

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

FACULTAD DE POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

“APROVECHAMIENTO DE LA CASCARA DE CACAO
CCN- 51, EN LA ELABORACIÓN DE UN BIOFILTRO PARA
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL
PROCESO DE EMBALAJE DE BANANO DE LA FINCA “LA
JOYA” UBICADA EN EL CANTÓN MILAGRO”.

Autor:

Ing. Patricio Alexander Chicaiza Arguero

Ing. Melisa Analy Peralta Castillo

Director:

Ing. César Stalin Gavin Moyano M.Sc.

Milagro, 2024

Derechos de Autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Patricio Alexander Chicaiza Arguero** y **Ing. Melisa Analy Peralta Castillo**, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de **Magíster en Biotecnología**, como aporte a la Línea de Investigación **Medición y Control Ambiental**, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 5 de noviembre del 2024



Firmado digitalmente por
PATRICIO ALEXANDER
CHICAIZA ARGUERO

**Ing. Patricio Alexander Chicaiza
Arguero**

C.I.: 2300214653

Ing. Melisa Analy Peralta Castillo

C.I.: 0923170674

Aprobación del Tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Ing. César Stalin Gavin Moyano M.Sc.**, en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por **Ing. Patricio Alexander Chicaiza Arguero e Ing. Melisa Analy Peralta Castillo**, cuyo tema es **“APROVECHAMIENTO DE LA CASCARA DE CACAO CCN- 51, EN LA ELABORACIÓN DE UN BIOFILTRO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE EMBALAJE DE BANANO DE LA FINCA “LA JOYA” UBICADA EN EL CANTÓN MILAGRO”**, que aporta a la Línea de Investigación **Medición y Control Ambiental**, previo a la obtención del Grado **Magíster en Biotecnología**. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 5 de noviembre del 2024

Ing. César Stalin Gavin Moyano M.Sc.

C.I.: 0603575382

Certificación de Defensa



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO FACULTAD DE POSGRADO CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. CHICAIZA ARGUERO PATRICIO ALEXANDER**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "APROVECHAMIENTO DE LA CASCARA DE CACAO CCN- 51, EN LA ELABORACIÓN DE UN BIOFILTRO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE EMBALAJE DE BANANO DE LA FINCA "LA JOYA" UBICADA EN EL CANTÓN MILAGRO", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	56.83
SUSTENTACIÓN	39.67
PROMEDIO	96.50
EQUIVALENTE	Excelente



Dra. NORIEGA VERDUGO DELIA DOLORES
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Ing. CANTILLO HOLGUIN GENESIS NATHALY
VOCAL



Mgs ROMERO VASQUEZ KATHERINE LISSETTE
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING PERALTA CASTILLO MELISA ANALY**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "APROVECHAMIENTO DE LA CASCARA DE CACAO CCN- 51, EN LA ELABORACIÓN DE UN BIOFILTRO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE EMBALAJE DE BANANO DE LA FINCA "LA JOYA" UBICADA EN EL CANTÓN MILAGRO", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	56.83
SUSTENTACIÓN	39.17
PROMEDIO	96.00
EQUIVALENTE	Excelente



Dra. NORIEGA VERDUGO DELIA DOLORES
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Ing. CANTILLO HOLGUIN GENESIS NATHALY
VOCAL



Mgs ROMERO VASQUEZ KATHERINE LISSETTE
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada principalmente a Dios, quien ha sido un pilar esencial en mi vida y me ha permitido lograr todas mis metas. Gracias a él, he podido completar mi carrera profesional. También quiero dedicar este trabajo a mis amados padres, por su apoyo incondicional y su increíble dedicación en cada paso que doy. Su amor y respaldo han sido cruciales para mi éxito académico y personal. Agradezco a mis hermanos por su constante motivación y aliento en este camino.

Melisa Analy Peralta Castillo

Dedico este trabajo a mi querido hijo Samu, quien siempre vivirá en mi corazón. Aunque estés en el cielo, tu luz y amor me han acompañado en cada paso de este camino.

Tu espíritu me ha inspirado a seguir adelante y a superar los desafíos. Su memoria me ha inspirado a perseverar y a alcanzar mis metas. Este trabajo es un homenaje a ti, que me enseñaste el verdadero significado de la fuerza y la esperanza. Siempre serás parte de mi vida y de cada logro que alcance.

Patricio Alexander Chicaiza Arguero

Agradecimientos

Primero, quiero expresar mi agradecimiento a mis padres por su apoyo y la confianza que han tenido en mí. Ellos han sido fundamentales para que las metas que me he propuesto a lo largo de mi carrera profesional se conviertan en una hermosa realidad, donde no solo se han cumplido mis sueños, sino también los de ellos.

Melisa Analy Peralta Castillo

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado a lo largo de este proceso. A mi amada esposa y a mi hijo, quienes siempre han sido mi fuente de inspiración y fortaleza. Su amor y apoyo incondicional me han guiado en cada paso de este camino.

Patricio Alexander Chicaiza Arguero

Resumen

En esta investigación se desarrolló un biofiltro a base de cáscara de cacao CCN-51 para tratar las aguas residuales generadas en el proceso de embalaje de banano de la finca "La Joya" en el cantón Milagro. La problemática se enfoca en los efectos negativos que estos efluentes sin tratamiento adecuado tienen sobre el ambiente, dado que contienen altos niveles de productos químicos. Además, dado que la región existe una abundancia de residuos de cáscara de cacao, los cuales representan un desafío ambiental. El objetivo general de este estudio fue diseñar un prototipo de biofiltro que aprovechara este residuo agrícola, evaluando su capacidad para reducir los contaminantes en el agua residual y promoviendo así un nuevo uso para este residuo.

El desarrollo del biofiltro incluyó el uso de cáscara de cacao CCN-51, procesada hasta obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 850 μm . Se evaluó su efectividad mediante un tratamiento experimental que contenía un 20% de este material, denominado Tratamiento 1 (T1), en comparación con un tratamiento control o testigo. Los parámetros analizados fueron oxígeno disuelto (OD), saturación de oxígeno, pH, sólidos disueltos totales (TDS), conductividad, salinidad, turbidez y cloro residual. Cada uno de estos parámetros permite medir la capacidad del biofiltro para mejorar la calidad del agua tratada.

En los resultados, T1 mostró un aumento del 10,81% en oxígeno disuelto (OD) respecto al tratamiento testigo, lo que indica una mejora en la capacidad de mantener condiciones aeróbicas. Aunque la saturación de oxígeno fue ligeramente menor que en el testigo, el Tratamiento 1 mostró un mejor rendimiento en pH, lo que sugiere que la cáscara de cacao podría ayudar a la descomposición biológica. Además, el biofiltro

con cáscara de cacao mejoró la remoción de sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad, lo que refleja una mayor capacidad de retención de partículas y eliminación de sales y minerales. Sin embargo, tuvo un menor rendimiento en la reducción de salinidad, lo que indica una limitación en la remoción de sales. Otro aspecto destacado fue la reducción de la turbidez en el T1, logrando un rendimiento del 29,18% en comparación con el testigo. Esto implica que el biofiltro con cáscara de cacao es particularmente efectivo en la eliminación de partículas suspendidas, mejorando la claridad del agua tratada. Además, el cloro residual se redujo significativamente en el T1, lo cual es crucial para asegurar un mejor tratamiento.

Las conclusiones indican que el prototipo de biofiltro, resultó efectivo en la reducción de contaminantes. Aunque cumplió con los estándares ambientales en términos de pH, TDS y conductividad, se observó un nivel elevado de OD, lo cual podría afectar la eficiencia de otros procesos de tratamiento. El costo del biofiltro más eficiente fue de \$37,90, lo que muestra una relación costo-eficiencia favorable. En general, el estudio demuestra el potencial de la cáscara de cacao CCN-51 como material sostenible y eficiente en la biofiltración de aguas residuales del proceso de embalaje y del sector agrícola bananero.

Palabras clave: Cascara, Cacao CCN-51, reducción de contaminantes, remoción de contaminantes, tratamiento

Abstract

In this research, a biofilter made from CCN-51 cocoa husk was developed to treat wastewater generated in the banana packaging process at the "La Joya" farm in the Milagro canton. The issue focuses on the negative environmental impact of these untreated effluents, as they contain high levels of chemicals. Additionally, there is an abundance of cocoa husk waste in the region, posing an environmental challenge. The main objective of this study was to design a biofilter prototype utilizing this agricultural residue, evaluating its ability to reduce contaminants in wastewater and thus promoting a new use for this waste.

The biofilter development involved using CCN-51 cocoa husk, processed to obtain a particle size of approximately 850 μm . Its effectiveness was evaluated through an experimental treatment containing 20% of this material, referred to as Treatment 1 (T1), in comparison with a control treatment. The analyzed parameters included dissolved oxygen (DO), oxygen saturation, pH, total dissolved solids (TDS), conductivity, salinity, turbidity, and residual chlorine. Each of these parameters helped assess the biofilter's capacity to improve treated water quality.

In the results, T1 showed a 10.81% increase in dissolved oxygen (DO) compared to the control treatment, indicating an improved ability to maintain aerobic conditions. Although oxygen saturation was slightly lower than in the control, T1 showed a better pH performance, suggesting that cocoa husk may aid in biological decomposition. Additionally, the cocoa husk biofilter enhanced TDS and conductivity removal, reflecting a greater capacity for particle retention and the elimination of salts and minerals. However, it had a lower performance in reducing salinity, indicating a limitation in salt removal. Another notable aspect was the reduction in turbidity in T1,

achieving a 29.18% improvement compared to the control. This implies that the cocoa husk biofilter is particularly effective in removing suspended particles, enhancing the clarity of the treated water. Moreover, residual chlorine was significantly reduced in T1, which is essential for ensuring improved treatment.

The conclusions indicate that the biofilter prototype effectively reduced contaminants. Although it met environmental standards in terms of pH, TDS, and conductivity, a high DO level was observed, which could impact the efficiency of other treatment processes. The cost of the most efficient biofilter was \$37.90, showing a favorable cost-efficiency ratio. Overall, the study demonstrates the potential of CCN-51 cocoa husk as a sustainable and efficient material for biofiltration in wastewater treatment from the packaging process and the agricultural banana sector.

Keywords: Husk, CCN-51 Cocoa, contaminant reduction, contaminant removal, treatment

Lista de Figuras

FIGURA No.	DETALLE	Pág.
FIGURA 1.	Tamiz usado	38
FIGURA 2.	Cartografía de referencia de la bananera la joya	47
FIGURA 3.	Cartografía de referencia de la finca valle verde.	48
FIGURA 4.	Relación cantidad total de producto recolectado y producto obtenido	49
FIGURA 5.	Gráfico de distribución porcentual de materiales del biofiltro	51
FIGURA 6.	Estructura grafica de materiales usados	51
FIGURA 7.	Efectos de la resistividad	53
FIGURA 8.	Efectos de la conductividad	54
FIGURA 9.	Efectos del oxígeno disuelto	54
FIGURA 10.	Efectos del cloro activo residual	55
FIGURA 11.	Comparación de porcentajes de eliminación por tratamiento	62

Lista de Tablas

TABLA No.	DETALLE	Pág.
TABLA 1.	Operacionalización de variables	13
TABLA 2.	Estructura del biofiltro	44
TABLA 3.	Puntos, coordenadas del muestreo de agua residual y volumen	46
TABLA 4.	Punto y coordenadas de recolección de cacao CCN 51	47
TABLA 5.	Cantidad de producción de cacao CCN 51	48
TABLA 6.	Orden de materiales y peso utilizado en los biofiltros	50
TABLA 7.	Sumatoria de resultados obtenidos	52
TABLA 8.	Porcentajes de remoción del biofiltro	56
TABLA 9.	Comparación de resultados con el AM - 097A	59
TABLA 10.	Costo de producción del tratamiento más eficiente	60

Índice / Sumario

Introducción	1
CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación	8
1.1. Planteamiento del problema	8
1.2. Delimitación del problema.....	9
1.3. Formulación del problema	9
1.4. Preguntas de investigación.....	10
1.5. Objetivos.....	10
1.5.1. Objetivo general	10
1.5.2. Objetivos específicos.....	10
1.6. Hipótesis.....	11
1.7. Declaración de las variables (Operacionalización).....	12
CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial	14
2.1. Antecedentes Referenciales	14
2.2. Marco Conceptual.....	18
2.2.1. Tipos y Usos del Biofiltro	18
2.2.2. Comparación de la Eficiencia y Costos de los Biofiltros	20
2.2.3. Aguas Residuales de Piscinas de Banano	21
2.2.4. Impacto de las Prácticas Agrícolas en la Variación de Contaminantes.....	23
2.2.5. Contaminantes Presentes en el Agua Residual Producto del Embalaje de Banano.....	24
2.3. Marco Teórico.....	25
2.3.1. Muestreo de Agua	25
2.3.2. Equipos Utilizados en el Muestreo.....	26
2.3.3. Multiparamétrico	27
2.3.4. Aplicaciones en Otros Contextos Agrícolas y Urbanos en Ecuador	31
2.3.5. Importancia de Tratar Ese Tipo de Aguas	31
2.4. Marco Legal (Legislación Ambiental)	33

CAPÍTULO III: Diseño Metodológico.....	36
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	36
3.1.1. Tipo	36
3.1.2. Investigación de experimental.	36
3.1.3. Investigación de laboratorio.....	36
3.1.4. Diseño de Investigación.....	36
3.1.5. Grupo Experimental.....	37
3.1.6. Grupo de Control.....	37
3.1.7. Implementación del Protocolo Integral:.....	37
3.1.8. Mediciones y Evaluaciones:	37
3.1.9. Análisis Comparativo.....	38
3.1.10. Tratamiento del Cascajo de cacao CCN 51.....	38
3.2.11. Evaluación del Cascajo de cacao CCN 51	38
3.2. La población y la muestra	39
3.2.1. Características de la población.....	39
3.2.2. Delimitación de la población	39
3.2.3. Tipo de muestra	39
3.2.4. Tamaño de la muestra.....	39
3.2.5. Proceso de selección de la muestra.....	40
3.3. Los métodos y las técnicas.....	40
3.3.1. Fase de campo.....	40
3.3.2. Fase de laboratorio.....	41
3.3.3. Elaboración del biofiltro a base de cáscara de cacao CCN 51.....	42
3.4. Evaluación de eficiencia de remoción de contaminantes.....	44
3.5. Valoración comparativa de resultados	44
3.6. Procesamiento estadístico de la información.....	45
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados.....	46
4.1. Análisis de los resultados	46
4.1.1. Recolección muestra de agua y de cacao CCN51	46
4.1.2. Tamizaje del cascajo de cacao.....	48

4.1.3. Resultado del diseño de biofiltro.....	50
4.1.4. Análisis de muestra de agua	52
4.1.5. Porcentaje de remoción del biofiltro	55
4.1.6. Análisis comparativo de los resultados obtenidos	59
4.1.7. Análisis de costo del tratamiento más eficiente	60
4.1.8. Procesamientos estadísticos	61
4.1.9. Decisión de la hipótesis.....	62
CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones.....	63
5.1. Discusión	63
5.2. Conclusiones	66
5.3. Recomendaciones	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS.....	80

Introducción

En un contexto global donde la sostenibilidad y la gestión eficiente de recursos se han convertido en imperativos, la implementación de tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas residuales es una prioridad crucial (Muguirrima et al., 2024; Gude, 2017). La agricultura es una de las actividades más demandantes en cuanto al uso de agua y, en lugares como el cantón Milagro, Provincia del Guayas, la creciente producción de banano ha generado desafíos ambientales importantes, entre los que destaca la gestión ineficaz de las aguas residuales generadas en el proceso de embalaje de banano (Rusănescu et al., 2022; Ingrao et al., 2023). Los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales a menudo no logran mitigar completamente la carga de contaminantes que estas aguas arrastran, lo que tiene un impacto directo en los cuerpos de agua y su reutilización (Rizzo et al., 2013; Luo et al., 2014).

En respuesta a este problema, se ha investigado el uso de materiales biodegradables y residuos agrícolas como bioportadores en biofiltros, debido a sus propiedades adsorbentes y su abundante disponibilidad (Ali & Gupta, 2006; Foo & Hameed, 2010). Un ejemplo prometedor es el uso de cáscaras de cacao (*Theobroma cacao*), un subproducto de la industria del cacao que, gracias a su estructura lignocelulósica, puede ser empleado en sistemas de tratamiento de aguas como medio filtrante (Morante-Carballo et al., 2024). Además, el uso de filtros verdes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales ha demostrado ser exitoso en la eliminación de contaminantes y la promoción de la reforestación, contribuyendo a una economía circular y cumpliendo con las regulaciones ambientales (Morante-Carballo et al., 2024; Dueñas-Tovar et al., 2024). Al integrar estos enfoques, el cantón Milagro puede

abordar los desafíos de aguas residuales que provienen de bananeras, de una manera sostenible y al mismo tiempo apoya las actividades agrícolas.

En Ecuador, el cultivo de cacao tiene una larga historia y relevancia económica, especialmente en las provincias del litoral, como Guayas. El cacao CCN -51 es una variedad ampliamente cultivada en la región, generando grandes volúmenes de cáscara como residuo en los procesos de producción y procesamiento del fruto (Pérez Neira, 2016; Avadí, 2023). En cuanto a datos estadísticos se tiene que en el 2021 la producción de cacao fue 302.094 Tm, en el 2022 fue 337.149 Tm, en el 2023 fue 375.719 Tm. (INEC, 2024). Hay que considerar que el 80% de producción de cacao en el país corresponde a la especie CCN-51 y el 20% restante a la especie cacao nacional. Para producir 1 Kg de cacao CCN-51 se necesitan 16 mazorcas, lo que da un total de 16.000 mazorcas por cada tonelada de producción, generando grandes cantidades de residuos por año, afectando la estabilidad de los suelos. (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2021).

Por otro lado, Zambrano Cuadro, (2015) determinó que en el manejo de la fruta del banano como desecho se genera el 20% de aguas residuales. En general, las plantas procesadoras de bananos generan entre 5 y 10 metros cúbicos de agua residual por tonelada de fruta procesada (Orozco-Irola et al., 2022). En las aguas residuales del proceso de lavado de banano pueden encontrarse contaminantes como latex de banano (Orozco-Irola et al., 2022; Conversation, 2019), tensioactivos (Orozco-Irola et al., 2022) y cloro residual (Muñoz Villarreal, 2018).

La presente investigación se centra en la implementación de un biofiltro elaborado con cáscara de cacao CCN-51, un residuo agrícola abundante en la región, como solución para el tratamiento de efluentes del proceso de embalaje de banano. El objetivo de

esta investigación es desarrollar y evaluar la eficiencia de un biofiltro elaborado a partir de la cáscara de cacao CCN-51 para el tratamiento de efluentes generados en el proceso de embalaje de banano de la finca "La Joya" del cantón Milagro. Se espera que este sistema de biofiltro pueda no solo reducir la carga de contaminantes presentes en el agua, sino también fomentar prácticas de reutilización del agua ya sea mediante recirculación al proceso de embalaje de banano o destinarlas al riego de la plantación, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola y ambiental en la región.

