



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE ORELLANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EFICIENCIA DE UN TRATAMIENTO BIOLÓGICO APLICADO A
UN EFLUENTE DE INDUSTRIA PALMÍCOLA EN LA PROVINCIA
DE ORELLANA MEDIANTE UN ENSAYO A ESCALA REDUCIDA
ENMARCADO EN ECONOMÍA CIRCULAR**

Trabajo de Integración de Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: ISABEL ESTHER BRAVO SANMARTIN

DIRECTORA: ING. DEMMY JUSSEY MORA SILVA M.Sc.

El Coca – Ecuador

2024

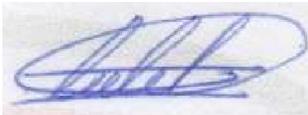
© 2024, Isabel Esther Bravo Sanmartin

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, Isabel Esther Bravo Sanmartin, 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.

El Coca, 24 de junio de 2024

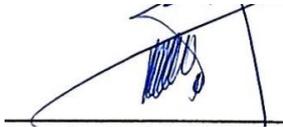
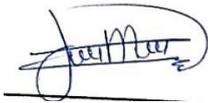


Isabel Esther Bravo Sanmartin

2200475875

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Titulación; tipo: Proyecto de Investigación, **EFICIENCIA DE UN TRATAMIENTO BIOLÓGICO APLICADO A UN EFLUENTE DE INDUSTRIA PALMÍCOLA EN LA PROVINCIA DE ORELLANA MEDIANTE UN ENSAYO A ESCALA REDUCIDA ENMARCADO EN ECONOMÍA CIRCULAR**, realizado por la señorita: **ISABEL ESTHER BRAVO SANMARTIN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carlos Mestanza Ramon Ph.D. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-06-24
Ing. Demmy Jussey Mora Silva M. Sc. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-24
Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero M. Sc. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-24

DEDICATORIA

Este éxito lo dedico a mis padres Piedad Sanmartin y Marco Bravo, que con su infinito amor me motivan a alcanzar todos mis sueños. También extendo esta dedicatoria al cielo a un ser maravilloso que no está presente en este mundo, pero sus enseñanzas y entrega de amor dejaron huellas que nunca se borrarán y hoy, a pesar de que no pueda estar presente físicamente, le honro con este triunfo a mi mami Florinda Araujo.

Isabel

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la bendición de finalizar con éxito esta etapa académica. A mis padres por su dedicación y esmero en brindarme las herramientas y bases morales que marcarán mi vida personal, académica y profesional. A mi hermano Antonio Bravo y su familia por sus palabras de aliento y consejos. Familia y amigos que con sus palabras de motivación me impulsaron a continuar firme y perseverante ante mis objetivos. Por sus conocimientos, tiempo y asesorías brindadas en el presente trabajo, extiendo mi gratitud a la Ingeniera Demmy Mora e Ingeniera Jennifer Orejuela. Agradezco sinceramente a todas aquellas personas quienes me ayudaron e impulsaron a continuar y cumplir satisfactoriamente este sueño.

Isabel

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Hipótesis.....	6
1.4.1. <i>Hipótesis nula</i>	6
1.4.2. <i>Hipótesis alternativa</i>	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Palma africana.....	7
2.2. Aceite de palma.....	7
2.3. Industria Palmícola en Ecuador.....	8
2.4. Proceso de extracción de aceite de palma.....	10
2.5. Residuos de la extracción de aceite de palma.....	12
2.5.1. <i>Residuos sólidos</i>	12
2.5.2. <i>Residuos líquidos</i>	12
2.5.3. <i>Residuos gaseosos</i>	13
2.6. Contaminación hídrica por efluentes.....	13
2.7. Sistema de tratamiento de efluentes.....	14
2.8. Tipos de tratamientos para aguas residuales.....	14

2.8.1. Tratamiento químico	14
2.8.2. Tratamiento físico	15
2.8.3. Tratamiento biológico	15
2.9. Biodigestor	15
2.9.1. Tipos de biodigestores	16
2.9.1.1. Biodigestor de tipo continuo	16
2.9.1.2. Biodigestor de tipo semicontinuo	16
2.9.1.3. Biodigestor de tipo discontinuo	16
2.10. Etapas de tratamiento	16
2.11. Componentes de un sistema de tratamiento	17
2.11.1. Tanque florentino	17
2.11.2. Biodigestor batch	18
2.11.3. Sedimentador	18
2.11.4. Biofiltro	18
2.11.5. Tratamiento de lodos	19
2.12. Economía circular	19
2.12.1. Principios de la economía circular	19
2.13. Cuerpo legal	20

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	24
3.1. Área de estudio	24
3.2. Enfoque de la investigación	25
3.3. Alcance de la investigación	25
3.4. Diseño de la investigación	25
3.5. Tipo de investigación	27
3.6. Desarrollo de la investigación	27
3.6.1. Primera Fase: Caracterización del efluente palmícola	27
3.6.1.1. Selección de parámetros a analizar	27
3.6.1.2. Recolección de la muestra	28
3.6.1.3. Análisis in situ	28
3.6.1.4. Análisis ex situ	29
3.6.2. Segunda fase: Elaboración del sistema de tratamiento biológico a escala reducida ..	30
3.6.2.1. Materiales y equipos empleados	30

3.6.2.2. <i>Construcción del prototipo a escala reducida</i>	31
3.6.2.3. <i>Instalación del prototipo</i>	37
3.6.2.4. <i>Recolección de la muestra</i>	37
3.6.2.5. <i>Inicio del tratamiento</i>	37
3.6.3. <i>Tercera fase: Evaluación de la eficiencia del tratamiento</i>	38
3.6.3.1. <i>Determinación de la eficiencia</i>	38
3.6.3.2. <i>Análisis en software estadístico SPSS</i>	38

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	40
4.1. Primera fase: Caracterización fisicoquímica del efluente palmícola	40
4.2. Segunda fase: Elaboración del sistema de tratamiento biológico a escala reducida	41
4.2.1. <i>Operatividad del tratamiento biológico</i>	42
4.2.1.1. <i>Etapa de enfriamiento</i>	42
4.2.1.2. <i>Etapa de digestión anaeróbica</i>	43
4.2.1.3. <i>Etapa de sedimentación gravitacional</i>	44
4.2.1.4. <i>Etapa de biofiltración</i>	44
4.2.1.5. <i>Economía circular</i>	45
4.3. Tercera fase: Evaluación de la eficiencia del tratamiento biológico	46
4.3.1. <i>Eficiencia del tratamiento</i>	49
4.3.2. <i>Análisis estadístico con el Software SPSS</i>	51
4.3.2.1. <i>Comprobación de la hipótesis</i>	51
4.3.2.2. <i>Análisis gráfico</i>	59
4.4. Discusión	63

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1. Conclusiones	66
5.2. Recomendaciones	67

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Actividades relacionadas al cultivo (A012601).....	8
Tabla 2-2: Actividades relacionadas a la manufactura (C1040)	9
Tabla 2-3: Principales residuos de la extracción de aceite de palma	12
Tabla 2-4: Procesos unitarios	13
Tabla 2-5: Principios de la economía circular.....	19
Tabla 2-6: Normativa legal	20
Tabla 2-7: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	22
Tabla 3-1: Parámetros considerados en el análisis del efluente	27
Tabla 3-2: Equipos y materiales utilizados en la caracterización del efluente.....	29
Tabla 3-3: Materiales empleados en la construcción del sistema de tratamiento	30
Tabla 3-4: Hipótesis por parámetros	39
Tabla 4-1: Resultado de los análisis in situ y ex situ del efluente	40
Tabla 4-2: Aplicación de la economía circular	45
Tabla 4-3: Resultados obtenidos en cada etapa del tratamiento biológico	47
Tabla 4-4: Promedio de los resultados de cada etapa del tratamiento	48
Tabla 4-5: Porcentaje de eficiencia del tratamiento	49
Tabla 4-6: Prueba T Student en muestras emparejadas de los parámetros	57
Tabla 4-7: Resumen de Prueba T Student por fases del tratamiento	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Empresas que cultivan palmas de aceite por provincia.....	9
Ilustración 2-2: Empresas dedicadas a la manufactura del aceite	10
Ilustración 2-3: Proceso de extracción de aceite de palma y residuos generados	11
Ilustración 2- 4: Etapas de una estación depuradora de aguas residuales	17
Ilustración 3-1: Mapa de ubicación del sistema de tratamiento	24
Ilustración 3-2: Diseño de la investigación	26
Ilustración 3-3: Punto de descarga del efluente.....	28
Ilustración 3-4: Análisis in situ	29
Ilustración 3-5: Tanque florentino.....	32
Ilustración 3-6: Biodigestor Batch	33
Ilustración 3-7: Sedimentador gravitacional	33
Ilustración 3-8: Biofiltro.....	35
Ilustración 3-9: Tanque de agua tratada	35
Ilustración 3-10: Plataforma de secado de lodos	36
Ilustración 3-11: Sistema de tratamiento.....	36
Ilustración 4-1. Esquema del sistema de tratamiento	41
Ilustración 4-2: Sistema de tratamiento biológico.....	42
Ilustración 4-3: Tanque florentino.....	43
Ilustración 4-4: Digestión anaeróbica.....	43
Ilustración 4-5: Sedimentación.....	44
Ilustración 4-6: Biofiltración	45
Ilustración 4-7: Porcentajes de remoción	50
Ilustración 4-8: Comparación de concentraciones iniciales y finales.....	51
Ilustración 4-9: Evolución del promedio de la temperatura	59
Ilustración 4-10: Evolución del promedio del potencial de hidrógeno	60
Ilustración 4-11: Evolución del promedio de los aceites y grasas.....	60
Ilustración 4-12: Evolución del promedio de la DQO.....	61
Ilustración 4-13: Evolución del promedio de la DBO.....	62
Ilustración 4-14: Evolución del promedio de los SST.....	62
Ilustración 4-15: Evolución del promedio de los ST.....	63

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO DE CAMPO

ANEXO B: FICHA TÉCNICA DEL CARBÓN ACTIVADO

ANEXO C: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DEL LABORATORIO

RESUMEN

Los residuos generados en la extracción de aceite de palma constituyen un conjunto de contaminantes que generan impactos negativos al ambiente. La liberación de efluentes sin control a los recursos hídricos es una amenaza a la vida acuática. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar la eficiencia de un tratamiento biológico aplicado al efluente de la industria palmícola de Orellana mediante un ensayo a escala reducida enmarcado en economía circular para verificar el cumplimiento de la Norma de Calidad Ambiental. La metodología implementada tuvo un enfoque cuantitativo y experimental, debido a que se realizó un prototipo de un sistema depurativo, el cual constó de cuatro fases organizadas en enfriamiento, digestión anaeróbica, sedimentación gravitacional y biofiltración. Asimismo, se realizó el análisis in situ y ex situ, de siete parámetros establecidos en la tabla 9 correspondiente a los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, Anexo 1, Acuerdo Ministerial 97-A, de la Reforma del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente. Los análisis de los datos se realizaron con las herramientas Excel y IBM SPSS Statistics. Mediante este método se evidenció la eficacia de remoción de los Sólidos Suspendidos Totales con el 99,38; Sólidos Totales 89,81; Demanda Bioquímica de Oxígeno 89,32; Demanda Química de Oxígeno 81,61; Aceites y Grasas 81,44 y la Temperatura 59,06 respectivamente. Mientras que el potencial de hidrógeno incrementó su valor de 4,2 a 4,4. Además, una prueba T Student de muestras emparejadas confirmó diferencia significativa entre las condiciones previas y posteriores al procedimiento experimental. En este contexto, se concluye que el tratamiento es eficiente en disminuir la carga contaminante en este tipo de industrias. Sin embargo, cinco parámetros no cumplen con el límite máximo permisible de descarga, a excepción de la temperatura y aceite.

Palabras clave: < TRATAMIENTO BIOLÓGICO>, < EFICIENCIA >, <CARACTERIZACIÓN >, < EFLUENTE PALMÍCOLA>, < CONTAMINANTE>, <AMBIENTE >, <NORMATIVA>.

Cristian Tenelanda.S.

Ing. Cristian Sebastian Tenelanda S.

0604686709



0948-DBRA-UPT-2024

ABSTRACT

Residues generated in palm oil extraction constitute a set of pollutants that produce negative impacts on the environment. The uncontrolled release of effluents into water resources is a threat to aquatic life. Therefore, the objective of this research was to determine a biological treatment efficiency applied to the effluent from Orellana industry palm oil through a small-scale test framed in a circular economy to verify compliance with the Environmental Quality Standard. The methodology implemented had a quantitative and experimental approach because a prototype of a purification system was made, which consisted of four phases organized in cooling, anaerobic digestion, gravitational sedimentation, and biofiltration. Likewise, in situ and ex-situ analysis was carried out for seven parameters established in Table 9 conforming to the limits for discharge into a freshwater body, Annex 1, Ministerial Agreement 97-A, of the Reform of the Unified Text of Secondary Environmental Legislation. Data analysis was performed with Excel and IBM SPSS Statistics tools. This method showed the removal efficiency of Total Suspended Solids with 99.38; Total Solids 89.81; Biochemical Oxygen Demand 89.32; Chemical Oxygen Demand 81.61; Oils and Fats 81.44 and Temperature 59.06 respectively. While hydrogen potential increased its value from 4.2 to 4.4. In addition, a paired samples T Student test confirmed a significant difference between the conditions before and after the experimental procedure. In this context, it is concluded that the treatment is efficient in reducing the pollutant load in this type of industry. However, five parameters do not comply with the maximum permissible discharge limit, with the exception of temperature and oil.

Key words: < BIOLOGICAL TREATMENT>, < EFFICIENCY >, < PALM EFFLUENT>, < POLLUTANT>.



Firmado electrónicamente por:
SILVIA LICETT RAMOS
IDROVO

Reviewed by

Lic. Licett Ramos I., Mgs.

ENGLISH PROFESSOR

C.I 0603066960

INTRODUCCIÓN

En el año 2022, el aceite de palma africana aportó con el 4,5% del Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario del Ecuador, llegando a obtener un valor de 260 millones de dólares por la comercialización internacional de 161 mil toneladas de aceite de palma (PROPALMA, 2023, págs. 96-97). Mientras que, en el año 2021, los países que destacaron en la producción de aceite en América Latina fueron Colombia con el 2%, posteriormente Guatemala, Honduras, Brasil, y Ecuador con 1%. A nivel global, Ecuador ocupó el undécimo lugar en la categorización previamente mencionada. Esta producción se atribuye principalmente a las regiones de la Costa, Sierra y Oriente (Camacho et al., 2022, pág. 6).

Según cifras publicadas por (PROPALMA, 2022), la cadena productiva de palma durante el año 2021 generó una inversión de \$2320 millones en las etapas de cultivo, extracción e industrialización, dando apertura a 132000 empleos directos e indirectos. Este cultivo está distribuido en 13 provincias del país, ocupando el octavo lugar la provincia de Orellana con el 7%, que equivale a 11963 hectáreas (HA) cosechadas (págs. 84-87).

El desarrollo socioeconómico por la agroindustria plamícola es evidente. Sin embargo, (Leyva et al., 2019, pág. 3) exponen que la obtención de aceite de palma africana produce residuos que son capaces de provocar impactos desfavorables, como la liberación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), entre ellos el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y el dióxido de carbono (CO₂) (Skiba et al., 2020; Hosseini y Abdul, 2015).

Además de los contaminantes gaseosos, se generan desechos sólidos y líquidos. (Quintero y Torres, 2019) enumeran algunos de los residuos agroindustriales más comunes, que son racimos vacíos de fruta o raquis de palma, fibras, cuesco, lodos, efluentes líquidos conocidos con el nombre Palm Oil Mill Effluent (POME) (pág. 13). Este último residuo se genera en grandes volúmenes y se relaciona con peligros ambientales al poner en riesgo la vida acuática y humana (Mena et al., 2023; Alcívar et al., 2022, pág. 26).

El POME es un fluido denso de tonalidad marrón que posee niveles elevados de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Además, contiene altas concentraciones en material de celulosa, materia orgánica, sólidos totales, grasas y aceites. Todos estos compuestos perjudican al ecosistema, siendo indispensable un tratamiento antes de ser liberado a los recursos hídricos (Rupani et al., 2010, pág. 1190; Narváez, 2015, págs. 28-29).

Los notables impactos ambientales han llevado a que los países elaboren leyes con la finalidad de que las empresas minimicen los perjuicios y aspectos desfavorables, promoviendo el cuidado ambiental mediante un enfoque sostenible de los recursos naturales (Espino, 2023, pág. 414). En Ecuador, el (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2017b), mediante el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), ha establecido medidas necesarias para evitar, reducir, gestionar, controlar y corregir los impactos ambientales negativos.

Pérez y Ríos mencionan que la protección ambiental es una cuestión de gran importancia. Todos, en especial las industrias, deben asumir la responsabilidad de generar la más baja cantidad de elementos nocivos que son liberados al medio natural. En cumplimiento de las normativas ambientales, las diversas industrias tienen la obligación de implementar tratamientos que permitan disminuir los contaminantes generados durante los procesos productivos (2018, pág. 20).

Las industrias dedicadas a la extracción de aceite de palma han incluido un sistema depurativo a las aguas residuales con el objetivo de reducir la contaminación originada en su operación (Mohammad et al., 2021). Habitualmente otorgan un tratamiento a los efluentes en piscinas de oxidación para la degradación de la materia orgánica mediante el uso de bacterias. Estas prácticas han permitido que considerables volúmenes de agua reciban una depuración factible (Onofre y Rivera, 2021, pág. 21).

En el cantón Francisco de Orellana se encuentra ubicada la Extractora Río Coca S.A., industria dedicada a extraer aceite a partir del fruto de la palma africana. Durante este proceso se obtienen varios residuos, entre ellos el POME. Este fluido es resultante de procesos de lavado, esterilización, centrifugación y clarificación, el cual se caracteriza por contener una elevada carga orgánica que puede ser altamente contaminante en caso de no realizar un correcto tratamiento. Además de los efluentes líquidos, la empresa produce otros residuos que pueden convertirse en un recurso de aprovechamiento aplicando principios de economía circular, como por ejemplo la utilización de carbón activado y raquis de palma en un sistema de biofiltración.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Las industrias palmícolas contribuyen al desarrollo económico y alimentario del país, pero al mismo tiempo demandan grandes cantidades de agua para el desarrollo de sus procesos. Esto genera altos volúmenes de efluentes líquidos y residuos sólidos que provocan impactos adversos en los ecosistemas (Rodríguez et al., 2019, pág. 160).

Entre los principales efectos ambientales que desencadenan las industrias aceiteras está el daño paisajístico, generación de olores, contaminación del suelo, ríos o esteros (Vera, 2016, pág. 55). (Arias, 2021) destaca que se genera alrededor de una tonelada de residuos por cada tonelada de aceite obtenido. Entre los subproductos resultantes de la extracción del aceite se obtiene la torta de palmiste, tusa, nuez de la semilla, fibras del fruto y emanación de gases (pág. 16).

Las industrias que dirigen la descarga de sus efluentes sin previo tratamiento a los cuerpos de agua infringen lo establecido en la normativa ambiental. Estas acciones generan aspectos negativos, que ocasionan la degradación de condiciones naturales, por ende, presentan repercusiones a la salud de la población (Bravo et al., 2021, pág. 157).

El POME se caracteriza por ser un líquido espeso, portador de un alto contenido de materia orgánica que disminuye la presencia de oxígeno para los organismos vivos que habitan en el medio acuático (Moreno, 2015, pág. 9). Además, posee un pH ácido, grasas y aceites, Nitrógeno Total Kjeldahl (TKN) y elevadas temperaturas (Rupani et al. 2010, pág. 1124; Palm Oil Alliance, 2017).

Es un residuo palmícola complicado de tratar por su gran volumen de producción y la baja eficiencia de los tratamientos (Acuña, 2004; citado en Potter, 2011, pág. 45); (Saputera et al. 2021, pág. 10). Este tipo de efluentes comúnmente reciben un proceso depurativo en piscinas de oxidación de amplias dimensiones. En donde se lleva a cabo la descomposición biológica, por parte de microorganismos que utilizan el poco oxígeno presente en el agua, produciendo la acumulación de desechos sólidos, emisión de gases y fuertes olores (Arias, 2021, pág. 18).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar la eficiencia de un tratamiento biológico aplicado a un efluente de industria palmícola en la provincia de Orellana mediante un ensayo a escala reducida enmarcado en economía circular para verificar su cumplimiento con la Norma de Calidad Ambiental.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el estado del efluente de la industria palmícola Extractora Río Coca S.A. mediante un análisis in situ y ex situ de parámetros físicoquímicos del agua.
- Elaborar un sistema de tratamiento biológico a escala reducida con aprovechamiento de los residuos obtenidos en la extracción de aceite de palma africana.
- Evaluar la eficiencia del tratamiento biológico al determinar los porcentajes de remoción entre las condiciones iniciales y finales del efluente.

1.3. Justificación

(López y Cherez, 2019) exponen que el desarrollo industrial favorece el crecimiento económico y mejoramiento de la calidad de vida del ser humano, pero también implica perturbaciones ambientales. El equilibrio de los ecosistemas del planeta se encuentra en peligro, adquiriendo importancia alrededor del mundo, al igual que la disposición final de los residuos (pág. 19).

El fruto de palma africana, al igual que muchos cultivos que se producen dentro del territorio nacional, es de gran beneficio para la producción industrial alimenticia. En el campo laboral, aporta un sustento económico a las familias (Tuesta, 2021). La transformación de la materia en aceite refinado genera beneficios económicos, pero también perjuicios como la liberación de GEI, pérdida de biodiversidad, el agotamiento de recursos no renovables.

De acuerdo con (Malacatus et al., 2017, pág. 467), la extracción de aceite crudo de palma africana en Ecuador produce grandes cantidades de aguas residuales que no son cuantificadas. Sin embargo, un estudio aplicado a cinco extractoras de aceite situadas en diferentes provincias como

Pichincha, Santo Domingo y Esmeraldas determinaron que el valor promedio de caudales de los efluentes en relación a la cantidad de fruta fresca es de 0,84 m³/Trff.

Los efluentes provenientes de las plantas de procesamiento del aceite que son liberados a las corrientes de agua más próximas a la industria producen eutrofización, por su alto contenido en nutrientes. El POME es capaz de agotar el oxígeno del agua 100 veces más que las aguas residuales domésticas. Es una contaminación tan alta que afecta el funcionamiento del ecosistema al poner a los organismos acuáticos en peligro de extinción (Ng, 2017, pág. 2). Por lo tanto, este líquido debe ser depurado por un tratamiento óptimo antes de ser descargado al ambiente (Althausen, 2016, pág. 31).

Entre otros residuos se produce biomasa residual lignocelulósica que al no aplicar un tratamiento correcto originan impactos socioeconómicos y degradación del entorno natural. Es importante recalcar que portan particularidades que pueden ser aprovechadas por medio de la conversión de la biomasa en tratamientos físicos y biológicos (Vanegas, 2019, pág. 82).

