



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BIOFILTRO DE
CASCARILLAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y
ARROZ (*Oryza sativa*) PARA DEPURACIÓN DE AGUAS
RESIDUALES DE UNA PILADORA EN SANTA LUCÍA**

TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR
CAMPODONICO RIVERA MICHAEL CARLOS

TUTORA
ING. MONTOYA PIBAQUE VIVIANA ELIZABETH MSC

GUAYAQUIL – ECUADOR

2023



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Viviana Elizabeth Montoya Pibaque, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIOFILTRO DE CASCARILLAS DE CACAO (Theobroma cacao L.) Y ARROZ (Oryza sativa) PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PILADORA EN SANTA LUCÍA”**, realizado por el estudiante CAMPODONICO RIVERA MICHAEL CARLOS con cédula de identidad N° 0953234671 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Viviana Elizabeth Montoya Pibaque
TUTORA

Guayaquil, 15 de mayo del 2023



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
"DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ"
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN BIOFILTRO DE CASCARILLAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y ARROZ (*Oryza sativa*) PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PILADORA EN SANTA LUCÍA"**, realizado por el estudiante; CAMPODÓNICO RIVERA MICHAEL CARLOS, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Luis Morocho Rosero
PRESIDENTE

Ing. Diego Arcos Jácome
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Cristian Lara Basantes
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 15 de septiembre del 2023

Dedicatoria

Dedico este trabajo especialmente a Dios, quien me ha dado la vida para continuar en este camino, también se lo dedico a mis padres Benita y Mayke que sé lo mucho que se esforzaron para que no me faltara nada durante los años de mi carrera, también con mucho cariño a las personas que estuvieron conmigo desde el inicio; mis hermanos Camila y Luis Miguel; mis primos Anthony y Angie; mi querida Mima por siempre hacerme un sanduchito antes de ir a la Universidad; a mis tíos Javier, Rafael, Ligia, que siempre me apoyaron cuando se me quedaba algo o cuando tenía ferias; a mis grandes amigos de la carrera y de la vida, Génesis, Denisse y Rómulo; a mis docentes que me formaron en estos años y bueno a todos los que fueron parte de esta etapa de mi vida.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por la salud que me ha brindado en estos años a la Ing. Viviana Montoya por su orientación y consejos, y a cada uno de los docentes de la carrera Ingeniería Ambiental por contribuir a mi formación profesional.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, **CAMPODÓNICO RIVERA MICHAEL CARLOS**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BIOFILTRO DE CASCARILLAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y ARROZ (*Oryza sativa*) PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PILADORA EN SANTA LUCÍA**”, para optar el título de **INGENIERO AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 05 de octubre del 2023

CAMPODÓNICO RIVERA MICHAEL CARLOS
C.I. 0953234671

Índice General

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Agradecimiento.....	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras	14
Resumen	15
Abstract.....	16
1. Introducción.....	17
1.1 Antecedentes del problema	17
1.2 Planteamiento y formulación del problema	17
1.2.1 Planteamiento del problema.....	19
1.2.2 Formulación del problema.....	19
1.3 Justificación de la investigación	22
1.4 Delimitación de la investigación	23
1.5 Objetivo general.....	23
1.6 Objetivos específicos	23
1.7 Hipótesis	24
2. Marco teórico	25
2.1 Estado del arte.....	25

2.2 Bases teóricas	27
2.2.1 Residuos de las agroindustrias	27
2.2.1.1. Aguas residuales.	28
2.2.1.2. Aguas residuales industriales.	28
2.2.1.3. Parámetros físicos del agua.	29
2.2.1.3.1 Turbidez.....	29
2.2.1.3.2 Sólidos Suspendidos totales.....	29
2.2.1.4. Parámetros químicos del agua.	30
2.2.1.4.1 Potencial de hidrógeno (pH).	30
2.2.1.4.2 DBO ₅	30
2.2.1.4.3 DQO.	30
2.2.1.5. Cáscara de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).	31
2.2.1.5.1 Cultivo de cacao.....	31
2.2.1.5.2 Cultivo de cacao en Ecuador.	31
2.2.1.5.3 Cáscara de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	32
2.2.1.6. Cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>).....	33
2.2.1.6.1 Cultivo de arroz en Ecuador.....	33
2.2.1.6.2 Cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>).....	33
2.2.2 Filtración.....	34
2.2.2.1. Filtración lenta.	34
2.2.2.2. Filtración rápida.	34
2.2.2.3. Biofiltros.	35