Importancia y Actualidad del Estudio

El tratamiento de contaminantes como el látex de banano en aguas residuales ha sido objeto de diversas investigaciones que exploran enfoques sostenibles y económicos. Un método destacado es el uso de biocoagulantes naturales, como el polvo de cáscara de banano, que ha mostrado eficacia en la eliminación de látex (Akpomie & Conradie, 2020; Azamzam et al., 2022).

La eliminación de tensioactivos y cloro residual en las aguas residuales generadas en el procesamiento de bananos es un desafío ambiental significativo. Para los tensioactivos, que suelen estar presentes debido al uso de detergentes y agentes de limpieza, se han investigado diversas tecnologías de tratamiento. Una de ellas es el uso de nanoburbujas, que son burbujas extremadamente pequeñas con propiedades electroquímicas que permiten descomponer tensioactivos y otros contaminantes orgánicos presentes en el agua. Este método ha demostrado ser efectivo al mejorar la eficiencia de clarificación y el tratamiento biológico en plantas de tratamiento de aguas residuales, reduciendo significativamente la presencia de tensioactivos sin el uso de químicos adicionales (Arora et al., 2023).

En cuanto a la eliminación del cloro residual, los métodos de tratamiento se centran en procesos de adsorción y desinfección avanzada. El cloro y sus compuestos pueden ser neutralizados mediante técnicas como la utilización de carbón activado, que adsorbe los subproductos clorados, o por procesos de dehalogenación catalítica, que descomponen los compuestos clorados antes de su descarga al medio ambiente (Munakata & Reinhard, 2002).

El uso de biofiltros en el tratamiento de aguas residuales se ha destacado como una alternativa sostenible y económicamente viable en comparación con los métodos convencionales, que suelen requerir una mayor inversión de energía y productos químicos. Los biofiltros funcionan a través de la biofiltración, donde microorganismos adheridos a un medio poroso (como arena, grava o materiales orgánicos) forman una biopelícula que descompone los contaminantes presentes en el agua.

Estos sistemas presentan múltiples ventajas: son energéticamente eficientes, generan menos subproductos nocivos, requieren menos mantenimiento y permiten un tratamiento flexible según las necesidades del agua. Además, los biofiltros son eficaces en la eliminación de nutrientes, contaminantes orgánicos y metales pesados. Se ha demostrado que pueden ser particularmente útiles en el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales (Chaudhary et al., 2003).

Una de las mayores ventajas de la biofiltración es que puede ser implementada utilizando materiales locales y orgánicos, lo que reduce los costos de instalación y operación. Estos materiales no solo promueven el crecimiento de las biopelículas, sino que también pueden mejorar la eficiencia de filtración (Loh et al., 2021).

Otras investigaciones como Demirbas, (2008) revisa el uso de residuos agrícolas como la cáscara de cacao para la adsorción de contaminantes en el agua como

metales tóxicos, destacando su relevancia como una tecnología sostenible. (Nordin et al., 2023) estudia los avances en el uso de residuos agrícolas, incluyendo la cáscara de cacao, para la purificación de agua, y destaca su relevancia en estudios actuales sobre biofiltros y su viabilidad económica.

Por otro lado, Al-Hazmi et al., (2023) estudia la importancia de utilizar subproductos agrícolas en el tratamiento sostenible de aguas residuales, destacando el impacto positivo en la gestión de residuos y el medio ambiente. Así mismo,

Además, el uso de biofiltros en el tratamiento de efluentes industriales y aguas residuales domésticas ha demostrado ser eficiente y de bajo costo, con el potencial de contribuir a la reducción de residuos agrícolas y promover una economía circular (Muguirrima et al., 2024). La cáscara de cacao, un subproducto de la industria del cacao se presenta como un material de alta disponibilidad en Milagro.

Planteamiento del Problema, Diseño Teórico y Metodológico

El planteamiento del problema se fundamenta en la necesidad de desarrollar una técnica de control que sea efectiva, accesible y sostenible para la plantación bananera de la finca "La Joya" del cantón Milagro. El diseño teórico de esta investigación se fundamenta en los principios de la biofiltración y la gestión sostenible de residuos agrícolas, con un enfoque basado en los paradigmas de la economía circular y la ecología industrial. La biofiltración es un proceso biológico que utiliza materiales orgánicos para la remoción de contaminantes de medios acuosos, apoyado en la capacidad adsorbente de ciertos residuos orgánicos, como la cáscara de cacao CCN-51. Este enfoque es coherente con el paradigma de sostenibilidad, que propone la optimización de recursos y la minimización de residuos a través de la reutilización de subproductos.

Desde una perspectiva teórica, la investigación se basa en la teoría de la adsorción, que explica cómo los materiales porosos, como la cáscara de cacao, pueden atraer y retener partículas contaminantes en su superficie. La cáscara de cacao CCN-51, debido a su estructura lignocelulósica, tiene la capacidad de actuar como adsorbente natural, lo que la convierte en un candidato ideal para su uso en biofiltros. En este sentido, se considera la teoría de la capacidad adsorbente de materiales biodegradables, que ha sido validada en múltiples estudios que demuestran la efectividad de los biofiltros a base de residuos agrícolas para la purificación de aguas residuales (Silva et al., 2024).

Además, este diseño teórico se enmarca en la aplicación de la teoría de la economía circular, que promueve el aprovechamiento integral de los residuos y subproductos generados en procesos agrícolas, transformándolos en recursos útiles en otros sectores. La cáscara de cacao CCN-51, en lugar de ser tratada como un desecho, se reutiliza como material filtrante, alineándose con el principio de cerrar los ciclos productivos y reducir el impacto ambiental.

Otro fundamento teórico clave en esta investigación es el paradigma de la ecología industrial, que fomenta la simbiosis entre industrias para la gestión eficiente de los recursos. En este caso, la industria cacaotera puede encontrar en la agricultura bananera un destino útil para sus residuos, mientras que las plantaciones de banano pueden beneficiarse de un tratamiento más eficiente y económico de sus aguas residuales.

Finalmente, el marco teórico se apoya en la normativa ambiental vigente, particularmente las directrices internacionales y locales relacionadas con el manejo de aguas residuales y la gestión de residuos sólidos. Esto incluye principios

establecidos en la ISO 14001, que promueve la implementación de sistemas de gestión ambiental eficientes.

En resumen, este diseño teórico integra diversas bases y fuentes que respaldan el uso de la cáscara de cacao CCN-51 como biofiltro, considerando tanto sus fundamentos adsorbentes como su alineación con paradigmas de sostenibilidad, economía circular y ecología industrial. Estos enfoques teóricos proporcionan una base sólida para justificar la viabilidad y relevancia del uso de residuos agrícolas en el tratamiento de aguas residuales, contribuyendo al desarrollo de soluciones más sostenibles y económicamente viables en el contexto agrícola.

La metodología de esta investigación se centrará en un enfoque experimental, donde se construirán biofiltros a base de cáscara de cacao CCN-51, los cuales serán sometidos a pruebas de eficiencia para la remoción de contaminantes específicos presentes en las aguas residuales de la plantación bananera. Los métodos a emplear incluirán análisis fisicoquímicos del agua, tanto antes como después del tratamiento, para medir parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), y concentración de metales pesados (ISO 14001:2015).

El diseño experimental involucrará la comparación de diferentes configuraciones de biofiltros, variando la cantidad de material filtrante (cáscara de cacao CCN-51) y el tiempo de retención del agua en el sistema, para identificar las condiciones óptimas de operación. Además, se incluirá un análisis de los costos operativos y la viabilidad económica del sistema en comparación con métodos tradicionales de tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación

1.1. Planteamiento del problema

En un contexto global donde la sostenibilidad y la gestión eficiente de recursos se han convertido en imperativos, la implementación de tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas residuales es una prioridad crucial. En la región de Milagro, Ecuador, la creciente actividad agrícola, en particular la producción de banano ha generado una serie de desafíos ambientales, entre ellos la gestión de aguas residuales del proceso de embalaje. La presente investigación se centra en la implementación de un biofiltro elaborado con cáscara de cacao CCN-51, un residuo agrícola abundante en la región, como solución para el tratamiento de aguas residuales del proceso de embalaje de la plantación bananera "La Joya"

La problemática surge del hecho de que las aguas residuales generadas por las actividades agrícolas contienen altos niveles de nutrientes y productos químicos que, sin un tratamiento adecuado, pueden causar graves daños en los ecosistemas acuáticos y en la calidad del agua. La investigación se propone explorar si la cáscara de cacao CCN-51, al ser utilizada en biofiltros, puede reducir significativamente estos contaminantes, promoviendo una gestión sostenible del agua en las plantaciones bananeras. Además, existe otro problema ambiental que no puede ser ignorado: el exceso de residuos de cáscara de cacao, particularmente de la variedad CCN-51, que es ampliamente cultivada en la región.

Preguntas de investigación:

1. ¿En qué medida un biofiltro elaborado con cáscara de cacao CCN-51, es efectivo en la remoción de contaminantes de aguas residuales del proceso de embalaje de banano proveniente de finca "La Joya"?

2. ¿Cuáles son las principales ventajas y limitaciones del uso de cáscara de cacao CCN-51 en comparación con otros mecanismos filtrantes (filtros de arena, carbón activado) en el tratamiento de aguas residuales, vistos desde la literatura existente?

1.2. Delimitación del problema

El estudio se enfocará específicamente en la implementación de biofiltros elaborados con cáscara de cacao CCN-51 para el tratamiento de aguas residuales del proceso de embalaje de banano de la finca "La Joya" ubicada en el cantón de Milagro, Ecuador. El marco temporal del estudio cubrirá un período de 2 meses, el cual comprende la construcción del biofiltro y las pruebas de retención de los parámetros de control, mismas que validaran la eficacia y tiempo de saturación del biofiltro. La investigación se limitará a la evaluación de los contaminantes específicos presentes en las aguas residuales del proceso de embalaje de banano, como: látex de banano, tensioactivos y cloro residual.

El análisis se centrará en la comparación de la calidad del agua antes y después del tratamiento con el biofiltro, así como en la evaluación de la viabilidad económica del sistema propuesto. No se considerarán otros métodos de tratamiento de aguas residuales fuera del uso de biofiltros ni se evaluarán los impactos más allá del contexto específico de las plantaciones de banano.

1.3. Formulación del problema

El problema central de esta investigación se formula de la siguiente manera:

Problema principal: La contaminación de las aguas residuales del proceso de embalaje de banano, generadas por las plantaciones de banano en el cantón Milagro,

exacerbada por la falta de sistemas eficientes y accesibles de tratamiento de estas aguas, lo que causa un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua.

1.4. Preguntas de investigación

1. ¿Qué tipos de contaminantes presentes en las aguas residuales procedentes del proceso de embalaje de banano pueden ser eliminados o reducidos mediante un biofiltro con cáscara de cacao CCN-51?
2. ¿Qué factores influyen en la eficiencia del biofiltro de cáscara de cacao CCN-51 en la remoción de contaminantes?
3. ¿Cuál es el costo-beneficio de implementar este biofiltro en comparación con otros métodos de tratamiento disponibles?
4. ¿Cómo afecta el uso de cáscara de cacao CCN-51 en biofiltros a la sostenibilidad a largo plazo de las plantaciones bananeras?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- **Desarrollar** un prototipo de biofiltro utilizando cáscara de cacao CCN-51 para el tratamiento de aguas residuales generadas durante el proceso de embalaje de banano en la finca "La Joya", ubicada en el cantón Milagro, con el fin de reducir los niveles de contaminantes y promover el aprovechamiento sostenible de residuos agroindustriales.

1.5.2. Objetivos específicos

- **Elaborar** un prototipo de biofiltro utilizando cáscara de cacao CCN-51 como material filtrante.

- **Evaluar** el porcentaje de rendimiento del biofiltro en la remoción de contaminantes específicos presentes en las aguas residuales generadas durante el proceso de embalaje de banano en la finca "La Joya".
- **Comparar** los resultados obtenidos con los estándares de calidad del agua vigentes.
- **Analizar** el costo del biofiltro más eficiente en comparación con otros métodos de tratamiento de aguas residuales.

1.6. Hipótesis

Dado que el estudio es de carácter experimental, se formulará una hipótesis nula y una hipótesis alternativa.

Hipótesis nula (H_0): El uso de un biofiltro elaborado con cáscara de cacao CCN-51 no tiene un efecto significativo en la reducción de contaminantes en las aguas residuales generadas durante el proceso de embalaje de banano en la finca "La Joya", ubicada en el cantón Milagro.

Hipótesis alternativa (H_1): El uso de un biofiltro elaborado con cáscara de cacao CCN-51 tiene un efecto significativo en la reducción de contaminantes de agua residual generada durante el proceso de embalaje de banano en la finca "La Joya", ubicada en el cantón Milagro.

Justificación

Este estudio es relevante debido a la necesidad urgente de desarrollar métodos sostenibles y económicamente viables para el tratamiento de aguas residuales del proceso de embalaje de banano en áreas agrícolas. La cáscara de cacao CCN-51, un subproducto de la industria del cacao se presenta como un material de alta

disponibilidad en Milagro, Ecuador, y su uso en biofiltros podría no solo mejorar la calidad del agua, sino también contribuir a la reducción de residuos agrícolas y a la promoción de una economía circular.

El proyecto aborda un problema crítico para la sostenibilidad ambiental y ofrece una solución que podría ser replicada en otras regiones con condiciones similares. Además, este estudio contribuirá al conocimiento científico en el campo del tratamiento de aguas residuales mediante biofiltración, ampliando las posibilidades de uso de materiales agrícolas en tecnologías ambientales.

1.7. Declaración de las variables (Operacionalización)

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Instrumentos de medición	Escala
Independiente: Material filtrante (cáscara de cacao CCN-51)	Material orgánico derivado del procesamiento del cacao, utilizado como medio en biofiltros	Uso de la cáscara de cacao CCN-51 triturada y tratada como elemento principal en el biofiltro	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tipo de material filtrante 2. Cantidad de cascara de cacao CCN51 utilizada. 3. Secado y trituración. 4. Tamaño de partícula. 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Pesaje de cascara • Mufla • Molino tradicional • Tamiz de acero inoxidable 	<p>Nominal</p> <p>Cuantitativa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kg • T • t • μm
Dependiente: Calidad del agua post-tratamiento	Medida de la pureza y nivel de contaminantes presentes en el agua después de pasar por el biofiltro.	Condiciones fisicoquímicas del agua luego de ser tratada con el biofiltro compuesto por cascara de cacao CN-51.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Turbidez (NTU) 2. pH del agua 3. TDS 4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 5. Conductividad 6. Salinidad 7. Resistividad 8. Cloro activo 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiparamétrico HACH HQ Field Case • Turbidímetro (HI 98703) • Laboratorios OSP. 	Cuantitativo (Por unidad de medida de cada parámetro)
Controlada: Tiempo de retención hidráulica	Tiempo que el agua permanece en contacto con el material filtrante.	Duración del tiempo en el que el agua permanece dentro del biofiltro, asegurando el contacto suficiente con la cáscara de cacao.	Tiempo de retención	Reloj/Cronómetro	Cuantitativa (Tiempo en horas ó minutos)
Controlada: Condiciones ambientales	Factores del entorno como la temperatura, pH y otras variables que pueden influir en la eficiencia del biofiltro.	Variables ambientales que afectan el desempeño del biofiltro.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura ambiental 2. pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Termómetro • Potenciómetro 	Cuantitativa $^{\circ}\text{C}$, escala de pH

Fuente: Elaboración propia de autores

CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial

2.1. Antecedentes Referenciales

Taxonomía del Cacao: Variedad CNN 51

El *Theobroma cacao*, comúnmente conocido como cacao, pertenece a la familia Malvaceae y se cultiva en climas tropicales. La variedad CNN 51 es una de las más relevantes en Ecuador debido a sus características especiales.

- **Resistencia a Plagas y Enfermedades:** Esta variedad ha sido desarrollada para resistir enfermedades comunes del cacao, como la moniliasis y la escoba de bruja. Esto la convierte en una opción resistente y menos dependiente de pesticidas químicos, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles.
- **Características Morfológicas:** El CNN 51 presenta hojas grandes, flores pequeñas y vainas robustas con un alto contenido de almendra. Su fruto es de tamaño mediano a grande, con una cáscara levemente rugosa, lo que facilita su manipulación y procesamiento.

El cacao CNN 51 se adapta de manera óptima a las condiciones climáticas del cantón Milagro, en Ecuador:

La región, con su clima tropical húmedo y suelos fértiles, proporciona el ambiente ideal para el crecimiento de esta variedad. La temperatura promedio de 24-28°C y las lluvias constantes facilitan un ciclo productivo estable.

El cacao CNN 51 se cultiva frecuentemente en sistemas agroforestales, lo que permite la convivencia con árboles maderables y frutales. Esta práctica no solo favorece la biodiversidad local, sino que también protege los cultivos de erosión y mejora la calidad del suelo.

Estudios Recientes sobre la Adaptación del CNN 51 y su Impacto Económico

Estudios recientes han mostrado cómo la implementación del cacao CNN 51 en regiones como Milagro afecta positivamente la economía local:

Los sistemas agroforestales de cacao, como los que emplean la variedad CCN-51, han demostrado beneficios económicos importantes para los agricultores. Según varios estudios, estos sistemas promueven la sostenibilidad y la eficiencia en la producción, lo que puede llevar a una reducción significativa en el uso de pesticidas. Esto ocurre debido a la biodiversidad y las mejores condiciones de suelo y agua que ofrecen los árboles asociados, lo que reduce la necesidad de agroquímicos. Por ejemplo, investigaciones han destacado que los sistemas agroforestales mejoran la infiltración de agua y la conservación del suelo, lo que contribuye a reducir la dependencia de insumos externos (Jaimes-Suárez et al., 2022).

En términos de ingresos, se ha observado un incremento en las ganancias de los agricultores que adoptan estos sistemas, debido no solo a la reducción de costos de pesticidas, sino también a la creciente demanda de cacao orgánico y sostenible en el mercado global (François et al., 2023).

Proceso de Embalaje del Banano

El proceso de embalaje de banano en las plantaciones de Milagro consta de varias etapas clave que son responsables de la generación de aguas residuales con alta carga de contaminantes. Primero, el banano es cosechado y transportado a las piscinas de lavado, donde se somete a un proceso de limpieza para eliminar impurezas, tierra y residuos de pesticidas aplicados durante el cultivo. Esta etapa implica el uso intensivo de agua, lo que resulta en aguas residuales que contienen no solo pesticidas, sino también restos de materia orgánica desprendida de la fruta y

otros contaminantes sólidos. Posteriormente, el banano es clasificado según su tamaño y calidad antes de ser empacado en cajas para su distribución. Durante este proceso, el agua empleada también arrastra nutrientes en exceso, como nitratos y fosfatos, provenientes del riego y de las prácticas de fertilización. Sin un tratamiento adecuado, estas aguas residuales pueden afectar negativamente a los cuerpos de agua circundantes y al ecosistema local.