Para cubrir la demanda de aceite frente al continuo desarrollo humano e industrial, se proyecta que se intensifique su producción y refinación. Por ende, la generación del POME y otros residuos aumentarán proporcionalmente a dicha producción. Ante esta situación surge la necesidad de diseñar sistemas de depuración eficientes y seguros que garanticen que se cumpla con los límites de descarga antes de ser vertidos al medio acuático.

Por lo cual, la finalidad del presente trabajo fue determinar la eficiencia de un tratamiento aplicado en un ensayo a escala reducida al efluente de la industria palmícola Extractora Río Coca S.A. Al emplear el tratamiento biológico, se buscó reducir la contaminación y brindar una alternativa de aprovechamiento de los residuos generados por la misma industria. A la vez, que el efluente es depurado, se fomenta la economía circular y una producción amigable con el ambiente.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis nula

La eficiencia de remoción de carga contaminante en aguas residuales de la industria palmícola es inferior en la fase de digestión anaeróbica en comparación con las fases de enfriamiento, sedimentación y biofiltración.

1.4.2. Hipótesis alternativa

La eficiencia de remoción de carga contaminante en aguas residuales de la industria palmícola es superior en la fase de digestión anaeróbica en comparación con las fases de enfriamiento, sedimentación y biofiltración.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Palma africana

Es una planta monocotiledónea, del orden palmales, familias palmáceas, perteneciente al género *Elaeis* (Anyaocha et al, 2018). La altura que puede llegar a alcanzar la palma es de 20 a 30 metros (m). El tronco o espite está cubierto por hojas pinnadas que alcanzan la longitud de 5 a 7 m, mismas que van cayendo o son cortadas (Forero et al., 2012, pág. 70).

La palma africana es originaria del Golfo de Guinea, de allí procede su popular nombre *Elaeis Guineensis*. Hallazgos fósiles, históricos y lingüísticos comprueban que es nativa de África Occidental (Baquero y Rico, 2020, pág. 3). La llegada de este fruto a Latinoamérica se atribuye al régimen alimenticio de los esclavos africanos que eran comercializados por los colonizadores (Cortes, 2009, págs. 10-14).

Este cultivo presenta mayor potencial de crecimiento y desarrollo en regiones que cuenten con una precipitación distribuida en el transcurso del año, mientras que la temperatura anual ideal es de 22 a 28 °C. En cuanto a las características del suelo, requiere humedad relativa superior al 80% y con altura sobre el nivel del mar que no supere los 500 m (Intagri, 2021, pág. 12).

2.2. Aceite de palma

El aceite de palma africana es extraído de la pulpa del fruto de la palmera *Elaeis Guineensis*, el cual cuenta con beneficios derivados de su contenido en β -caroteno, ácido palmítico y vitamina E (Mba et al., 2015). Se ha convertido en uno de los aceites vegetales más consumidos a nivel global. Palm Oil Alliance, (2017) revelan las siguientes cifras:

- El 38 por ciento de la producción mundial de aceites y grasas se le atribuye al aceite de palma y palmiste.
- Anualmente, se producen 62 millones de toneladas de aceite de palma.
- Una planta de palma produce hasta 40 kilogramos (kg) de aceite al año.
- Indonesia y Malasia son las naciones con mayor producción de aceite a nivel mundial, suministrando el 85 por ciento del aceite utilizado por la población.

2.3. Industria palmícola en Ecuador

Actualmente, el cultivo de palma africana se expande por el territorio ecuatoriano. Los primeros cultivos dotan del año 1953, en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Esmeraldas, en el cantón Quinindé (Lasso, 2018, pág.10). De acuerdo con lo expuesto en el Boletín Técnico de Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), la palma africana se encuentra ubicada en el tercer puesto de los cultivos permanentes de mayor producción en el sector agrícola, con una superficie de cosecha de 152.529 HA, superado únicamente por la caña de azúcar y banana (Orbe y Cuichán, 2022, pág. 9).

La ficha sectorial de la industria de aceite y grasas de origen vegetal, expuesta por la (Subgerencia De Análisis De Productos y Servicios, 2023) reveló que, en el año 2022, los ingresos provenientes de las ventas y exportaciones de este sector experimentaron un aumento del 16% en relación con el año 2021. Según el (Ministerio de Comercio Exterior, 2017), entre el periodo 2010 y 2016, el aceite de palma africana llegó a posesionarse en el séptimo producto agrícola de exportación a nivel nacional. La industria aceitera se ha convertido en una de las más dinámicas ajena a la industria tradicional y petrolera del Ecuador.

La extracción y refinación del aceite de palma en Ecuador desempeñan un papel crucial en la economía e industria alimentaria (Cheng et al., 2021). De acuerdo con la información proporcionada por la (Subgerencia De Análisis De Productos y Servicios, 2022), durante el año 2021, se contabilizaron 76 empresas enfocadas en actividades relacionadas con el cultivo de palma africana, como se presenta en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Actividades relacionadas al cultivo (A012601)

Tamaño de la empresa	# Empresas 2021	# Empleados 2021
Grande	5	2348
Mediana	13	489
Pequeña	23	224
Microempresa	35	195
Total	76	3256

Fuente: Subgerencia De Análisis De Productos y Servicios, 2022

En la ilustración 2-1, se da a conocer de manera detallada el número de empresas que participan en el cultivo de palma de aceite por provincias. Se evidencia que Santo Domingo tiene el mayor número de empresas dedicadas a esta actividad, correspondiendo al 23%; mientras que Guayas le sigue con el 21 %.

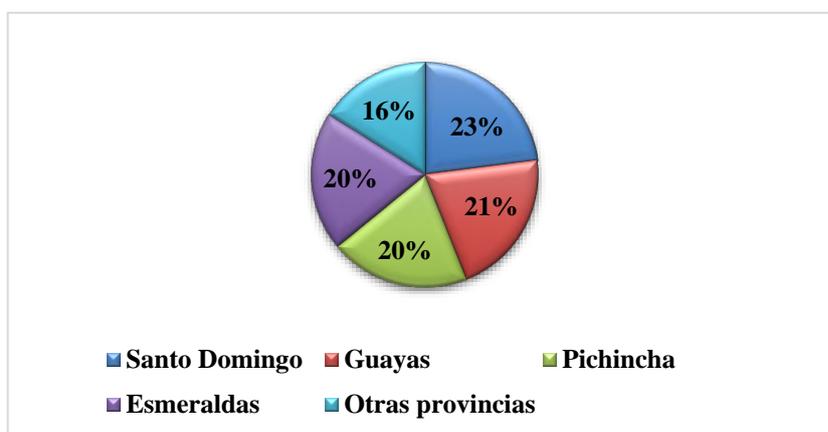


Ilustración 2-1: Empresas que cultivan palmas de aceite por provincia

Fuente: Subgerencia De Análisis De Productos y Servicios, 2022

Por otra parte, 27 empresas estuvieron dedicadas a la manufactura del aceite. Estas empresas brindaron empleo a 3256 y 5376 personas, respectivamente. La información distribucional de estas empresas se presenta detalladamente en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Actividades relacionadas a la manufactura (C1040)

Tamaño de la empresa	# Empresas 2021	# Empleados 2021
Grande	9	5183
Mediana	7	146
Pequeña	9	39
Microempresa	2	8
Total	27	5376

Fuente: Subgerencia De Análisis De Productos y Servicios, 2022

En la ilustración 2-2, se da a conocer de manera detallada el número de empresas que participan en la manufactura del aceite de palma por provincias, en la cual se evidencia que Esmeraldas tiene el mayor número de empresas dedicadas a la manufactura correspondiendo al 26%; Guayas se posesiona con el 18 %, mientras que Los Ríos es la provincia con menor porcentaje.

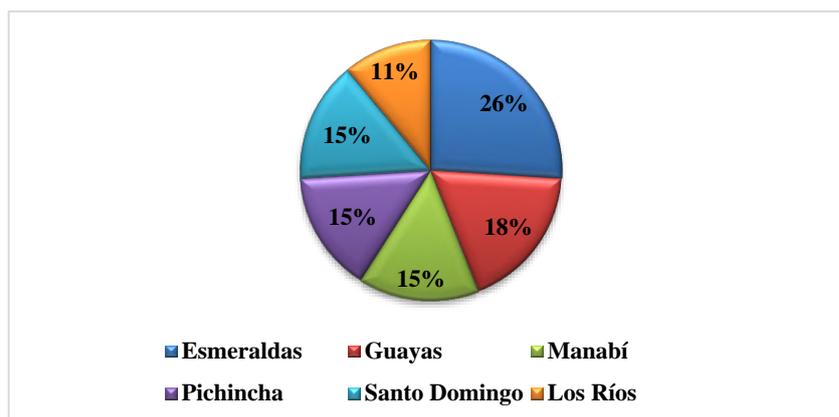


Ilustración 2-2: Empresas dedicadas a la manufactura del aceite

Fuente: Subgerencia De Análisis De Productos y Servicios, 2022

2.4. Proceso de extracción de aceite de palma

(Rivas, 2016, págs. 10-12) describe que el proceso de extracción del aceite de palma puede variar según la tecnología utilizada por cada empresa. La ilustración 2-3, representa el procedimiento generalmente asignado al fruto de palma para extraer su néctar aceitoso.

El proceso de extracción empieza con el acopio de la fruta y la evaluación de su calidad. La esterilización es el proceso en que la fruta fresca es llevada al molino que opera a presiones y temperaturas elevadas. Esto permite el aflojamiento y desgrane del fruto mediante el empleo de un tambor rotativo a altas velocidades. Posteriormente, pasa al digestor, donde se procede a calentar a temperaturas cercanas a los 100°C, para la extracción del aceite y triturar la nuez (Valdez, 2021, págs. 8-10).

Una vez realizados estos procesos, empieza el prensado, en el cual se utiliza el agua de dilución para el lavado de la fibra y la extracción. El aceite que se obtiene es de color rojo debido a la tonalidad rojiza de la pulpa de la fruta. Después de este proceso empieza el tamizado, que consiste en el ingreso del aceite y agua para ser homogeneizados y clarificados, tiempo en que la pulpa tamizada es devuelta al digestor para repetir el ciclo (Moncada, 2022, pág. 80).

Además, se lleva a cabo la separación del aceite, agua y lodos del licor de prensas, mediante el clarificador, logrando una relación de humedad. Finalmente, se realiza el almacenamiento, etapa donde el aceite es almacenado antes de su transporte a otras instalaciones para continuar con el proceso de refinación.

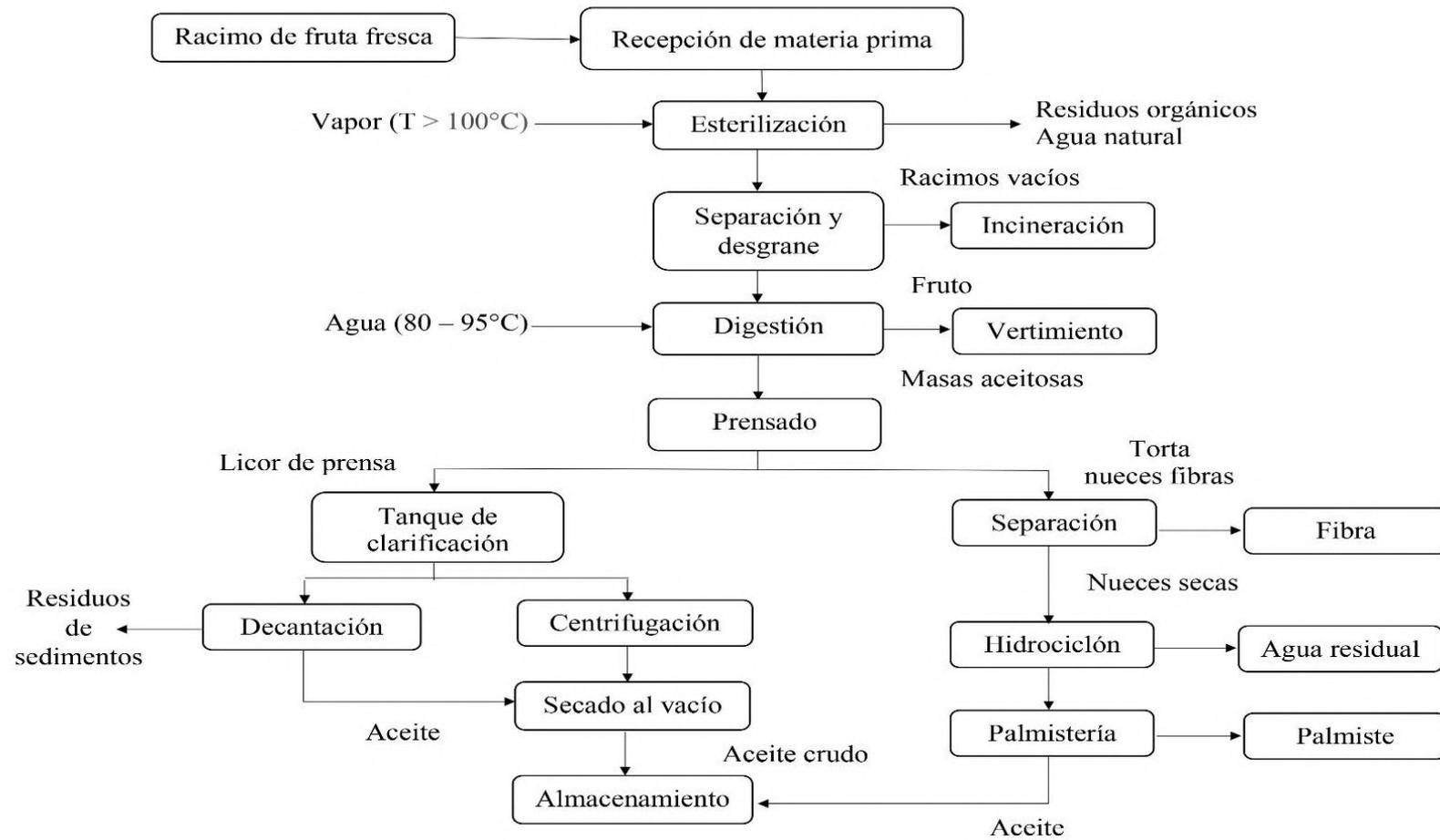


Ilustración 2-3: Proceso de extracción de aceite de palma y residuos generados

Fuente: Vanegas, 2019

2.5. Residuos de la extracción de aceite de palma

La clasificación más popular que se le asigna a los residuos obtenidos en los procesos extractivos del aceite se expone en la tabla 2-3. (Bonomie y Reyes, 2012, pág. 325) identifican el tipo del efluente de acuerdo con las etapas del proceso de extracción. En la primera etapa, recepción de la fruta, se identifican impurezas del mismo fruto. En la esterilización se obtienen líquidos por el proceso del vapor utilizado. Las ramas vacías, producto del desmembrado de la fruta conocido con el raquis o tuza de palma, se generan en la etapa de desfrutado. Mientras que, en el rompimiento del calor y presión mecánica de la extracción y clarificación del aceite, quedan líquidos lodosos que son conducidos a las piscinas para su posterior tratamiento (Vanegas, 2019, pág. 13).

Tabla 2-3: Principales residuos de la extracción de aceite de palma

Residuo	Porcentaje de generación (%)
Raquis	23
Fibra mesocárpica	14
Cuesco	7
Lodo (torta)	6
Efluentes líquidos	45
Otros	5

Fuente: Baquero y Rico, 2020

Realizado por: Bravo I., 2024

2.5.1. Residuos sólidos

Los residuos sólidos generados en el proceso extractivo son una parte importante de la industria del aceite. El tratamiento, al igual que la disposición de los desechos, es un desafío para un desarrollo sostenible (Bonomie y Reyes, 2012, pág. 325). Los principales tipos de biomasa sólida son las cáscaras, fibras, los racimos estériles de la palma y lodos (Núñez et al., 2022, pág. 59). Estos pueden ser utilizados eficazmente para producir biocombustibles, como una alternativa ecológica.

2.5.2. Residuos líquidos

La extracción de aceite rojo requiere de una gran cantidad de agua, por lo que la descarga del líquido residual es grande. Por cada tonelada de fruta procesada se producen aproximadamente 0,648 toneladas de agua residual. Este efluente llega a ser 0,428 metros cúbicos por toneladas por

día y contienen, 0,8% de grasas, 94,8% de agua y 4,4% de material suspendido (NEGCORPBIS S.A., 2012; citado en Rodríguez y Sangucho, 2018, pág. 30).

Además, se puede mencionar que el origen del POME proviene de las operaciones unitarias detalladas en la tabla 2-4. Sin embargo, la mayor generación del efluente se origina en el proceso de clarificación y esterilización (Robalino y Zambrano, 2022, pág. 31).

Tabla 2-4: Procesos unitarios

Origen	% de Generación
Clarificación	75
Esterilización	13
Deshidratación	8
Purgas de caldera	4

Fuente: Robalino y Zambrano, 2022

Realizado por: Bravo I., 2024

2.5.3. Residuos gaseosos

La extracción de aceite de palma contribuye al calentamiento global al provocar emisiones de gases. La principal fuente de GEI proviene de las plantas procesadoras, principalmente de las instalaciones de extracción de aceite (*World Wildlife Fund*, 2020).

Las emisiones también están asociadas a la incineración de combustible para producir vapor y biogás, los cuales se liberan durante la fermentación anaeróbica en tanques de tratamiento (Saswatecha et al, 2015, pág. 77). Las emisiones incluyen gases como dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y material particulado (Ezekwe et al, 2017, pág. 92).

2.6. Contaminación hídrica por efluentes

Desde una perspectiva humana, las aguas residuales a menudo se consideran una contaminación en el momento en que son descargadas a un cuerpo natural (Velasco et al, 2019). Los efluentes de los molinos de aceite de palma son un subproducto de la industria palmera y liberan grandes cantidades de GEI. Los sistemas hídricos se ven contaminados por el vertimiento del POME sin ningún tratamiento o proceso de normalización a estanques o ríos, desencadenando una serie de peligros a la vida acuática (Hosseini y Abdul, 2015, pág. 773).

En el Ecuador, la capacidad de tratamiento de aguas residuales de origen industrial y municipal es deficiente, principalmente por los altos costos que implica la implementación de sistemas depurativos. Además, el incumplimiento de las políticas públicas relacionado con la conservación del ambiente (Morales y Loor, 2023, pág. 92).

2.7. Sistema de tratamiento de efluentes

Es un conjunto de acciones individuales de tipo físico, químico, fisicoquímico o biológico encaminadas a prevenir o reducir la contaminación o características indeseables. El objetivo de estas operaciones es obtener agua con propiedades adecuadas para su uso, por lo que la combinación de estos procesos varía dependiendo de la naturaleza del agua de partida y su destino final (Martínez y Naranjo, 2021, pág. 16).

Algunas fábricas han adoptado el sistema de tratamiento biológico por facilidad económica, porque tiene un bajo mantenimiento operativo, simplicidad y facilidad de manejo (Nahrul et al, 2017, pág. 529). Principalmente, los procesos de depuración donde intervienen microorganismos pueden dividirse en anaeróbico, facultativo, aeróbico y aireado. Asimismo, el consumo de demanda energética de los sistemas de hermeticidad es muy bajo debido a la ausencia de mezclado mecánico y al escaso control o seguimiento del funcionamiento (Jumadi et al., 2020, pág. 4).

2.8. Tipos de tratamientos para aguas residuales

El tratamiento de los efluentes es un proceso crucial para mantener la calidad del agua y la salud pública (Vásquez et al., 2018). Cada fase de un tratamiento tiene diferentes funciones en la depuración, junto a la combinación de métodos que pueden ser aplicados.

Cabe mencionar que el tipo y la intensidad de tratamiento dependerán de la cantidad de los contaminantes en las aguas residuales (Alcívar et al., 2022, pág. 6). Es esencial que la planta de tratamiento esté en condiciones óptimas para garantizar una depuración eficaz y dar cumplimiento de la normativa ambiental.

2.8.1. Tratamiento químico

El tratamiento químico es una serie de procesos que requieren la adición de sustancias químicas que desestabilizan determinadas partículas del agua cambiando sus propiedades. Estos procesos

son la floculación, coagulación y la desinfección que facilitan la separación y eliminación de impurezas del agua (Rodríguez y Barrera, 2020).

2.8.2. Tratamiento físico

Son métodos que consisten en aplicar separación física, principalmente de sólidos de tamaño grande, sin generar alteración química. Además, las partículas voluminosas pueden generar problemas en los procesos operativos del tratamiento, y para ello existe el sistema de rejillas, tamizado, desarenadores y filtración de sólidos (Rodríguez y Sangucho, 2018, pág. 12).

2.8.3. Tratamiento biológico

Estos métodos utilizan procesos biológicos para eliminar contaminantes. Los microorganismos actúan como reductores aprovechando la carga microbiana para reducir la materia orgánica convirtiéndola en sólidos sedimentables (Moncada, 2022, pág. 10). Por lo que, pueden ser procesos aeróbicos o anaeróbicos como lodos activados, filtros de succión, biodigestión anaeróbica o lagunas aireadas, que pueden utilizarse para producir energía (Tigse, 2018, pág. 7).

2.9. Biodigestor

Son contenedores donde ocurren varias reacciones bioquímicas, a su vez tienen muchas aplicaciones como la elaboración de cerveza, vino y tratamiento de aguas residuales. Es así que su estructura es cilíndrica, cerrada, hermética e impermeable de tamaño variado (Cepero, 2012, pág. 220). Por lo cual, en estos reactores se deposita material orgánico para la degradación. La materia orgánica presente en el cilindro puede ser acuosa, favoreciendo procesos fermentativos.

El recipiente brinda condiciones óptimas para los organismos o sustancias que se cultivan dentro del tanque. Por lo tanto, el diseño y estructura de un biorreactor depende de las condiciones del efluente, y las variables ambientales a que el reactor estará expuesto (Paredes, 2015, pág. 13).

2.9.1. Tipos de biodigestores

2.9.1.1. Biodigestor de tipo continuo

Es un sistema de flujo continuo, donde ingresan los residuos orgánicos por un extremo y son expulsados por otro extremo como fertilizante orgánico. La carga y descarga es un proceso continuo, requiere de disponibilidad constante de desechos orgánicos (Ortega et al, 2019, pág. 38). Por lo cual, se aplica especialmente para depurar aguas residuales que provienen de procesos industriales (De la Merced, 2012, pág. 29).

2.9.1.2. Biodigestor de tipo semicontinuo

El digestor presenta una alimentación semicontinua debido a que utiliza residuos que provienen de fincas o haciendas, facilitando la producción de bioles de una forma rápida y eficaz. (Wong, 2023, pág. 5242). La materia orgánica se adiciona de manera continua para llenar el biodigestor. Una vez que el biodigestor se encuentra lleno, cambia el modo de operar de discontinuo a continuo. La principal desventaja del proceso son los lodos, porque no se digieren completamente; por lo tanto, se obtiene un rendimiento de biogás bajo (De la Merced, 2012, pág. 30).

