA POR LIMITACION DE NUTRIENTES EN LAS MICROALGAS *Scenedesmus*. En C. R. Barraza, *INDUCCION LIPIDICA POR LIMITACION DE NUTRIENTES EN LAS MICROALGAS Scenedesmus* (págs. 79-85). Mexico .
- BELZONA. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Alejandra Troconis. Obtenido de https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf

- Bendezú, M. A., Bendezú, C. V., Villanueva, W. Y., & Valenzuela, E. N. (30 de 09 de 2021). Phytoremediation studies based on wakame algae (undaria pinnatifida) in the extraction of curls for the removal of heavy metals from the riparian zone of the Grande-Palpa river basin. *SOUTH FLORIDA JOURNAL OF DEVELOPMENT*, 2(NO.5), 6669-6681. Obtenido de <https://ojs.southfloridapublishing.com/ojs/index.php/jdev/article/view/837>
- Candela, R. D. (2015). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica*. Repositorio Institucional UNAD. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12170>
- Castillo, J. E., Pineda, A., Castro, S. P., Martán, C. S., Escobar, D. N., Valencia, N. A., . . . Jiménez, R. (2020). *APORTES ANALÍTICOS AL ESTUDIO DE AGUAS RESIDUALES Y POTABLES* (1ra ed., Vol. 1). Edward Javier Ordóñez. Obtenido de <https://libros.usc.edu.co/index.php/usc/catalog/view/103/149/2045>
- Choque, M., & Peter, F. (2023). *APROVECHAMIENTO DE NUTRIENTES EN AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES, COMO MEDIO DE CRECIMIENTO PARA LA OBTENCION DE BIOMASA DE MICROALGAS*. PERU : Universidad Catolica de Santa Maria .
- Dawes, I. W. (1976). *Fisiología de los microorganismos*. H. Blume.
- Greenpeace. (14 de 03 de 2012). *Nuevas evidencias de contaminación de curtiembres en la Cuenca Matanza-Riachuelo*. Recuperado el 19 de 04 de 2024, de Nuevas evidencias de contaminación de curtiembres en la Cuenca Matanza-Riachuelo: <https://www.greenpeace.org/archive-argentina/es/informes/Cueros-toxicos/Guerrero>
- Hernández, A., & Labbé, J. I. (08 de 2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 157-173. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/revbiolmar/v49n2/art01.pdf>
- Ilbay, J. I. (2021). *ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA DEL CURTIDO DE PIELES*. Recuperado

el 17 de 10 de 2023, de dspace:

<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7892/1/7%20trabajo%20de%20titulac%c3%b3n.pdf>

Jácome, C., Ballesteros, C., Rea, E., & Rea, L. M. (31 de 12 de 2021). Microalgas en el tratamiento de aguas residuales generadas en industrias de curtiembres.

Ciencia Y Tecnología OJS, 14, 47-55. Obtenido de

<https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/502>

Jean, G. O. (2020). *Aplicación de microalgas para la remoción de nutrientes en efluentes agrícolas*. God Ophtanie Jean. Obtenido de

[file:///C:/Users/Pc/Documents/YESENIA/Tesis/Bibliografia/IAD-2020-](file:///C:/Users/Pc/Documents/YESENIA/Tesis/Bibliografia/IAD-2020-T020%20Aplicacion%20de%20microalgas%20en%20aguas%20residuales.pdf)

[T020%20Aplicacion%20de%20microalgas%20en%20aguas%20residuales.pdf](file:///C:/Users/Pc/Documents/YESENIA/Tesis/Bibliografia/IAD-2020-T020%20Aplicacion%20de%20microalgas%20en%20aguas%20residuales.pdf)

Mendoza, Y. I., Castro, F. L., Marín, J. C., & Behling, E. H. (2016).

Phytoremediation as an alternative for domestic wastewater treatment from

Riohacha City (Colombia). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*

Universidad del Zulia, 39(no.2), 71-79. Obtenido de

[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200004#:~:text=La%20fitorremediaci%C3%B3n%20es%20una%20alternativa%20de%20tratamiento%20econ%C3%B3mica%20para%20aguas,con%20las%20exigencias%20de%20las)

[07702016000200004#:~:text=La%20fitorremediaci%C3%B3n%20es%20una%20alternativa%20de%20tratamiento%20econ%C3%B3mica%20para%20aguas,con%20las%20exigencias%20de%20las](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200004#:~:text=La%20fitorremediaci%C3%B3n%20es%20una%20alternativa%20de%20tratamiento%20econ%C3%B3mica%20para%20aguas,con%20las%20exigencias%20de%20las)