Relevancia del Tratamiento de Aguas Residuales en Contextos Agrícolas

En Ecuador, el tratamiento de aguas residuales en actividades agrícolas es fundamental para la sostenibilidad ambiental y la protección de la salud pública, especialmente en cultivos de alta demanda como el banano. Las plantaciones de banano, debido al uso intensivo de agua y productos químicos para su cultivo, generan grandes cantidades de aguas residuales que, si no se tratan adecuadamente, pueden contaminar cuerpos de agua cercanos. Los contaminantes más comunes incluyen pesticidas, nitratos, fosfatos y materia orgánica, los cuales afectan negativamente la biodiversidad acuática, disminuyen la calidad del agua potable y tienen repercusiones en la salud humana.

La contaminación de aguas residuales en plantaciones agrícolas puede provocar problemas como la eutrofización, que ocurre cuando el exceso de nutrientes, como nitratos y fosfatos, fomenta un crecimiento descontrolado de algas. Este fenómeno reduce los niveles de oxígeno en el agua, afectando la vida acuática y, en casos extremos, provocando la muerte de peces y otras especies. Además, la presencia de pesticidas y otros productos químicos persistentes en el agua puede generar toxicidad para la fauna y flora local, alterando los equilibrios ecológicos y afectando la biodiversidad.

La implementación de biofiltros que utilicen subproductos agrícolas, como la cáscara de cacao, se presenta como una alternativa sostenible y de bajo costo para tratar las aguas residuales en estos contextos. El uso de materiales orgánicos en biofiltros tiene múltiples ventajas, ya que no solo ayuda a reducir los contaminantes, sino que también promueve la economía circular al reutilizar residuos agrícolas que de otro modo serían desechados. En el caso del cacao, la cáscara, al ser un subproducto abundante en la región, puede aprovecharse para este fin, mejorando la eficiencia del sistema de tratamiento y reduciendo los costos operativos.

Estudios Clave en Ecuador sobre Biofiltros

En Ecuador, varios estudios han evaluado la eficacia de los biofiltros en contextos agrícolas y urbanos, proporcionando un marco sólido para la implementación de sistemas de tratamiento basados en subproductos locales. A continuación, se presentan algunos estudios relevantes:

- La cáscara de arroz tiene un alto potencial para la mejora de la calidad del agua en biofiltros, logrando eliminar contaminantes como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y nitratos en varios estudios. Un estudio sobre filtros cerámicos compuestos utilizando cáscara de arroz ha reportado buenos resultados en la remoción de contaminantes del agua (Susanto et al., 2023).
- En la comunidad de Ballagán, Ecuador, se diseñó un biofiltro para eliminar contaminantes de aguas residuales. Este estudio mostró que el uso de materiales como la zeolita y el carbón activado puede alcanzar eficiencias notables de purificación de hasta el 95.06% en la reducción de sólidos, DBO y coliformes totales, lo que demuestra el potencial de los biofiltros en entornos locales (Corozo & Vergara, 2023).

- Un estudio desarrollado en la Laguna de Estabilización Orquídeas, en Cerro Colorado, Guayaquil, utilizó zeolita y carbón activado como materiales de filtración para la purificación de aguas residuales. El biofiltro de zeolita resultó ser el más eficiente, logrando una reducción del 95% en parámetros como turbidez, sólidos totales, DBO5 y DQO (Cortez et al., 2020).

Estos estudios destacan el potencial de los biofiltros con materiales orgánicos en Ecuador y proporcionan un marco para la implementación de biofiltros utilizando cáscara de cacao en Milagro, como se propone en este estudio. Al basar la investigación en experiencias previas exitosas, se busca no solo tratar las aguas residuales de manera eficiente, sino también fomentar prácticas agrícolas sostenibles y contribuir a la reducción de residuos. La cáscara de cacao, como material disponible y sostenible, representa una opción viable para mejorar la calidad del agua y minimizar los impactos negativos de las aguas residuales en los ecosistemas locales y en la salud pública, cumpliendo así con las normativas ambientales ecuatorianas.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Tipos y Usos del Biofiltro

Los biofiltros son sistemas de tratamiento de aguas residuales que utilizan materiales orgánicos o inorgánicos como medio filtrante, proporcionando una superficie en la que se desarrollan microorganismos responsables de la degradación de contaminantes. Estos sistemas son particularmente eficientes para tratar aguas residuales en entornos agrícolas, industriales y urbanos. A continuación, se detallan los principales tipos y sus aplicaciones:

Tipos de Biofiltros

- Biofiltros de Lecho Fijo: Utilizan materiales como grava, arena, o subproductos agrícolas (p. ej., cáscara de café) como sustrato para la adhesión de biofilms. Estos biofilms son comunidades de microorganismos que descomponen contaminantes presentes en el agua. Son ideales para entornos agrícolas debido a su simplicidad y bajo costo.
- Biofiltros de Lecho Móvil (MBR): En estos sistemas, se utilizan biocarriers o materiales plásticos en movimiento continuo dentro de un reactor. El movimiento constante mejora el contacto entre los contaminantes y los microorganismos, aumentando la eficiencia del sistema. Son comúnmente empleados en entornos industriales donde se necesita tratar grandes volúmenes de agua con alta carga de contaminantes.
- Lombrifiltros: Combinan lombrices con microorganismos para descomponer materia orgánica en aguas residuales. Son especialmente útiles en el tratamiento de efluentes domésticos y agrícolas, ya que además de purificar el agua, generan humus como subproducto, lo que contribuye a la fertilización de suelos agrícolas.

Ejemplos Internacionales de Biofiltros Utilizando Materiales Similares

- La cáscara de café modificada con Fe_3O_4 ha demostrado una alta eficiencia en la remoción de glifosato. Según un estudio de Lita et al., (2023), el biofiltro basado en cáscara de café y Fe_3O_4 logró una adsorción de hasta 99.64% de glifosato bajo condiciones óptimas de pH 2, en un tiempo de contacto de 1440 minutos. La estructura porosa y la superficie específica del material mejoran significativamente su capacidad de adsorción, lo que lo convierte en un material viable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con

herbicidas. Además, la cáscara de café ha demostrado una alta capacidad de adsorción para contaminantes como nitratos y DQO.

- La cáscara de café ha emergido como un material altamente eficiente para el tratamiento de aguas residuales debido a su estructura fibrosa y su capacidad para adsorber contaminantes. Un estudio de Guevara-Bernal et al., (2022) investigó la modificación de cáscara de café con nanopartículas de plata y su efectividad en la remoción de metales pesados de soluciones acuosas. Los resultados mostraron que este material revalorizado puede adsorber hasta el 99% de plomo (Pb), el 95% de cromo (Cr), y el 83% de cadmio (Cd). Además, su capacidad antifúngica contra especies como *Candida* destaca su versatilidad tanto en la purificación de aguas como en la mitigación de riesgos sanitarios.

2.2.2. Comparación de la Eficiencia y Costos de los Biofiltros

- **Eficiencia en la Remoción de Contaminantes**
 - Los biofiltros que utilizan cáscaras (café, cacao) son altamente eficientes en la remoción de materia orgánica, nitratos y fosfatos. En comparación, los biofiltros de lecho móvil tienden a ser más efectivos para aguas con alta carga de contaminantes industriales debido a su mayor superficie de contacto y dinámica continua.
 - El uso de lombrifiltros es menos eficiente en la remoción de compuestos químicos complejos, pero son muy eficaces para la descomposición de materia orgánica y son ideales para tratar aguas residuales domésticas o agrícolas con un contenido moderado de nutrientes.
- **Comparación de Costos**

- Cáscara de Cacao vs. Cáscara de Coco: En términos de costos, la cáscara de cacao, como la utilizada en Ecuador, es más accesible en regiones cacaoteras y requiere menor procesamiento. Sin embargo, en regiones donde la cáscara de coco es más abundante, esta se convierte en la opción más económica y sostenible. La elección del material dependerá de la disponibilidad local y del tipo de contaminantes a tratar.
- Biofiltros de Lecho Fijo vs. Lecho Móvil: Los biofiltros de lecho fijo son significativamente más económicos, ya que no requieren equipos mecánicos ni energía para su operación. En cambio, los sistemas de lecho móvil, aunque más caros en términos de instalación y mantenimiento, son adecuados para industrias que manejan grandes volúmenes de agua y requieren una mayor eficiencia en el tratamiento.
- Lombrifiltros: Son una opción de bajo costo y fácil implementación, especialmente en entornos rurales donde se busca una solución accesible y que además aporte beneficios adicionales como la producción de fertilizantes.

2.2.3. Aguas Residuales de Piscinas de Banano

Las piscinas de lavado de banano son una fuente significativa de aguas residuales en las plantaciones agrícolas de Ecuador. Durante el proceso de lavado, los racimos de banano se sumergen en grandes volúmenes de agua para eliminar tierra, residuos de pesticidas, y otros contaminantes. Estas aguas, al no ser tratadas adecuadamente, se convierten en una fuente de contaminación para cuerpos de agua cercanos y para el suelo.

Varios estudios han identificado los contaminantes presentes en estas aguas residuales y cómo varían según las prácticas agrícolas y de manejo:

Un estudio reciente sobre la fertilización subóptima y el riego por goteo en plantaciones de banano en la India demostró cómo el uso inadecuado de fertilizantes afecta directamente la calidad de las aguas residuales y los niveles de nutrientes en el suelo (Pramanik et al., 2024). En esta investigación, se observó que el uso intensivo de fertilizantes incrementó significativamente los niveles de nitratos y fosfatos en el suelo, con valores que superaban los 30 mg/L para los nitratos en plantaciones sometidas a una alta dosis de fertilización.

Un estudio realizado en México encontró residuos de pesticidas como el clorpirifós en aguas y sedimentos de canales de drenaje agrícola, con concentraciones que oscilaban entre 0.01 y 0.02 mg/L, similares a las que mencionas para aguas de lavado de banano en otros contextos agrícolas. Estas concentraciones varían dependiendo de la frecuencia y la cantidad de pesticidas aplicados, y los estudios destacan que prácticas agrícolas intensivas aumentan la presencia de estos contaminantes en cuerpos de agua (John & Shaik, 2015; Mukherjee et al., 2024).

Además, investigaciones en otras regiones han demostrado que el uso frecuente de pesticidas sistémicos contribuye significativamente a la acumulación de residuos en aguas residuales, lo que subraya la necesidad de manejar adecuadamente las prácticas de fumigación para evitar la contaminación ambiental (Ruiz-Arias et al., 2023).

Para comprender mejor el impacto de las aguas residuales de banano, es útil compararlas con otras fuentes de aguas residuales en el sector agrícola ecuatoriano:

Para comparar las aguas residuales generadas en plantaciones de banano con otras fuentes de aguas residuales en el sector agrícola ecuatoriano, estudios recientes han evaluado diferentes cultivos y sus impactos. En el caso de la producción de banano en Ecuador, se ha observado que las prácticas agrícolas intensivas, incluyendo el uso de fertilizantes y pesticidas, incrementan la contaminación de las aguas con nutrientes como nitratos y fosfatos, afectando la calidad del agua en las zonas circundante (Roibás et al., 2015; Quiloango-Chimarro et al., 2024).

Además, investigaciones sobre la producción de banano también destacan la importancia de monitorear las emisiones de carbono y el uso del agua a lo largo de la cadena de suministro, ya que estos factores pueden influir significativamente en la huella hídrica y de carbono del cultivo, comparado con otros productos agrícolas como el cacao o la palma africana (Ortiz-Ulloa et al., 2021).

Estos estudios resaltan la necesidad de adoptar medidas de manejo sostenible y tecnologías de tratamiento como los biofiltros, para mitigar el impacto ambiental de las aguas residuales provenientes de plantaciones agrícolas en Ecuador (M.p.s & Tobes, 2023).

2.2.4. Impacto de las Prácticas Agrícolas en la Variación de Contaminantes

La variación en los niveles de contaminantes en las aguas residuales de banano depende de múltiples factores relacionados con las prácticas agrícolas:

- **Uso de Fertilizantes:** Plantaciones que emplean fertilización orgánica tienden a mostrar menores concentraciones de nitratos y fosfatos en las aguas residuales. Esto se debe a la liberación gradual de nutrientes que caracteriza a los fertilizantes orgánicos, en contraste con la fertilización química que libera rápidamente grandes cantidades de nutrientes.

- **Frecuencia y Tipo de Pesticidas:** La aplicación de pesticidas sistémicos y la frecuencia con que se realizan las fumigaciones influyen directamente en la carga contaminante. Plantaciones que optan por prácticas de manejo integrado de plagas han mostrado menores residuos de pesticidas en las aguas residuales, favoreciendo así la calidad del agua y reduciendo la toxicidad.
- **Manejo del Agua de Lavado:** El manejo adecuado del agua en las piscinas de banano, incluyendo la implementación de sistemas de recirculación y filtración primaria, puede reducir significativamente la carga de contaminantes. Un estudio en la región de El Oro (2021) demostró que las plantaciones que implementaron sistemas de filtración de arena antes de la descarga lograron una reducción del 40% en sólidos suspendidos.

2.2.5. Contaminantes Presentes en el Agua Residual Producto del Embalaje de Banano

Los principales contaminantes presentes en el agua residual generada durante el proceso de embalaje de banano son diversos y afectan la calidad del agua de manera significativa:

- **Látex de banano:** Durante el lavado y manipulación de los racimos de banano, se libera látex natural de la fruta. Este compuesto, si bien es orgánico, puede aumentar la demanda biológica de oxígeno (DBO) en el agua, favoreciendo el crecimiento de bacterias que consumen oxígeno, lo que a su vez afecta la vida acuática en cuerpos de agua cercanos.
- **Tensioactivos:** Los detergentes y productos de limpieza utilizados en el proceso de lavado de banano contienen tensioactivos, sustancias químicas que ayudan a eliminar residuos y suciedad adherida a la fruta. Estos compuestos pueden

ser tóxicos para la fauna acuática, alterar la tensión superficial del agua y dificultar la biodegradación natural de otros contaminantes.

- Cloro residual: En algunos casos, se utiliza cloro como agente desinfectante en las piscinas de lavado para prevenir la proliferación de microorganismos patógenos. Sin embargo, si no se controla adecuadamente, el cloro residual puede causar daños a los ecosistemas acuáticos al generar compuestos tóxicos que afectan la salud de la flora y fauna, además de alterar el equilibrio químico del agua.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Muestreo de Agua

El muestreo de aguas residuales es un paso fundamental para evaluar la calidad del agua y la eficiencia de sistemas de tratamiento como los biofiltros. En la región de Milagro, Ecuador, se siguen protocolos específicos que cumplen con las normativas locales para garantizar que las muestras obtenidas sean representativas y fiables.

En Milagro, el protocolo de muestreo de aguas residuales en plantaciones de banano se realiza siguiendo las directrices del Ministerio del Ambiente y Agua (MAE) de Ecuador, las cuales están alineadas con la Norma Técnica de Calidad de Agua y Control de Vertidos (2015). Este protocolo incluye:

Los puntos de muestreo se seleccionan estratégicamente en las piscinas de lavado y en los puntos de descarga para garantizar que las muestras capturen tanto el estado del agua antes como después del tratamiento. Estos puntos se establecen en zonas de alta turbulencia para asegurar que las muestras representen adecuadamente la mezcla de contaminantes.

Según las normativas, se debe realizar un muestreo semanal en cada punto crítico durante las horas de mayor actividad en la plantación para capturar la carga máxima de contaminantes. En situaciones de emergencia o derrames, se recomienda un muestreo inmediato adicional.

Dentro de las técnicas de muestreo, se emplean recipientes de polietileno de alta densidad de 1 litro, previamente esterilizados, para recoger el agua. El muestreo se realiza utilizando un muestreador tipo botella que se sumerge en el punto seleccionado, asegurándose de no tocar el fondo para evitar la recolección de sedimentos que podrían alterar los resultados.

Las muestras se almacenan en recipientes cerrados y se transportan en contenedores refrigerados a 4°C para preservar su integridad. El tiempo máximo entre la recolección y el análisis en laboratorio no debe superar las 24 horas para evitar la degradación de los parámetros químicos y biológicos.

2.3.2. Equipos Utilizados en el Muestreo

En la región de Milagro, se utilizan los siguientes equipos para asegurar la calidad y precisión del muestreo:

- **Multiparámetros Portátiles:** Estos dispositivos miden simultáneamente parámetros como pH, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad eléctrica en el campo. Esto permite una evaluación inicial inmediata y ayuda a determinar si se requieren ajustes en el proceso de tratamiento.
- **Medidores de Oxígeno Disuelto (OD):** Estos se utilizan específicamente en las piscinas para monitorear los niveles de oxígeno, un indicador crucial en la evaluación de la carga orgánica del agua y la eficiencia del tratamiento con biofiltros.

- **Muestreadores Automáticos:** En algunas plantaciones que implementan un monitoreo continuo, se utilizan muestreadores automáticos programados para recolectar muestras en intervalos regulares. Estos equipos permiten obtener datos más precisos y consistentes, especialmente durante periodos de actividad intensiva.

Varios estudios han mostrado que el muestreo automático ofrece una mayor precisión en la recolección de datos en intervalos de tiempo consistentes, particularmente útil durante horas pico de actividad, como el lavado de frutos. Este método tiende a ser más confiable cuando se requiere un monitoreo continuo de contaminantes en cuerpos de agua (Erickson et al., 2013; Pramanik et al., 2024).

El muestreo manual, por otro lado, es valorado por su flexibilidad y costo más bajo, haciéndolo accesible para pequeños agricultores o instalaciones con recursos limitados. Aunque es menos consistente que el muestreo automático, sigue siendo una opción viable en situaciones donde se requiere adaptabilidad en el campo y los recursos son limitado (Baglat et al., 2023).

2.3.3. Multiparamétrico

Los equipos multiparamétricos son herramientas avanzadas utilizadas para medir simultáneamente diversos parámetros de calidad del agua, lo que resulta fundamental en la evaluación y monitoreo continuo de sistemas de tratamiento como los biofiltros. Estos dispositivos permiten un análisis integral y en tiempo real de las condiciones del agua, facilitando una respuesta rápida y ajustes en los sistemas de tratamiento si es necesario.