2.9.1.3. Biodigestor de tipo discontinuo

Son contenedores herméticos donde el proceso de biodegradación de los residuos no llega a terminar si no se ha producido todo el biogás posible. Este biodigestor puede contener gran carga de residuos utilizando muy poca agua. Por lo tanto, este sistema usa una batería digestora que se carga a diferente intervalo de tiempo para que el gas se produzca de manera constante (Cardozo, 2019, pág. 9).

2.10. Etapas de tratamiento

El tratamiento de las aguas residuales se puede realizar mediante cuatro fases como el pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario (Velasco et al, 2019, págs. 20-21). Cada una de estas fases cumple un rol fundamental en la depuración de las aguas residuales. Además, en cada planta de purificación tienen lugar otros procesos que se asocian a los subproductos que se obtienen (Núñez et al., 2022, págs. 3-5).

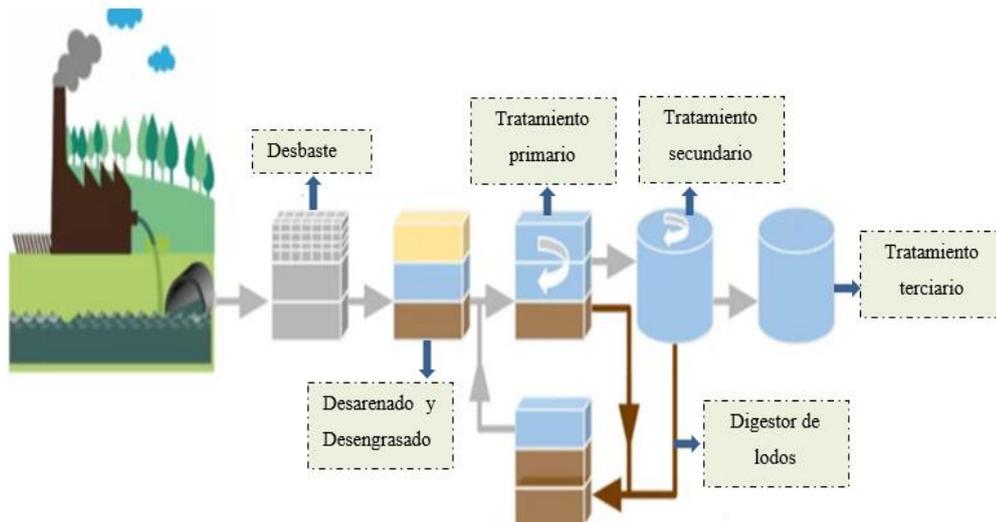


Ilustración 2- 4: Etapas de una estación depuradora de aguas residuales

Fuente: CRF INSTRUMENTS S.L. 2024

2.11. Componentes de un sistema de tratamiento

Un sistema de tratamiento consta de varios componentes necesarios para la depuración de las aguas residuales. A continuación, se detallan algunos elementos que conforman un sistema de purificación de los efluentes de extracción de aceite de palma africana.

2.11.1. Tanque florentino

Rivas (2016, págs. 42-43). menciona, que el tanque florentino es una parte crucial del proceso de tratamiento de aguas. Es un tanque en la línea de clarificación y su función es remover, en lo posible materiales sedimentables tales como arenas y trozos de fruta, de manera que evita el desgaste de tuberías y bombas. De igual manera, se utiliza para recuperar recursos valiosos como las trazas de aceite que pueden incorporarse al proceso, previniendo daños medioambientales.

Además, estos tanques contienen serpentines de calentamiento, los cuales evaporan la humedad del aceite y sedimentan los sólidos suspendidos (Briones y Guerrero, 2019, pág. 10). El proceso de enfriamiento es muy importante para garantizar la vida de las bacterias que son necesarias en el tratamiento (Himmatuliza, 2016, pág. 6; Agustina et al., 2020, pág. 2).

2.11.2. Biodigestor batch

Es un contenedor cerrado que se carga una sola vez con sustancias orgánicas y se descarga cuando deja de producir gas combustible. Pueden contener una gran cantidad de materiales como residuos vegetales y frutales, por lo que requieren poca agua (XU, Fuqing, et al, 2016). El proceso de fermentación es anaeróbico, en el que intervienen microorganismos que degradan la materia orgánica, en el que se obtiene biogás (metano y dióxido de carbono, con trazas de ácido sulfhídrico, dinitrógeno y dihidrógeno).

Asimismo, se obtienen residuos líquidos (biol) y sólidos (biosol) conocidos como bioabonos que, aplicados a otros procesos, se emplean como abono orgánico, debido a su contenido nutricional, como el nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (Nieves, 2018, pág. 16).

2.11.3. Sedimentador

Es una tecnología diseñada para la eliminación de sólidos que se encuentran suspendidos en el agua residual por el proceso de la sedimentación (Menéndez, 2022, pág. 25). Cabe mencionar que los sedimentadores tienen una clasificación de acuerdo al funcionamiento y diseño (Gullín y Ortega, 2018, pág. 20). Frecuentemente son utilizadas para separar y eliminar los sólidos (Bustamante et al., 2019, pág. 16).

2.11.4. Biofiltro

Bratieres, señala que el biofiltro se compone de un medio filtrante, con soportes de diferentes materiales. Está compuesto de capas que proveen estabilidad y aireación al sistema, aportando permeabilidad. Este método consiste en lechos empacados de elementos porosos que filtran el agua residual (2008, pág. 3934).

El medio filtrante actúa como base para el desarrollo de microorganismos que aportan a la eliminación de materia orgánica, nitrificación y desnitrificación (Zhang, et al., 2021). El proceso requiere de una recirculación del efluente o filtros en serie para disminuir la turbidez presente en el agua (Peñafiel et al., 2016, pág. 85).

2.11.5. Tratamiento de lodos

El tratamiento primario, secundario y terciario generan lodos en cada planta depuradora, lo que implica una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos (Moreno, 2022, pág. 6). Los lodos que se extraen de los procedimientos de los efluentes domésticos e industriales contienen sólido entre el 0.25 y el 12% de su peso. Estos contienen sustancias peligrosas, por lo que deben ser tratados, estabilizados, espesados y desinfectados, anteriormente a su disposición final (Pérez Salinas, 2019, pág. 17).

2.12. Economía circular

Cosenza et al., expresan que la búsqueda del desarrollo sostenible es un objetivo común para las organizaciones, incluyendo las empresas dedicadas a la palma. Además, destaca que la implementación de un sistema de gestión eficiente daría paso a alcanzar la sostenibilidad (2020, pág. 20). La economía circular es un modelo de producción y consumo que implica reconstruir y regenerar mediante un diseño (Cevallos, 2019, págs. 88-104).

Al mismo tiempo, se propone mantener los productos, composición y materiales en sus niveles de uso altos, es así que se convierte en un ciclo de desarrollo continuo. Esto conserva e incrementa el capital natural, optimizando los recursos y reduciendo los riesgos del sistema. De esta manera, el ciclo de vida de los productos se extiende por más tiempo (Cerdá y Khalilova, 2016, pág. 12).

2.12.1. Principios de la economía circular

La economía circular se basa en tres principios fundamentales que permiten un desarrollo circular promoviendo el impacto económico, social y medioambiental. De hecho, estos principios se describen en la tabla 2-5, con sus respectivos ejemplos.

Tabla 2-5: Principios de la economía circular

Número	Principios	Ejemplo
1	Preservar y aumentar el capital natural, controlando los stocks finitos y equilibrando los flujos de recursos renovables.	Cuando se necesitan recursos, el sistema selecciona sabiamente y elige tecnologías y procesos que utilizan recursos renovables o del más alto rendimiento, siempre que sea posible.

2	Optimizar el rendimiento de los recursos, circulando siempre productos, componentes y materiales en su nivel más alto de utilidad, en los ciclos técnico y biológico.	Diseñar para reelaborar, renovar y reciclar con el fin de mantener circulando en la economía los materiales y componentes, contribuyendo a la misma.
3	Promover la efectividad del sistema, haciendo patentes y proyectando eliminar las externalidades negativas.	Incluye reducir el daño causado a sistemas y áreas que afectan a las personas, tales como alimentos, movilidad, casas, educación, sanidad o entretenimiento. Gestiona externalidades como la contaminación del aire, el agua, la tierra, y el ruido, las emisiones de sustancias tóxicas y el cambio climático.

Fuente: Cerdá y Khalilova, 2016

Realizado por: Bravo I., 2024

2.13. Cuerpo legal

Ecuador es un país democrático, que en su cuerpo legal promueve la santificación del medio ambiente como eje central de las políticas públicas y reconoce a la naturaleza como sujeto de derechos, donde se trabaja para proteger y restaurar el entorno (Asamblea Nacional Constituyente, 2008, pág. 21).

Dentro del contexto constitucional del Buen Vivir, las personas son responsables de sus actos. Cada individuo tiene la responsabilidad de preservar el bienestar de los elementos bióticos y abióticos, viviendo en equilibrio y armonía con la naturaleza. En la tabla 2-6, se mencionan las normas y artículos que hacen referencia a la regulación de las actividades con relación al ambiente.

Tabla 2-6: Normativa legal

Constitución de la República del Ecuador	En su norma jurídica suprema, fomenta el derecho a habitar en un entorno saludable y equilibrado desde el punto de vista ecológico. Los artículos 411 y 412, dispuestos en el Título VII, hacen mención a que el Estado se compromete a garantizar la conservación y la correcta gestión de los recursos hídricos, especialmente en las zonas de recarga de agua, mediante normativas que controlan las actividades que afectan a la calidad, la cantidad y el equilibrio ecológico del agua.
---	---

<p align="center">Código Orgánico del Ambiente (COA)</p>	<p>El COA, en su normativa regula las materias necesarias para la gestión ambiental, como lo describe los artículos 199 y 200, establecen que se deben ejecutar actividades de control y seguimiento de la calidad con la finalidad de confirmar el cumplimiento de las normas y obligaciones ambientales, así como la implementación de medidas diseñadas para prevenir, evitar y remediar los daños negativos al ambiente.</p>
<p align="center">Ley orgánica y recurso hídrico, usos y aprovechamiento del agua</p>	<p>Establece un marco jurídico para la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos del país. En el artículo 79 se establecen objetivos de prevención y conservación del agua. Aborda cuestiones como la planificación, asignación y control de los recursos hídricos, la participación pública y la prevención de la contaminación del agua de actividades que puedan provocar el deterioro de la calidad del agua.</p>
<p align="center">Ley destinada al fortalecimiento y desarrollo de la producción, extracción, comercialización y derivados de la palma aceitera</p>	<p>Ley encaminada al desarrollo de la palma africana, donde se involucran los factores claves como la responsabilidad empresarial con el ambiente. El artículo 10 y 16, aborda la cuestión del acceso al agua para riego y drenaje, además de la supervisión de la calidad del agua derivada de la actividad agroindustrial y las plantaciones de palma aceitera.</p>
<p align="center">Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)</p>	<p>Norma técnica ambiental destinada a la gestión sostenible del medio ambiente y los recursos naturales. Establece principios ambientales, regula la ordenación del territorio, establece procedimientos de evaluación de impactos, promueve la conservación de la biodiversidad, y establece la responsabilidad de quienes causen daños.</p>

Fuente: Asamblea Nacional Constituyente, 2008; Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica, 2017a; Agencia de Regulación y Control de Agua, 2014; Asamblea Nacional República del Ecuador, 2020, Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica, 2017b

Realizado por: Bravo I., 2024

En el Acuerdo Ministerial No. 97, publicado en el Registro Oficial Suplemento 387, de 4 de noviembre del 2015, establecen criterios y límites de descarga de agua para distintos sectores. Para la presente investigación se consideró la tabla 9, de la normativa vigente, donde menciona el límite permisible para la descarga a un cuerpo de agua dulce con sus respectivos parámetros, mismos que exponen en la Tabla 2-7.

Tabla 2 Error! No text of specified style in document.-7: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	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	Bo	mg/l	2,0
Cadmio	Ca	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	Ext. Carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliforme Fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	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 KjedaH1	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de Hidrogeno	pH		6 – 9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural +-3
Tensoactivo	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

*El color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2015

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en el interior de los predios de la Extractora Río Coca S.A. La empresa se encuentra ubicada al margen derecho del kilómetro 8 ½, vía Lago Agrio, en la provincia de Orellana, Cantón Francisco de Orellana. El clima que caracteriza al cantón es tropical cálido húmedo, con una temperatura media que alcanza los 26 °C, mientras que el promedio anual de las precipitaciones es de 3000 mm. Esta información es proporcionada por (GADMFO, 2023) en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. La Ilustración 3-1 indica el punto geográfico donde se ejecutó el estudio.

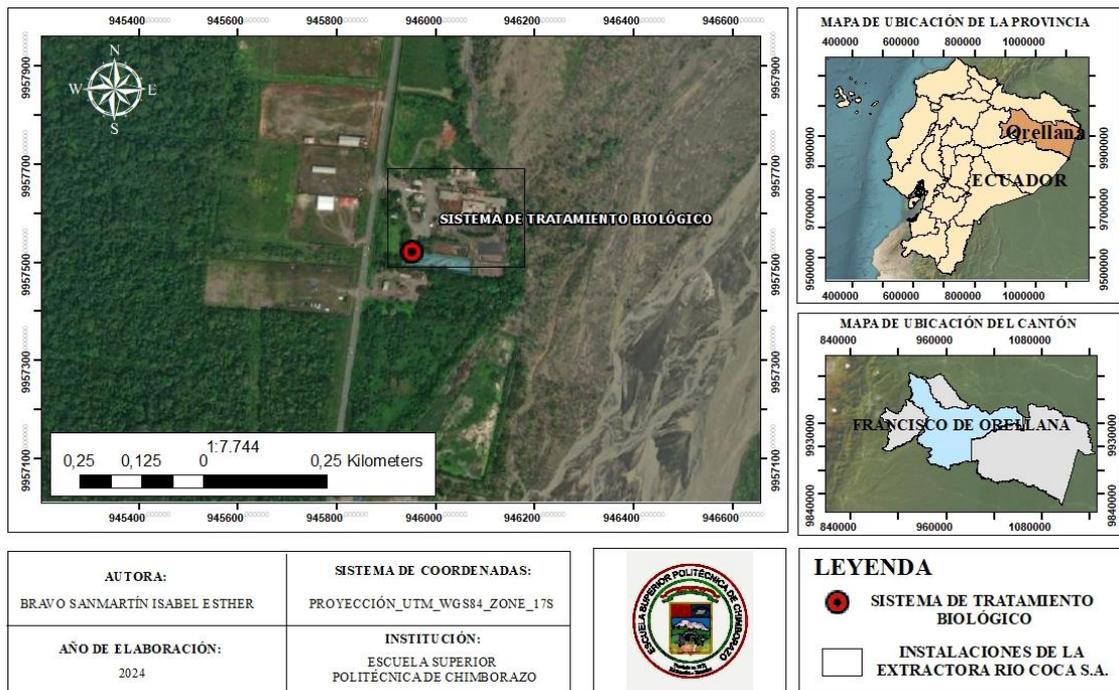


Ilustración 3-1: Mapa de ubicación del sistema de tratamiento

Realizado por: Bravo I., 2024

3.2. Enfoque de la investigación

El desarrollo de la presente investigación se centró en un estudio cuantitativo y experimental, por la elaboración de un prototipo a escala reducida de un sistema de tratamiento biológico. Se empleó un análisis estadístico al concluir la experimentación, para determinar la remoción de los contaminantes mediante las variaciones numéricas de los parámetros de calidad del agua.

3.3. Alcance de la investigación

Está limitada a la elaboración del prototipo a escala reducida y establecer la eficiencia del proceso de tratamiento biológico, la cual se determinó mediante una ecuación matemática. Los datos necesarios para el análisis fueron recolectados en monitoreos de los parámetros de calidad del agua durante el transcurso de la experimentación.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño del presente estudio aplicó una serie de pasos enfocados en dar solución a la problemática de los efluentes generados por las industrias palmícolas. Por lo tanto, se realizó un plan detallado de la estructura de la investigación que permitió concluir satisfactoriamente el Trabajo de Integración Curricular. La ilustración 3-2 muestra el proceso aplicado.

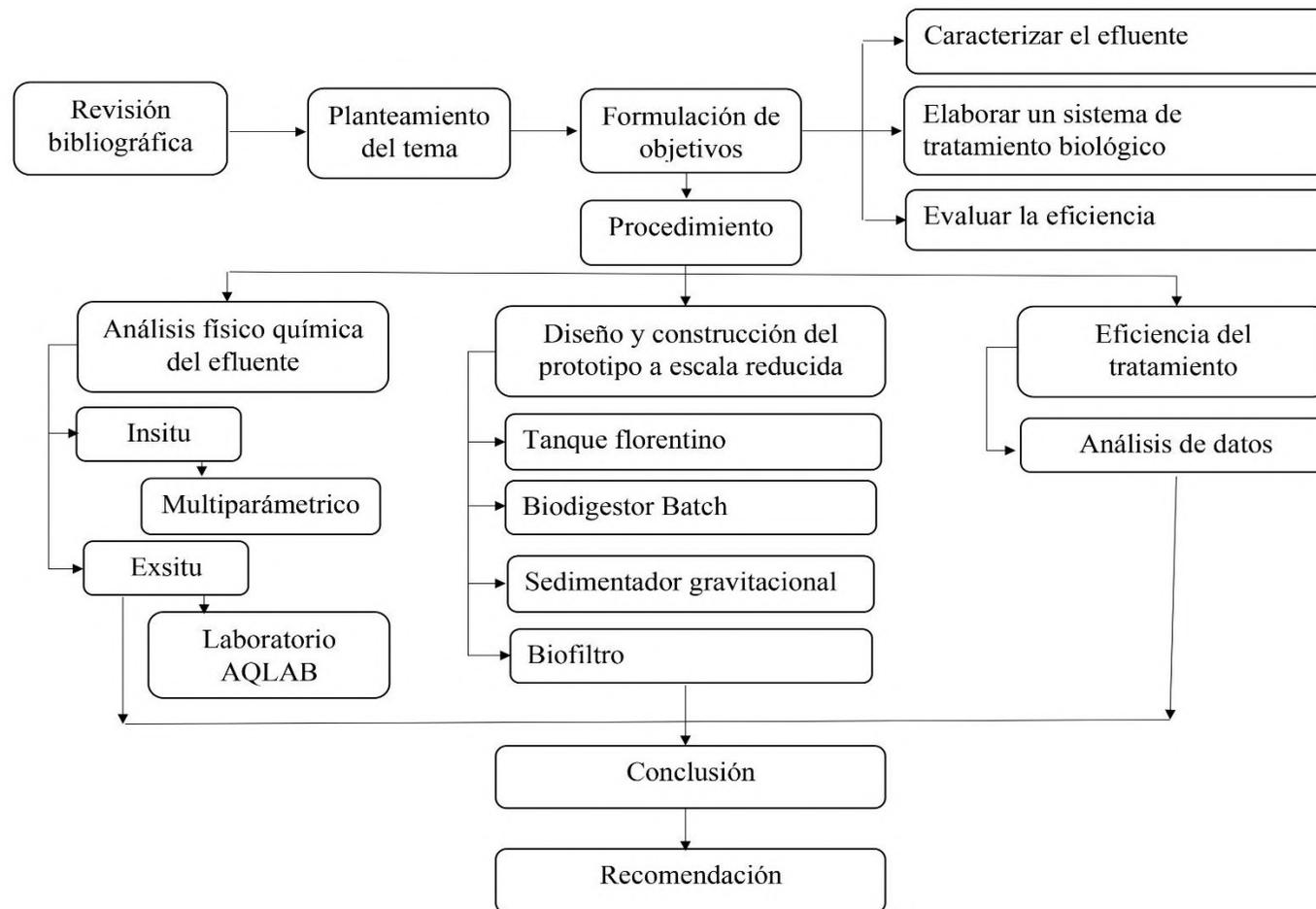


Ilustración 3-2: Diseño de la investigación

Realizado por: Bravo I., 2024

3.5. Tipo de investigación

Se catalogó como descriptiva y bibliográfica. La observación e interpretación del comportamiento de las variables de manera cuantitativa clasificó a la investigación como descriptiva. También abordó un método de investigación aplicada al brindar una solución al efluente industrial palmícola mediante un tratamiento biológico.

Según Grazziotin et al., la investigación bibliográfica consiste en una técnica de revisión del material bibliográfico existente relacionado con un tema específico. Esto implica seleccionar y recopilar información mediante la lectura de documentos y materiales bibliográficos (2020, pág. 6). Este procedimiento de revisión de artículos, tesis, libros e investigaciones se aplicó en el desarrollo del tema.

3.6. Desarrollo de la investigación

El desarrollo experimental se realizó de acuerdo con el orden de identificación de los objetivos específicos, detallando de manera clara los puntos considerados en la investigación. A continuación, se exponen tres fases que detallan los procedimientos aplicados.

3.6.1. Primera Fase: Caracterización del efluente palmícola

3.6.1.1. Selección de parámetros a analizar

Para elegir los parámetros a analizar se consideró la tabla 9 correspondiente a los límites de descargas a cuerpos de agua dulce, establecida en el Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, Reforma del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, Libro VI. Asimismo, se detalla la metodología aplicada en la caracterización del efluente en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Parámetros considerados en el análisis del efluente

Parámetros	Expresado como	Unidad	Método de Referencia
Temperatura	°C		Multiparamétrico
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	Multiparamétrico
Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	EPA 418.1, 1664 / 13
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	SM 5220 D / 07

Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	mg/l	SM 5220 D / 08
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	SM 2540 B / 03
Sólidos totales	ST	mg/l	SM 2540 D / 05

Realizado por: Bravo I., 2024

3.6.1.2. Recolección de la muestra

Se identificó el punto de descarga del efluente, el cual se ubicó en las coordenadas -0.383342, -76.995508. Posteriormente, se procedió con la recolección de la muestra simple utilizando un balde plástico y portando el equipo de protección personal (EPP), como se visualiza en la ilustración 3-3.



Ilustración 3-3: Punto de descarga del efluente

Realizado por: Bravo I., 2024

3.6.1.3. Análisis in situ

El análisis in situ de los parámetros de temperatura y potencial de hidrógeno se efectuó con el equipo Multiparámetro, modelo H19829-00041, de marca *Harmainstruments*. Esta medición se llevó a cabo sumergiendo los sensores del equipo en la muestra del efluente contenida en el recipiente plástico apreciable en la ilustración 3-4, y registrando los datos en una libreta de apuntes.