2.2.2.4. Metales pesados.....	35
2.2.2.5. Compuestos orgánicos persistentes (COPs)	36
2.2.3 Disposición de los materiales orgánicos	37
2.3 Marco legal	38
3. Materiales y métodos	42
3.1 Enfoque de la investigación	42
3.1.1 Tipo de investigación.....	42
3.1.1.1. Investigación de campo y laboratorio.	42
3.1.1.2. Investigación experimental.	42
3.1.2 Diseño de investigación	43
3.2 Metodología	43
3.2.1 Variables	43
3.2.1.1. Variables independientes.....	43
3.2.1.2 . Variables dependientes.....	44
3.2.2 Tratamientos	44
3.2.3 Diseño experimental.....	45
3.2.4. Recolección de datos	47
3.2.4.1. Recursos.....	47
3.2.4.2. Métodos y técnicas.	49
3.2.4.2.1 Determinación de potencial de hidrogeno pH.	50
3.2.4.2.2 Determinación de Turbidez.....	50

3.2.4.2.3 Análisis de solidos suspendidos totales (SST).	51
3.2.4.2.4 Medición de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅).....	51
3.2.4.2.5 Medición de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	52
3.2.5 Análisis estadístico	54
4. Resultados	59
4.1 Análisis de las características bio-adsorbentes de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) y la cascarilla de arroz (Oryza sativa) mediante revisión bibliográfica.....	59
4.1.1 Cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) como bio-adsorbente..	61
4.1.2 Cascarilla de arroz (Oryza sativa) como bio-adsorbente.....	61
4.2 Diseño a escala piloto un biofiltro a base de cascarilla de arroz (Oryza sativa) y cáscara de cacao (Theobroma cacao L.).	62
4.2.1 Esquematización de los biofiltros	68
4.3 Determinación de las capacidades bio-adsorbentes a partir de los materiales utilizados en el biofiltro en base a los resultados obtenidos y la comparación con los parámetros de descarga.	71
4.3.1 Porcentajes de remoción y determinación de los resultados obtenidos	73
4.3.1.1. Determinación del potencial de hidrogeno.....	74
5. Discusión	83
6. Conclusiones	85
7. Recomendaciones	87

Bibliografía.....	88
-------------------	----

Anexos.....	96
-------------	----

Índice de tablas

Tabla 1. Tratamientos propuestos.....	44
Tabla 2. Diseño experimental.....	45
Tabla 3. Recursos utilizados para la implementación del biofiltro	48
Tabla 4. Tabla ANOVA para las variables dependientes	56
Tabla 5. Esquema de análisis de varianza (ANOVA)	56
Tabla 6. Comparativa de la composición química de la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz	59
Tabla 7. Comparativa de la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz.....	60
Tabla 8. Parámetro de diseño	67
Tabla 9. Esquema de los biofiltros	71
Tabla 10. Valores iniciales del agua cruda (Testigo) con los tratamientos planteados.....	72
Tabla 11. Porcentaje de remoción de los parámetros planteados.	73
Tabla 12. Determinación del pH.....	74
Tabla 13. Análisis de la varianza del porcentaje de remoción por tratamientos en turbidez.....	76
Tabla 14. Análisis de la Varianza (SC tipo III)	76
Tabla 15. Test:Tukey para la remoción de turbidez	76
Tabla 16. Análisis de la varianza de determinación por tratamientos en pH	77
Tabla 17. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)	77
Tabla 18. Test:Tukey para la determinación de pH.....	78
Tabla 19. Análisis de la varianza del porcentaje de remoción por tratamientos en SST	78
Tabla 20. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)	79