En Ecuador, se utilizan varios tipos de equipos multiparamétricos en contextos agrícolas y urbanos. A continuación, se describen los más comunes y sus especificaciones técnicas:

- **Sondas Multiparamétricas Portátiles:** Estos dispositivos son compactos y están diseñados para el monitoreo en campo. Permiten medir parámetros clave como pH, temperatura, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica, turbidez y potencial redox (ORP).
 - **Especificaciones Técnicas:**
 - Rango de medición de pH: 0 a 14, con precisión de ± 0.01 .
 - Rango de oxígeno disuelto: 0 a 20 mg/L, con precisión de ± 0.1 mg/L.
 - Conductividad eléctrica: 0 a 200 mS/cm, con una precisión de $\pm 1\%$.
 - **Aplicaciones:** En plantaciones de banano de Milagro, estas sondas se utilizan para monitorear la calidad del agua en las piscinas de lavado, permitiendo evaluar en tiempo real los niveles de oxígeno y pH para asegurar que los parámetros se mantienen dentro de los límites establecidos por las normativas locales.
- **Sistemas de Monitoreo Continuo (Sondas Fijas):** Estos equipos se instalan de manera fija en puntos críticos, como piscinas de lavado o efluentes de tratamiento, y recopilan datos de manera continua. Los datos son transmitidos en tiempo real a una estación de control, lo que permite una supervisión constante y la detección temprana de cualquier anomalía.

- **Especificaciones Técnicas:**
 - Capacidad de transmisión de datos vía GSM/GPRS.
 - Monitoreo continuo de parámetros como amonio, nitratos y fosfatos con un rango de medición de 0 a 50 mg/L y precisión de ± 0.5 mg/L.
 - Resistencia a condiciones climáticas adversas, lo que permite su uso prolongado en exteriores.
- **Aplicaciones:** En la ciudad de Guayaquil, estos sistemas se utilizan en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas para monitorear la calidad del agua tratada antes de su descarga en ríos y estuarios.
- **Multiparámetros de Laboratorio:** Utilizados para análisis detallados en laboratorios ambientales, estos equipos ofrecen mediciones de alta precisión y permiten el análisis de parámetros adicionales como cloro residual. Son fundamentales para estudios más complejos que requieren una precisión mayor que la ofrecida por equipos portátiles o fijos en campo.
 - **Especificaciones Técnicas:**
 - Rango de cloro residual: 0 a 10 mg/L, con precisión de ± 0.02 mg/L.
 - Capacidad de análisis de TOC en un rango de 0 a 100 mg/L, con una precisión de ± 0.5 mg/L.

- **Aplicaciones:** En las plantaciones de arroz en Los Ríos, estos equipos se emplean para analizar la calidad del agua en muestras tomadas de canales de riego y drenaje, proporcionando información detallada sobre el impacto de los fertilizantes en la calidad del agua.

Los equipos multiparamétricos permiten obtener datos en tiempo real, lo que representa una ventaja significativa sobre los métodos tradicionales, que implican la recolección manual de muestras y su análisis posterior en laboratorio. Este acceso inmediato a la información facilita la toma de decisiones y permite realizar ajustes en el tratamiento de aguas residuales de manera oportuna.

A diferencia de los métodos manuales que pueden verse afectados por errores humanos o contaminación cruzada durante la recolección y transporte de muestras, los equipos multiparamétricos, especialmente los de laboratorio y los sistemas de monitoreo continuo, proporcionan mediciones precisas y automatizadas, reduciendo la posibilidad de errores y aumentando la confiabilidad de los datos.

Los sistemas multiparamétricos fijos son ideales para contextos urbanos e industriales, como las plantas de tratamiento en Guayaquil, donde es esencial monitorear continuamente parámetros críticos para cumplir con normativas estrictas. Los métodos tradicionales, que solo permiten mediciones puntuales, no son adecuados para detectar variaciones en tiempo real y pueden fallar en identificar problemas potenciales de manera oportuna.

Las sondas multiparamétricas portátiles ofrecen una gran flexibilidad, ya que se pueden utilizar en múltiples ubicaciones y en diferentes cuerpos de agua, adaptándose a diversas necesidades de monitoreo en campo. En contraste, los

métodos tradicionales son más rígidos y requieren tiempo y recursos adicionales para recolectar muestras en diferentes puntos.

2.3.4. Aplicaciones en Otros Contextos Agrícolas y Urbanos en Ecuador

En las plantaciones de palma africana, se utilizan sistemas multiparamétricos para monitorear la calidad del agua de los efluentes generados en las plantas de procesamiento. Estos equipos ayudan a cumplir con las normativas locales sobre calidad del agua antes de su vertido, proporcionando alertas en tiempo real en caso de que los niveles de contaminantes superen los límites establecidos.

En los arrozales, se implementan sondas portátiles para evaluar el pH, la conductividad y los niveles de nutrientes en los canales de irrigación, lo que permite ajustar la aplicación de fertilizantes y optimizar el uso del agua en el sistema de riego.

En las áreas urbanas, como en Guayaquil, las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan sistemas multiparamétricos automatizados para garantizar que el agua tratada cumpla con las normativas ambientales antes de ser descargada. Estos sistemas, al estar conectados a una red central de monitoreo, aseguran un control constante y preciso.

2.3.5. Importancia de Tratar Ese Tipo de Aguas

El tratamiento adecuado de las aguas residuales generadas en plantaciones agrícolas, como las de banano, es crucial para proteger tanto el medio ambiente como la salud pública. La falta de tratamiento puede tener consecuencias graves, que incluyen la contaminación de cuerpos de agua, la pérdida de biodiversidad y efectos adversos en la salud humana.

En la provincia de Los Ríos, Ecuador, donde se concentran importantes plantaciones de banano, se ha observado un impacto considerable en los ecosistemas acuáticos

debido a la eutrofización de ríos y esteros. Esta situación se debe principalmente al vertido de aguas residuales cargadas de nutrientes, como nitratos y fosfatos, provenientes de las actividades agrícolas sin tratamiento adecuado. Estudios en regiones agrícolas han documentado la relación entre el uso intensivo de fertilizantes y el aumento en la concentración de estos nutrientes en el agua, lo que a su vez provoca la proliferación de algas y la disminución de los niveles de oxígeno disuelto, afectando a las especies acuáticas y la biodiversidad en general (Preisner et al., 2021; Ansari et al., 2011).

En Milagro, se ha observado un aumento en enfermedades gastrointestinales y dermatológicas entre las comunidades que viven cerca de las plantaciones de banano, debido al contacto con aguas contaminadas. Investigaciones recientes han mostrado que la exposición a pesticidas como el clorpirifós, que se encuentran presentes en aguas residuales no tratadas, incrementa el riesgo de desarrollar problemas neurológicos y cáncer, especialmente en áreas donde se utiliza agua de pozos cercanos. Estudios en Costa Rica y otras regiones han relacionado el uso intensivo de pesticidas en plantaciones de banano con un aumento de cáncer y otros trastornos de salud graves en comunidades agrícolas expuestas a estos químicos (Polidoro & Morra, 2016).

Estudios sobre el impacto de la contaminación de aguas residuales agrícolas, como las provenientes de plantaciones de banano en Ecuador, han demostrado que esta contaminación afecta gravemente a la fauna acuática y a las especies que dependen de estos cuerpos de agua. Los pesticidas y otros contaminantes orgánicos persistentes, como los organoclorados, tienden a acumularse en los tejidos de los animales, afectando negativamente su capacidad reproductiva y su desarrollo. En

particular, se ha observado una disminución significativa en la población de peces nativos y anfibios en zonas afectada (Pawan Kumar et al., 2023).

La toxicidad acumulada en los hábitats acuáticos provoca daños en las funciones biológicas de las especies expuestas, y estos efectos pueden extenderse a lo largo de la cadena alimentaria, afectando tanto a los depredadores como a las especies que se alimentan de estos organismos contaminados. Este fenómeno subraya la importancia de mitigar la contaminación agrícola mediante prácticas sostenibles que reduzcan la carga de contaminantes en los ecosistemas acuáticos.

Además, las aguas residuales que no son tratadas y se filtran al suelo pueden provocar contaminación de napas freáticas y afectar la calidad de agua potable. Esto no solo representa un riesgo para la biodiversidad, sino que también impacta directamente la agricultura local y la salud de las comunidades que dependen de estos recursos.

2.4. Marco Legal (Legislación Ambiental)

El marco legal en Ecuador establece regulaciones específicas para la gestión y tratamiento de aguas residuales agrícolas. Estas regulaciones están diseñadas para proteger la calidad del agua y minimizar el impacto ambiental de las actividades agrícolas intensivas, como las plantaciones de banano.

Legislación Específica en Ecuador

- **Norma Técnica de Calidad de Agua y Control de Vertidos (MAE, 2015):**
Esta normativa establece los límites permisibles para varios parámetros de calidad del agua, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), nitratos, fosfatos y coliformes fecales. Las empresas agrícolas deben monitorear y tratar

las aguas residuales antes de su vertido en cuerpos de agua naturales o su reutilización en riego.

- **Ley Orgánica del Ambiente (2017):** Esta ley exige que las actividades agrícolas cuenten con permisos de manejo de aguas residuales y planes de mitigación ambiental para garantizar que las descargas no excedan los límites establecidos. El incumplimiento de estas regulaciones puede resultar en sanciones que incluyen multas y la suspensión temporal de actividades agrícolas.
- **Programas de Incentivos Ambientales:** Ecuador ha implementado incentivos para las plantaciones que adopten tecnologías de tratamiento sostenibles, como biofiltros. Por ejemplo, las empresas que implementan sistemas de tratamiento eficientes pueden beneficiarse de reducciones en sus tasas tributarias y de programas de certificación ecológica que mejoran su competitividad en mercados internacionales.

Comparación con Normativas Internacionales

- **Comparación con la Legislación de Costa Rica:** Costa Rica, otro país con producción bananera significativa, cuenta con la **Ley de Vertidos de Aguas Residuales (2013)**, que exige el tratamiento obligatorio de aguas residuales agrícolas y fija estándares similares a los de Ecuador para parámetros como DBO y coliformes fecales. Sin embargo, a diferencia de Ecuador, Costa Rica impone límites más estrictos para la concentración de pesticidas en aguas residuales, lo que refleja un enfoque más riguroso en la reducción de químicos tóxicos en el medio ambiente.

- **Normativas de la Unión Europea (Directiva Marco del Agua):** La legislación europea establece estándares de calidad para todas las aguas superficiales y subterráneas, incluyendo la agricultura. Comparado con Ecuador, los límites de la UE para nutrientes como nitratos y fosfatos son más bajos, lo que busca evitar la eutrofización de cuerpos de agua desde un enfoque preventivo. En Ecuador, aunque existen regulaciones, la aplicación y control de estas normativas aún presenta desafíos, especialmente en áreas rurales donde la infraestructura de tratamiento es limitada.

Efectividad de las Normativas en Ecuador

- **Estudios de Evaluación de Normativas:** Un estudio de Wingfield et al. (2021) analizó la efectividad de las normativas de gestión del agua en Ecuador, específicamente en sectores clave como la agricultura, incluyendo las plantaciones bananeras. Los resultados mostraron que las plantaciones que implementaron sistemas de tratamiento, como biofiltros y otras tecnologías, lograron cumplir con las normativas de calidad del agua en un alto porcentaje de los casos, mejorando significativamente la calidad de los cuerpos de agua cercanos. Sin embargo, también se identificaron deficiencias en la supervisión y la aplicación de estas normativas, lo que permitió que algunas prácticas no sostenibles persistieran (Wingfield et al., 2021).

CAPÍTULO III: Diseño Metodológico

3.1. Tipo y diseño de investigación.

3.1.1. Tipo

La investigación propuesta es de carácter experimental, en este caso, se planteó la implementación de un protocolo integral, se busca describir los fenómenos que ocurren con el agua residual, probar hipótesis y obtener conclusiones sobre la eficacia de la solución biotecnológica propuesta. En el desarrollo del presente proyecto experimental establece dos tipos de investigación: Experimental y de Laboratorio.

3.1.2. Investigación de experimental.

La cáscara de cacao CCN 51 empleada para la elaboración del biofiltro, este proyecto pretende evaluar su eficiencia utilizándolo en el tratamiento de aguas residuales en la industria agrícola bananera, los resultados obtenidos son información que ayudara para posteriores investigaciones.

3.1.3. Investigación de laboratorio.

Con el propósito de validar nuestro experimento, se tienen resultados iniciales de los parámetros a investigar en el agua residual de la industria agrícola bananera, para esto, se desarrollará un análisis fisicoquímico, procesando muestras de agua residual tomadas de la bananera “La joya”, los análisis en mención se lo realizarán en un laboratorio certificado y en los laboratorios de la Universidad Estatal de Milagro.

3.1.4. Diseño de Investigación.

Para desarrollar la investigación, se aplicó un diseño experimental de grupos pretest - postest con grupo de control, bajo el siguiente esquema T1 (Testigo);

T2 (20% cascara de cacao CCN 51), Este diseño permitió evaluar el efecto de una intervención al comparar dos grupos: uno que recibe la intervención, grupo experimental y otro que no la recibe, grupo de control.

3.1.5. Grupo Experimental.

Este grupo estaría compuesto por los componentes propios de un biofiltro, adicionalmente cascajo de cacao CCN 51, y el agua residual proveniente del proceso de embalaje de la bananera la joya. Se realizaron mediciones (pre test) antes de la aplicación de la intervención y mediciones adicionales (pos test) después de la implementación del protocolo.

3.1.6. Grupo de Control.

El grupo de control formado por los componentes propios de un biofiltro sin el cascajo de cacao CCN 51, y el agua residual proveniente del proceso de embalaje de la bananera la joya. No recibe intervención. Al igual que en el grupo experimental, se realizaron mediciones iniciales (pre test) y mediciones posteriores (pos test).

3.1.7. Implementación del Protocolo Integral:

Se aplicó el protocolo integral, que incluyó la toma de muestra de agua residual del proceso de embalaje de la bananera la joya, la preparación del cascajo de cacao CNN 51 (proveniente de la finca Valle Verde del Cantón La Troncal), y el control en el grupo experimental para el agua residual.

3.1.8. Mediciones y Evaluaciones:

Se llevaron a cabo mediciones sistemáticas y evaluaciones en ambas etapas (pre test y pos test), para cuantificar el diámetro del cascajo de cacao CCN 51, la eficacia del tratamiento al momento de tener contacto con el agua residual.

3.1.9. Análisis Comparativo.

Se llevó a cabo un análisis comparativo entre el grupo experimental y el grupo de control con el fin de evaluar el impacto de la intervención. Este diseño permitió una evaluación sólida de la implementación del protocolo integral para determinar si tiene un efecto significativo en comparación con un grupo de control sin tratamiento, lo que contribuyó a establecer conclusiones causales sobre la efectividad de la solución propuesta.

3.1.10. Tratamiento del Cascajo de cacao CCN 51.

Sabiendo bibliográficamente las propiedades que tiene el cascajo de cacao, para aprovechar este residuo se aplicó el pretratamiento realizado por Maldonado et al. (2010).

3.2.11. Evaluación del Cascajo de cacao CCN 51.

Para la evaluación del cascajo de cacao CCN 51 se realizó tanto en campo como en laboratorio, se utilizó la metodología Cedeño – Vásquez (2024), que proporciona un enfoque sistemático para evaluar el diámetro de las partículas, lo que permite como investigadores tomar decisiones informadas sobre el tamaño adecuado para una mejor eficiencia.

Figura 1. Tamiz usado



FUENTE: Elaboración propia

3.2. La población y la muestra.

3.2.1. Características de la población.

La población objeto de este estudio está constituida por las plantaciones de cacao CCN 51 provenientes de la finca Valle Verde del Cantón La Troncal, está finca ubicada en la provincia del Guayas, Ecuador, teniendo presente que las condiciones climáticas de la provincia son similares, y con un enfoque específico en una finca ubicada en el cantón Milagro, los resultados hallados pueden ser replicados.

3.2.2. Delimitación de la población.

La población se delimita a los residuos orgánicos, específicamente el cascajo de CCN 51, esta delimitación se selecciona para concentrar los esfuerzos de investigación en un campo específico, permitiendo una mayor precisión en la recolección de datos y una representación más detallada de las condiciones de cultivo en esa localidad.

3.2.3. Tipo de muestra.

Se empleó un muestreo por conveniencia, en la finca Valle Verde del Cantón, La Troncal, debido a su accesibilidad y disponibilidad. También se tomó una muestra de agua residual del proceso de embalaje de la bananera la joya. Posteriormente el material se trasladó al laboratorio.

3.2.4. Tamaño de la muestra.

El tamaño de la muestra se determinó considerando la viabilidad de llevar a cabo las mediciones y evaluaciones propuestas en el protocolo integral. Se seleccionaron 50 kilogramos de cascajo de cacao CCN 51, además también se tomó 5 galones de agua residual proveniente del proceso de embalaje de la

bananera. El tamaño de la muestra se selecciona para equilibrar la representatividad de los datos con la factibilidad logística y los recursos disponibles, garantizando la obtención de resultados significativos y aplicables a la población objetivo. Se considera que la muestra es adecuada para cumplir con los objetivos del estudio y generar conclusiones válidas sobre la eficacia de las soluciones.

3.2.5. Proceso de selección de la muestra

Para la selección de los residuos de cacao se escogió individualmente el cascajo, estos no deben tener presencia de algún patógeno (hongo), baba, semilla, tierra, y de preferencia sin hojas y tallo. Por otro lado, el agua residual se tomó teniendo en cuenta que no tenga sólidos de banano flotantes.

3.3. Los métodos y las técnicas

3.3.1. Fase de campo

El procedimiento de muestreo para la recolección de cascajo en campo incluyó los siguientes pasos:

1. Selección de muestras de cascajo: Se identificó y selecciono sitios representativos en la plantación de cacao donde se tomó el cascajo.

Para la selección se tuvo en cuenta la variabilidad espacial y las condiciones ambientales pertinentes.

2. Técnica de Recolección: Se empleó técnicas de muestreo no destructivas para recolectar el cascajo. Esto incluyo cascaras de diferentes tamaños para obtener una muestra representativa.

3. Registro de Datos: Se documentó información detallada sobre la localización geoespacial de cada muestra, el estado de la cáscara, y otros datos considerados pertinentes para los objetivos del estudio.

4. Análisis de Muestras: Una vez las muestras fueron trasladadas al laboratorio a UNEMI al laboratorio de biología, se procedió a realizar un análisis exhaustivo a mayor profundidad.

El procedimiento de muestreo para la recolección de muestra de agua residual en campo incluyó los siguientes pasos:

1. Selección de muestras de agua residual: Se identificó y selecciono e l sitio de descarga de agua residual de embalaje.
2. Técnica de Recolección: Se empleó técnicas de muestreo convencionales, se debe separar los residuos grandes del banano, hasta obtener una muestra representativa.
3. Registro de Datos: Se documentó información detallada sobre la localización geoespacial de cada muestra, color del agua y otros datos pertinentes para los objetivos del estudio.
4. Análisis de Muestras: Las muestras fueron trasladadas a UNEMI al laboratorio de química, otra muestra se envió a los Laboratorios OSP.