Ilustración 3-4: Análisis in situ

Realizado por: Bravo I., 2024

3.6.1.4. Análisis ex situ

Con la utilización de un embudo, se llenaron dos botellas de vidrio ámbar con capacidad de 1 litro y se sellaron herméticamente. En la etiqueta adhesiva se registraron datos como el nombre del solicitante, fecha, lugar y hora en que se tomó la muestra. Además, se completó la información en la cadena de custodia del laboratorio, conforme lo establecido en la norma INEN 2176:98, donde menciona las técnicas de muestreo.

Las muestras se almacenaron en un cooler con hielo, con el fin de conservar sus características físicas y químicas en su traslado. El Laboratorio de Análisis y Evaluación Ambiental (AQLAB), ubicado en la ciudad del Coca, llevó a cabo el análisis ex situ. Los parámetros considerados fueron DQO, DBO, SST, ST, Aceites y Grasas. Además, se consideró la Norma Técnica Ecuatoriana y la norma INEN 2169, para el manejo y conservación de la muestra. La tabla 3-2 detalla los materiales y equipos utilizados en la caracterización del efluente.

Tabla 3-2: Equipos y materiales utilizados en la caracterización del efluente

Materiales	Equipos	EPP
Balde de 12 Litros	Multiparamétrico modelo H19829-004	Casco
2 botellas ámbar de 1 L		Guantes
Embudo		Mascarilla
Cooler		Botas de seguridad
Libreta de apuntes		
Bolígrafo		

Realizado por: Bravo I., 2024

3.6.2. Segunda fase: Elaboración del sistema de tratamiento biológico a escala reducida

3.6.2.1. Materiales y equipos empleados

La elaboración del prototipo a escala reducida empleó diferentes materiales en el proceso de construcción. Los instrumentos y equipos que contribuyeron al éxito del modelo, junto con su cantidad y finalidad, se detallan en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Materiales empleados en la construcción del sistema de tratamiento

Recursos	Cantidad	Finalidad
Tanque de polietileno 50 L	3	Tanque florentino Biodigestor Sedimentador
Balde transparente	1	Biofiltro
Válvula bola de acero de ¾ in	8	Retención y pase del agua a los distintos componentes del tratamiento
Unión universal plástica roscable de ¾ in	4	Unión de tubería para permitir el flujo del líquido
Flanche plástico roscable para tanques de ¾ in	6	Conexión desmontable para la tubería
Codo PVC 95° roscable		Permiten cambiar la dirección de la tubería
Tee PVC roscable	1	Unión de la tubería
Taladro de agujero	1	Utilizado para generar los orificios en los tanques plásticos
Pegamento sellante Sikaflex - 1A Plus Gris	1	Previene posibles fugas en las conexiones en la tubería
Cinta de teflón	1	Utilizada para sellar las conexiones
Tubo interior de neumático de motocicleta N 300	1	Destinado a almacenar el biogás
Abrazadera de manguera de gas	2	Asegura una buena fijación de la manguera de biogás para evitar fugas
Manguera Fuel ¼ in	0.50 m	Conduce el biogás hasta tu punto de almacenamiento
Push de conexión de tubería de ¼ in	1	Facilita la conexión de la tubería en la conexión del biogás

Manómetro de presión de 180 PSI	1	Medición de la presión del biogás
Tee metálica de ¼ in	1	Pieza conectora entre la válvula de biogás, el manómetro y la manguera.
Unión reductora metálica de ¾ a ¼ in	1	Pieza reductora en el diámetro de las conexiones de biogás
Bomba de agua	1	Impulsa el fluido al siguiente tanque
Tubo de ¾ in	2m	Conducción de líquidos

Realizado por: Bravo I., 2024

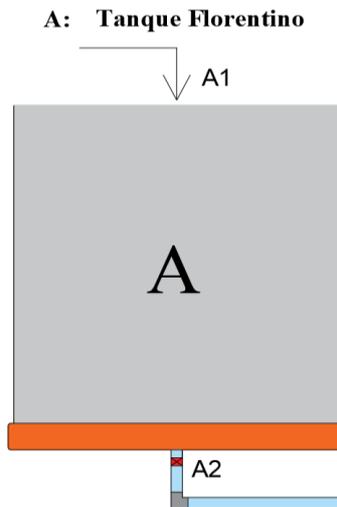
3.6.2.2. Construcción del prototipo a escala reducida

En primer lugar, se adquirieron todos los materiales y equipos esenciales para la construcción del sistema de tratamiento. Los procesos y conexiones que contribuyeron a la elaboración del prototipo se detallan posteriormente por componente. La ilustración 3-11 presenta el diseño del prototipo totalmente ensamblado.

Entre las conexiones realizadas, es importante mencionar que cada orificio generado en los recipientes plásticos se equipó de un flanche de ¾ pulgada y goma sellante para evitar fugas en el sistema. El ingreso y salida del agua de cada componente se controlaron mediante válvulas bola. Además, se sumaron uniones universales en PVC, que permitió unir la tubería entre los elementos que integran el sistema de tratamiento. También, se emplearon codos de 90° donde se requería un cambio de dirección de la tubería, con el fin de guiarla al destino correspondiente.

- Tanque florentino

Se utilizó un tanque plástico cilíndrico con capacidad volumétrica de 50 litros, donde se realizó un orificio en la parte inferior y se dotó de los accesorios previamente mencionados. Este recipiente estuvo apoyado en un soporte de madera a una altura de 100 cm desde el suelo, como se visualiza en la ilustración 3-5.



A1: Ingreso del efluente de la industria palmícola al tanque florentino

A2: Salida del efluente hacia el tanque biodigestor

Ilustración 3-5: Tanque florentino

Realizado por: Bravo I., 2024

- **Biodigestor**

El tanque plástico empleado tuvo una capacidad de 50 litros. Se ubicó de manera horizontal sobre un soporte maderable a una altura de 60 cm. Su propósito era almacenar el efluente durante el proceso de digestión anaeróbica. Por lo tanto, se practicaron tres aberturas de $\frac{3}{4}$ pulgada. El primer orificio fue realizado en el lado lateral superior izquierdo, destinado para la entrada del agua proveniente del tanque florentino. Una segunda abertura se ubicó en el lado lateral inferior derecho, misma que permitió la salida del residuo líquido al sedimentador. Un tercer orificio, se situó en la parte inferior del tanque, conduciendo los lodos sedimentados hacia la plataforma de secado.

Adicionalmente se habilitó un orificio de $\frac{1}{2}$ pulgada en la parte superior. Al flanche agregado en este orificio se adaptó una reducción de tubería, la cual se unió a una válvula. Una Tee fue la intersección entre la válvula, un manómetro de presión de 180 PSI y una manguera de gas. Esta última se conectó al tubo interior de un neumático y se emplearon abrazaderas en los extremos para aportar ajuste. Posterior a la realización de todos los orificios, el tanque fue sellado herméticamente, visible en la ilustración 3-6.

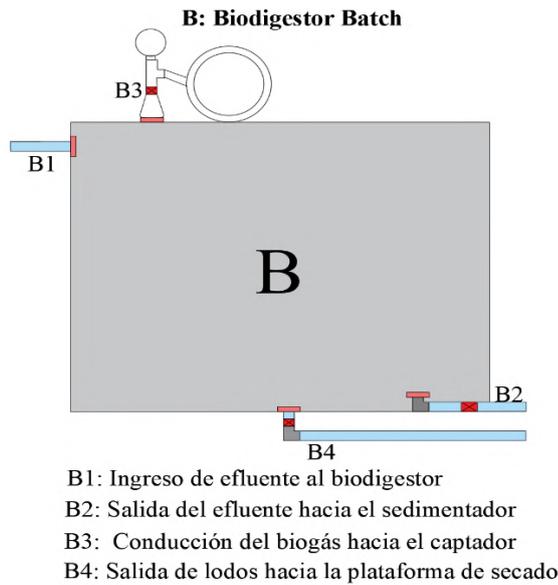


Ilustración 3-6: Biodigestor Batch

Realizado por: Bravo I., 2024

- Sedimentador

Se empleó un tanque cilíndrico, donde se realizaron dos aberturas con las dimensiones para tuberías de $\frac{3}{4}$ pulgada. Un primer orificio se realizó en un costado del tanque a una altura de 5 cm desde la base. El objetivo de esta altura fue facilitar el asentamiento de los sólidos sedimentables en el fondo del recipiente cilíndrico. La segunda abertura se llevó a cabo en la parte inferior del tanque para la salida de lodos. El tanque reposó en un soporte de madera a una altura de 85 cm del suelo, proyectado en la ilustración 3-7.

C: Sedimentador gravitacional

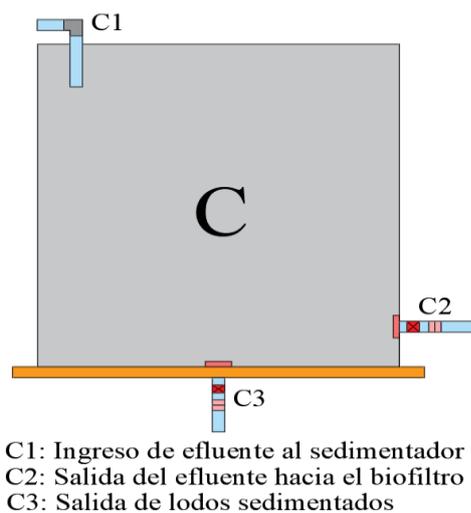


Ilustración 3-7: Sedimentador gravitacional

Realizado por: Bravo I., 2024

- Biofiltro

En la elaboración del biofiltro se empleó un balde surtidor de agua transparente con una capacidad de 20 litros, equipado con grifo. En el centro de la tapa se generó un orificio de $\frac{3}{4}$ pulgadas, el cual permitió el ingreso del efluente. La altura del suelo para este compartimento fue de 45 cm. El material filtrante se compuso de cuatro diferentes elementos. El acondicionamiento de cada recurso y preparación del biofiltro se exponen a continuación.

La grava es el primer material del biofiltro en orden descendente. Este recurso se adquirió en una concesionaria de materiales pétreos. Se seleccionó la grava mediante un proceso de cribado con una malla plástica de diámetro de 2 cm x 2 cm. Para la eliminación de impurezas se lavó la grava con agua natural.

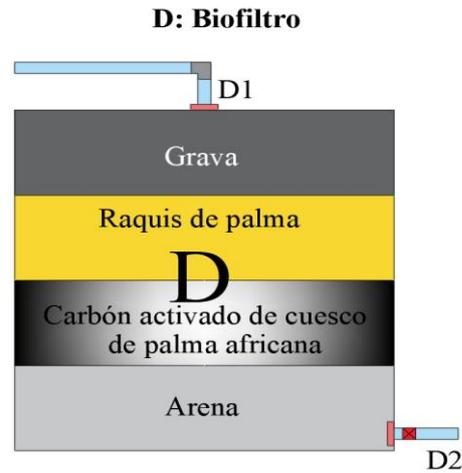
El segundo elemento fue compuesto por raquis de palma africana. Este elemento es un residuo resultante de la extracción de aceite. Para su adquisición se visitó y recolectó diez raquis de palma de la especie *Elaeis guineensis* de la Extractora Río Coca S.A. En su preparación como medio filtrante se dividió por la mitad. Esto permitió retirar las espigas y restos de fruta con mayor facilidad. Se desfibró por completo el tronco central del raquis. Las fibras obtenidas se lavaron por tres ocasiones consecutivas y se expusieron al sol por tres días para su secado.

El carbón activado utilizado en la presente investigación es un subproducto de la carbonización a altas temperaturas del cuesco de palma, el cual es otro residuo de la extracción de aceite. Este producto se adquirió en forma granulada de una empresa. La ficha técnica proporcionó datos de las propiedades del elemento como: humedad de 3.5%, densidad de 0.55 g/cc y un pH de 6.9-7.

El cuarto y último material que ocupó la base del biofiltro fue arena. Su recolección se realizó en las riberas del río Coca, en la parroquia San Sebastián del Coca, Cantón Joya de los Sachas. Este recurso se colocó en un recipiente plástico para su limpieza. Con el uso de agua y movimientos circulares con la mano, se removieron impurezas presentes. Antes de depositar la arena en el fondo del recipiente plástico, se añadió un paño húmedo de higiene personal en la salida del grifo, con el objetivo de impedir que la arena obstruya la válvula.

Posteriormente, se incorporó el resto de los elementos filtrantes previamente acondicionados. Se asignó un volumen de cinco litros por cada material, conforme a la numeración impresa en la

superficie del balde. Al observar la ilustración 3-8, se aprecia el orden de posicionamiento de cada capa de los materiales utilizados.



D1: Ingreso de efluente proveniente del sedimentador

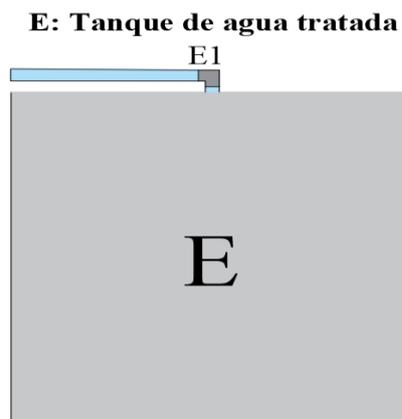
D2: Salida del efluente tratado

Ilustración 3-8: Biofiltro

Realizado por: Bravo I., 2024

- Tanque de agua tratada

Al final del sistema de tratamiento, se provisionó un recipiente cilíndrico. Este elemento plástico no estuvo sujeto a ninguna elevación, apreciable en la ilustración 3-9. Su finalidad fue almacenar el efluente proveniente del biofiltro. Funcionó como depósito temporal previo a ser liberado al medio natural.



E1: Ingreso de efluente proveniente del biofiltro

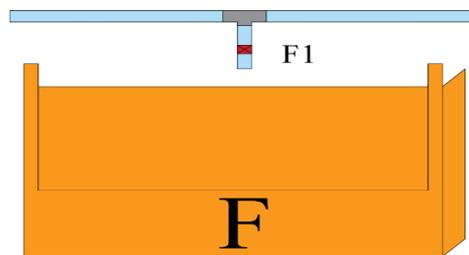
Ilustración 3-9: Tanque de agua tratada

Realizado por: Bravo I., 2024

- Tratamiento de lodos

En el tratamiento de lodos se diseñó un soporte de madera rectangular. Las dimensiones de esta estructura fueron de 80 cm de largo por 30 cm de alto. Con el uso de plástico polietileno de color negro, se cubrió la base de madera para impedir el riego de agua por las aberturas maderables. Las tuberías provenientes del biodigestor y el sedimentador se unieron antes de llegar a la plataforma mediante una Tee plástica. Se agregó una válvula y tubería que permitió descargar el lodo en el centro de la estructura. Este diseño se representa en la ilustración 3-10.

F: Plataforma de secado de lodos



F1: Ingreso de lodos provenientes del biodigestor y sedimentador.

Ilustración 3-10: Plataforma de secado de lodos

Realizado por: Bravo I., 2024

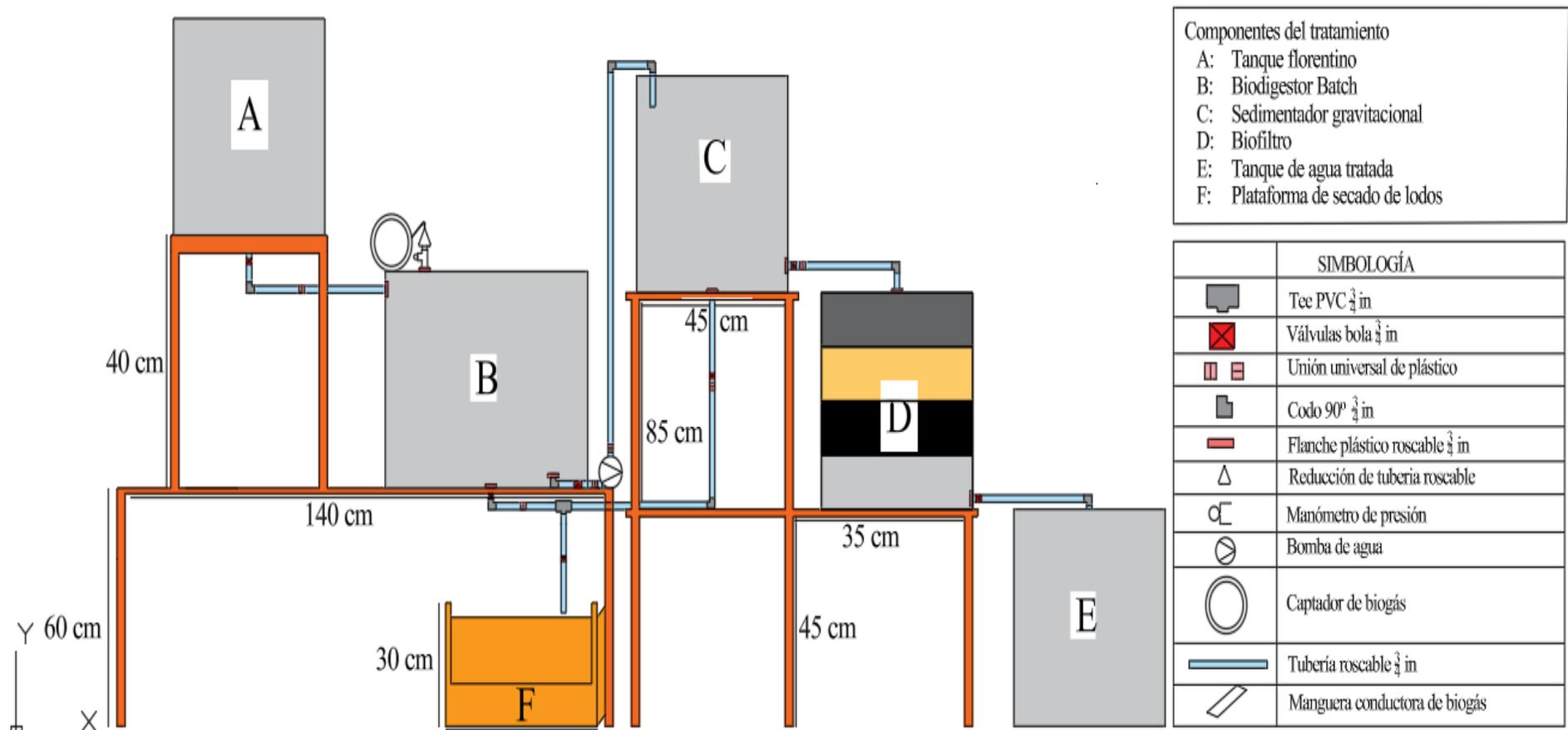


Ilustración 3-11: Sistema de tratamiento

Realizado por: Bravo I., 2024

3.6.2.3. Instalación del prototipo

Se seleccionó una superficie de un terreno plano cercano a las piscinas de oxidación pertenecientes a la Extractora Río Coca S.A. Al finalizar las actividades de adecuación de la zona, se procedió con la instalación del prototipo. Los componentes elaborados se ubicaron y ensamblaron sobre estructuras maderables que aportaron soporte y estabilidad.

3.6.2.4. Recolección de la muestra

La muestra fue recolectada directamente del canal de drenaje proveniente de los procesos extractivos del aceite. Con ayuda de un embudo, se llenaron dos recipientes de capacidad de 20 litros cada uno. Estos fueron sellados y transportados hasta la ubicación donde se encontraba instalado el prototipo. En total, se recolectó 40 litros del efluente de palma africana para el procedimiento experimental.

3.6.2.5. Inicio del tratamiento

Para depositar el efluente en el primer tanque, se colocó un soporte de elevación. Se vertió la totalidad de 40 litros y se dejó reposar por una temporalidad de 24 horas. Con el uso de un envase plástico se removió el aceite superficial.

En el tanque florentino se agregó tres litros de melaza y se homogeneizó con un movimiento manual, posteriormente se permitió el paso del líquido al biodigestor. El adiciónamiento de la melaza contribuyó al aceleramiento de procesos metanogénicos y proliferación de bacterias. Para dar paso a la digestión anaeróbica, se cerraron todas las válvulas integralmente y se incorporó la conexión destinada a conducir y almacenar el biogás. Al concluir 25 días de inmovilidad, este fue impulsado con bomba a la siguiente fase.

Durante la sedimentación, el efluente permaneció estático por tres días. Al cumplir con el tiempo establecido, el agua ingresó al biofiltro. Una vez, en este compartimento permaneció 24 horas de retención hidráulica. Por último, fue evacuado al abrir el grifo del recipiente y se recolectó temporalmente en un balde plástico antes de su liberación al medio natural.

En cuanto a los lodos resultantes en el biodigestor y sedimentador, se abrió la válvula que los retenía, conduciéndolos hasta la plataforma de secado. Esta plataforma se equipó de una cubierta

plástica transparente con el objetivo de impedir que las precipitaciones interfirieran en el proceso de secado.

Se realizaron muestreos directos en la transición del efluente entre las fases del tratamiento para el respectivo análisis ex situ. En la recolección de las muestras se procedió conforme lo descrito en el punto 3.6.1.4. La temperatura fue el único parámetro que se midió de forma in situ con un termómetro digital Lcd al sumergir la sonda.

3.6.3. Tercera fase: Evaluación de la eficiencia del tratamiento

3.6.3.1. Determinación de la eficiencia

Al concluir con la recopilación de datos, se promedió los valores obtenidos en las dos réplicas tanto por parámetro como por fase. Con este promedio se determinó la eficiencia del tratamiento biológico aplicado al efluente residual de la empresa Extractora Río Coca S.A., al calcular los porcentajes de remoción. Por consiguiente, se utilizó la fórmula mencionada por Morales y León (2020, pág.112), misma que se expone en la ecuación 1. En este procedimiento se usó el software Excel.

$$n = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

n: Porcentaje de remoción del parámetro analizado.

C_i: Concentración inicial.

C_f: Concentración final.

3.6.3.2. Análisis en software estadístico SPSS

Se realizaron gráficas de líneas para representación de la evolución de cada parámetro a lo largo de las fases del tratamiento. También se aplicó un análisis estadístico mediante una prueba T Student de muestras emparejadas para constatar las diferencias significativas entre las medias de los parámetros al iniciar y concluir la experimentación. Para este análisis se empleó el Software IBM SPSS *Statistics* versión 29.0.2.0 (20). En la ejecución de esta prueba se estableció un nivel de confianza del 95%. Por ende, el nivel de significancia (α) corresponde a 0,05.