Tabla 21. Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones	80
Tabla 22. Comparación con los límites descarga en cuerpos de agua dulce AM 097A Tabla 9 en los tratamientos en base a los parámetros: DBO ₅ , DQO, SST, Turbiedad, pH.....	81
Tabla 23. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce	97
Tabla 24. Porcentaje de remoción de Turbidez.....	104
Tabla 25. Determinación del pH.....	105
Tabla 26. Porcentaje de remoción de SST	105
Tabla 27. Porcentaje de remoción de DBO.....	106
Tabla 28. Porcentaje de remoción de DQO	106
Tabla 29. Límites descarga en cuerpos de agua dulce AM 097A Tabla 9 en el tratamiento T1 (100% cacao)	107
Tabla 30. Límites descarga en cuerpos de agua dulce AM 097A Tabla 9 en el tratamiento T2 (100% arroz).....	107
Tabla 31. Límites de descarga en cuerpos de agua dulce AM 097A Tabla 9 en el tratamiento T3 (50% cacao + 50 % arroz)	108

Índice de figuras

Figura 1. Ilustración del biofiltro para el Tratamiento 1	69
Figura 2. Ilustración del biofiltro para el Tratamiento 2	69
Figura 3. Ilustración del biofiltro para el Tratamiento 3	70
Figura 4. Valores obtenidos de Turbiedad	72
Figura 5. Valores obtenidos de DQO	72
Figura 6. Valores obtenidos de SST	72
Figura 7. Valores obtenidos de DBO_5	72
Figura 8. Mapa de Piladora Industria La Maná	96
Figura 9. Especificaciones técnicas del diseño del biofiltro.....	100
Figura 10. Uso del biofiltro recolectando muestras	108
Figura 11. Recolección de muestras previo análisis	109
Figura 12. Muestras filtradas.....	109
Figura 13. Ensayo de turbidez	110
Figura 14. Materiales empleados para prueba de SST	110
Figura 15. Ensayo de SST	111
Figura 16. Análisis de laboratorio de DBO_5 y DQO	111

Resumen

Las aguas residuales que se generan en la industria alimentaria, especialmente en la producción de arroz, constituyen un grave problema ambiental. Esto se debe a que se vierten en fuentes naturales de agua, estos desechos son particularmente problemáticos debido a su alta concentración de materia suspendida y su carga orgánica significativa, en especial en América Latina y en nuestro país Ecuador. Por esta razón el objetivo de este estudio se basó en implementar biofiltros con cascarillas de cacao y arroz para la depuración de aguas residuales para estar dentro de los límites permisibles de descarga en un cuerpo de agua dulce para cumplir la normativa ambiental del Acuerdo Ministerial 097 A – ANEXO 2, en una piladora de Santa Lucía, los análisis incluyeron los siguientes parámetros: DBO₅, DQO, SST y Turbidez. Por lo tanto se desarrollaron tres biofiltros para analizar sus eficiencias, en el primer biofiltro se utilizó como lecho filtrante la cáscara de cacao, en el segundo se empleó la casacarilla de arroz y en el último se realizó una combinación de los dos lechos filtrantes mencionados, después de los análisis respectivos el primer biofiltro obtuvo los mejores resultados de eficiencia respecto a los otros tratamientos mencionados con los siguientes datos promedios SST: 124,33 PPM, DBO₅: 23,3 mg/l, DQO: 59 mg/l, Turbidez: 4,2 NTU, finalmente todos los tratamientos lograron reducir sus respectivos parámetros establecidos, aplicando la misma metodología usada en los ensayos precedentes y estar dentro de los límites máximos permisibles, para su respectiva descarga en comparación de la muestra testigo.

Palabras claves: Arroz, Biofiltros, Cacao, Contaminantes, Reducción.