Estas se trasladaron dentro de un cooler y siguiendo los protocolos necesarios.

3.3.2. Fase de laboratorio.

Pretratamiento cascajo de cacao CCN 51.

1. Selección y clasificación de la materia prima, efectuar una inspección visual (color, textura, etc.).
2. Lavado de la materia prima.
3. Pesado: Cortar la cáscara de cacao lo más fino posible en trozos pequeños (cuadrados), para luego proceder a pesarlos. Se Pesó 4 porciones de 2000g de cáscara.

4. Secado por mufla. Se agregó directamente las 4 porciones de 2000g de cáscara de cacao a la mufla a una temperatura de 70 °C por 43 horas.
5. Se repitió el paso 3 y 4 por 6 ocasiones. En la última repetición se agregó 500g a 2 bandejas.
6. Trituración. Se colocan los trozos de cáscara en una trituradora y trituramos de forma continua durante 10 minutos o hasta que se vea aparentemente homogéneo.
7. Tamizaje a un diámetro de 850um.

Análisis muestras de agua

➤ Laboratorio de química UNEMI

Los análisis fisicoquímicos se efectuaron en un Multiparamétrico HACH HQ Field Case, Modelo: HQ40D53000000, Marca: HACH, Instrumento: Portable, Exactitud de la conductividad: $\pm 0,5 \%$ a partir de 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 200 mS/cm , Exactitud de pH: $\pm 0,002$ pH, Resolución OD: 0,01 mg/l, Medición de la conductividad: De 0,01 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 200,0 mS/cm , Rango de medición de TDS: 0.00 mg/L - 50.0 g/L NaCl, Rango medición de pH: pH 0 – 14, Rango medición OD: 0,01 - 20 mg/L.

En cuanto a la turbidez se utilizó el turbidímetro (HI 98703), importante para medir partículas suspendidas en el líquido. Estos análisis se realizaron pretest y postest.

➤ Laboratorio externo

Se realizó un análisis químico de la muestra de agua residual en un laboratorio externo para conocer si existía la presencia de cloro residual.

3.3.3. Elaboración del biofiltro a base de cáscara de cacao CCN 51.

Se diseñaron dos biofiltros siguiendo la metodología del mejor tratamiento (T2)

aplicado por Loor – Macias (2023), a la misma se adaptó por los autores. Al cascajo de cacao se le aplicó un tratamiento, el cual pasó por un proceso de limpieza, deshidratación en una estufa de secado a una temperatura de 80°C por un periodo de 24h, posteriormente, se realizó la molienda en un molino tradicional, y finalmente se tamizó, para ello se utilizó un tamiz redondo de acero inoxidable ISO, tamaño de apertura de 850 μm , el tamaño de la partícula se eligió del mejor tratamiento según Cedeño Vargas (2024).

Para dimensionar los biofiltros, se utilizaron las medidas establecidos por Zambrano (2018) como referencia. El proceso comenzó con la adquisición de un tubo transparente de 3.75 pulgadas de diámetro y una altura de 70 cm, acompañado por una base y un recipiente, que sirvió como estructura principal para la conformación del biofiltro.

El material filtrante estándar fue dispuesto en capas sucesivas, comenzando con una base de algodón de 5cm. Posteriormente, se añadieron 5 cm de carbón activado, seguidos de 5 cm de arena fina, una capa de piedras gruesas con un diámetro de entre 1,5 y 3 cm, y finalmente una capa de grava con granulometría de 0,5 cm. El 20% restante del volumen fue ocupado por cascajo de cacao variedad CCN 51, previamente tratado. En el biofiltro de control, se replicó la misma estructura, pero sin la incorporación del cascajo. La disposición se ajustó de acuerdo con el diseño específico de cada biofiltro, obteniendo dos sistemas de filtración en total.

En la tabla a continuación, se presenta la estructura de los biofiltros:

Tabla 2. Estructura del biofiltro

T1	TESTIGO
Cascajo al 20%	Sin cascajo
Piedra gruesa - 5cm	Piedra gruesa - 5cm
Grava - 5cm	Grava - 5cm
Arena - 5cm	Arena - 5cm
Carbón activado - 5cm	Carbón activado - 5cm
Algodón - 5cm	Algodón - 5cm

Fuente: Elaboración propia de los autores.

3.4. Evaluación de eficiencia de remoción de contaminantes

Se aplicó la metodología de Fernández et al. (2020) para calcular el porcentaje de remoción de contaminantes de acuerdo a la fórmula:

$$\%remoción = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Dónde:

VPi = Valor del Parámetro inicial

VPf = Valor del Parámetro final

3.5. Valoración comparativa de resultados

Una vez obtenidos los resultados de los análisis del agua, se procedió a compararlos con las tablas de referencia correspondientes al recurso hídrico, establecidas en el Acuerdo Ministerial 097-A. Este acuerdo es un instrumento normativo fundamental que define los parámetros de calidad del agua y los límites máximos permisibles para diversas sustancias y características, como metales pesados, nutrientes, compuestos orgánicos, y propiedades fisicoquímicas como el pH, la conductividad y la salinidad.

La comparación de los resultados analíticos con las tablas 3, 4 y 10 del anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua dentro del AM 097-A, esto permitirá determinar si la calidad del agua a través del tratamiento brindado en qué grado cumple con los estándares establecidos para el posible uso en el riego agrícola. Este proceso es esencial para garantizar que el agua tratada no represente un riesgo para la salud pública ni para el ambiente, y que se mantenga dentro de los niveles aceptables de contaminación.

3.6. Procesamiento estadístico de la información.

Se empleó el software IBM SPSS Statistics (versión 2021) para realizar diversos análisis estadísticos. En primer lugar, se llevó a cabo un análisis descriptivo, lo que permitió obtener una visión preliminar de la distribución de los datos y las tendencias observadas. Posteriormente, se aplicaron pruebas de significancia estadística mediante la prueba t de Student, con el objetivo de comparar las medias entre pares de grupos y determinar la existencia de diferencias significativas (ver anexo 19). Finalmente, se utilizó la prueba estadística no paramétrica de chi cuadrado para el análisis de datos categóricos, proporcionando una evaluación robusta de las asociaciones entre variables cualitativas (ver anexo 20).

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1. Análisis de los resultados

4.1.1. Recolección muestra de agua y de cacao CCN51

Agua residual

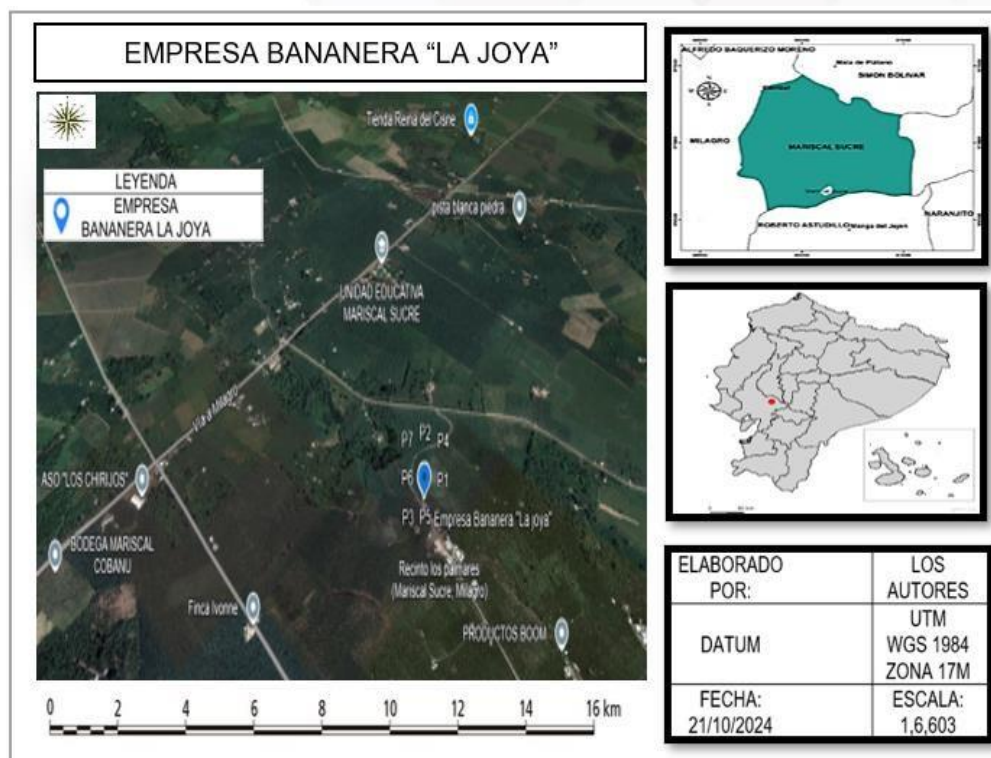
El agua residual utilizada en la presente investigación fue recolectada en la empresa bananera "La Joya", ubicada en la parroquia Mariscal Sucre, específicamente en el recinto la maravilla. El sitio de muestreo seleccionado corresponde al proceso de embalaje de la fruta, donde se establecieron siete puntos estratégicos para la recolección. Cabe destacar que en esta empresa no existe un sistema de recirculación del agua utilizada durante dicho proceso, lo que podría representar una oportunidad para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos y reducir el impacto ambiental. La ausencia de un sistema de recirculación es un aspecto relevante que podría influir en la calidad del agua residual y en su potencial reutilización o tratamiento.

Tabla 3. Puntos, coordenadas del muestreo de agua residual y volumen

Coordenada - 2°05'45"S	Coordenada - 79°29'42"W
Puntos	Volumen
1	1 litro
2	1 litro
3	1 litro
4	1 galón
5	1 galón
6	1 galón

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 2. Cartografía de referencia de la bananera la joya.



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Recolección del cascajo de cacao CCN51

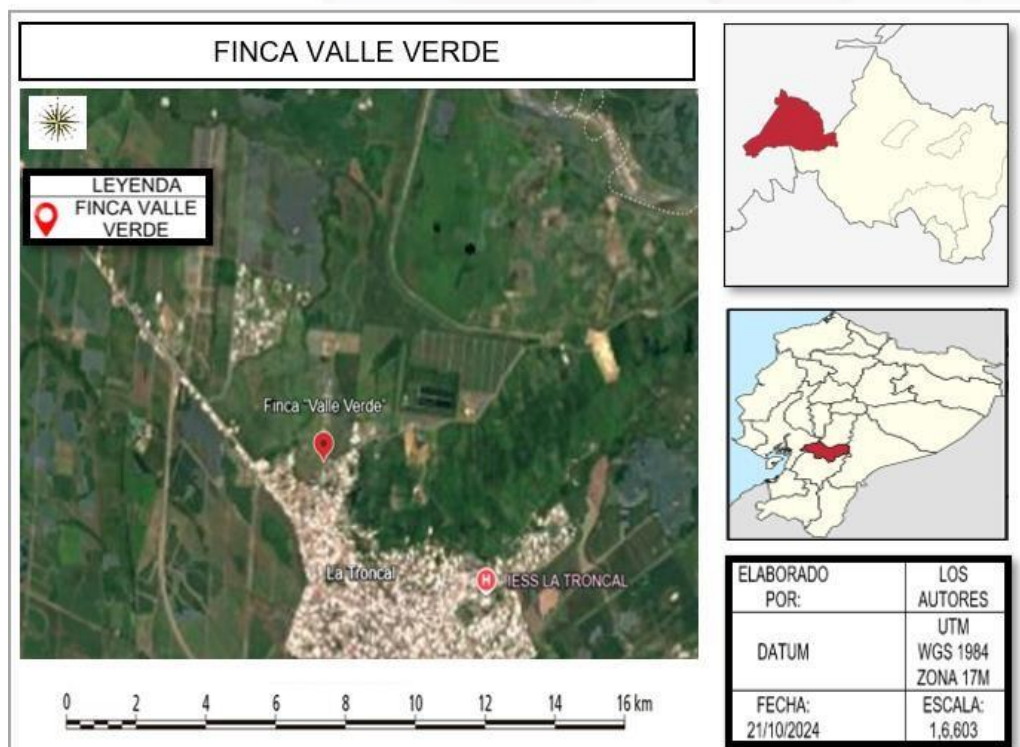
El cascajo de cacao fue recolectado en la finca “Valle Verde” del Cantón la Troncal, esta finca se dedica a la producción y procesamiento de productos derivados del cacao, el cacao fue recolectado del área de residuos orgánicos.

Tabla 4. Punto y coordenadas de recolección de cacao CCN 51

Punto	Coordenada S	Coordenada W
1	2°24'45"S	79°20'48"W

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 3. Cartografía de referencia de la finca valle verde.



Fuente: Elaboración propia de los autores.

4.1.2. Tamizaje del cascajo de cacao

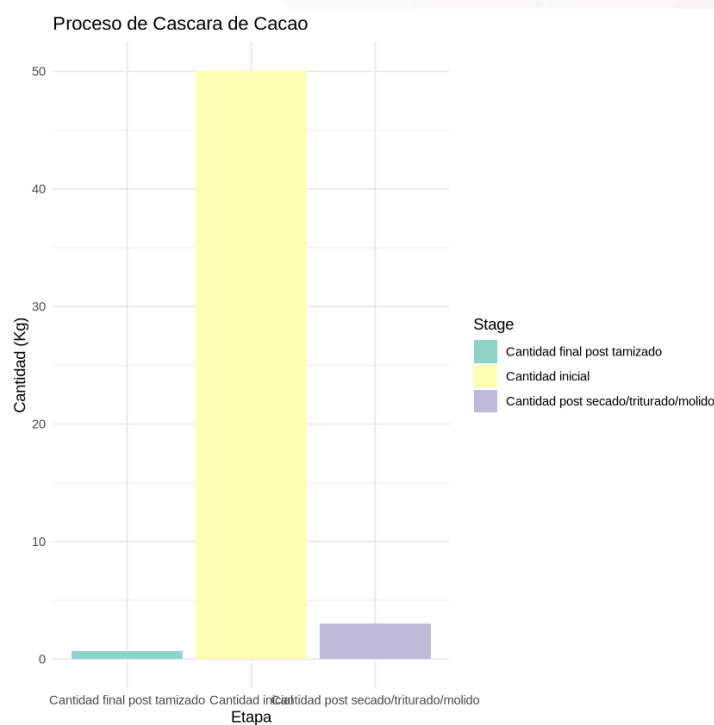
Posteriormente al pretratamiento de cascajo de cacao, se obtuvo finalmente una cantidad de 500g.

Tabla 5. Cantidad de producción de cacao CCN 51

Cascara de cacao	Cantidad (Kg)
Cantidad inicial	50
Cantidad post secado/triturado/molido	3
Cantidad final post tamizado	0.65

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 4. Relación cantidad total de producto recolectado y producto obtenido



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Dentro del proceso, se observó que la cáscara del cacao se reduce considerablemente una vez que pasa por el primer proceso de secado, esto debido a la pérdida de líquido y húmeda. De este resultante se toma una parte para continuar con el proceso, posteriormente se tritura y tamiza dichas cáscaras con la finalidad de obtener únicamente la parte aprovechable de la cáscara, resultando únicamente 650g de producto final, después de varios procesos.

Rendimiento:

$$Rendimiento = \left(\frac{\text{peso final obtenido}}{\text{peso inicial cascarade cacao}} \right) \times 100$$

$$Rendimiento = \left(\frac{0.650 \text{ Kg}}{50 \text{ Kg}} \right) \times 100$$

Rendimiento = 1.3%

4.1.3. Resultado del diseño de biofiltro

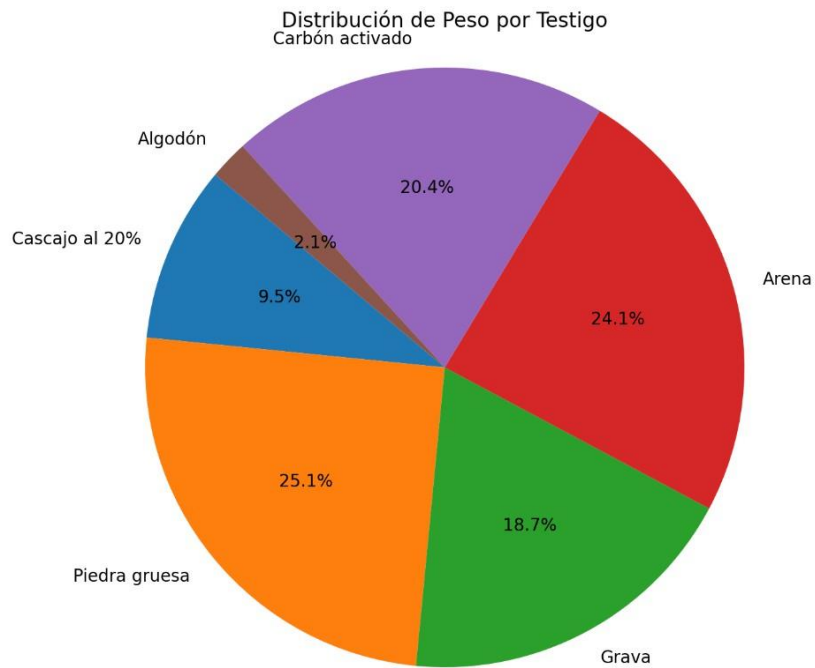
Nuestros biofiltros fueron diseñados y fabricados siguiendo estrictos estándares de calidad, garantizando una construcción robusta y hermética que previene cualquier tipo de fuga durante su operación. Se prestó especial atención a los detalles técnicos para asegurar su eficiencia en la filtración de contaminantes, así como su durabilidad en diversas condiciones de uso. A continuación, se detallan los materiales empleados en su construcción, seleccionados cuidadosamente por su resistencia y capacidad para optimizar el proceso de biofiltración:

Tabla 6. Orden de materiales y peso utilizado en los biofiltros

No.	T1/ Testigo	Peso (g)
6	Cascajo al 20%	250
5	Piedra gruesa - 5cm	658
4	Grava - 5cm	492
3	Arena - 5cm	634
2	Carbón activado - 5cm	537
1	Algodón - 5cm	55

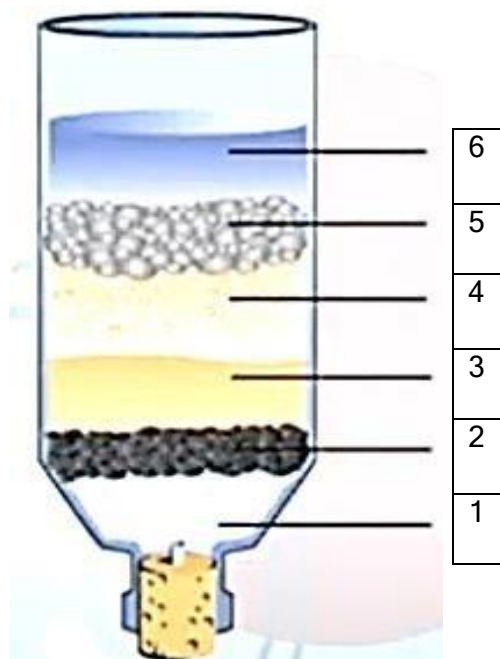
Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 5: Grafico de distribución porcentual de materiales del biofiltro



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 6. Estructura grafica de materiales usados



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Nota: El material 6, no se ocupó en el tratamiento testigo, para una mejor comprensión leer la tabla 5.