Lugo y Pino (2022, pág. 1798), mencionan que el principio estadístico de la prueba T Student consiste en comparar dos medias. La hipótesis nula (H0) afirma que las medias son iguales. Mientras que, la hipótesis alternativa (H1) sostiene que las medias son diferentes. El valor - p proporcionado por la prueba se compara con el nivel de significancia. Para la aceptabilidad o rechazo de la hipótesis, se aplica la regla de decisión que expresa lo siguiente:

$$\text{Valor } p < \alpha (0,05) \text{ rechaza la H0}$$

$$\text{Valor } p > \alpha (0,05) \text{ no se rechaza la H0}$$

Las hipótesis planteadas por cada parámetro analizado se presentan a continuación:

Tabla 3-4: Hipótesis por parámetros

Hipótesis nula (H0)	Hipótesis alternativa (H1)
Las medias de temperatura inicial y final son iguales	Las medias de temperatura inicial y final son diferentes
Las medias de pH inicial y final son iguales	Las medias de pH inicial y final son diferentes
Las medias de aceite y grasa inicial y final son iguales	Las medias de aceite y grasa inicial y final son diferentes
Las medias de DQO inicial y final son iguales	Las medias de DQO inicial y final son diferentes
Las medias de DBO inicial y final son iguales	Las medias de DBO inicial y final son diferentes
Las medias de TSS inicial y final son iguales	Las medias de TSS inicial y final son diferentes
Las medias de TS inicial y final son iguales	Las medias de TS inicial y final son diferentes

Realizado por: Bravo I., 2024

Por último, se ejecutó una prueba T Student de muestras emparejadas de forma independiente por cada parámetro con el propósito de contrastar qué fase fue la que marcó mayor diferencia significativa en el tratamiento. Este análisis se realizó identificando los valores más bajos del p de un factor en relación con los demás resultados. La información de los siete parámetros estudiados se agrupó en una sola tabla.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados se presentan conforme a la jerarquía de los objetivos propuestos en esta investigación. La caracterización fisicoquímica del efluente industrial de la palma africana generado por la Extractora Río Coca S.A. abarca la primera fase. En la segunda fase, se presenta la construcción y operatividad del prototipo del sistema depurativo. Por último, la tercera fase consiste en la determinación de la eficiencia del tratamiento aplicado.

4.1. Primera fase: Caracterización fisicoquímica del efluente palmícola

La Tabla 4-1, corresponde a los resultados obtenidos en la caracterización inicial del efluente proveniente de la extracción de aceite de palma africana mediante el análisis in situ con el empleo del equipo multiparamétrico y análisis ex situ del laboratorio AQLAB.

Tabla 4-1: Resultados de los análisis in situ y ex situ del efluente

Análisis in situ				
Parámetros	Unidad	Límite Máximo Permisible	Condiciones iniciales	Conformidad
Temperatura	°C	Condición natural ±3	64	Cumple
pH	mg/L	6-9	4,24	No cumple
Análisis ex situ				
Aceites y grasas	mg/L	30	121,24	No cumple
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	70800,00	No cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	48000,00	No cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	84000,00	No cumple
Sólidos Totales	mg/L	1600	98807,68	No cumple

Realizado por: Bravo I., 2024

Los análisis realizados al efluente de la Extractora Río Coca S.A. revelaron que seis parámetros no cumplen con el límite máximo permisible de descarga a un cuerpo de agua dulce. Los parámetros que superaron la normativa fueron Aceites y Grasas, DQO, DBO, SST, ST. El pH presentó condiciones ácidas, situándolo fuera del rango aceptable. Mientras que la temperatura no superó los límites.

4.2. Segunda fase: Elaboración del sistema de tratamiento biológico a escala reducida

En la construcción del sistema de tratamiento se consideraron las necesidades puntuales de la extractora, como la composición del efluente. La operación conjunta de un tanque florentino, biodigestor, sedimentador y biofiltro contribuyeron a la depuración de la carga contaminante. En la ilustración 4-2, se observa el prototipo a escala reducida construido e iniciando el tratamiento.

El tratamiento diseñado con enfoque integral en la economía circular constó de tratamiento primario, secundario y terciario con tiempos definidos para cada fase. Esta información se encuentra resumida en la ilustración 4-1.

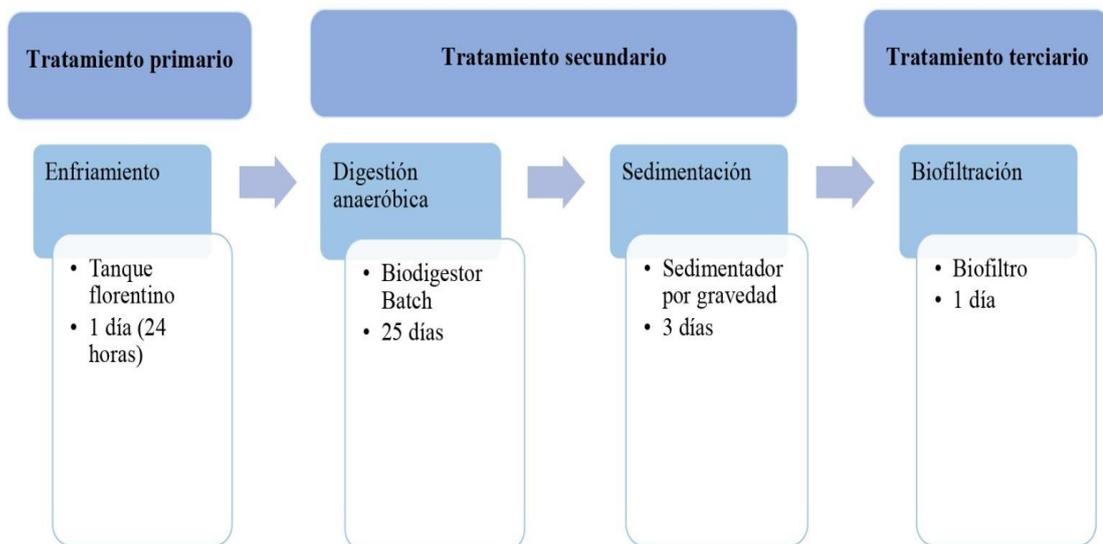


Ilustración 4-1. Esquema del sistema de tratamiento

Realizado por: Bravo I., 2024



Ilustración 4-2: Sistema de tratamiento biológico

Realizado por: Bravo, I., 2024

4.2.1. Operatividad del tratamiento biológico

El tratamiento aplicado en esta investigación incluyó componentes que facilitó la conversión del POME en una forma menos contaminante. Concluido el proceso de la construcción y ensamblaje del prototipo, se dio inicio al proceso de depuración del efluente mediante cuatro etapas. Los resultados de los análisis fueron favorables en las dos réplicas.

4.2.1.1. Etapa de enfriamiento

El tratamiento inició con un volumen de 40 litros. El tanque florentino actuó como estabilizador de temperatura y permitió la remoción del aceite superficial. El agua residual ingresó con una temperatura de 64° Celsius y al transcurrir 24 horas, descendió a 27,85° Celsius. La ilustración 4-3, presenta el tanque florentino.



Ilustración 4-3: Tanque florentino

Realizado por: Bravo, I., 2024

4.2.1.2. Etapa de digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica se logró al cerrar simultáneamente todas las válvulas para impedir el contacto con el oxígeno. La generación de biogás se confirmó al observar el inflamiento del tubo interior de un neumático, que se encontraba conectado al sistema como captador de biogás, apreciable en la ilustración 4-4.

Vanegas et al., certifican la producción de biogás a partir de procesos de digestión anaeróbica que experimenta el POME (2023, pág. 2). Por otra parte, (Acosta y Obaya, 2015, pág. 36) exponen que la biometanización, a más de generar biogás, contribuye a la eliminación de sólidos suspendidos y DQO. En este contexto, se corrobora que durante la retención hidráulica del efluente en el biodigestor se obtuvo biogás y los procesos metanogénicos contribuyeron a reducir la carga contaminante.



Ilustración 4-4: Digestión anaeróbica

Realizado por: Bravo, I., 2024

4.2.1.3. Etapa de sedimentación gravitacional

El efluente retenido durante tres días en el sedimentador generó que los sólidos se sedimenten en el fondo del tanque por acción gravitacional. Esta acción mejoró las condiciones de DQO y DBO, debido a que disminuyó la concentración de material suspendido. En la ilustración 4-5, se presenta el sedimentador empleado en esta etapa.

Los resultados alcanzados en esta fase coinciden con Menéndez (2022, pág. 25), donde expresa que los sedimentadores secundarios desempeñan un papel importante en la clarificación del efluente proveniente de un proceso de biooxidación.



Ilustración 4-5: Sedimentación

Realizado por: Bravo, I., 2024

4.2.1.4. Etapa de biofiltración

La ilustración 4-6 presenta la última etapa de depuración del POME. Los cuatro materiales comprendidos en esta fase lograron disminuir significativamente la concentración de los contaminantes. Cabe resaltar que dos de los elementos filtrantes son categorizados como residuos de la industria palmícola. El raquis y carbón activado de palma africana ingresaron al ciclo de economía circular al ser procesados y reutilizados. La eficiencia del biofiltro se evidenció en los resultados de los análisis. Además, se observó de manera directa el cambio en las características físicas del efluente como una tonalidad más clara.

Los biofiltros cumplen un rol fundamental en depuración del agua, así lo manifiestan Fiallos et al. En algunos estudios, se ha demostrado que esta técnica es ampliamente utilizada, logrando eficiencias del 90 al 98%, en remoción de contaminantes como DQO, DBO, SST y aceites (2017, pág. 582).



Ilustración 4-6: Biofiltración

Realizado por: Bravo, I., 2024

4.2.1.5. Economía circular

La economía circular promueve una forma de producción sostenible, porque reduce la dependencia de recursos no renovables y promueve la innovación tecnológica. En este contexto, la sostenibilidad se afronta a reducir la carga de carbono y la recuperación de recursos naturales (Nuñez et al, 2023. pág. 119). Con el diseño integral del biofiltro y el biodigestor, se buscó mantener el valor ecológico de los materiales con el fin de maximizar su uso, ya sea como producto, componentes o materias primas. En el contexto del tratamiento biológico, la economía circular se aplicó de la siguiente manera (ver tabla 4-2).

Tabla 4-2: Aplicación de la economía circular

Componente/Procesos	Descripción	Beneficio
Procesos de reutilización	Incluyen reparación, renovación y reciclaje de productos.	Extensión de vida útil
Diseño Ecológico	Consideró la circularidad de los materiales desde el inicio.	Flexibilidad para pruebas futuras

Realizado por: Bravo, I., 2024

El raquis de palma africana puede ser aprovechado como elemento filtrante o integrarse en nuevos procesos productivos. En la literatura existen discusiones sobre el manejo de este elemento que se genera en las extractoras y sus posibles usos en mezclas con agregados de construcción para fabricar ladrillos ecológicos (Leyva et al., 2019, pág. 15).

También se utilizó el carbón activado de origen vegetal, elaborado a partir de la cascarilla de la planta de palma. Este producto tiene varias aplicaciones y el principal uso es la purificación de agua, debido a su capacidad absorbente de contaminantes sólidos, sedimentos y compuestos orgánicos. Por otra parte, el biogás obtenido como subproducto de la digestión anaeróbica puede integrarse a los procesos de cocción de la fruta de palma, reduciendo el consumo de energía de recursos fósiles. Los lodos residuales obtenidos en la depuración del efluente tienen propiedades nutritivas, que lo convierten en un excelente abono para el suelo (Suksaroj et al., 2023, págs. 365-369).

Se debe considerar que, al aplicar la economía circular en el sistema de tratamiento biológico de manera integral, se deben contemplar los aspectos del ciclo de vida del sistema o producto, así como aspectos de diseño, operación y nivel de depuración final.

4.3. Tercera fase: Evaluación de la eficiencia del tratamiento biológico

Los resultados de los análisis efectuados durante el tratamiento biológico se detallan en la tabla 4-3. El tratamiento constó de dos réplicas por cada fase, a excepción de la caracterización inicial, donde el objetivo fue conocer las concentraciones de los parámetros seleccionados en el análisis del efluente de la Extractora Río Coca S.A.

Tabla 4-3: Resultados obtenidos en cada etapa del tratamiento biológico

Fases del tratamiento	Réplicas	Temperatura	pH	Aceite y Grasas	Demanda Química de Oxígeno	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Sólidos Suspendidos Totales	Sólidos Totales
		°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Caracterización	R. 1	64	4,24	121,24	70800,00	48000,00	84000,00	98807,68
Enfriamiento	R. 1	27,1	4,19	108,56	67960,00	45270,00	80240,00	83903,80
	R. 2	26,6	4,22	115,40	68100,00	45900,00	79490,00	82689,32
Digestión anaeróbica	R. 1	29,2	4,23	48,20	44500,00	21000,00	4550,00	28764,37
	R. 2	30,7	4,29	28,80	38700,00	18500,00	4087,50	26898,06
Sedimentación gravitacional	R. 1	26,2	4,28	46,40	41400,00	17900,00	1120,00	21175,82
	R. 2	25,7	4,31	27,50	33140,00	15600,00	1040,00	19796,00
Biofiltración	R. 1	26,8	4,46	26,90	15665,00	6000,00	733,33	12173,53
	R. 2	25,6	4,44	18,10	10380,00	4250,00	314,29	7961,08

Realizado por: Bravo, I., 2024

El tratamiento se realizó por duplicado, donde se presentó una variación en los análisis entre las réplicas, siendo la segunda la que alcanzó una mayor eficiencia. Esta diferencia se asoció a las condiciones ambientales, debido a que durante la segunda repetición se experimentaron temperaturas más altas. Esta idea es respaldada por (Marín y Correa, 2010, pág. 8), que concluyen que patrones de remoción de contaminantes son influenciados por este parámetro. A temperatura constante, la actividad microbiana incrementa y aporta una mejor depuración en aguas residuales. La tabla 4-4, corresponde a los promedios de los parámetros analizados en el tratamiento por cada fase.

Tabla 4-4: Promedio de los resultados de cada etapa del tratamiento

Parámetros	No. Réplicas	Etapas del tratamiento			
		Enfriamiento	Digestión anaeróbica	Sedimentación gravitacional	Biofiltración
		Promedios			
Temperatura	2	26,85	29,95	25,95	26,20
Potencial de hidrógeno	2	4,21	4,26	4,30	4,45
Aceites y Grasas	2	111,98	38,50	36,95	22,50
Demanda Química de Oxígeno	2	68030,00	41600,00	37270,00	13022,50
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	45585,00	19750,00	16750,00	5125,00
Sólidos Suspendidos Totales	2	79865,00	4318,75	1080,00	523,81
Sólidos Totales	2	83296,56	27831,22	20485,91	10067,31

Realizado por: Bravo, I., 2024

4.3.1. Eficiencia del tratamiento

Posterior a la estimación de los promedios de cada parámetro, se procedió con el cálculo matemático. De tal manera, la eficiencia del tratamiento se determinó de acuerdo con el porcentaje de remoción. En esta fase se utilizó la ecuación mencionada por Morales y León (2020, pág. 112).

$$n = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Asimismo, se procedió a la comparación entre los resultados de los análisis finales y los límites de descarga contemplados en la Tabla 9, Anexo 1, Acuerdo Ministerial 97-A, Reforma del TULSMA. La tabla 4-5 proporciona información conjunta de las condiciones iniciales y finales del tratamiento, el porcentaje de remoción alcanzado y la conformidad frente a la normativa.

Tabla 4-5: Porcentaje de eficiencia del tratamiento

Parámetros	Límite permisible	Condiciones iniciales	Condiciones finales	Eficiencia de remoción (%)	Conformidad
Temperatura	Condición natural ± 3	64	26,20	59,06	Cumple
Potencial de hidrógeno	06-9	4,24	4,45	-4,95	No cumple
Aceites y Grasas	30	121,24	22,50	81,44	Cumple
Demanda Química de Oxígeno	200	70800,00	13022,50	81,61	No cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno	100	48000,00	5125,00	89,32	No cumple
Sólidos Suspendidos	130	84000,00	523,81	99,38	No Cumple
Sólidos Totales	1600	98807,68	10067,31	89,81	No Cumple

Realizado por: Bravo, I., 2024

Los valores proporcionados en la tabla demostraron la eficiencia del tratamiento. A pesar de observar que no se alcanzó una eliminación del 100%, demostró ser eficiente con altos porcentajes de reducción de la carga contaminante. Respecto a la comparación con la normativa, se evidenció que únicamente la temperatura y los aceites lograron cumplir con los límites de descarga.

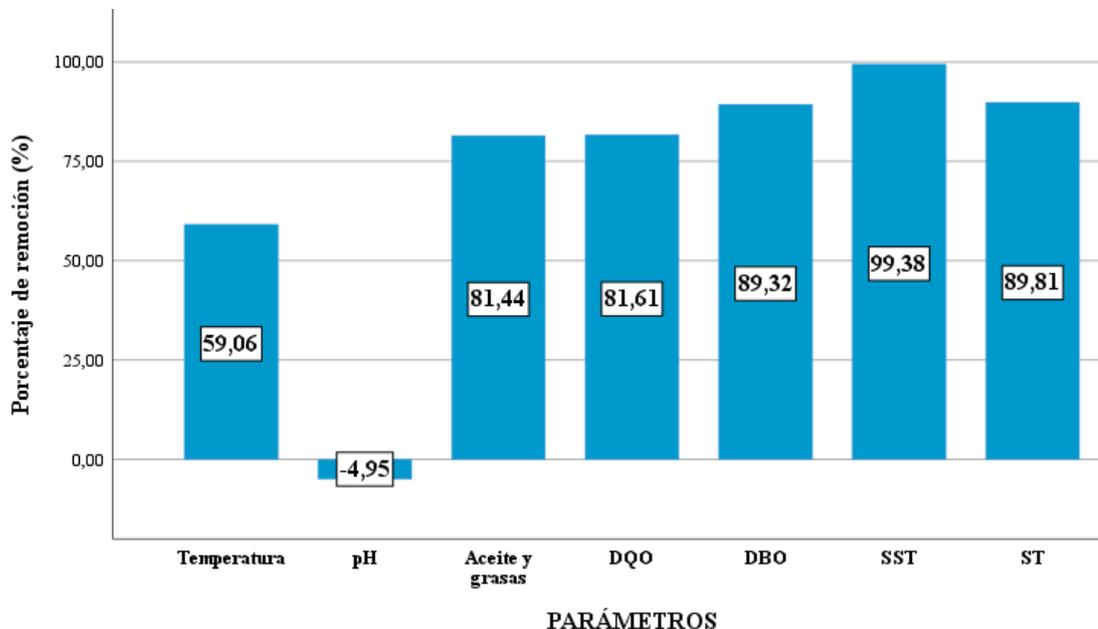


Ilustración 4-7: Porcentajes de remoción

Realizado por: Bravo, I., 2024

La ilustración 4-7, presenta los porcentajes de eficiencia con cada parámetro analizado. La mayor eficiencia se presentó en los Sólidos Suspendidos Totales con el 99,38%. Los Sólidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Aceites y temperatura lograron un porcentaje de eliminación de 89,81%, 89,32%, 81,60%, 81,44% y 59,06% respectivamente.

Mientras que el potencial de hidrógeno demostró una remoción negativa de -4,95%, debido a que experimentó un incremento mínimo. Por último, se elaboró una gráfica comparativa entre las condiciones previas y posteriores al tratamiento, visible en la ilustración 4-8.

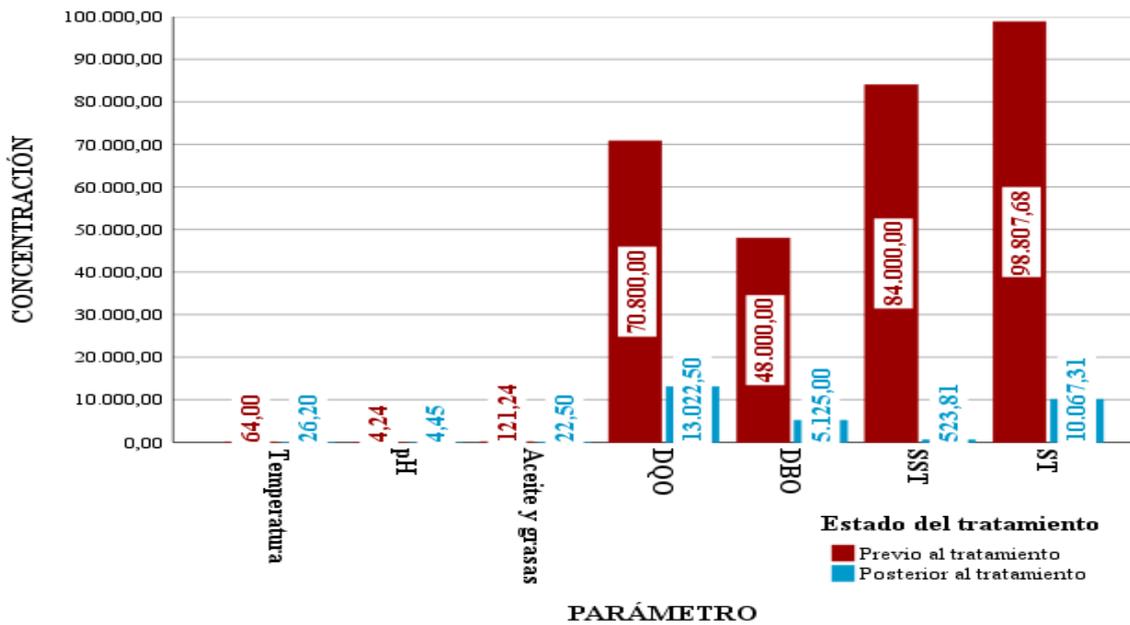


Ilustración 4-8: Comparación de concentraciones iniciales y finales

Realizado por: Bravo I., 2024

El sistema de tratamiento biológico aplicado al efluente de la Extractora Río Coca S.A. demostró resultados satisfactorios; sin embargo, la mayoría de los parámetros no alcanzaron a cumplir con los límites máximos permisibles de la normativa.

4.3.2. Análisis estadístico con el Software SPSS

4.3.2.1. Comprobación de la hipótesis

Con el objetivo de comprobar las hipótesis planteadas en la determinación de la mayor diferencia estadística entre los parámetros analizados, se realizó una prueba T Student de muestras emparejadas con un intervalo de 95% de confianza. La tabla 4-6 detalla el resumen de los resultados.

Conforme al análisis estadístico, el p valor de un factor fue menor al nivel de significación (0,05). Por lo tanto, se rechazan las hipótesis nulas y se aceptan las hipótesis alternativas en los siete pares comparativos, concluyendo que las medias de cada parámetro son diferentes entre su condición inicial y final.