Abstract

The wastewater generated in the food industry, especially in rice production, represents a serious environmental problem. This is because it is discharged into natural water sources, and these wastes are particularly problematic due to their high concentration of suspended matter and significant organic load, especially in Latin America and in our country, Ecuador. Therefore, the objective of this study was to implement biofilters with cocoa and rice husks to purify wastewater, meeting the permissible discharge limits into a freshwater body, in accordance with the environmental regulations of Ministerial Agreement 097A - Annex 2, at a rice mill in Santa Lucia. The analysis included the following parameters: BOD₅, COD, TSS, and Turbidity. Thus, three biofilters were developed to analyze their efficiencies. The first biofilter used cocoa husk as the filter bed, the second used rice husk, and the last used a combination of the two filter beds mentioned above. After respective analysis, the first biofilter achieved the best efficiency results compared to the other treatments mentioned, with the following average data: TSS: 124.33 PPM, BOD₅: 23.3 mg/l, COD: 59 mg/l, Turbidity: 4.2 NTU. Finally, all treatments achieved a reduction in their respective parameters (BOD₅, COD, TSS, and Turbidity), applying the same methodology used in the previous trials, and staying within the maximum permissible limits for discharge, compared to the control sample.

Keywords: Rice, Biofilters, Cocoa, Contaminants, Reduction.

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

Acorde con la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2018) es ampliamente reconocido que el agua es un recurso natural extremadamente significativo, esencial para el avance y la supervivencia de la humanidad, desempeñando un papel protagónico en el desarrollo sostenible. Además, actúa como un elemento vital en la interacción entre el entorno natural y la sociedad (ONU, 2018).

Este recurso extremadamente importante está limitado por varios factores, uno de los cuales son su distribución desigual. Como es ampliamente conocido, la mayor parte del agua en la Tierra, aproximadamente un 97,50 %, se encuentra en océanos y mares con alta concentración de sal, dejando únicamente un 2,50 % como agua dulce. De este pequeño porcentaje, alrededor del 0,50 % se encuentra almacenado en depósitos subterráneos y solo un 0,010 % en ríos y lagos, lo que pone de manifiesto la escasez del recurso de agua dulce. Además, el crecimiento de la población es un factor crítico que conlleva a un aumento en la demanda y contaminación de este recurso vital. (Fundación del agua [AQUAE], 2019).

El agua es fundamental en el bienestar y desarrollo de las personas. En América Latina, existe una abundancia relativa de recursos hídricos en comparación con su población. A pesar de esta ventaja, aún persisten desafíos debido a las brechas en la provisión de servicios de saneamiento y agua potable, lo que indica que todavía hay problemas por resolver en esta área (Fernández, 2018).

En el año 2018, de acuerdo con el reporte presentado por la ONU “se prevé que la escasez de agua aumente considerablemente en 2050. A lo largo de la década de 2010, el 27 % de la población mundial vivían en áreas con una escasez de agua potencialmente grave y podría aumentar a entre 4800 y 5000 millones de personas en 2050”.

El informe menciona que las extracciones de riego son una de las causas principales de que las aguas subterráneas se estén agotando. Además, se estima que para el año 2050, aproximadamente se extraerá alrededor del 39,02 % de los niveles actuales de agua subterránea (García, 2019).

El agua contaminada se vuelve un problema más grave en países con ingresos donde son bajos y medios, las ciudades grandes o medianas carecen de plantas de tratamiento y los ríos contaminados permanecen sin limpiar, afectando a las comunidades cercanas y ocasionando daños a los recursos naturales, como la fauna y flora que se encuentran en su trayecto hacia el océano. Estos problemas han sido reportados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, se estima que 1.400 millones de libras de residuos acaban en los océanos anualmente. Esto resulta en la contaminación de los océanos con metales pesados, productos químicos, medicamentos, insecticidas, sustancias radiactivas y otros contaminantes solubles en agua (Gómez, 2018).

Ecuador, una nación con abundantes recursos hídricos, enfrenta desafíos asociados a la interacción humana con el ambiente, que incluyen problemáticas referentes a la contaminación del agua, suelo y aire. Estas cuestiones tienen un impacto directo en temas como la inseguridad alimentaria, la pobreza y la pérdida de la fauna y flora nativa (Antúñez y Guanoquiza, 2018).