4.1.4. Análisis de muestra de agua

A continuación, se presentan en la Tabla 6 los resultados detallados del análisis fisicoquímico del agua residual, obtenidos a partir de muestras recolectadas en los distintos puntos de monitoreo. Este análisis incluyó parámetros clave como los sólidos suspendidos totales (SST), pH, conductividad eléctrica, entre otros. Los valores registrados proporcionan una visión integral del estado de la calidad del agua residual, lo que permite identificar posibles riesgos ambientales y oportunidades para la mejora en su gestión. Además, también se puede observar la eficiencia de remoción del biofiltro. El parámetro cloro residual, fue obtenido mediante el método DPD y fue realizado en el laboratorio externo.

Las mediciones se realizaron durante un período de 15 días, con tres sesiones de monitoreo distribuidas de manera equitativa. Este esquema permitió captar variaciones temporales en los parámetros evaluados, asegurando una representación precisa de las condiciones del sistema a lo largo del tiempo (ver anexo 21 - 23).

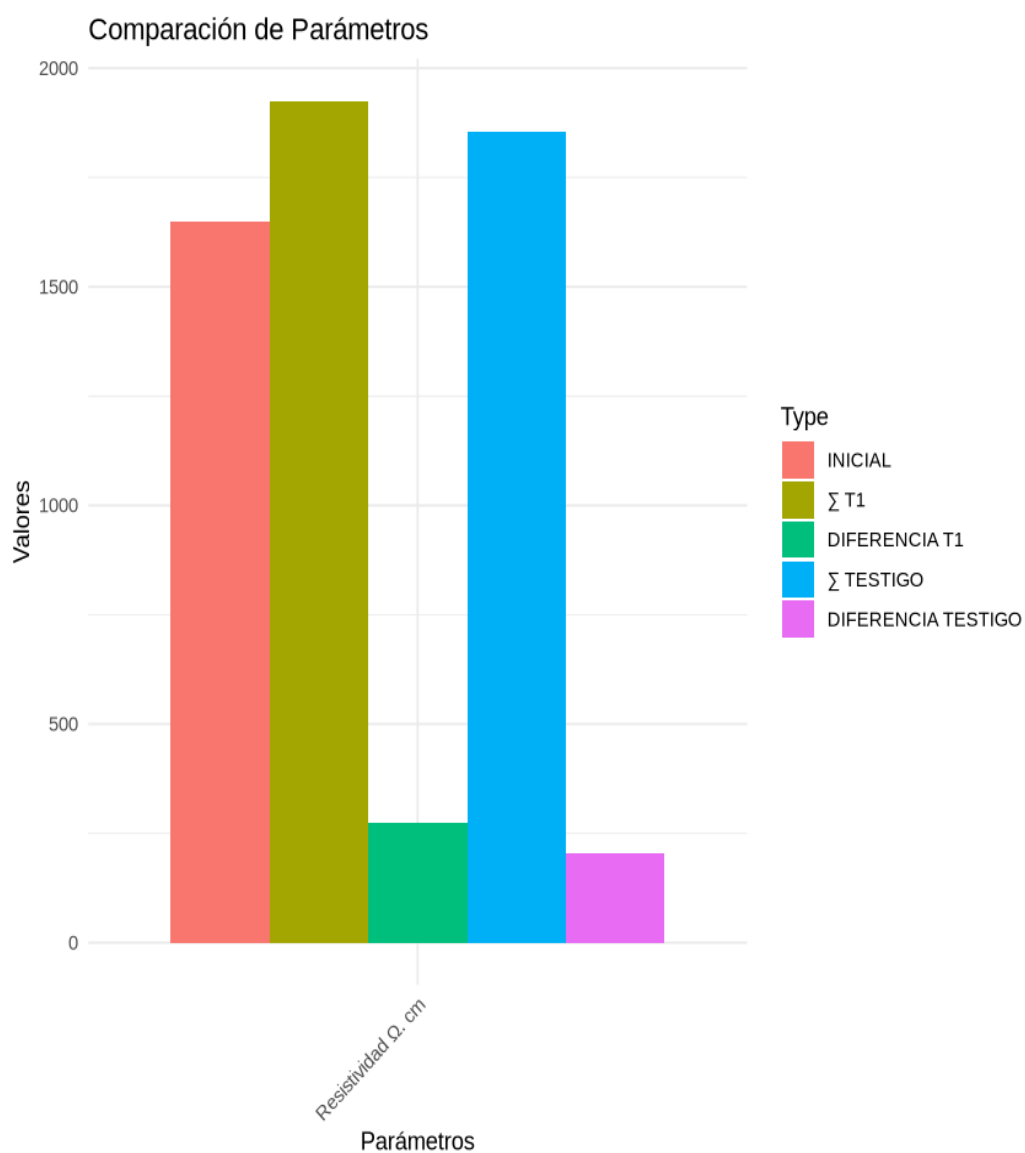
Tabla 7. Sumatoria de resultados obtenidos

PARÁMETRO	INICIAL	Σ T1	DIFERENCIA	Σ	DIFERENCIA
			T1		TESTIGO
Oxígeno disuelto mg/L	5.46	4.87	0.59	5.1	0.36
OD (saturación oxígeno %)	68.2	60.2	8	58.2	10
pH	8.03	6.98	1.05	7.03	1
TDS mg/L	295	255	40	265	30
Conductividad μ S/cm	606	500	106	406	200

Salinidad %	0.29	0.25	0.04	0.20	0.09
Resistividad Ω . cm	1650	1925	275	1853	203
Temperatura $^{\circ}\text{C}$	26.50	25.4	1.1	20.50	6
Turbidez NTU	7.06	5	2.06	6.06	1
Cloro residual mg/L	0.15	0.10	0.05	0.11	0.04

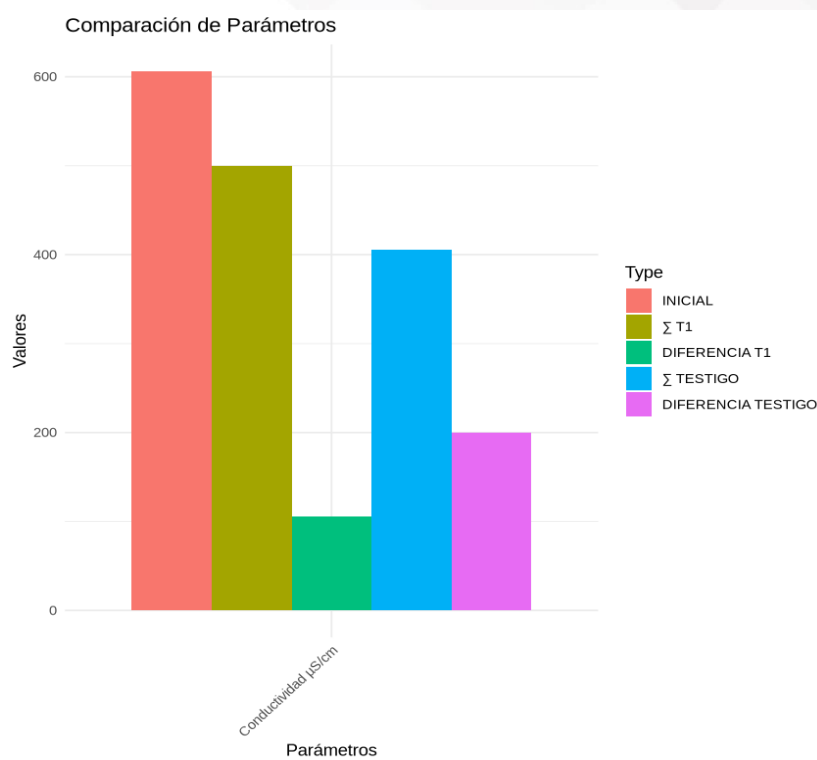
Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 7: Efectos de la resistividad.



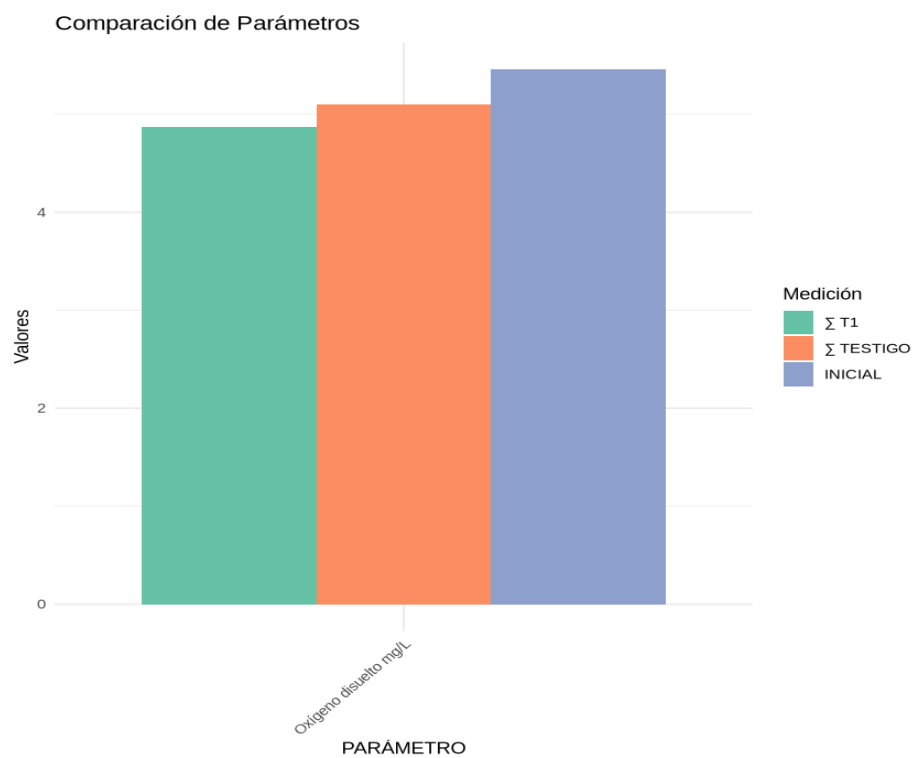
Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 8: Efectos de la conductividad



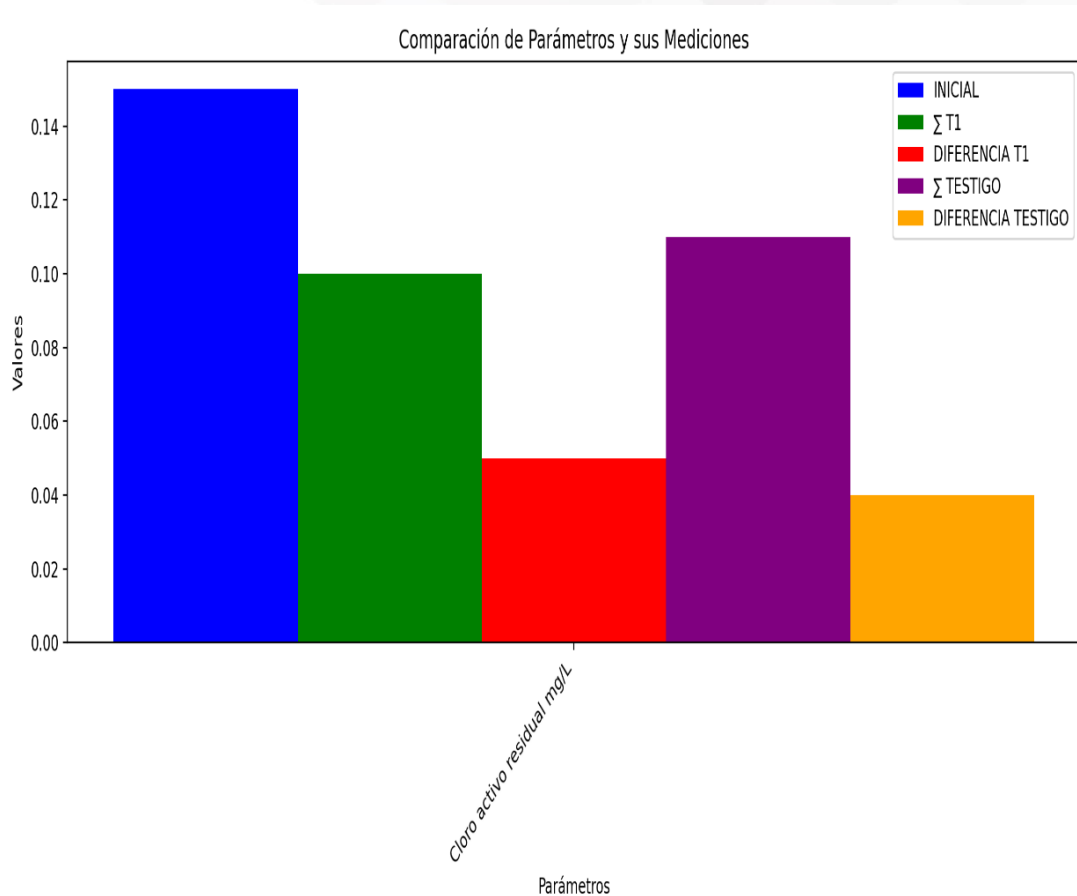
Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 9: Efectos del oxígeno disuelto



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 10: Efectos del cloro activo residual



Fuente: Elaboración propia de los autores.

4.1.5. Porcentaje de remoción del biofiltro

La evaluación de los porcentajes de remoción en biofiltros es fundamental para garantizar la efectividad del tratamiento de aguas residuales y la protección del medio ambiente. A continuación, en la tabla 7, se destacan los porcentajes de eficiencia clave de los parámetros analizados.

Tabla 8. Porcentajes de remoción del biofiltro

PARÁMETRO	INICIAL	Σ T1	PORCENTAJE DE REMOCIÓN	Σ TESTIGO	PORCENTAJE DE REMOCIÓN
Oxígeno disuelto mg/L	5,46	4,87	10,81 %	5,1	6,59 %
OD (saturación oxígeno %)	68,2	60,2	11,73 %	58,2	14,66 %
pH	8,03	6,98	13,08 %	7,03	12,45 %
TDS mg/L	295	255	13,56 %	265	10,17 %
Conductividad μ S/cm	606	406	33 %	450	25,75 %
Salinidad %	0,29	0,25	13,79 %	0,2	31,03 %
Temperatura °C	26,5	25,4	4,15 %	20,5	22,64 %
Turbidez NTU	7,06	5	29,18 %	6,06	14,16 %
Resistividad Ω . cm	1650	1925	16,67 %	1853	12,30%
Cloro residual mg Cl /L	0,11	0,11	33,33 %	0,15	26,67 %

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Nota: El parámetro cloro residual fue obtenido por un laboratorio externo.

En el Tratamiento 1, que incorporó un 20% de cascajo de cacao junto a los materiales convencionales de un biofiltro, se observó un rendimiento del 10,81% en el Oxígeno Disuelto (OD). Este incremento respecto al 6,59% del tratamiento testigo indica una mejora significativa en la capacidad del sistema para mantener condiciones aeróbicas. Esta diferencia sugiere que el cascajo de cacao puede estar facilitando la oxigenación

del medio, promoviendo la actividad microbiana (Peña, 2019).

En cuanto a la saturación de oxígeno, el Tratamiento 1 mostró un rendimiento del 11,73%, mientras que el testigo alcanzó 14,66%. Aunque el tratamiento testigo presenta un mejor rendimiento en saturación de oxígeno, la diferencia no es despreciable, lo que puede implicar que el cascajo de cacao también aporta algún beneficio en este aspecto, aunque no tan marcado como en el OD (Echeverry, 2019). El pH en el Tratamiento 1 tuvo un rendimiento del 13,08%, superando el 12,45% del testigo. Este ligero aumento en el rendimiento del pH sugiere que el cascajo de cacao puede contribuir a un ambiente más favorable para la actividad biológica, ya que un pH equilibrado es esencial para el funcionamiento óptimo de los microorganismos que descomponen contaminantes (García, 2024).

Los sólidos totales disueltos (TDS), un parámetro crítico que mide la cantidad de material inorgánico y orgánico disuelto en el agua, mostraron un rendimiento del 13,56% en el Tratamiento 1, frente al 10,17% obtenido en el tratamiento testigo. Este aumento en la capacidad de remoción de TDS sugiere que el uso del 20% de cascajo de cacao en el biofiltro proporciona una mayor eficiencia en la retención de partículas disueltas. Esta mejora podría estar relacionada con las propiedades fisicoquímicas del cascajo de cacao, como su estructura porosa, que aumenta la superficie disponible para la adsorción de contaminantes (Quevedo, 2020).

En cuanto a la conductividad, el Tratamiento 1 logró un rendimiento del 33%, superando al tratamiento testigo, que alcanzó un 25,75%. La conductividad es un indicador de la presencia de iones disueltos en el agua, por lo que este resultado sugiere una mayor capacidad del biofiltro con cascajo de cacao para eliminar o reducir la concentración de estos iones. La mayor efectividad en la remoción de sales y

minerales en el Tratamiento 1 podría deberse a la interacción del cascajo de cacao con los componentes iónicos, mejorando la adsorción de estos contaminantes. Este rendimiento superior en conductividad es particularmente relevante en aplicaciones donde la reducción de sales y minerales es crucial para la calidad final del agua tratada, como en la reutilización de agua para fines industriales o agrícolas (Maillo, 2024).

La salinidad mostró un rendimiento del 13,79% en el Tratamiento 1, en comparación con el 31,03% del tratamiento testigo. Este rendimiento relativamente bajo sugiere que el cascajo de cacao podría no ser tan eficiente para la remoción de sales, lo que podría impactar la calidad del agua tratada.

Por otro lado, la turbidez presentó un rendimiento notable del 29,18% en el Tratamiento 1, en comparación con el 14,16% del testigo. Este resultado resalta la efectividad del cascajo de cacao en la reducción de partículas en suspensión, contribuyendo a una mayor claridad del agua tratada y a la mejora de su calidad.

Finalmente, el cloro activo residual se redujo en un 33,33% en el Tratamiento 1, mientras que el tratamiento testigo mostró una reducción del 26,67%. Esta mayor eficiencia en la eliminación del cloro residual en el Tratamiento 1 sugiere cualitativamente que el cascajo de cacao puede facilitar una mejor descomposición del cloro, lo que es esencial para asegurar la seguridad del efluente tratado (Noriega, 2024).