Morales, E., Macías, D., García, L., Loor, Y., & Plúas, L. (01 de 06 de 2019). Effect of salinity and pH on the biochemical composition of the microalgae

Scenedesmus sp.in batch cultures. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 13 Numero 1, 50-56. Obtenido de

<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/view/352>

Paniagua, R. (1991). *BIOLOGIA CELULAR* (3ra ed.). Mc Graw Hill. Obtenido de

<http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/18073.pdf>

Rosales, A. G., Rodríguez, C. D., & Ballén Segura, M. (23 de 11 de 2018). Remoción de contaminantes y crecimiento del alga *Scenedesmus* sp. en aguas residuales

de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas. *Ingeniería y Ciencia*, 14, 11-34.

Silva, M. J. (10 de 01 de 2022). La contaminación proveniente de la industria de Curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. *Uisrael*, 9(No1), 2631-2786. Obtenido de <https://revista.uisrael.edu.ec/index.php/rcui/article/view/427>

Silva, M. J., & Salinas, D. (10 de 01 de 2022). La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. *Uisrael Revista científica*, 9(No.1), 2631-2786. Obtenido de <https://revista.uisrael.edu.ec/index.php/rcui/article/view/427>

Usui, N., & Ikenouchi, M. (1997). El proyecto biológico de fijación y utilización de CO₂ de RITE(1) — Sistema fotobiorreactor altamente eficaz —. *Energy Conversion and Management*, 38(Howard J. Herzog), S487-S492. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890496003159>

ANEXOS

Anexo I. Resultados de los análisis físico-químicos del agua residual.

	INFORME DE RESULTADOS No. A23-718	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° SAS IAN 18-048 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	---

Cliente:	CURTIDURÍA TUNGURAHUA
Representante legal:	CURTIDURÍA TUNGURAHUA
Contacto/Solicitado por:	Ing. Eduardo Núñez
Dirección:	Ambato, Parque Industrial etapa III
Teléfono:	(03) 243 4141
Fecha emisión de informe:	08/11/2023
Muestra tomada por:	Cliente
Procedimiento de Toma de muestras:	---
Fecha y hora de recepción de muestras:	05/10/2023 11:00
Periodo de análisis:	05/10/2023-08/11/2023
Analizado por:	Shirley Lianga

CODIGO LABORATORIO	INFORMACION DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE					
	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A23-718	Salida PTAR	04/10/2023	---	PTAR	17M 768534 9867672	Agua residual, Muestra simple

RESULTADOS					
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE ¹	INCERTIDUMBRE
ACEITES Y GRASAS	PE-08 SM 5520 B, Ed. 23 2017	mg/l	52.0	70	± 12 mg/l
CAUDAL DE DESCARGA ²	AFORO VOLUMETRICO	l/s	0.30	No aplica	---
COMPUESTOS FENOLICOS	PE-16 SM 5530 C Ed. 23 2017	mg/l	12.97 ³	0.2	---
COLOR REAL	PE-26 SM 2120C, Ed. 23 2017	Pt-Co	19.82	No aplica	± 4.3 Pt-Co
CROMO TOTAL ⁴	EPA Method 8010 B Rev.3 July. 2018 (Validada Modificada. 2022)	mg/l	0.851	No aplica	± 0.071 mg/l
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500-Cr B Ed. 23 2017	mg/kg	40.1	0.5	---
OSD ₅	PE-17 SM 5210 B, Ed. 23, 2017	mg/l	915.2	250	± 187 mg/l
OQO	PE-34 SM 5220 D, Ed. 24, 2023	mg/l	3304.7	500	± 304 mg/l
SULFATOS	PE-15 SM 4500 S, Ed. 23 2017	mg/l	930.9	400	± 126 mg/l
SULFUROS	PE-14 SM 4500-S ²⁻ D, Ed. 23, 2017	mg/l	1.08	1.0	± 0.21 mg/l
pH	PE-01 4500H+ B, Ed. 23, 2017	u pH	6.55	6-9	± 0.15 u pH
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PE-05 SM 2540 D, Ed. 23 2017	mg/l	125.40	220	± 18 mg/l
TENSOACTIVOS	PE-12 SM 5340 C, Ed. 23 2017	mg/l	0.27	2.0	± 0.08 mg/l

Anexo II pH metro



Anexo III. Espectrofotómetro.