Tabla 4-6: Prueba T Student en muestras emparejadas de los parámetros

Prueba de muestras emparejadas									
Parámetros	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación	
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				P de un factor	P de dos factores
				Inferior	Superior				
Temperatura Inicial - Temperatura Final	37,80000	,84853	,60000	30,17628	42,42372	63,000	1	,005	,010
pH inicial - pH Final	-,21000	,01414	,01000	-,33706	-,08294	-21,000	1	,015	,030
Aceite y Grasa Inicial - Aceite y Grasa Final	98,71000	6,22254	4,40000	42,80270	154,61730	22,434	1	,014	,028
Demanda Química Inicial - Demanda Química Final	57777,50000	3737,05934	2642,50000	24201,35398	91353,64602	21,865	1	,015	,029
Demanda Bioquímica Inicial - Demanda Bioquímica Final	42875,00000	1237,43687	875,00000	31757,07086	53992,92914	49,000	1	,006	,013
Sólidos Suspendidos Totales Inicial - Sólidos Suspendidos Totales Final	83476,19000	296,30603	209,52000	80813,98598	86138,39402	398,416	1	<,001	,002
Sólidos Totales Inicial - Sólidos Totales Final	88740,37500	2978,65196	2106,22500	61978,24893	115502,50107	42,132	1	,008	,015

Realizado por: Bravo, I., 2024

Los SST, temperatura y DBO son los parámetros que reflejaron una mayor diferencia significativa, evidenciando una mayor remoción. Por otro lado, el pH fue el elemento con menor variabilidad; sin embargo, cumple con la condición para aceptar la hipótesis alternativa.

Posterior a esta evaluación, se aplicó la misma metodología para determinar qué fase presentó mayor relevancia. La tabla 4-7 presenta un resumen conjunto de la prueba T Student realizada por las diferentes variables medidas en el trayecto de la investigación.

Tabla 4-7: Resumen de Prueba T Student por fases del tratamiento

		Resumen de la significancia de la prueba de muestras emparejadas por fases						
		P de un factor						
		Temperatura	pH	Aceites y grasas	DQO	DBO	SST	ST
Fase 1	Ingreso al Tanque Florentino - Salida del tanque Florentino	,002	,129	,113	,008	,041	,029	,012
Fase 2	Ingreso al Biodigestor - Salida del Biodigestor	,099	,085	,056	,036	,019	<,001	,002
Fase 3	Ingreso al Sedimentador - Salida del Sedimentador	,078	,129	,051	,088	,011	,019	,011
Fase 4	Ingreso al Biofiltro - Salida del Biofiltro	,303	,051	,107	,020	,008	,094	,043

Realizado por: Bravo I., 2024

En un análisis independiente por parámetro, se evidencia que la temperatura presentó superior diferencia significativa en el tanque florentino. El pH experimentó más variabilidad en el biofiltro, en cambio, aceites y grasas reflejaron una baja variación entre las fases; sin embargo, la suprema discrepancia se obtuvo en el biodigestor y sedimentador. En cuanto a la DQO, el tanque florentino y biofiltro contrastaron relevantemente, además el biofiltro también se destaca en la DBO. Por último, los SST y ST coinciden en que el biodigestor marcó una alta distinción, seguido del sedimentador. Ante esta interpretación se concluye que la digestión anaeróbica y la biofiltración fueron las fases del tratamiento con mayor significancia.

4.3.2.2. Análisis gráfico

Se realizaron gráficas en el software SPSS considerando el promedio de las concentraciones individuales para cada parámetro, con la finalidad de apreciar visualmente el comportamiento de los parámetros contaminantes y sus cambios en cada fase.

- Temperatura

La ilustración 4-9, evidencia que, la temperatura inicial del efluente fue de 64° Celsius. En la etapa de enfriamiento se observó una disminución significativa del parámetro analizado, mientras que en las demás fases existió una mínima variación. Al finalizar el tratamiento, la temperatura alcanzó 26,20° Celsius.

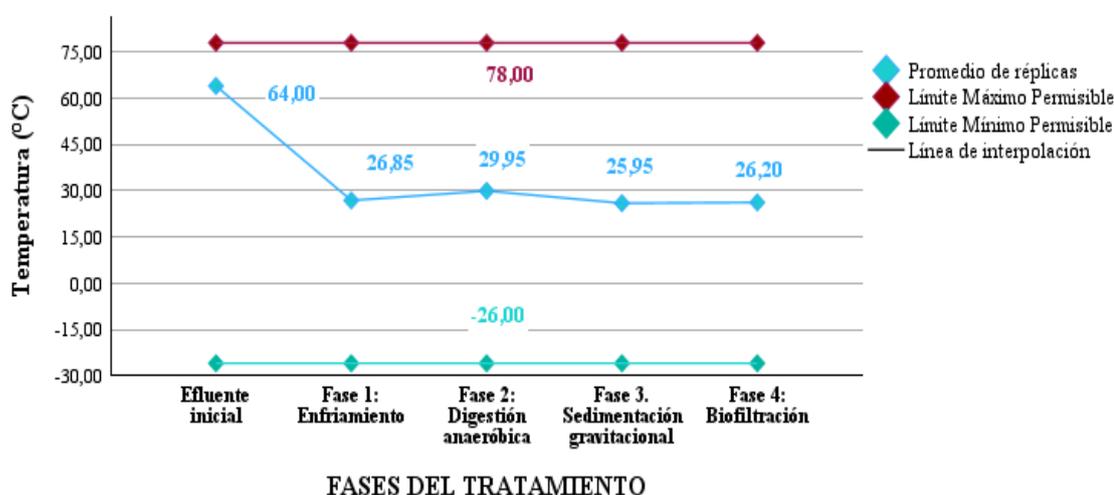


Ilustración 4-9: Evolución del promedio de la temperatura

Realizado por: Bravo, I., 2024

- Potencial de Hidrógeno

En la fase de enfriamiento se observa que el potencial de hidrógeno disminuye levemente, sin embargo, aumenta progresivamente en las posteriores etapas, llegando a obtener un promedio de 4,45. Estos datos se presentan en la ilustración 4-10, para una mayor comprensión. Por lo tanto, se considera que los resultados obtenidos respecto al incremento del pH se deben a la degradación de los materiales orgánicos. Así lo respalda Rodríguez y Barrera (2020, pág. 17), quienes mencionan que el aumento de pH se atribuye a la actuación microbiana que va descomponiendo el material orgánico a su paso.

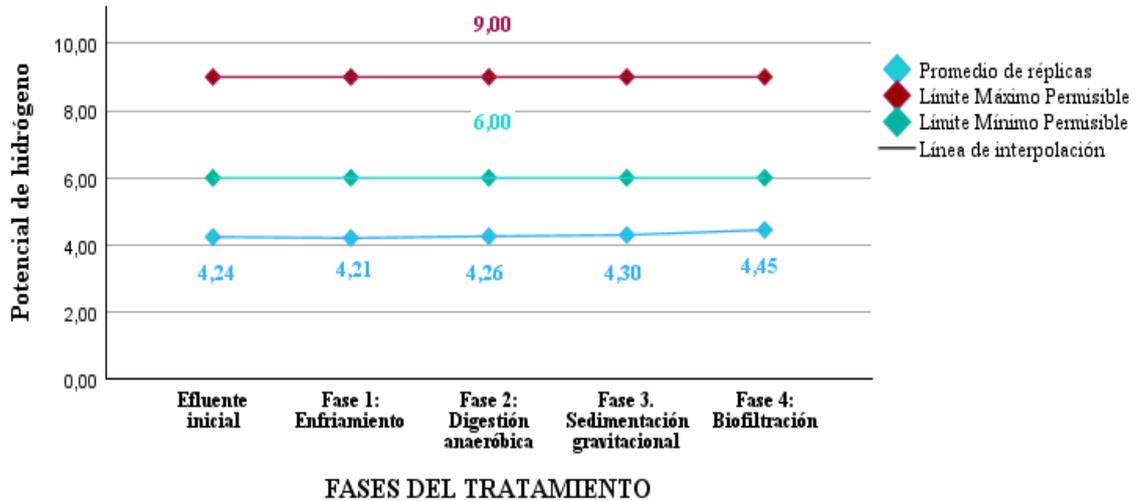


Ilustración 4-10: Evolución del promedio del potencial de hidrógeno

Realizado por: Bravo, I., 2024

- Aceite y grasas

En la ilustración 4-11, representa que la mayor supresión de aceite y grasas se dio en las etapas de digestión anaeróbica y biofiltración. Este parámetro ingresó al tratamiento con 121,24 mg/L, pero en el transcurso del sistema depurativo disminuyó a 22,50 mg/L, cumpliendo con el límite permisible de descarga.

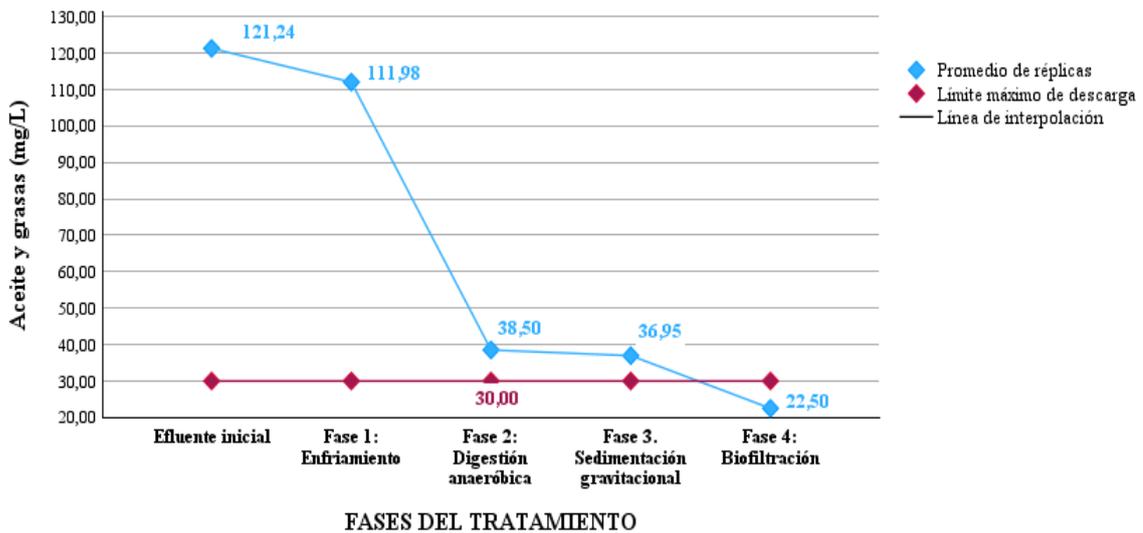


Ilustración 4-11: Evolución del promedio de los aceites y grasas

Realizado por: Bravo, I., 2024

- Demanda Química de Oxígeno

El análisis de la DQO refleja que tiene una remoción considerable en cada fase. El dato inicial fue de 70800,00 mg/L, pero su concentración redujo a 13022,50 mg/L. La eficiencia obtenida con este parámetro fue de 81,44%, siendo la segunda etapa que contribuyó con la mayor eliminación, visible en la ilustración 4-12.

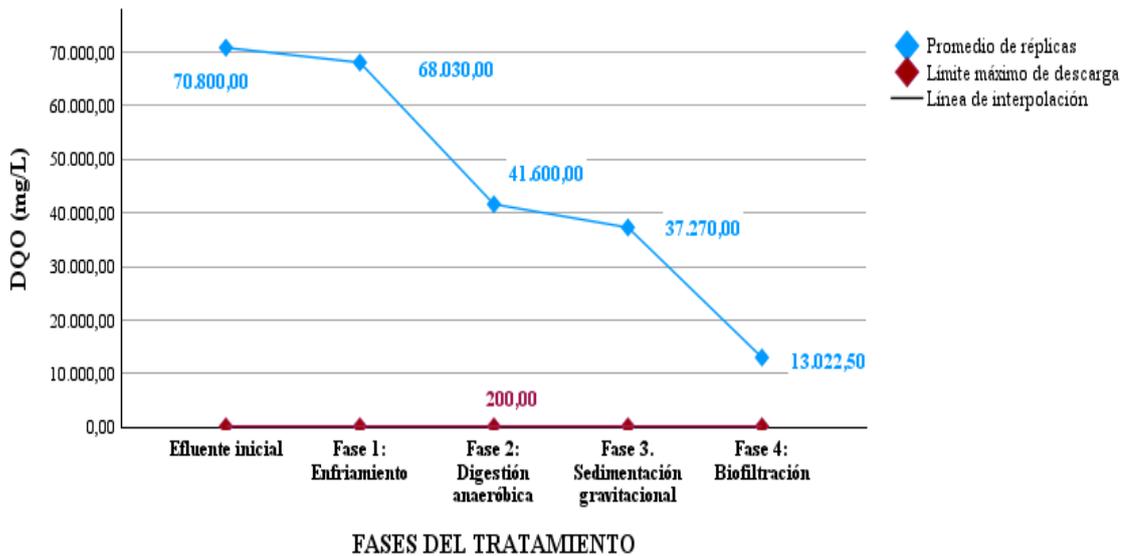


Ilustración 4-12: Evolución del promedio de la DQO

Realizado por: Bravo, I., 2024

- Demanda Bioquímica de Oxígeno

La de DBO empezó con un valor de 48000,00 mg/L, pero conforme el tratamiento avanzaba se observó que descendió a 5125,00 mg/L. En la ilustración 4-13 corresponde al comportamiento de este contaminante entre las distintas fases, siendo la digestión anaeróbica donde se revela una reducción superior.

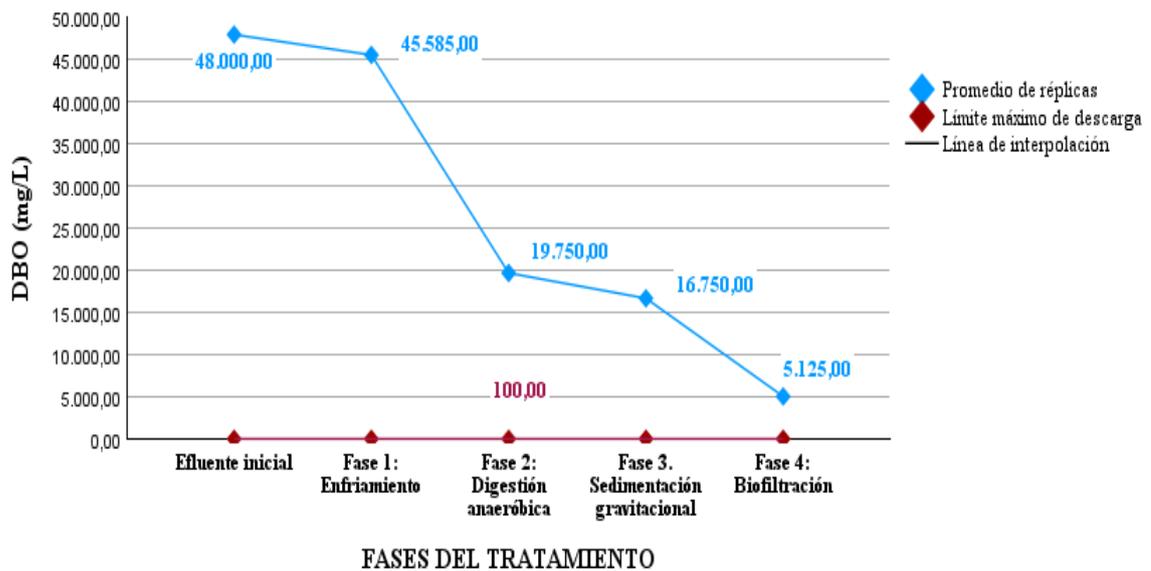


Ilustración 4-13: Evolución del promedio de la DBO

Realizado por: Bravo, I., 2024

- Sólidos Suspendedos Totales

Los SST mostraron el mayor porcentaje de eficiencia con el 99,38 %. Inició con una concentración de 84000 mg/L y se redujo a 523,81 mg/L, acercándose al límite de descarga. Ante lo expuesto, se afirma que este tratamiento biológico es muy eficiente para remover este tipo de contaminante. Visualmente, se contempla que en la fase de digestión anaeróbica la concentración experimentó su mayor decrecimiento, como se proyecta en la ilustración 4-14.

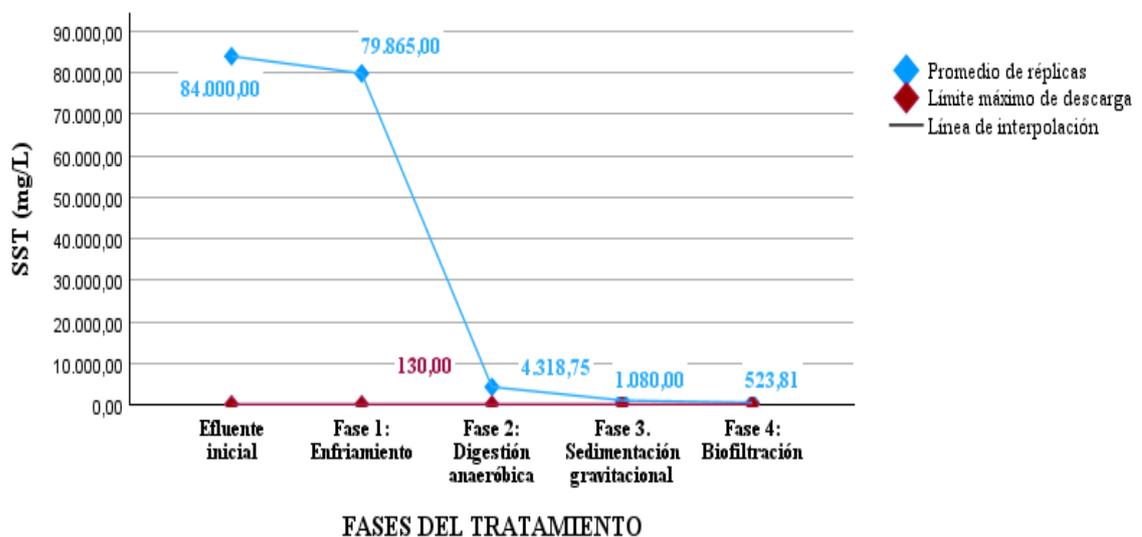


Ilustración 4-14: Evolución del promedio de los SST

Realizado por: Bravo, I., 2024

- Sólidos Totales

Los datos recolectados correspondientes a los ST determinaron una remoción del 89,91%. La ilustración 4-15 manifiesta un comportamiento decreciente de la concentración; sin embargo, la segunda fase se destaca por una gran diferencia. El valor de los ST al finalizar el tratamiento es de 10067,31 mg/L.

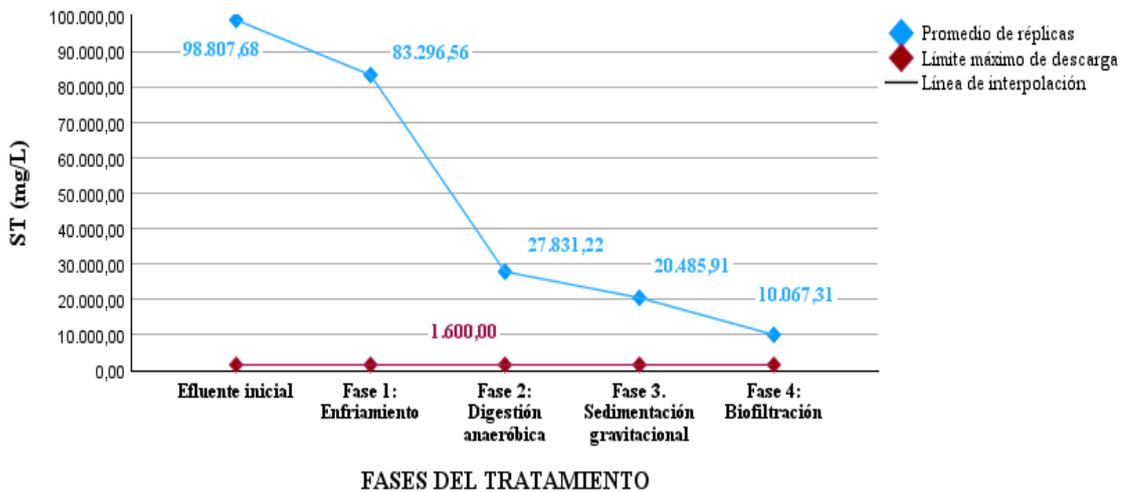


Ilustración 4-15: Evolución del promedio de los ST

Realizado por: Bravo, I., 2024

Ante este análisis gráfico y una prueba T Student de muestras emparejadas realizada independientemente por cada parámetro, se comprobó que la digestión anaeróbica es la etapa que logró mayor remoción de la carga contaminante en los efluentes industriales en la extracción del aceite palmícola en comparación al resto de fases del tratamiento.

La segunda fase se destacó en seis de los siete parámetros analizados. El valor del pH incrementó levemente a partir de los procesos anaeróbicos, aumentando progresivamente siguiendo la tendencia a un pH neutro. Los resultados de Aceites y grasa, DQO, DBO, SST y ST revelaron que el mayor decrecimiento de su concentración fue en la digestión anaeróbica.

4.4. Discusión

En la presente investigación se aplicó un sistema de tratamiento biológico a escala piloto con la finalidad de evaluar la eficiencia en la remoción de contaminantes en el efluente proveniente de la Extractora Río Coca S.A. Para diseñar un sistema depurativo, es necesario conocer las características del agua residual a tratar; por lo tanto, se procedió con un análisis in situ y ex situ.

Bala et al., exponen que las aguas residuales provenientes del proceso de extracción de aceite de palma, también conocidas como POME, contienen propiedades representativas, en la que su mezcla es homogénea con 95 - 96% de agua, 0,6 - 0,7% aceite; 4 - 5% sólidos totales, sólidos en suspensión se incluyen con un porcentaje del 2 - 4% (2014, pág. 10). Jumadi et al., también identificaron otras propiedades importantes del efluente, como su acidez, fuerte olor, alta temperatura y elevadas concentraciones de DQO y DBO (2020, pág. 3). Conforme a lo expuesto, el análisis inicial demostró resultados característicos de los efluentes de la industria palmícola.

Munar et al., (2022, pág. 45) y Pérez (2019, pág. 12), expresan que la contaminación presente en este tipo de efluentes son las principales problemáticas al momento de brindar un tratamiento y que su liberación afecta a los seres acuáticos. Por lo tanto, se construyó el sistema depurativo conforme a las características y necesidades del marco normativo vigente. El mismo constó con etapas de enfriamiento que incluyó la recuperación de aceite, digestión anaeróbica, sedimentación y biofiltración. El biofiltro se elaboró con materiales filtrantes, entre ellos residuos que la misma empresa genera, contribuyendo así a la economía circular. Este diseño combinado permitió reducir significativamente la carga contaminante.

En este contexto, (Sanz, 2014) menciona que la modelización proporciona una herramienta esencial para el diseño, optimización y gestión de un sistema de tratamiento biológico. La combinación de componentes innovadores desempeña un rol fundamental para asegurar una depuración eficaz de las aguas residuales y la sostenibilidad ambiental. De acuerdo con la perspectiva de Almeida y Díaz (2020, págs. 39-40), transformar los residuos palmícolas pone énfasis en recursos de alto valor ajustándose a la economía circular que sostiene los componentes y materiales a lo largo del tiempo.