4.1.6. Análisis comparativo de los resultados obtenidos

Tabla 9. Comparación de resultados con el AM – 0.97

PARÁMETRO	INICIAL	Σ T1	Σ TESTIGO	VALOR SEGÚN AM - 097	AM-097 NUMERO DE TABLA	Cumple
Oxígeno disuelto mg/L	5.46	4.87	5.1	3 mg/L	TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA (TABLA 3)	NO
pH	8.03	6.98	7.03	6 – 9	TABLA 3	SI
Salinidad						
TDS mg/L	295	255	265	450-2000 mg/L	TABLA 4: PARÁMETROS DE LOS NIVELES DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO (TABLA 4)	SI
Conductividad milimhos/cm	0.000606	0.000500	0.000406	0,7-3,0 milimhos/cm	TABLA 4	SI
Temperatura °C	26.50	25.4	20.50	< 35°C	TABLA 10. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA	SI

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Nota: El parámetro conductividad eléctrica originalmente fue calculado en $\mu\text{S/cm}$, para el análisis comparativo se transformó a unidades de milimhos/cm, como se establece en el AM-097.

De acuerdo a los parámetros analizados y comparados con las distintas tablas legislativas, únicamente el oxígeno disuelto expresado en mg/L, sobrepasa el criterio de calidad, vale la pena mencionar que este parámetro es crucial para la descomposición biológica de materia orgánica en aguas residuales, esto nos indica también que esta agua puede tener una cantidad elevada de microorganismos, además según la literatura estudiada su elevada cantidad puede tener efectos

adversos como super oxidación, el oxígeno puede reaccionar con los contaminantes y formar radicales libres, además puede afectar la sedimentación de partículas y reduce la eficiencia en los tratamientos físicos.

4.1.7. Análisis de costo del tratamiento más eficiente

A través de las pruebas experimentales realizadas en aguas residuales provenientes de la actividad bananera, se determinó que el tratamiento T1 es el más eficiente. A continuación, se presenta el detalle de la cantidad y el costo unitario de los materiales empleados en la construcción de dicho biofiltro.

Tabla 10. Costo de producción del tratamiento más eficiente

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO
Tubo transparente	1	12
Base	1	13
Llave universal	1	5
Cascajo cacao	50Kg	0
Piedra gruesa	658g	0.25
Grava	492g	0.25
Arena	634g	0.25
Carbón activado	537g	4.25
Algodón	55g	2.40
	Total	37.90\$

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Para llevar a cabo el análisis de costo del tratamiento T1 se lo realizó tomando en cuenta el precio de cada material de los diferentes medios filtrantes, como también

los valores de cada uno de los materiales para el ensamble de la unidad experimental, se descarta la materia prima de cacao que tuvo un valor nulo por ser un residuo de cosecha generado dentro de la finca valle verde, para la sumatoria se adoptó la metodología propuesta por (Vinza, 2012), en donde se calculó el valor de la materia prima, la mano de obra directa y el gasto de producción.

$$CP = (MP + MO + GP)$$

MP: Materia prima

MO: Mano de obra

GP: gasto de producción

$$CP = (37.90+0+0)$$

$$CP = 37.90\$$$

4.1.8. Procesamientos estadísticos

Basado en los resultados de la prueba t:

Para ambas comparaciones (eliminación inicial vs. eliminación T1 y eliminación inicial vs. eliminación general), tenemos:

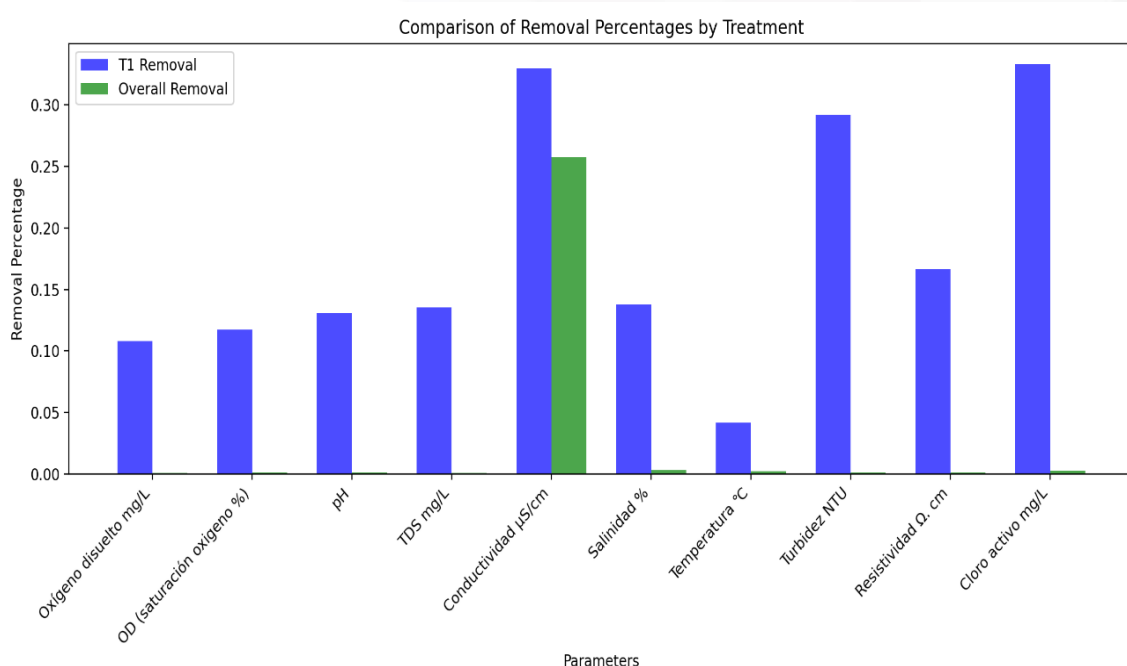
- ✓ Valores $p > 0,05$ (0,142 y 0,142 respectivamente)

Esto indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre los valores iniciales y el porcentaje de eliminación.

El análisis muestra que "Cloro activo mg/L" tuvo el mayor porcentaje de remoción en el tratamiento T1, mientras que "Conductividad $\mu\text{S/cm}$ " tuvo el mayor porcentaje de remoción general.

A continuación, se muestra la comparación visual de los porcentajes de remoción:

Figura 11: Comparación de porcentajes de eliminación por tratamiento



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Según los resultados de la prueba de chi-cuadrado (valor $p = 0,999 > 0,05$), no hay diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes de eliminación general (Testigo) y T1 en todos los parámetros.

Para observar la programación de los análisis estadísticos, ver los anexos 19 y 20, respectivamente.

4.1.9. Decisión de la hipótesis

Dado que todos los valores p obtenidos superan el nivel de significancia establecido ($p > 0,05$), no se dispone de evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula (H_0). En consecuencia, se concluye que el uso del biofiltro elaborado con cáscara de cacao CCN-51, no presenta un efecto significativo en la reducción de contaminantes en las aguas residuales generadas durante el proceso de embalaje de banano en la finca "La Joya", ubicada en el cantón Milagro.

CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones

5.1. Discusión

La resistividad del agua residual experimentó una reducción de 275 ohmios/cm tras 15 días de tratamiento en el sistema experimental, mientras que en el tratamiento testigo la disminución fue de 203 ohmios/cm. Este cambio refleja un incremento en la concentración de partículas cargadas presentes en el agua tratada, las cuales influyen directamente en su capacidad para resistir el flujo de corriente eléctrica. (Ver Figura 7). Como señala Sánchez-García (2021), la resistividad del agua es inversamente proporcional a su conductividad eléctrica, lo que la convierte en un indicador crítico para evaluar la concentración de sales, minerales y otras especies ionizadas. Por ejemplo, el agua destilada, caracterizada por su alta resistividad, se comporta casi como un aislante debido a la ausencia de iones, mientras que el agua salina, con baja resistividad, actúa como un conductor eficiente. En el contexto de este estudio, la reducción observada en la resistividad sugiere un aumento en la movilidad iónica, posiblemente debido a la disolución o liberación de compuestos durante el proceso de tratamiento.

En paralelo, la conductividad eléctrica del agua disminuyó en ambos tratamientos, reflejando una reducción en las sales disueltas responsables de la conducción eléctrica. En el tratamiento experimental (T1), la conductividad disminuyó a 106 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en el tratamiento testigo alcanzó los 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tras 15 días de tratamiento (Ver Figura 8). Estos resultados son consistentes con una depuración parcial del agua, ya que una menor conductividad sugiere una reducción en la concentración de iones disueltos.

De acuerdo con Solís-Castro et al. (2018), la conductividad es una medida directa de la capacidad del agua para transportar corriente eléctrica, influenciada principalmente por la presencia de iones provenientes de sales minerales. Aguas con alta conductividad, como las salinas o contaminadas, indican altas concentraciones de iones, mientras que aguas de baja conductividad, como el agua purificada, poseen concentraciones iónicas significativamente menores. En este estudio, la reducción de la conductividad en ambos tratamientos indica un progreso en la eliminación de sólidos disueltos, lo que podría estar asociado a mecanismos de adsorción, precipitación o degradación de compuestos durante el tratamiento.

El contenido de oxígeno disuelto mostró una disminución en ambos tratamientos, alcanzando valores de 0,59 mg/L en el tratamiento T1 y 0,36 mg/L en el tratamiento testigo después de 15 días (Ver Figura 9). Esta disminución puede atribuirse a la recirculación del agua durante el proceso de tratamiento, lo que probablemente favoreció el consumo de oxígeno por parte de microorganismos durante la descomposición de materia orgánica.

El oxígeno disuelto, como indica Arias et al. (2021), es un parámetro clave para la supervivencia de los organismos acuáticos y el equilibrio de los ecosistemas. Su reducción prolongada puede generar condiciones hipóxicas o anóxicas, afectando negativamente a organismos sensibles al oxígeno, especialmente en sistemas con intercambio limitado de gases. Esto resalta la importancia de controlar los procesos biológicos que contribuyen al consumo de oxígeno durante el tratamiento.

El contenido de cloro residual también disminuyó en ambos tratamientos, alcanzando valores finales de 0,11 mg/L (33% en porcentaje de rendimiento) en el tratamiento T1 y 0,15 mg/L (26,67 % en porcentaje de rendimiento) en el tratamiento testigo (Ver

Figura 10). Esta reducción se debe a la reacción del cloro con materia orgánica e inorgánica presente en el agua, así como a factores físicos como la temperatura y la agitación hidráulica, que afectan su estabilidad y capacidad como desinfectante. Según Ordoñez y Quiroz (2021), el cloro activo residual es un indicador fundamental para evaluar la eficacia de la desinfección en aguas tratadas. Su degradación puede comprometer la eliminación de microorganismos patógenos, lo que subraya la necesidad de controlar adecuadamente este parámetro para garantizar la calidad microbiológica del agua tratada.

5.2. Conclusiones

- A. El prototipo de biofiltro fue diseñado y construido empleando diversas metodologías experimentales, logrando una estructura con una altura total de 70 cm, un diámetro de 3,75 pulgadas y una base de 18 cm. Estas dimensiones fueron replicadas en ambos prototipos evaluados. Se utilizó como material filtrante cascajo de cacao (variedad CCN-51), el cual fue procesado hasta obtener un tamaño de partícula promedio de 850 μm , asegurando una adecuada permeabilidad y área de contacto para la biofiltración.
- B. Para el rendimiento del material filtrante y eficiencia del tratamiento se concluye que el proceso de preparación del material filtrante alcanzó un rendimiento del 1,3% respecto al material inicial. De acuerdo con los porcentajes de remoción de contaminantes, el tratamiento T1, que emplea un biofiltro con 20% de cascajo de cacao, demostró ser el más eficiente para la depuración de aguas residuales del proceso de embalaje de banano. Si bien los análisis estadísticos no evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, T1 mostró una capacidad cualitativamente superior en la retención y reducción de la carga contaminante en comparación con el tratamiento testigo, destacándose como una alternativa prometedora para este tipo de procesos.
- C. La calidad del agua tratada y cumplimiento normativa indica que el análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua tratada mediante biofiltración reveló que el pH, la salinidad (evaluada a través de sólidos disueltos totales, TDS, y conductividad) y la temperatura se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente (AM-097A). Sin embargo, los niveles de oxígeno disuelto (OD) superaron los valores máximos requeridos por la legislación, lo que evidencia una limitación en el sistema de oxigenación

implementado. Esto resalta la necesidad de optimizar esta etapa del tratamiento para cumplir plenamente con los estándares regulatorios.

- D.** Respecto a la relación costo-eficiencia del biofiltro podemos mencionar que el costo total del biofiltro más eficiente (T1) fue de \$37,90, incluyendo la selección y preparación óptima del material filtrante. Este costo representa una relación favorable entre inversión y eficiencia en la remoción de contaminantes, asegurando un tratamiento adecuado de las aguas residuales dentro de los parámetros normativos aplicables. La implementación de este biofiltro ofrece una solución económica y efectiva para mejorar la calidad del agua residual en procesos industriales similares.

5.3. Recomendaciones

A. Optimización del material filtrante

Dado que el prototipo de biofiltro con cascajo de cacao (variedad CCN-51) demostró ser eficaz en la reducción de la carga contaminante, se recomienda profundizar en la optimización del material filtrante mediante ajustes en su procesamiento, composición y disposición en el biofiltro, maximizando así su capacidad de adsorción y filtración.

B. Evaluación de granulometrías alternativas

Aunque se empleó un tamaño de partícula promedio de 850 μm , es aconsejable realizar pruebas adicionales utilizando granulometrías más gruesas, más finas o mezclas de tamaños. Estos ensayos podrían proporcionar una mejor comprensión de la influencia de la granulometría en la remoción de contaminantes específicos, como sólidos suspendidos, metales pesados o compuestos orgánicos.

C. Análisis de parámetros adicionales

A pesar de que el biofiltro cumple con los límites normativos en parámetros como pH, salinidad (medida a través de TDS y conductividad) y temperatura, la deficiencia en los niveles de oxígeno disuelto (OD) indica la necesidad de ampliar el análisis hacia otros parámetros relevantes. Se sugiere incorporar mediciones detalladas de parámetros incluidos en las tablas 3, 4 y 10 del Anexo 1 de la normativa AM-097A, lo cual permitirá evaluar de manera más integral el impacto ambiental del tratamiento.

D. Ampliación del estudio sobre el cascajo de cacao

Dado el buen desempeño del biofiltro con un contenido del 20% (250 g) de cascajo de cacao, se recomienda expandir la investigación para evaluar su eficacia en el

tratamiento de otros tipos de aguas residuales industriales, como las provenientes de procesos agroindustriales o textiles. Asimismo, se sugiere analizar la durabilidad del material filtrante en ciclos prolongados de uso y su comportamiento frente a variaciones en las condiciones de operación.

E. Escalabilidad y sostenibilidad industrial

Se propone llevar a cabo un proyecto piloto que implemente el biofiltro a escala industrial, evaluando su sostenibilidad técnica y económica en instalaciones con mayores volúmenes de aguas residuales. Este análisis debe considerar estrategias para reducir costos mediante el uso de materiales locales, renovables y de bajo impacto ambiental, sin comprometer la eficiencia del sistema.

F. Monitoreo en tiempo real de parámetros clave

Es fundamental implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para los parámetros más críticos, como oxígeno disuelto, conductividad y sólidos disueltos totales. Esto permitirá una supervisión constante del desempeño del biofiltro, garantizando el cumplimiento normativo y la eficiencia del tratamiento en todas las etapas operativas, y facilitando una rápida respuesta ante posibles variaciones.

G. Integración del prototipo en actividades académicas

Se recomienda optimizar y utilizar el prototipo de biofiltro actualmente disponible en el laboratorio de química de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Este equipo, donado de manera libre y voluntaria, representa una oportunidad invaluable para fortalecer investigaciones en tratamiento de aguas residuales, promover la innovación en sistemas de biofiltración y enriquecer las actividades de docencia práctica. Su integración en la enseñanza podría motivar nuevas líneas de investigación y fomentar el aprendizaje aplicado entre los estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akpomie, K. G., & Conradie, J. (2020). Banana peel as a biosorbent for the decontamination of water pollutants. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(4), 1085-1112. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-00995-x>
- Al-Hazmi, H. E., Mohammadi, A., Hejna, A., Majtacz, J., Esmaeili, A., Habibzadeh, S., Saeb, M. R., Badawi, M., Lima, E. C., & Maqinia, J. (2023). Wastewater reuse in agriculture: Prospects and challenges. *Environmental Research*, 236, 116711. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116711>
- Ali, Prof. I., & Gupta, V. (2006). Advances in Water Treatment by Adsorption Technology. *Nature protocols*, 1, 2661-2667. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.370>
- Are Your Bananas Sustainable? The True Cost of Banana Production - Time To Go Bananas.* (2024, junio 7). <https://whatbanana.com/are-banana-farms-sustainable/>
- Arora, U., Khuntia, H. K., Chanakya, H. N., & Kapley, A. (2023). Surfactants: Combating the fate, impact, and aftermath of their release in the environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(10), 11551-11574. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04549-2>
- Avadí, A. (2023). Environmental assessment of the Ecuadorian cocoa value chain with statistics-based LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 28(11), 1495-1515. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02142-4>
- Azamzam, A. A., Rafatullah, M., Yahya, E. B., Ahmad, M. I., Lalung, J., Alam, M., & Siddiqui, M. R. (2022). Enhancing the Efficiency of Banana Peel Bio-Coagulant in Turbid and River Water Treatment Applications. *Water*, 14(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/w14162473>

- Chaudhary, D., Vigneswaran, S., Ngo, H.-H., Shim, W.-G., & Moon, H. (2003). Biofilter in Water and Wastewater Treatment. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 20, 1054-1065. <https://doi.org/10.1007/BF02706936>
- Clercx, L., Zarate, E., & Kuiper, J. D. (2016). Water footprint assessment of bananas produced by small banana farmers in Peru and Ecuador. *Acta Horticulturae*, 21-28. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1112.1>
- Conversation, A. O. (2019, enero 28). The Dirty Truth About Pesticides and Bananas. *An Organic Conversation*. <https://organicconversation.com/dirty-truth-pesticides-bananas/>
- Demirbas, A. (2008). Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 157(2), 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.024>
- Dueñas-Tovar, J., Carrión-Mero, P., Loor-Salazar, J., Quiguango-Aráus, A., & Morante-Carballo, F. (2024). Conceptual Design of Green Filters: A Case Study of Libertador Bolívar. En N. S. Caetano (Ed.), *Sustainable Development with Renewable Energy* (pp. 329-343). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54394-4_26
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>
- Geissen, V., Ramos, F. Q., de J. Bastidas-Bastidas, P., Díaz-González, G., Bello-Mendoza, R., Huerta-Lwanga, E., & Ruiz-Suárez, L. E. (2010). Soil and Water Pollution in a Banana Production Region in Tropical Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85(4), 407-413. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0077-y>

- Gude, V. G. (2017). Desalination and water reuse to address global water scarcity. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16(4), 591-609.
<https://doi.org/10.1007/s11157-017-9449-7>
- Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., & Huisinigh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8), e18507. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18507>
- Loh, Z. Z., Zaidi, N. S., Syafiuddin, A., Yong, E. L., Boopathy, R., Hong Kueh, A. B., & Prastyo, D. D. (2021). Shifting from Conventional to Organic Filter Media in Wastewater Biofiltration Treatment: A Review. *Applied Sciences*, 11(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/app11188650>
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., Liang, S., & Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 473-474, 619-641.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>
- Morante-Carballo, F., Parrales-Gómez, M., Pozo-Ramos, E., & Dueñas-Tovar, J. (2024). Wastewater Treatment Using Green Filters Systems in a Small Urban Area for a Reforestation Pilot Plan. En N. S. Caetano (Ed.), *Sustainable Development with Renewable Energy* (pp. 345-358). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54394-4_27
- Muguirrima, P. V. M., Chirinza, N. P., León Zerpa, F., & Mendieta Pino, C. A. (2024). Treatment of domestic effluents using sustainable biofilter methods. *Desalination and Water Treatment*, 317, 100266.
<https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100266>

- Munakata, N., & Reinhard, M. (2002). Palladium Catalysis for the Treatment of Contaminated Waters: A Review. En J. A. Smith & S. E. Burns (Eds.), *Physicochemical Groundwater Remediation* (pp. 45-71). Springer US. https://doi.org/10.1007/0-306-46928-6_3
- Muñoz Villarreal, L. L. (2018). Caracterización de las aguas tratadas en zonas bananeras y su incidencia sobre la calidad ambiental del río Apartadó mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos. *Ambiente y Desarrollo*, 22(43), 7.
- Nordin, A. H., Norfarhana, A. S., Noor, S. F. M., Paiman, S. H., Nordin, M. L., Husna, S. M. N., Ilyas, R. A., Ngadi, N., Bakar, A. A., Ahmad, Z., Azami, M. S., Nawawi, W. I., & Nabgan, W. (2023). Recent Advances in Using Adsorbent Derived from Agricultural Waste for Antibiotics and Non-Steroidal Anti-Inflammatory Wastewater Treatment: A Review. *Separations*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/separations10050300>
- Orozco-Irola, C., Badilla-Murillo, F., Orozco-Irola, C., & Badilla-Murillo, F. (2022). Análisis del proceso de empaque de banano para el aprovechamiento del recurso hídrico mediante la simulación de eventos discretos. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(4), 175-186. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i4.5763>
- Pérez Neira, D. (2016). Energy sustainability of Ecuadorian cacao export and its contribution to climate change. A case study through product life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2560-2568. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.003>
- Rizzo, L., Manaia, C., Merlin, C., Schwartz, T., Dagot, C., Ploy, M. C., Michael, I., & Fatta-Kassinos, D. (2013). Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: A review.