Anexo IV. Mediciones de las absorbancias

ABSORBANCIAS		
10%	20%	30%
0,003	0,013	0,039
0,005	0,02	0,0408
0,015	0,029	0,0416
0,016	0,033	0,0436
0,025	0,041	0,0468
0,029	0,048	0,0501
0,045	0,056	0,0514
0,151	0,062	0,0635
0,183	0,07	0,085
0,265	0,075	0,0931
0,331	0,085	0,1003
0,472	0,091	0,1123
0,498	0,1004	0,123
0,653	0,1067	0,1451

CONCENTRACION EN mg/ml		
10%	20%	30%
0,09869897	0,10062887	0,10564661
0,09908495	0,1019798	0,10599399
0,10101485	0,10371671	0,10614838
0,10120784	0,10448867	0,10653436
0,10294475	0,10603259	0,10715193
0,10371671	0,10738352	0,1077888
0,10680455	0,10892744	0,10803969
0,12726149	0,11008538	0,11037487
0,13343717	0,1116293	0,11452415
0,14926235	0,11259425	0,11608737
0,16199969	0,11452415	0,1174769
0,18921128	0,11568209	0,11979278
0,19422902	0,117496196	0,12187707
0,22414247	0,118712033	0,12612285

CONCENTRACION EN mg/ml		
10%	20%	30%
0,09869897	0,10062887	0,1733861
0,1077695	0,136718	0,1849655
0,1212788	0,1811057	0,2177738
0,1347881	0,1984748	0,2409326
0,1463675	0,2216336	0,2679512
0,175316	0,2390027	0,29111
0,1984748	0,2640914	0,329708
0,2081243	0,2891801	0,368306
0,2197037	0,2949698	0,4223432
0,2409326	0,3007595	0,4744505
0,2621615	0,310409	0,4898897
0,2833904	0,3374276	0,5342774
0,30616322	0,3586565	0,561296
0,30674219	0,368306	0,541997

Anexo V. Agua residual después del proceso de fitorremediación a los 29 días de proceso.



enviroanalab laboratories	INFORME DE RESULTADOS No. A24-405	Servicio de Acreditación Ecuatoriana Acreditación N° 246 LEN 10-040 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	--

Cliente:	CURTIDURÍA TUNGURAHUA
Representante legal:	CURTIDURÍA TUNGURAHUA
Contacto/Solicitado por:	Inq. Eduardo Núñez
Dirección:	Ambato, Parque Industrial etapa III
Teléfono:	(03) 243 4141
Fecha emisión de Informe:	24/6/2024
Muestra tomada por:	Cliente
Procedimiento de Toma de muestras:	---
Fecha y hora de recepción de muestras:	31/05/2024 11:00
Período de análisis:	31/05/2024-24/6/2024
Analizado por:	Stefanía Corrales, Fausto Reyes

CÓDIGO LABORATORIO	INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A24-405	Agua residual	No aplica	No aplica	30%	No aplica	Agua residual, muestra simple

RESULTADOS					
PARÁMETRO	MÉTODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITE ⁴	INCERTIDUMBRE
DBO ₅	PE-17 SM 5210 B, Ed. 23, 2017	mg/l	258.2	250	± 65 mg/l
OQO	PE-13 SM 5220 D, Ed. 23, 2017	mg/l	303.7	500	± 38 mg/l

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.
Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados.
Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada.
Environovaleb declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados.
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovaleb.
Los análisis se realizaron en las instalaciones de Environovaleb.

**ANGELIC
A MARIA
ROCHA
LOZANO**

Anexo VII. Resultados de los análisis físico-químicos del agua residual tratada con microalga al 20%.

	INFORME DE RESULTADOS No. A24-406	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° SAE LEN 00-040 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	---

Cliente:	CURTIDURÍA TUNGURAHUA
Representante legal:	CURTIDURÍA TUNGURAHUA
Contacto/Solicitado por:	Ing. Eduardo Núñez
Dirección:	Ambato, Parque Industrial etapa III
Teléfono:	(03) 243 4141
Fecha emisión de informe:	24/6/2024
Muestra tomada por:	Cliente
Procedimiento de Toma de muestras:	---
Fecha y hora de recepción de muestras:	31/05/2024 11:00
Período de análisis:	31/05/2024-24/6/2024
Analizado por:	Stefanía Corrales, Fausto Reyes

CÓDIGO LABORATORIO	INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A24-406	Agua residual	No aplica	No aplica	20%	No aplica	Agua residual, muestra simple

RESULTADOS						
PARÁMETRO	MÉTODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITE ¹	INCERTIDUMBRE	
DQO	FE-17 SM 5210 B, Ed. 23, 2017	mg/l	307.4	250	±77 mg/l	
DQO	FE-13 SM 5220 D, Ed. 23, 2017	mg/l	579	500	±77 mg/l	

Notas:

Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040

Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE

1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

SM: Standard Methods

EPA: Environmental Protection Agency

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.

Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados.

Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada.

Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab.

Los análisis se realizaron en las instalaciones de Environovalab.

ANGELIC
A MARIA
ROCHA
LOZANO

Personalmente
firmado en la fecha
por ANGELICA
ROCHA LOZANO
en su calidad de
DIRECTORA TÉCNICA
de ENVIRONOVALAB
LABORATORIO DE ENSAYOS
Acreditado por el SAE
LEN 18-040
Fecha 2024-06-24
11:33:40

ANGÉLICA ROCHA
DIRECTORA TÉCNICA

Anexo VIII. Resultados de los análisis físico-químicos del agua residual tratada con microalga al 30%.

	INFORME DE RESULTADOS No. A24-407	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° SAE LEN 18-040 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	---

Cliente:	CURTIDURÍA TUNGURAHUA
Representante legal:	CURTIDURÍA TUNGURAHUA
Contacto/Solicitado por:	Ing. Eduardo Núñez
Dirección:	Ambato, Parque Industrial etapa III
Teléfono:	(03) 243 4141
Fecha emisión de informe:	24/5/2024
Muestra tomada por:	Cliente
Procedimiento de Toma de muestras:	---
Fecha y hora de recepción de muestras:	31/05/2024 11:00
Período de análisis:	31/05/2024-24/5/2024
Analizado por:	Stefanía Corrales, Fausto Reyes

CÓDIGO LABORATORIO	INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					OBSERVACIONES
	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	
A24-407	Agua residual	No aplica	No aplica	10%	No aplica	Agua residual, muestra simple

RESULTADOS					
PARÁMETRO	MÉTODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITE ¹	INCERTIDUMBRE
DBO ₅	PE-17 SM 5210 B, Ed. 23, 2017	mg/l	437	250	± 110 mg/l
ODQ	PE-13 SM 5220 D, Ed. 23, 2017	mg/l	824	500	± 55 mg/l

Notas:

Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040

Los ensayos marcados con (*) No están Incluidos en el alcance de la acreditación de SAE

1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

SM: Standard Methods

EPA: Environmental Protection Agency

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.

Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados.

Los valores reportados en el presente Informe solo se refieren a la muestra analizada.

Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab.

Los análisis se realizaron en las instalaciones de Environovalab.

ANGELIC
A MARIA
ROCHA
LOZANO

Firmado digitalmente
 por ANGELIC A MARIA
 ROCHA LOZANO
 DN: cn=ANGELIC A MARIA
 ROCHA LOZANO, o=Environovalab,
 email=angelic@environovalab.com,
 c=EC
 Fecha y hora de validación:
 2024.05.24 13:24:03-05

ANGÉLICA ROCHA
DIRECTORA TÉCNICA

Anexo IX. Cálculo del % de Remoción

% de Remoción al 10 %

$$\%Remoción = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} * 100$$

$$\%Remoción(DBO) = \frac{915.2 - 437}{915.2} * 100 = 52.25\%$$

$$\%Remoción(DQO) = \frac{3304.7 - 624}{3304.7} * 100 = 81.11\%$$

$$\%Remoción(Sulfatos) = \frac{930.9 - 660}{930.9} * 100 = 29.03\%$$

% de Remoción al 20 %

$$\%Remoción = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} * 100$$

$$\%Remoción(DBO) = \frac{915.2 - 307.4}{915.2} * 100 = 71.78\%$$

$$\%Remoción(DQO) = \frac{3304.7 - 879}{3304.7} * 100 = 73.39\%$$

$$\%Remoción(Sulfatos) = \frac{930.9 - 534}{930.9} * 100 = 42.63 \%$$

% de Remoción al 30 %

$$\%Remoción = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} * 100$$

$$\%Remoción(DBO) = \frac{915.2 - 437}{915.2} * 100 = 52.25\%$$

$$\%Remoción(DQO) = \frac{3304.7 - 879}{3304.7} * 100 = 81.11\%$$

$$\%Remoción(Sulfatos) = \frac{930.9 - 660}{930.9} * 100 = 29.03$$

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Título

Remoción de contaminantes de las aguas residuales con microalgas (*Scenedesmus, sp.*) en un fotobiorreactor abierto.