El tratamiento biológico demostró ser eficiente en la depuración de efluentes proveniente de la industria dedicada a la extracción de aceite. A pesar de que cinco de siete parámetros analizados no alcanzaron a cumplir los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, los porcentajes de remoción fueron altos. Es así que varios autores obtuvieron datos similares a los recopilados en el presente estudio, como es el caso de las investigaciones realizadas por Tigse (2018, pág. 9); Rodríguez y Sangucho (2018, pág. 10).

Sanaguano (2018, pág. 34) asegura que es normal que la temperatura inicial sea elevada. Esto se debe a procedimientos de extracción de aceite de palma, como el proceso de esterilización y

prensado de la fruta. En concordancia con lo expuesto, el análisis de este parámetro fue de 64° Celsius en la primera caracterización, pero al finalizar el tratamiento se logró un enfriamiento al 59,06%. En cuanto al análisis del pH, se reflejó un mínimo incremento en referencia a su valor inicial. Por otra parte, la concentración de aceite experimentó un decrecimiento del 81,44%, dato que es respaldado en un estudio por Fiallos et. (2017, pág. 582).

En la DQO se obtiene un porcentaje de remoción del 81,60%. Este resultado coincide con Malacatus et al (2016, pág. 30), que en su investigación evidencia una disminución satisfactoria de este parámetro en un tratamiento a escala real con la utilización de tanques florentinos y piscinas de enfriamiento, anaeróbicas y facultativas. Mohammed y Syazwani (2020, pág. 16), mencionan que la remoción de la DQO está influenciada por el tiempo de retención hidráulica utilizado en el proceso de tratamiento. Mientras que la DBO obtuvo un 89,32% de tasa de eliminación. A pesar de tener una buena efectividad, se mantuvo una alta concentración. Esto se debe a una gran liberación de ácidos grasos y fibras del fruto de la palma que se desprenden de los procesos de extracción, así lo indica Peña y Lara (2022, págs. 18-20).

Los SST presentaron la mejor eliminación del 99,38%; posteriormente se ubican los ST con el 89,81%. Estos resultados son similares a la investigación de Tigse (2018, pág. 8), que posterior a la aplicabilidad de un tratamiento anaeróbico obtuvo una eliminación del 91%.

Con base en los porcentajes de eficiencia obtenidos en el presente estudio, se afirma que el sistema depurativo diseñado fue eficiente; sin embargo, se puede incluir una combinación de tratamientos más amplia para alcanzar una mejor efectividad. Esta sugerencia es apoyada por Emparan et al. (2021, pág. 454), donde recalca que el desempeño de un tratamiento biológico aplicado a las aguas residuales que se generan en la extracción de aceite de palma varía según el proceso que se utilice, como el diseño de los reactores biológicos y los parámetros operativos, tiempo de hidrorretención y concentración del efluente. Estos métodos pueden ir apoyados de diseños variados que fomentan tecnologías eficientes para el agua residual de las industrias en general.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En la caracterización fisicoquímica del efluente de la Extractora Río Coca S.A., se evidenció que seis de los siete parámetros excedieron los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, establecidos en el Anexo I, Acuerdo Ministerial 97-A, reformatorio del TULSMA. Los parámetros que incumplieron la normativa son aceites y grasas (121,21 mg/L); Demanda Química de Oxígeno (70800,00 mg/L); Demanda Bioquímica de Oxígeno (48000,00 mg/L); Sólidos Suspendidos Totales (84000,00 mg/L) y los Sólidos Totales (98807,68 mg/L). El potencial de hidrógeno presentó condiciones ácidas con 4,24; por fuera del rango aceptable. Mientras que la temperatura alcanzó los 64° Celsius, ubicándose dentro de los límites.
- En la elaboración del sistema de tratamiento se consideró las características contaminantes del efluente palmícola, por lo tanto, el diseño abarcó cuatro fases esenciales. El enfriamiento estabilizó la temperatura inicial. La digestión anaeróbica llevó a cabo la descomposición del material orgánico, generando biogás como subproducto. Por otra parte, la eliminación de sólidos se ejecutó en la sedimentación y, por último, la biofiltración contribuyó a retener la carga biológica. La construcción del prototipo se realizó con materiales plásticos de policloruro de vinilo y estructura maderable. En este proceso depurativo se integró la economía circular al utilizar residuos como el raquis y carbón activado de palma africana como elementos filtrantes.
- El tratamiento implementado al efluente de palma es eficiente al evidenciar los altos porcentajes de remoción. El parámetro de Sólidos Suspendidos Totales alcanzó la máxima eliminación con 99,38%, continúa Sólidos Totales 89,81%, Demanda Bioquímica de Oxígeno 89,32%, Demanda Química de Oxígeno 81,60%, Aceites y Grasas 81,60% y la temperatura 59,06%. Por otro lado, el pH se elevó de un valor de 4,20 a 4,45. El sistema depurativo logró disminuir la concentración de los contaminantes, esta afirmación se apoya en un análisis estadístico, que mediante una prueba T Student de muestras emparejadas se confirmó diferencias significativas entre las concentraciones iniciales y finales del efluente, siendo la etapa de la digestión anaeróbica que marcó la mayor remoción.

5.2. Recomendaciones

- Se sugiere implementar tratamientos integrales para tratar los efluentes de las industrias palmícolas. Combinar procesos biológicos, físicos y químicos podría ser una estrategia eficiente y segura para dar cumplimiento de la normativa vigente, evitando liberar al medio acuático un agua que cause efectos adversos.
- Es necesario realizar un mayor número de pruebas en el sistema de tratamiento para evaluar detalladamente la eficiencia. Intensificar el número de análisis y tiempo de retención hidráulica permitirá identificar patrones y posibles variaciones en el rendimiento depurativo.
- Se recomienda ejecutar prácticas eco amigables con la naturaleza, para reducir el impacto ambiental de manera significativa. Estas prácticas pueden ser la reutilización de los residuos e incorporación en procesos productivos o tratamientos biológicos. Así se impulsa la economía circular y las empresas reflejan un compromiso sostenible con el entorno natural.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACOSTA YANIRIS & OBAYA ABREU.** La Digestión Anaerobia. Aspectos Teóricos. Parte 1. *Revista icidca*, 2015. [en línea], (Cuba), vol. 1, pág. 35. [Consulta: 24 junio 2023]. ISSN 0138-6204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
2. **AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE AGUA.** *Ley Orgánica De Recursos Hídricos. Usos y Aprovechamiento Del Agua* [en línea]. Ecuador: 2014. Disponible en: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
3. **AGUSTINA, T. E., et al.** The extraction of oil from cooling pond wastewater as a raw material for biodiesel. En *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea], 2020, (Sebelas) pág. 2. [Consulta: 3 enero 2024]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/845/1/012016/pdf>
4. **ALCÍVAR Navarro, J et al.** Mejoramiento de extracción de aceite de palma en una planta industrial. *Conciencia Digital*, [en línea], 2022, (Ecuador), vol. 5 (3), págs. 6-26. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.2206>
5. **ALMEIDA GUZMÁN, Marcia & DÍAZ GUEVARA, César.** Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. Avances en Ecuador. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*, [en línea], 2020, (Ecuador), vol.1 (8), págs. 39-40. [Consulta: 19 marzo 2023]. ISSN 2550 – 6641. Disponible en: <https://revistas.uasb.edu.ec/index.php/eg/article/view/2407>
6. **ALTHAUSEN, M.** Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio-Convertir un residuo en un recurso. *Palmas*, [en línea], 2016, (Colombia), vol. 37 (2), pág. 31. [Consulta: 10 de octubre 2023]. ISSN 0121- 2923. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11918>
7. **ANYAOHA, Kelechi E. et al.,** Critical evaluation of oil palm fresh fruit bunch solid wastes as soil amendments: Prospects and challenges. *Resources, Conservation and*

Recycling, [en línea], 2018, (United Kingdom), vol. 136, págs. 399–409. [Consulta: 15 de octubre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.022>

8. **ARIAS RODRÍGUEZ, Kevin Bryan**, Evaluación de tratamiento para efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (*Elaeis guineensis*) en el Cantón la Concordia [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil. 2021. págs. 16-18. [Consulta: 2023-08-10]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ARIAS%20RODRIGUEZ%20KEVIN%20BRYAN.pdf>
9. **ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE**. *Constitución de la República del Ecuador*. Ecuador: 2008
10. **ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR**. *Ley para el fortalecimiento y desarrollo de la producción, comercialización, extracción, exportación e industrialización de la palma aceitera y sus derivados* [en línea]. Ecuador: 2020. [Consulta: 21 enero 2023]. Disponible en: https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/private/asambleanacional/filesasambleanacionalnameuid-29/Leyes%202013-2017/735-1plaza/2SRO255_20200728.pdf
11. **BALA David et al**. Palm oil mill effluent (POME) treatment “Microbial communities in an anaerobic digester”: A Review. *International Journal of Scientific* [en línea], 2014, (Malasia), vol. 4 (6), págs. 1-24. [Consulta: 4 enero 2024]. ISSN 2250-3153. Disponible en: <http://repository.futminna.edu.ng:8080/jspui/bitstream/123456789/9853/1/BALA42.pdf>
12. **BAQUERO DUQUE, Nataly Paulina, & RICO BELALCÁZAR, Paola Andrea**. Propuesta de aprovechamiento del residuo de raquis proveniente de la industria aceitera ecuatoriana en materiales no convencionales. amortiguadora [En línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2020. pág. 3 [Consulta: 2023-10-15]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20827>

13. **BONOMIE, Maria & REYES, Maria.** Environmental Strategy in Handling Palm Oil Extraction Effluents. *Telos-Revista Interdisciplinaria en Ciencias Sociales*, [en línea], 2012, (Maracaibo), vol. 14 (3), pág. 325. [Consulta: 10 de noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/993/99324907006.pdf>
14. **BRATIERES Katia, et al.** Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study, *Water research*, [en línea], 2008, (Australia), vol. 42 (14), pág. 3934. [Consulta: 24 de agosto 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.06.009>
15. **BRAVO CALLE, O et al.** La calidad del desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 6 (9) pág. 157. [Consulta: 16 de octubre 2023]. ISSN 2550 - 682X. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8094540>
16. **BRIONES SORNOZA, Henry & GUERRERO INTRIAGO, Dumar.** Extracción de aceites esenciales de mandarina (*citrus reticulata*) y palo santo (*Bursera Graveolens*) por el método de arrastre de vapor: Artículo de investigación. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. [en línea], 2019, (Ecuador), vol. 2 (3), pág. 10. [Consulta: 2023-11-21] ISSN: 2737-6249. Disponible en: <https://www.journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/12>
17. **BUSTAMANTE RUA, Moises et al.** Diseño geométrico de espesador-sedimentador y espesador en contra-corriente (CCD) en minería de oro para disposición de relaves. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, [en línea], 2019, (Colombia), vol. 1 (46), pág. 16. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN 0120-3630. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-36302019000200019&script=sci_arttext
18. **CAMACHO, Samantha et al.** *Impactos de la palma africana en Ecuador* [en línea]. México: PODER, en el marco del Programa Todos los Ojos en la Amazonía, 2022. [Consulta: 10 de noviembre 2023]. Disponible en: https://poderlatam.org/wp-content/uploads/2022/07/Informe_TOA.pdf

19. **CARDOZO, Joel A.** Propuesta de biodigestor anaerobio de flujo continuo para el tratamiento de estiércol bovino y aguas residuales. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales (RCCS)*, [en línea] 2019, (Caribe), no 12, pág. 9. [Consulta: 21 de octubre 2023]. ISSN: 2254-7630. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/12/tratamiento-estiercol-bovino.pdf>
20. **CEPERO, L., et al.** Producción de biogás y bioabono a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y Forrajes*, 2012, (Cuba) vol. 35 (2), pág. 220. [Consulta: 4 enero 2024]. ISSN 0864-0394. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200009
21. **CERDÁ, E & KHALILOVA, A.** Economía circular. *Economía industrial*, [en línea], 2016, (España), vol. 401(3), pág. 12. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>
22. **CEVALLOS ENRÍQUEZ, R.** Desarrollo sostenible: Guía para la elaboración de un manual de gestión para palmicultores ecuatorianos. *Polo del Conocimiento* [en línea], 2019, (Ecuador), vol. 4, págs. 88–104. [Consulta: 20 octubre 2022]. ISSN 2550 - 682X. Disponible en: <https://doi.org/10.23857/pc.v4i4.937>
23. **CORTES, S.** Manual anual técnico de palma africana. [en línea]. Honduras: *tecno serve*. 2009. [Consulta: 20 octubre 2023]. Disponible en: <https://palma.webcindario.com/manualpalma.pdf>
24. **COSENZA, J, et al.** Economía circular como alternativa para o crescimento sustentável brasileiro: análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, [en línea], 2020, (Brasil), vol. 9 (1), pág. 20 [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 2316 - 9834. Disponible en: <https://doi.org/10.5585/geas.v9i1.16147>
25. **CRF INSTRUMENTS S.L.** *Te apoyamos monitorizando aguas industriales*. Web oficial de CRF Instruments. [blog]. España: crf, 2024. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://crfinstruments.com/aplicaciones/aguas-industriales/>

26. **CHENG, Yoke Wang, et al.** Identification of microbial inhibitions and mitigation strategies towards cleaner bioconversions of palm oil mill effluent (POME): A review. *Journal of Cleaner Production*, [en línea], 2021, (Malasia), vol. 280 (1), pág. 124346. [Consulta: 20 de octubre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124346>
27. **DE LA MERCED JIMÉNEZ, Diego.** Evaluación de los parámetros de un biodigestor anaerobio tipo continuo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Veracruzana, Veracruz – México. 2012. págs. 29-30. [Consulta: 2023-01-23]. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/31560/delamercedjimenezdiego.pdf;jsessionid=E44C8532930EFBB0F4FECF5A7CBD482A?sequence=1>
28. **EMPARAN Q, et al.** Harun R, Sing Jye Y. Efficiency of pollutants removal in treated palm oil mill effluent (TPOME) using different concentrations of sodium alginate-immobilized *Nannochloropsis* spág. cells. *International Journal of Phytoremediation* [en línea], 2021, (Malasia), vol. 23 (5), pág. 454. [Consulta: 2 de enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1825327>
29. **ESPINO CASTILLO, D.** Impacto ecológico de la responsabilidad social empresarial. *Societas* [en línea], 2023, (Panamá), vol. 25 (1), págs. 414. [Consulta: 21 de octubre 2023]. ISSN 1560-0408. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/341/3413478023/3413478023.pdf>
30. **EZEKWE, I, et al.** Source gas and particulate matter emissions from a palm oil processing plant at Igwuruta, Port Harcourt, Nigeria. *African Journal of Agriculture, Technology and Environment*, [en línea], 2017, (Nigeria), vol. 6 (2), pág. 92. [Consulta: 25 agosto 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327343937_Source_gas_and_particulate_matter_emissions_from_a_palm_oil_processing_plant_at_Igwuruta_Port_Harcourt_Nigeria
31. **FIALLOS, F et al.** Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans. *Revista Publicando*, [en línea], 2017,

(Ecuador), vol. 4 (10), pág. 582. [Consulta: 20 agosto 2022]. ISSN 1390-9304 Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7055522>

32. **FORERO Diana, et al.** *Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite*, [en línea]. Bogotá-Colombia: cenipalma, 2012. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/107644/Generalidades%20sobre%20la%20morfolog%C3%ADa%20y%20fenolog%C3%ADa%20de%20la%20palma%20de%20aceite.pdf?sequence=1>.
33. **GADMFO, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana.** *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Francisco de Orellana* [en línea]. Orellana-Ecuador: Francisco de Orellana Alcaldía, 2023. [Consulta: 08 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.orellana.gob.ec/docs/PDYOT%20/PDYOT%20DOC.pdf>
34. **GRAZZIOTIN, Luciane et al.** Documentary historical analysis and bibliographic research: study subjects and methodology. *Pro-Posições*, [en línea], 2020, (Brasil), vol. 33 (1), pág. 6. [Consulta: 20 diciembre 2023]. e-ISSN 1980-6248. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/pp/a/GJCbBcY4rdVdvQY56T9qLRQ/?lang=en>
35. **GULLÍN MEDINA, Gustavo & ORTEGA CONTRERAS, José.** Diseño y construcción a escala piloto de un prototipo de sedimentador rectangular. [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Guayaquil-Ecuador. 2018. pág. 20. [Consulta: 2023-08-04]. Disponible en: <https://www.fict.espol.edu.ec/sites/fict.espol.edu.ec/files/Documentos/DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%C3%93N%20A%20ESCALA%20PILOTO%20DE%20UN%20PROTOTIPO%20DE%20SEDIMENTADOR%20RECTANGULAR.pdf>
36. **HIMMATULIZA, Astinesia.** Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biogas Menggunakan Digester Balok Sistem Fed Batch. [En línea] (Trabajo de titulación) (Doctoral). Politeknik Negeri Sriwijaya, Minyak. 2016. pág. 6. [Consulta: 2023-10-03]. Disponible en: <http://eprints.polsri.ac.id/4105/1/Cover.pdf>

37. **HOSSEINI, SEYED Ehsan & ABDUL WAHID, Mazlan.** Pollutant in palm oil production process. *Journal of the Air & Waste Management Association*, [en línea], 2015, (Malasia), vol. 65 (7), pág. 773. [Consulta: 12 octubre 2023]. ISSN 1096-2247. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10962247.2013.873092>
38. **INTAGRI.** Cultivo de Palma Africana o de Aceite. *Serie Frutales*, [en línea], 2021, (México), vol. 76(4), pág. 12. [Consulta: 2 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/frutales/cultivo-de-palma-africana-o-de-aceite>
39. **JUMADI, J et al.** Water quality assessment and a study of current palm oil mill effluent (POME) treatment by ponding system method. En *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea], 2020, (Malasia), págs. 3-4 [Consulta: 2 enero 2024]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/980/1/012076/pdf>
40. **LASSO, Geovanna.** La palma aceitera en el Ecuador: ¿Un cultivo social y sustentable? *La Línea de Fuego* [en línea], 2018, (Ecuador), vol. 1 (1), pág. 10 [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://lalineadefuego.info/la-palma-aceitera-en-el-ecuador-un-cultivo-social-y-sustentable-por-geovanna-lasso>
41. **LEYVA, Sonia, et al.** Manejo del raquis generado en las extractoras de palma aceitera para la elaboración de Compost. *Revista Científica Ecociencia* [en línea], 2019, (Ecuador), vol. 6 (4), págs. 3-15. [Consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 1390-9320. Disponible en: <https://revistas.ecotec.edu.ec/index.php/ecociencia/article/view/196>
42. **LÓPEZ, P & CHERREZ, R.** El impacto ambiental y su incidencia en la economía. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, [en línea], 2019, (Ecuador), vol. 1 (1), pág.19. [Consulta: 1 diciembre 2023]. ISSN 1696-8352. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/06/impacto-ambiental-economia.html>
43. **LUGO ARMENTA, J & PINO FAN, L.** Niveles de razonamiento inferencial para el estadístico T-Student. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, [en línea], 2022,

(Chile), vol. 35 (1), pág. 1798. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1980-4415v35n71a25>

44. **MALACATUS COBOS, P, et al.** Generación de efluentes en el proceso de extracción de aceite crudo de Palma en el Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, [en línea], 2017, (Ecuador), vol. 3 (4), págs. 467. [Consulta: 1 diciembre 2023]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/696/pdf>
45. **MALACATUS, P et al.** Análisis de eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en extracción de aceite de palma. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, [en línea], 2016, (Ecuador), vol. 2 (2), pág. 30. [Consulta: 20 enero 2022]. ISSN 2602-8484 Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2602-84842016000200061
46. **MARÍN, Jhoan & CORREA, Juan.** Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia* Kunth. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia-Pereira. 2010. pág. 8. [Consulta: 2023-02-22]. Disponible en: <https://repositorio.utpág.edu.co/items/71d34d44-8d8c-40e9-a974-31855ab27731>
47. **MARTÍNEZ ZARAY, Julian David & NARANJO NIETO, William Daniel.** Elección de un filtro de carbón activado de cuesco de palma africana para agua pretratada (caso Del Llano SA Restrepo-Meta). [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Antonio Nariño, Colombia. 2021. pág. 16. [Consulta: 2023-12-2]. Disponible en: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/4858>
48. **MBA, Ogan I, et al.** Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry—A review. *Food bioscience*, [en línea], 2015, (Canadá), vol. 10 (1), págs. 26-41. [Consulta: 4 octubre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.01.003>
49. **MENA, Anu, et al.** A review on the pollution assessment of hazardous materials and the resultant biorefinery products in Palm oil mill effluent. *Environmental Pollution*, [en línea], 2023, (India), vol. 328 pág. 121525. [Consulta: 18 marzo 2024]. ISSN 0269-7491

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749123005274>

50. **MENÉNDEZ GUTIÉRREZ, C.** La sedimentación secundaria en los tratamientos biológicos de aguas residuales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, [en línea], 2022, (La Habana), vol. 43 (3), pág. 25. [Consulta: 18 marzo 2023]. ISSN 2788-6050. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v43n3/1680-0338-riha-43-03-24.pdf>

51. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Registro Oficial - Edición Especial N° 387* [en línea]. Ecuador: 2015. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015.pdf

52. **MINISTERIO DEL AMBIENTE AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA.** *Código Orgánico del Ambiente* [en línea]. Ecuador: 2017a. [Consulta: 08 julio 2023]. Disponible en: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

53. **MINISTERIO DEL AMBIENTE AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA.** *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, TULSMA*. Ecuador, 2017b. [Consulta: 10 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

54. **MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR.** *Informe sobre el sector palmicultor ecuatoriano* [en línea]. Quito: 2017. [Consulta: 12 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/informe-palma-español-.pdf>

55. **MOHAMMAD, et al.** Palm Oil Mill Effluent Treatment Processes—A Review. *Processes* [en línea], 2021, (Malasia), vol. 9 (5). [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/pr9050739>

56. **MOHAMMED, A & SYAZWANI, I.** "Effect of Hydraulic Retention Time on the Treatment of Real Cattle Slaughterhouse Wastewater and Biogas Production from HUASB Reactor" *Water* [en línea], 2020, (Malasia), vol. 12 (2), pág. 16. [Consulta: 2 enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w12020490>
57. **MONCADA CARACCIOLI, Gabriel Fernando.** Estudio experimental de la producción de biogás a base de efluente del proceso de extracción de aceite de palma africana. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Tecnológica Centroamericana, San Pedro Sula 2022. págs. 10-80. [Consulta: 2023-11-6]. Disponible en: <https://repositorio.unitec.edu/handle/123456789/12274>
58. **MORALES CORROZO, Juan & LOOR VERGARA, Keyron.** Diseño de biofiltro para eliminación de contaminantes de aguas residuales de la comunidad Ballagán, Ecuador. *Ecociencia*, [en línea], 2023, (Ecuador), vol. 10 (2), pág. 92. [Consulta: 11 diciembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.21855/ecociencia.102.801>
59. **MORALES LOAYZA, César & LEÓN OCHOA, Henry.** Evaluación de la remoción de materia orgánica del lixiviado mediante el proceso de electrocoagulación del botadero La Mejorada El Tambo. *Prospectiva Universitaria*, [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 17 (1), pág. 112. [Consulta: 10 marzo 2023]. ISSN 1990-2409. Disponible en: <https://revistas.uncpág.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/1393>
60. **MORENO GARCÍA, Ginnary Lisney.** Uso potencial de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales del proceso de extracción de aceite de palma en el departamento del Cesar. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Unidades tecnológicas de Santander, Colombia. 2022. pág. 6. [Consulta: 2023-10-20]. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/10586>
61. **MORENO REINOSO, Carla Mercedes.** Tratamiento de agua residual de la extracción del aceite crudo de palma para su reutilización como agua de proceso mediante un biofiltro de arena [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad San Francisco de Quito. Pichincha, Quito. 2015. pág. 9. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5625/1/122845.pdf>