Science of The Total Environment, 447, 345-360.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.032>

Rusănescu, C. O., Rusănescu, M., & Constantin, G. A. (2022). Wastewater Management in Agriculture. *Water*, 14(21), Article 21.

<https://doi.org/10.3390/w14213351>

Silva, T. P., Araujo, S. C., do Espírito Santo, E. L., Gonçalves, M. S., Sampaio, I. C. F., Pereira, H. J. V., Irfan, M., Ferreira, M. L. O., da Silva, E. G. P., de Oliveira, J. R., & Franco, M. (2024). From byproducts to bioresources: Cocoa shell solid-state fermentation lipase as a low-cost esterification catalyst. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05280-3>

Ansari, A. A., Gill, S. S., & Khan, F. A. (2011). Eutrophication: Threat to Aquatic Ecosystems. En A. A. Ansari, S. Singh Gill, G. R. Lanza, & W. Rast (Eds.), *Eutrophication: Causes, consequences and control* (pp. 143-170). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9625-8_7

Baglat, P., Hayat, A., Mendonça, F., Gupta, A., Mostafa, S. S., & Morgado-Dias, F. (2023). Non-Destructive Banana Ripeness Detection Using Shallow and Deep Learning: A Systematic Review. *Sensors*, 23(2), Article 2.

<https://doi.org/10.3390/s23020738>

Corozo, J. P. M., & Vergara, K. L. (2023). Diseño de biofiltro para eliminación de contaminantes de aguas residuales de la comunidad Ballagán, Ecuador: Design of a filter for the elimination of pollutants from wastewater in the Ballagan community, Ecuador. *REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.102.801>

Cortez, A., Guevara, J., & Muñoz, D. (2020). Biofilter implementation with Minerals (Zeolite–Activated Carbon) for wastewater treatment in the Orchid

Stabilization Lagoon, Cerro Colorado–Guayaquil. *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy”. The 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development” “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy”. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.130>

Echeverry, D. (2019). Actualización plan de manejo reserva forestal protectora regional. *Cornare, 15*, 15 - 25. Obtenido de https://www.cornare.gov.co/SIAR/Plan-de-manejo/Plan-de-manejo-playas/Plan-de-Manejo-Ambiental-RFPR-Playas_Vigencia_2020-2025.pdf

Erickson, A. J., Weiss, P. T., & Gulliver, J. S. (2013). Water Sampling Methods. En A. J. Erickson, P. T. Weiss, & J. S. Gulliver (Eds.), *Optimizing Stormwater Treatment Practices: A Handbook of Assessment and Maintenance* (pp. 163-192). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4624-8_10

François, M., Pontes, M. C. G., Lima da Silva, A., & Mariano-Neto, E. (2023). Impacts of cacao agroforestry systems on climate change, soil conservation, and water resources: A review. *Water Policy, 25*(6), 564-581. <https://doi.org/10.2166/wp.2023.164>

García, C. (2024). Desempeño de un filtro percolador a escala de laboratorio en condiciones psicrófilos, para el tratamiento de aguas residuales urbanas del

- municipio de Pasto. Universidad Mariana , 25, 28-35. Obtenido de <https://repositorio.umariana.edu.co/handle/20.500.14112/28409#page=1>
- Guevara-Bernal, D. F., Cáceres Ortiz, M. Y., Gutiérrez Cifuentes, J. A., Bastos-Arrieta, J., Palet, C., & Candela, A. M. (2022). Coffee Husk and Lignin Revalorization: Modification with Ag Nanoparticles for Heavy Metals Removal and Antifungal Assays. *Water*, 14(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/w14111796>
- Jaimes-Suárez, Y. Y., Carvajal-Rivera, A. S., Galvis-Neira, D. A., Carvalho, F. E. L., & Rojas-Molina, J. (2022). Cacao agroforestry systems beyond the stigmas: Biotic and abiotic stress incidence impact. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.921469>
- John, E. M., & Shaik, J. M. (2015). Chlorpyrifos: Pollution and remediation. *Environmental Chemistry Letters*, 13(3), 269-291. <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0513-7>
- Lita, A. L., Hidayat, E., Mohamad Sarbani, N. M., Harada, H., Yonemura, S., Mitoma, Y., Herviyanti, & Gusmini. (2023). Glyphosate Removal from Water Using Biochar Based Coffee Husk Loaded Fe₃O₄. *Water*, 15(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/w15162945>
- M.p.s, J., & Tobes, I. (2023). *Upcycling the Banana Industry in Ecuador: A Methodology to Estimate Biowaste and Catalogue of Bioproducts*. <https://cris.indoamerica.edu.ec/handle/123456789/8340>
- Mukherjee, P., Banerjee, G., Saha, N., & Mazumdar, A. (2024). Overview on the Emergence of Pesticide Contamination and Treatment Methodologies. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(9), 587. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07400-1>

- Maillo, J. (2024). Diseño de una planta de desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa para riego agrícola. Universidad Cantabria , 36 - 42. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/33911>
- Noriega, K. (2024). Diseño de un sistema para el tratamiento de efluentes líquidos de un camal de beneficio équido, Salaverry - Trujillo, 2023 . Revista de Trujillo, 35 - 45. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a7cdc3e9-901c-4292-ad14-4f3cc5163c4c/content>
- Ortiz-Ulloa, J. A., Abril-González, M. F., Pelaez-Samaniego, M. R., & Zalamea-Piedra, T. S. (2021). Biomass yield and carbon abatement potential of banana crops (*Musa spp.*) in Ecuador. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 18741-18753. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09755-4>
- Pawan Kumar, Kumar, R., Thakur, K., Mahajan, D., Brar, B., Sharma, D., Kumar, S., & Sharma, A. K. (2023). Impact of Pesticides Application on Aquatic Ecosystem and Biodiversity: A Review. *Biology Bulletin*, 50(6), 1362-1375. <https://doi.org/10.1134/S1062359023601386>
- Polidoro, B. A., & Morra, M. J. (2016). An ecological risk assessment of pesticides and fish kills in the Sixaola watershed, Costa Rica. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(6), 5983-5991. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6144-0>
- Pramanik, S., Patra, S. K., Ghosh, S., Roy, D., & Datta, A. (2024). Drip-Mediated Deficit Irrigation and Sub-Optimal Fertigation Management Strategy can Boost Yield, Soil Nutrient Availability, Plant Utilization and Soil Organic Carbon in Banana Plantation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(2), 3843-3860. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01804-y>

- Preisner, M., Neverova-Dziopak, E., & Kowalewski, Z. (2021). Mitigation of eutrophication caused by wastewater discharge: A simulation-based approach. *Ambio*, 50(2), 413-424. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01346-4>
- Peña, A. (2019). Inventario de descargas de aguas residuales y tiraderos a cielo abierto en el cauce del Río Corral "Riito" generado por la localidad de Tonalá, Chiapas. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas , 19 - 35. Obtenido de <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/2196>
- Quevedo, J. (2020). Biochar como enmienda edáfica para bajar los niveles de absorción de cadmio en cacao (*theobroma cacao* L), cultivar ccn-51. Revista UTMACH, 20-35. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16145>
- Quiloango-Chimarro, C. A., Gioia, H. R., & de Oliveira Costa, J. (2024). Typology of Production Units for Improving Banana Agronomic Management in Ecuador. *AgriEngineering*, 6(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030163>
- Roibás, L., Elbehri, A., & Hospido, A. (2015). Evaluating the sustainability of Ecuadorian bananas: Carbon footprint, water usage and wealth distribution along the supply chain. *Sustainable Production and Consumption*, 2, 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.07.006>
- Ruiz-Arias, M. A., Medina-Díaz, I. M., Bernal-Hernández, Y. Y., Barrón-Vivanco, B. S., González-Arias, C. A., Romero-Bañuelos, C. A., Verdín-Betancourt, F. A., Herrera-Moreno, J. F., Ponce-Vélez, G., Gaspar-Ramírez, O., Bastidas-Bastidas, P. de J., González, F. B., & Rojas-García, A. E. (2023). The situation of chlorpyrifos in Mexico: A case study in environmental samples and aquatic

organisms. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(8), 6323-6351.

<https://doi.org/10.1007/s10653-023-01618-4>

Susanto, I., Agsya, R. T., & Zainuri, F. (2023). A study on ceramic composite filters utilizing rice husk for enhancing groundwater quality. *Technology Transfer: Fundamental Principles and Innovative Technical Solutions*, 9-12.

<https://doi.org/10.21303/2585-6847.2023.003199>

Vinza, A. (2012). "Propuesta para la aplicación del método de costeo por actividades ABC (Activity Based Costing) de la Industria "Gráficas Olmedo" de la Ciudad de Quito",. *Revista UCE*, 15(7), 50 - 62. Obtenido de

<https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/6b463527-43d0-4ed2-bbcf-f4f59acdaaed/content>

Wingfield, S., Martínez-Moscoso, A., Quiroga, D., & Ochoa-Herrera, V. (2021). Challenges to Water Management in Ecuador: Legal Authorization, Quality Parameters, and Socio-Political Responses. *Water*, 13(8), Article 8.

<https://doi.org/10.3390/w13081017>

Zambrano Cuadro, N. G. (2015). *Desechos líquidos generados en el manejo de la fruta de banano y su incidencia en la contaminación de afluentes de agua en los cantones Quevedo, Buena Fe y Valencia. Año 2014. Plan de prevención control ambiental.* <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/4942>

ANEXOS

No.	Imagen / Ilustración / Fotografía	Nombre Descripción	o
<i>Anexo 1</i>		Muestra de cascara de cacao	
<i>Anexo 2</i>		Cúmulo en descomposición, Impacto al medio ambiente	
<i>Anexo 3</i>		Recolección de la muestra de cacao CCN 51	
<i>Anexo 4</i>		La cáscara de cacao CCN 51, cortada en trozos pequeños	

Anexo 5



Secado en mufla

Anexo 6



Triturado

Anexo 7



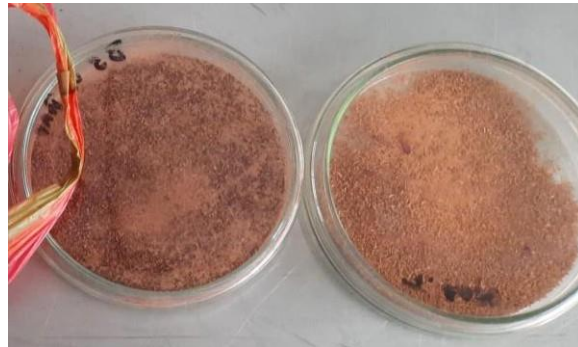
Pesado

Anexo 8



Separación y filtrado de la pectina

Anexo 9



Tamizado y obtención del biomaterial filtrante

Anexo 10



Bananera "la Joya"

Anexo 11



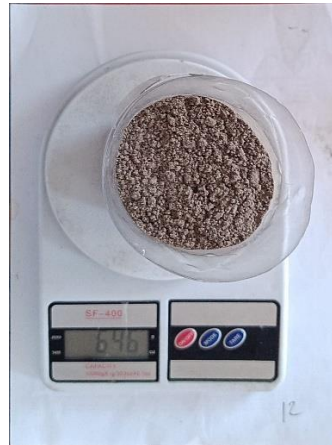
Estación de lavado

Anexo 12



Toma de muestra de agua

Anexo 13



Pesaje de la arena

Anexo 14



Pesaje de la piedra

Anexo 15



Pesaje de la grama

Anexo 16



Pesaje carbón
activado

Anexo 17



Materiales para
estructura del biofiltro

Anexo 18



Biofiltro armado

Anexo 19



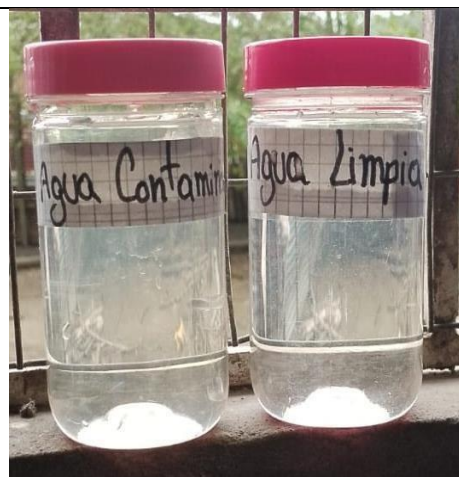
Análisis físico de
ambas aguas en
multiparamétrico

Anexo 20



Análisis final de las
aguas en el
multiparamétrico

Anexo 21



Muestras de agua
obtenidas de ambas
piscinas al finalizar
los tratamientos

Anexo 23

Programación estadística

Resolución de la programación T-STUDENT

```

1  Importar matplotlib.pyplot como plt
2  Importar Seaborn como SNS
3
4  # Cree un gráfico de barras que compare Los porcentajes de eliminación general y T1
5  plt . figura ( tamaño_de_figura = ( 12 , 6 ))
6  x = rango ( len ( df [ 'PAR \u00c1METRO' ] ))
7  ancho = 0,35
8
9  plt . bar ( x , df [ 'PORCENTAJE DE REMOCI \u00d3N T1' ] , ancho , etiqueta = 'Remoción T1' , col
10 plt . bar ([ i + ancho para i en x ] , df [ 'PORCENTAJE DE REMOCI \u00d3N' ] , ancho , etiqu
11
12 plt . xlabel ( 'Parámetros' )
13 plt . ylabel ( 'Porcentaje de eliminación' )
14 plt . title ( 'Comparación de porcentajes de eliminación por tratamiento' )
15 plt . xticks ([ i + ancho / 2 para i en x ] , df [ 'PAR \u00c1METRO' ] , rotación = 45 , ha
16 plt . leyenda ( )
17 plt . diseño_apretado ( )
18 plt . mostrar ( )
19
20 # Calcular e imprimir qué parámetros tuvieron la mejor remoción en cada tratamiento
21 imprimir ( "\
22 Las mejores tarifas de mudanza: " )
23 imprimir ( "\
24 Tratamiento T1:" )
25 mejor_t1 = df . loc [ df [ 'PORCENTAJE DE REMOCI \u00d3N T1' ] . idxmáx ( ) ]
26 imprimir ( f"Parámetro: { best_t1 [ 'PAR\u00c1METRO' ] } " )
27 print ( f"Porcentaje de remoción: { best_t1 [ 'PORCENTAJE DE REMOCI\u00d3N T1' ] * 100 : .2 f } %" )
28

```

Resolución de la programación Chi-cuadrado

```

1  Importar matplotlib.pyplot como plt
2  Importar Seaborn como SNS
3
4  # Cree un gráfico de barras que compare Los porcentajes de eliminación general y T1
5  plt . figura ( tamaño_de_figura = ( 12 , 6 ))
6  x = rango ( len ( df [ 'PAR \u00c1METRO' ] ))
7  ancho = 0,35
8
9  plt . bar ( x , df [ 'PORCENTAJE DE REMOCI \u00d3N T1' ] , ancho , etiqueta = 'Remoción T1' , col
10 plt . bar ([ i + ancho para i en x ] , df [ 'PORCENTAJE DE REMOCI \u00d3N' ] , ancho , etiqu
11
12 plt . xlabel ( 'Parámetros' )
13 plt . ylabel ( 'Porcentaje de eliminación' )
14 plt . title ( 'Comparación de porcentajes de eliminación por tratamiento' )
15 plt . xticks ([ i + ancho / 2 para i en x ] , df [ 'PAR \u00c1METRO' ] , rotación = 45 , ha
16 plt . leyenda ( )
17 plt . diseño_apretado ( )
18 plt . mostrar ( )
19
20 # Calcular e imprimir qué parámetros tuvieron la mejor remoción en cada tratamiento
21 imprimir ( "\
22 Las mejores tarifas de mudanza: " )
23 imprimir ( "\
24 Tratamiento T1:" )
25 mejor_t1 = df . loc [ df [ 'PORCENTAJE DE REMOCI \u00d3N T1' ] . idxmáx ( ) ]
26 imprimir ( f"Parámetro: { best_t1 [ 'PAR\u00c1METRO' ] } " )
27 print ( f"Porcentaje de remoción: { best_t1 [ 'PORCENTAJE DE REMOCI\u00d3N T1' ] * 100 : .2 f } %" )
28

```

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