6.2. Descripción

Las microalgas con el pasar el tiempo han tomado fuerza para la utilización de remoción de contaminantes en aguas residuales, sean estas industriales o domésticas, la especie que se pueda utilizar va a depender de los contaminantes que contenga el agua residual, para el caso de las aguas residuales de curtiembre son aguas altas en contenidos de materia orgánica, proteínas, compuestos oxidables, productos químicos y sustancias tóxicas, además de tener mal olor y color oscuro.

La industria de la Curtiembre es una de las contaminantes debido al proceso que lleva al procesar el cuero, por ese motivo se requiere la implementación de un tratamiento de bajo costos y sostenible para aprovechar las aguas residuales y mejorar la calidad de agua. (Choque & Peter , 2023)

Para realizar el proceso de remoción de contaminantes con microalgas existen varios fotobiorreactores, el fotobiorreactor cerrado y fotobiorreactor abierto. El fotobiorreactor abierto permite el paso de la luz solar necesaria para su crecimiento, también necesita varios nutrientes necesarios para su nutrición y los nutrientes que se requiere la microalga se encuentran en el agua.

El cultivo de la microalga (*Scenedesmus, sp.*) se la realizo en 3 reactores con 3 concentraciones de 10%, 20% y 30% v/v de microalga en 6 litros de agua residual

en cada reactor abierto. Para su crecimiento la temperatura requerida fue de 22,7°C y pH de 7,6, con exposición directa a la luz solar y también agitación manual de 10 minutos en la mañana y noche.

6.3 Desarrollo de la propuesta

6.3.1. Caracterización del agua residual de la curtiembre

Las muestras de agua residual de la curtiembre que se utilizara para preparar la mezcla con las microalgas en los reactores serán caracterizadas sus parámetros físicos-químicos en el laboratorio acreditado Environovalab laboratorios.

*6.3.2. Cultivo de la microalga (*Scenedesmus*, sp.) en el agua residual*

Para el cultivo de la microalga (*Scenedesmus*, sp.) se utilizará 3 reactores abiertos de 6 litros con concentración de microalga de 10%, 20% y 30% respectivamente.

Parámetros a controlar para su crecimiento:

- Temperatura: La temperatura para los cultivos de las microalgas va de 20 °C a 24 °C.
- pH: El rango de pH es de 6 a 9 con un rango óptimo de 8 a 9
- Luz: un factor muy importante, la luz del sol.
- Nutrientes: Los macronutrientes esenciales son carbono nitrógeno y fósforo, siendo el Carbono el de mayor importancia
- DBO: La DBO está relacionada con el material carbonoso orgánico y relacionado con el material nitrogenado, usualmente llamado amoniaco.
- DQO: Cantidad de oxígeno necesaria para oxidar completamente la materia orgánica en una muestra de CO₂ y agua.

- **Agitación:** Este parámetro es uno de los más importantes, ya que confiere la homogeneidad requerida en el reactor evitando así su sedimentación y aumentando su crecimiento

6.3.3. *Determinación de la concentración de la microalga.*

Para determinar la concentración de la microalga en cada cultivo se utilizará el método colorimétrico, con el cual se mide la absorbancia de los 3 reactores a una longitud de onda de 660 nm. Posterior a esto se los datos que se obtendrán serán transformados con la ecuación $Y = 0.192999X + 0.09812$.

6.3.4. *% Remoción de contaminantes*

Posterior a los días analizaremos la muestra de agua residual resultante del proceso de fitorremediación en base a la Norma NTE INEN 2169, con estos datos calculamos el % de remoción de contaminantes.

$$\%Remoción = \frac{Concentración\ inicial - Concentración\ final}{Concentración\ inicial} * 100$$

6.3.5. *Recursos económicos*

Rubro	Cantidad	Costo unitario (USD\$)	Costo total (USD\$)
Agua residual	1	578,45	578,45
Cultivo agua residual + microalga	42	9,50	399
Insumos	5	30	150
Temperatura	42	25	25
TOTAL			1152,45

6.3.6. *Cronograma de actividades*

ACTIVIDAD	TIEMPO																							
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica																								
Elaboración del Plan de titulación.																								
Presentación y aprobación del Plan de titulación.																								
Recolección de muestras de aguas residuales unificadas.																								
Caracterización de las aguas residuales de Curtiduría Tungurahua																								
Activación y crecimiento de la microalga a nivel de laboratorio																								
Adecuación y crecimiento de la microalga en el agua residual de la Empresa Curtiduría Tungurahua																								
Realizar el Anova de los datos obtenidos en la experimentación																								
Elaboración de borrador de tesis																								
Corrección borrador de tesis																								
Tipiado del trabajo final																								
Empastado y presentación del trabajo final																								
Auditoría académica																								
Defensa del trabajo																								