62. **MUNAR, et al.** *Biocarbón como producto de la biomasa residual de palma de aceite en un concepto de economía circular* [en línea]. Bogotá-Colombia: cenipalma, 2022. [Consulta: 3 enero 2024]. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/13709/13439>
63. **NAHRUL, HAYAWIN, et al.** A review on the development of palm oil mill effluent (POME) final discharge polishing treatments. *Journal of Oil Palm Research*, [en línea], 2017, (Malasia), vol. 29 (4), pág. 529 [Consulta: 3 enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.21894/jopr.2017.00012>
64. **NARVÁEZ GUERRERO, Estefanía Elizabeth.** Estudio sobre la recirculación de agua de producción utilizada para la extracción del aceite crudo de palma. [En línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Universidad San Francisco de Quito. Pichincha, Quito. 2015. pág. 28-29. [Consulta: 2023-09-20]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/jspui/bitstream/23000/4047/1/114245.pdf>
65. **NG, Isabelle.** The impacts of logging and palm oil on aquatic ecosystems and freshwater sources in southeast Asia. *EnviroLab Asia*, [en línea], 2017, (Asia), vol. 1 (3), pág.2. [Consulta: 15 agosto 2023]. Disponible en: <https://scholarshipág.claremont.edu/envirolabasia/vol1/iss3/3/>
66. **NIEVES RODRÍGUEZ, Fernando.** Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del Biol y Biosol obtenidos a partir de Pollinaza en un Biodigestor de Geomembrana de Policloruro de Vinillo Trujillo-Perú 2018. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. 2019, págs.16-32. [Consulta: 2023-10-20]. Disponible en: https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_49034fa87075538137462c99bef0bf65
67. **NUÑEZ GARCÍA, Uriel, et al.** Tratamiento biológico de aguas residuales con perspectiva de economía circular. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, [en línea], 2023, (México), vol. 11 (3), págs. 119. [Consulta: 10 enero 2023]. ISSN 2007 – 6363. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/11486>

68. **NÚÑEZ, J, et al.** Biocarbón como producto de la biomasa residual de palma de aceite en un concepto de economía circular. *Boletines técnicos*, [en línea], 2022, (Colombia), vol. 41, págs. 3-59. [Consulta: 20 enero 2024]. ISBN 978-958-8360-91-1. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/13709>
69. **ONOFRE REY, Andrea Lizeth & RIVERA HERRERA, Mónica Juliana.** Evaluación de lodos provenientes del tratamiento de efluentes de la industria de palmícola y su uso nutricional en vivero de *Elaeis guineensis* Jack. [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. 2021. págs. 21. [Consulta: 2023-07-05]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/35282/2021andreaonofre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
70. **ORBE, D & CUICHÁN, M.** Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). *Boletín técnico*, [en línea], 2022, (Ecuador), vol. 1, pág. 9. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Boletín_técnico.pdf
71. **ORTEGA BUCIO, Lidia et al.** Biodigestor con variables monitoreada. *Revista Energía Química y Física*, [en línea], 2019, (Bolivia), vol, 6 (18), pág. 38. [Consulta: 2024-02-13]. ISSN 2410-3934 Disponible en: https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol6num18/Revista_de_Energ%C3%ADa_Qu%C3%ADmica_y_F%C3%ADsica_V6_N18_5.pdf
72. **PALM OIL ALLIANCE.** *Historia del aceite de palma. Datos y cifras* [en línea]. Ecuador: 2017. [Consulta: 12 octubre 2023]. Disponible en: https://aceitedepalmasostenible.es/wp-content/uploads/2017/06/Dossier-de-prensa_EPOA.pdf
73. **PAREDES BUENAÑO, Andrés Eduardo.** Diseño de un Biorreactor para obtención de Biogás y Bioabono a partir de residuos orgánicos del cantón Patate. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2015. pág. 13. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo. [Consulta: 2024-01-19]. Disponible en:
<http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/4091/1/236T0138%20UDCTFCl.pdf>

74. **PEÑA CASTILLO, Olga Cristina & LARA QUIÑONES, Liseth Estefanía.** Evaluación del tratamiento del efluente de la palma de aceite (POME) en el proceso de extracción en la planta Extractora Vizcaya SAS. amortiguadora [En línea] (Trabajo de titulación). (Monografía) Universidad de Antioquía, Medellín, Antioquía, Colombia. 2022. págs. 18-20. [Consulta: 2024-01-23]. Disponible en:
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/29353>
75. **PEÑAFIEL, R et al.** Eliminación de nitrógeno y contaminación orgánica de agua residual industrial pretratada en lagunas anaeróbicas mediante un biofiltro de arena. *ACI Avances en ciencias e ingenierías*, [En línea] 2016, (Ecuador), vol. 8 (14), pág. 85. [Consulta: 4 enero 2024]. ISSN 1390-5384 Disponible en:
<https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/299/1973>
76. **PÉREZ PLATA, Andrés Felipe & RÍOS ARREDONDO, Maria Camila.** Diseño conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la planta extractora de aceite de palma de la empresa CI Sigra SA [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Bogotá, Colombia. 2018. págs. 20 [Consulta: 2023-02-06]. Disponible en:
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6730/1/6131008-2018-1-IQ.pdf>
77. **PÉREZ RAMÍREZ, Brenda.** Caracterización de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite en la industria PAPSA. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Ciencias y Arte Chiapas – México. 2019. pág. 12 [Consulta: 2024-01-10]. Disponible en: <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/2276>
78. **PÉREZ SALINAS, Andreina.** Alternativa para el tratamiento biológico anaeróbico para los efluentes procedentes del proceso de extracción de aceite de palma. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Pamplona, Colombia. 2019. pág. 17. [Consulta: 2023-11-15]. Disponible en:
<http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5938>

79. **POTTER, L.** Palm oil industry in Ecuador. Good business for small farmers? *Revistas. flacsoandes* [en línea], 2011, (Ecuador), vol. 1 (1), pág. 45. [Consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: <https://revistas.flacsoandes.edu.ec/eutopia/article/view/1028/948>
80. **PROPALMA.** *Anuario* [blog]. Ecuador: PROPALMA, 2022. [Consulta: 19 de noviembre 2023]. Disponible en: <https://propalmaec.com/anuario2021/>
81. **PROPALMA.** *Anuario* [blog]. Ecuador: PROPALMA, 2023. [Consulta: 23 de noviembre 2023]. Disponible en: <https://propalmaec.com/anuario2022/>
82. **QUINTERO, L, & TORRES, C.** Análisis de residuos sólidos de palma africana, como alternativa de aprovechamiento de energías renovables en el departamento del Cesar. *Ingenierías USBMed*, [en línea], 2019, (Colombia), vol. 10 (1), pág. 13. [Consulta: 18 noviembre 2023]. E-ISSN 2027-58468. Disponible en: <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/3662/3256>
83. **RIVAS VÉLEZ, Jhonathan Miguel.** Rediseño del sistema de tratamiento del agua residual para la Extractora de Palma Aceitera La Sexta. [En línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. págs. 10- 43. [Consulta: 2023-11-20]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6477>
84. **ROBALINO JARA, Carlos Daniel & ZAMBRANO CHILQUINGA, Luis Alfonso.** Obtención de carbón activado a partir del cuesco de palma africana como propuesta de utilización de residuo en la industria aceitera. Un caso de economía circular [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2022. pág. 31. [Consulta: 2023-10-10]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57550>
85. **RODRÍGUEZ DIAZ, Y, et al.** Eficiencia de la aplicación de policloruro de aluminio en post-tratamiento de aguas industriales en palma de aceite. *Temas agrarios*, [en línea], 2019, (Colombia), vol. 24 (2), págs. 160. [Consulta: 20 diciembre 2023]. ISSN-e 0122-7610. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7537911>

86. **RODRÍGUEZ ROMERO, Abraham Daniel, & SANGUCHO LOACHAMIN, Wendy Nathaly.** Evaluación de la viabilidad del uso del raquis como lecho filtrante para el tratamiento de agua residual proveniente de la extracción de aceite de palma. [En línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2018. pp 27-34. [Consulta: 2024-02-3]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19452/1/CD-8847.pdf>
87. **RODRÍGUEZ, P & BARRERA, D.** Procesos de oxidación avanzada en el tratamiento de agua. *Instituto Literario* [en línea]. Toluca-México: Creative Commons, 2020. [Consulta: 3 enero 2024]. Disponible en: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos_Oxidacion.pdf?sequ
88. **RUPANI, P, et al.** Review of Current Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment Methods: Vermicomposting as a Sustainable Practice. *World Applied Science Journal*, [en línea], 2010, (Malasia), vol. 11 (1), págs. 1124-1190. [Consulta: 25 mayo 2023]. ISSN 1818-4952. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/213965918_Review_of_Current_Palm_Oil_Mill_Effluent_POME_Treatment_Methods_Vermicomposting_as_a_Sustainable_Practice
89. **SANAGUANO SALGUERO, Herminia del Rosario.** Conversión de los aceites residuales de la industria de alimentos en biodiesel. [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 2018. pág. 34. [Consulta: 2024-01-4]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/7315>
90. **SANZ, Mikel.** *Introducción a la Modelización para la Depuración de las Aguas Residuales.* [blog]. España: aguasresiduales.info, 2014. [Consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/introduccion-a-la-modelizacion-para-la-depuracion-de-las-aguas-residuales>

91. **SAPUTERA, Wibawa H, et al.** Photocatalytic Technology for Palm Oil Mill Effluent (POME) Wastewater Treatment: Current Progress and Future Perspective. *Materials*. [en línea], 2021, (Indonesia), vol. 14 (11), pág. 10 [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ma14112846>
92. **SASWATTECHA, K, et al.** Non-CO2 greenhouse gas emissions from palm oil production in Thailand. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. [en línea], 2015, (Tailandia), vol, 12 (1), pág. 77. [Consulta: 20 diciembre 2023]. ISSN 1943-815X. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/1943815X.2015.1110184>
93. **SKIBA, U, et al.** Oil palm plantations are large sources of nitrous oxide, ¿but where are the data to quantify the impact on global warming? Current Opinion in Environmental Sustainability. [en línea], 2020, (Malasia), vol. 47 (1), págs. 81–88. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN 1877-3435. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.08.019>
94. **SUBGERENCIA DE ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS.** *Ficha Sectorial aceites y grasas de origen vegetal* [blog]. Ecuador: Corporación Financiera Nacional B.PÁG., 2023 [Consulta: 14 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2023/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Aceites-y-grasas-de-origen-vegetal.pdf>.
95. **SUBGERENCIA DE ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS.** *Ficha Sectorial Palma Africana* [blog]. Ecuador: Corporación Financiera Nacional B.PÁG., 2022 [Consulta: 14 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2022/fichas-sectoriales-4-trimestre/Ficha-Sectorial-Palma.pdf>.
96. **SUKSAROJ, Chaisri et al.** Promoting Circular Economy in the Palm Oil Industry through Biogas Codigestion of Palm Oil Mill Effluent and Empty Fruit Bunch Pressed Wastewater. *Water (Switzerland)*. [en línea], 2023, (Thailand), vol. 5 (12), págs. 365-369. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w15122153>

97. **TIGSE SÁNCHEZ, Jairo Israel.** Generación de biogás mediante procesos metanogénicos a partir de efluentes de Extractora coca Extractora Río Coca SA. [En línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. págs. 7-10. [Consulta: 2024-01-23]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10151>
98. **TUESTA, Oscar.** Vista de Evidencias exitosas de estrategias de gestión socioeconómica en el desarrollo económico sostenible y rentable en agro-industrialización de palma aceitera. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. [en línea], 2021, vol. 5 (5). págs. 7098-7125. [Consulta: 14 diciembre 2023]. ISSN 2707-2215. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/834/1130>
99. **VALDEZ ROSALES, Saul David.** Optimización del proceso de extracción de aceite de palma africana de la planta San Daniel mediante el aprovechamiento de energía residual para generar un ahorro energético. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2021. págs. 8-10. [Consulta: 2024-01-08]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14704>
100. **VANEGAS, A.** Alternativas ambientales para el aprovechamiento de la biomasa residual de palma aceitera (*Elaeis Guineensis*) en procesos industriales y agrícolas. [en línea], 2019, (Colombia), vol.13 (2), págs. 13-82. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 2539-4088. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/129/1292407005/1292407005.pdf>
101. **VANEGAS, Aura, et al.** Evaluation of Potential Substrates for Biogas Production in Colombia using Anaerobic Digestion Systems. *Ingeniería e Investigación*, [en línea], 2023, (Colombia), vol. 43 (2), pág. 2. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 0120-5609. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9070275>
102. **VÁSQUEZ, Carlos et al.** The treatment of the public and environmental health from the managerial social responsibility in Ecuador. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, [en línea], 2018, (Ecuador), vol 22 (3). [Consulta: 13 julio 2023]. ISSN 1025-0255. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552018000300013

103. **VELASCO, Giselle et al.** Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de Manta. *InfoAnalítica*, [en línea], 2019, (Ecuador), vol. 7 (1), págs. 20-21. [Consulta: 22 marzo 2023]. ISSN 2477-8788. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7113302>
104. **VERA, Mónica Patricia.** Gestión de un sistema de control para la utilización del cuesco de palma africana como parte de los áridos en la fabricación de hormigón compactado [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Central del Ecuador, Quito. 2016. pág. 55 [Consulta: 2023-06-27]. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c4a5e183-b6fc-4bd0-881e-408e16597bdd/content>
105. **WONG ARGUELLES, Cynthia.** Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, [en línea], 2023, (México), vol 7(1), pág. 5242. [Consulta: 07 agosto 2023]. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4827
106. **WORLD WILDLIFE FUND (WWF).** *Aceite de palma sostenible y bajo en carbono: una guía para lograrlo*. [blog]. Colombia: Comunidad panda, 2020. [Consulta: el 22 enero 2023]. Disponible en: <https://www.wwf.org.co/?365539/Aceite-de-palma-sostenible-y-bajo-en-carbono-una-guia-para-lograrlo%202020>.
107. **XU, Fuqing, et al.** Comparison of digestate from solid anaerobic digesters and dewatered effluent from liquid anaerobic digesters as inocula for solid state anaerobic digestion of yard trimmings. *Bioresource technology*, [en línea], 2016, (USA), vol. 200, págs. 753-760. [Consulta: 10 enero 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415015229#preview-section-snippets>
108. **ZHANG, et al.** Shifting from Conventional to Organic Filter Media in Wastewater Biofiltration Treatment: A Review. *Water-Energy-Environment Nexus*, [en línea], 2021, (Malasia), vol. 11 (18). [Consulta: 10 diciembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app11188650>

ANEXOS

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO DE CAMPO



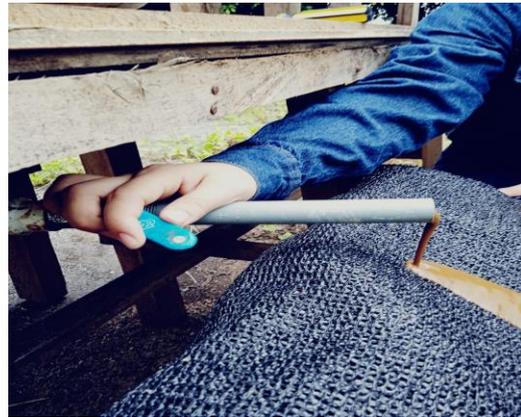
Ensamblaje del prototipo



Medición de la temperatura



Muestreo de efluente durante el tratamiento



Descarga de lodos a la plataforma de secado



Acondicionamiento del biofiltro



Análisis ex situ

ANEXO B: FICHA TÉCNICA DEL CARBÓN ACTIVADO

ROMPEDORA DE NUEZ DE PALMA AFRICANA



ROCZO S.A.

FICHA TÉCNICA DEL CARBÓN ACTIVADO DE ORIGEN VEGETAL

El Carbón Activado es un producto de origen vegetal que tiene múltiples aplicaciones y su uso principal es la purificación de agua. Se presenta en granos inodoros de color negro insolubles en agua y tiene gran área superficial para adsorber contaminantes sólidos, sedimentos y compuestos orgánicos. La adsorción es el proceso en que las impurezas y compuestos orgánicos del agua se adhieren por medio de atracción o retención a la gran superficie de las paredes internas de los poros de Carbón Activado para purificar el líquido.

Materia prima: Cascarilla de palma africana.

Granulometría: 1 mm a 8 mm

Mallas: 4 a 18

pH: 6.9-7

Humedad: 3.5%

Densidad: 0.55 g/cc

Presentación: Saco de polipropileno de 25 kg y según el requerimiento del cliente hasta 50 kg.

Toxicidad: No es tóxico.

USOS

- Purificación y tratamiento de agua potable y residual.
- Potabilización de agua y depuración de agua subterránea.
- Depuración de agua para piscinas y acuarios.
- Refinamiento de las aguas residuales tratadas.
- Extracción de olores en cocina y nevera.
- Procesamiento de efluentes industriales.
- Protección de resinas de intercambio iónico.

NOTA: Costos a convenir.

Cualquier sugerencia no dude en comunicarse, estaremos gustosos de servirle.

☎ 0997766755 / 0997428729

✉ quimerz@hotmail.com

📍 Km 23 Via Quevedo - Ventanas

ANEXO C: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DEL LABORATORIO

Caracterización fisicoquímica del estado del efluente de la Extractora Río Coca S.A.



Laboratorio de ensayo
acreditado por el SAE con
acreditación
Nº SAE LEN 14-009

INFORME DE ENSAYO Nº 19 602 a

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 21 de noviembre de 2023

Empresa:	ISABEL BRAVO SANMARTIN.		
Solicitado por:	Srta. Isabel Bravo.	Dirección:	Orellana.
Toma de muestra:	Srta. Isabel Bravo.	Fecha y Hora:	14/11/2023 15:00
Identificación de la muestra:	Agua Efluente del proceso de extracción de Aceite, Locación km 8 1/2.		

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	14/11/2023	17:48
Fecha Final de Análisis:	21/11/2023	

Condiciones Ambientales	T max: 32°C T min: 22°C
-------------------------	----------------------------

PARÁMETRO, METODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetro / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Límite Máximo Permisible @	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Aceite y Grasas	EPA 418.1, 1664 / 13	30,0	mg/L	121,21	± 30%
*Demanda química de Oxígeno	SM 5220 D / 07	200	mg/L	70800	~
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 D / 08	100	mg/L	48000	~
*Sólidos totales	SM 2540 B / 03	1600	mg/L	98807,68	~
*Sólidos totales suspendidos	SM 2540 D / 05	130	mg/L	84000	~

Fuente: Acuerdo Ministerial N°097-A 04 Noviembre 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Tabla 9 Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

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

Los límites permisibles de las Normativas (@) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".

Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, estas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio



Ing. Armando Meléndez Lara.
DIRECTOR TÉCNICO
AUTORIZADO

19 602 a

Análisis del efluente al finalizar el tratamiento biológico

Réplica N°1:



Laboratorio de ensayo
acreditado por el SAE con
acreditación
N° SAE LEN 14-009

INFORME DE ENSAYO N° 19 861 a

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 22 de enero de 2024

Empresa:	ISABEL BRAVO SANMARTIN.		
Solicitado por:	Srta. Isabel Bravo.	Dirección:	Orellana.
Toma de muestra:	Srta. Isabel Bravo.	Fecha y Hora:	17/01/2024 16:30
Identificación de la muestra:	Agua Efluente de la Palma Africana, Locación km 8 1/2 "Extractora Río Coca".		

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	17/01/2024	17:14	Condiciones Ambientales	T max: 32°C
Fecha Final de Análisis:	22/01/2024			T min: 22°C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Límite Máximo Permissible ®	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Aceites y Grasas	EPA 418.1, 1664 / 36	30,0	mg/L	26,9	± 30%
*Demanda química de Oxígeno	SM 5220 D / 07	200	mg/L	15665	~
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 D / 08	100	mg/L	6000	~
Sólidos totales	SM 2540 B / 03	1 600	mg/L	12173,53	± 4%
*Sólidos totales suspendidos	SM 2540 D / 05	130	mg/L	733,33	~

Fuente: Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

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

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".

Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio




Ing. Armando Meléndrez Lara.
DIRECTOR TECNICO
AUTORIZADO

19 861 a

Réplica N°2:



Laboratorio de ensayo
acreditado por el SAE con
acreditación
N° SAE LEN 14-009

INFORME DE ENSAYO N° 19 954 a

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 15 de febrero de 2024

Empresa:	ISABEL BRAVO SANMARTIN.		
Solicitado por:	Srta. Isabel Bravo.	Dirección:	Orellana.
Toma de muestra:	Srta. Isabel Bravo.	Fecha y Hora:	08/02/2024 17:00
Identificación de la muestra:	Agua de Efluente de Palma Africana proveniente de Biofiltro, Locación km 8 1/2 "Extractora Rio Coca".		

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	09/02/2024	17:43	Condiciones Ambientales	T max: 32°C
Fecha Final de Análisis:	15/02/2024			T min: 22°C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Límite Máximo Permisible ®	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Aceites y Grasas	EPA 418.1, 1664 / 36	30,0	mg/L	18,1	± 30%
*Demanda química de Oxígeno	SM 5220 D / 07	200	mg/L	10 390	~
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 D / 08	100	mg/L	4250	~
Sólidos totales	SM 2540 B / 03	1 600	mg/L	7961,08	± 4%
*Sólidos totales suspendidos	SM 2540 D / 05	130	mg/L	314,29	~

Fuente: Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

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

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".

Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio



Ing. Nelson Shiguango.

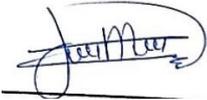
ASISTENTE DE LA DIRECCION TECNICA
AUTORIZADO

19 954 a



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 24/ 06/ 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Isabel Esther Bravo Sanmartin
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
 Ing. Demmy Jussey Mora Silva M. Sc. Director del Trabajo de Titulación  Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero M. Sc. Asesor del Trabajo de Titulación