De acuerdo con estimaciones, aproximadamente el 80% de aguas residuales en todo el mundo son liberadas al medio ambiente sin recibir algún tipo de proceso de tratamiento. Esta situación tiene consecuencias alarmantes, debido a que el agua contaminada en la mayoría de los ríos continúa empeorando, y ha resultado en la lamentable pérdida de más de 800.000 vidas alrededor del mundo por el consumo de agua potable contaminada, especialmente en áreas donde no existen instalaciones adecuadas para el tratamiento del agua (ONU, 2017).

En América Latina, resulta esencial implementar sistemas adecuados de manejo de aguas residuales para reducir los riesgos de enfermedades relacionadas con la contaminación de este recurso natural, y también para cumplir con los objetivos del desarrollo sostenible, que buscan mejorar considerablemente la calidad de vida de la población. A lo largo de la última década, se han evidenciado grandes logros respecto a avances significativos en el tratamiento que reciben las aguas residuales en la región, aunque aún no se ha alcanzado una efectividad del 100%. Esta situación ocurre en gran medida a la aplicación insuficiente de las disposiciones pertinentes. por parte de algunos países o a estar involucrados en casos de corrupción.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El agua desempeña un papel fundamental en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), debido a que es un recurso indispensable para el bienestar y el avance de la vida. Sin embargo, lamentablemente, no todos los habitantes del planeta disfrutan de estos derechos básicos (ONU, 2015). Incluso en aquellos países donde el acceso al agua está presente, aún persiste la necesidad de

implementar políticas más estrictas que fomenten un uso responsable y sostenible de este recurso vital.

Actualmente uno de los mayores riesgos que sufre el mundo con respecto a las fuentes de aguas de las cuales se benefician la población mundial, es la que tiene relación con la contaminación que se genera por medio de las aguas residuales que surgen desde los domicilios o desde las grandes industrias.

En palabras de Sánchez y García (2018) afirman que, en las zonas rurales de América Latina, los sistemas de tratamiento de aguas residuales se basan principalmente en tecnologías tradicionales como las fosas sépticas, sin embargo, estos sistemas no pueden tratar eficazmente los índices de biodegradación por debajo de 0,4, medidos por la relación DBO_5/DQO . Estos valores indican la presencia de contaminantes de difícil degradación. En muchos casos, estos contaminantes están asociados a la introducción de aguas residuales industriales (p.1).

Este tipo de agua se vierten en la superficie por medio de los grandes sistemas de alcantarillados que cuentan las ciudades en el mundo, las aguas residuales de carácter domésticas constan de principalmente: aguas de lavandería con alta carga de tensoactivos al momento de usar diversos detergentes, materia orgánica proveniente de las aguas del servicio higiénico y sólidos que se filtran por accidente o de manera intencionada en los domicilios; los desechos que generan las industrias según su actividad son de muy alta variedad debido a los procesos específicos que las plantas de las que proceden en origen. Cuando los países no tienen leyes estrictas con respecto a la descarga de aguas residuales industriales, muchas industrias utilizan estos vacíos legales para liberar

directamente sobre los cuerpos de aguas más cercanos sean ríos, lagos, mares, etc.

Es crucial comprender la importancia de tratar adecuadamente este tipo de aguas antes de verterlas nuevamente en los cuerpos de agua naturales. Implementar diversas medidas de control y un manejo adecuado es fundamental para reducir la contaminación que se genera.

A pesar de las dificultades mencionadas anteriormente, cerca del 80 % de la población urbana de la región tiene acceso a servicios mejorados de saneamiento. Sin embargo, aproximadamente el 40% de estos servicios no se encuentran conectados al sistema de alcantarillado (Banco de Desarrollo de América Latina y El Caribe [CAF], 2016).

El recurso hídrico se ha visto fuertemente afectado por sustancias más agresivas y de difícil manejo por su naturaleza química de las sustancias contenidas en los desechos que caen al cauce. Por esta razón, diversas agencias gubernamentales se han interesado en evaluar el impacto sobre el recurso hídrico a través del estudio de la naturaleza biológica, química y física del agua, a través de programas

Hasta el año 2019, en Ecuador se registraron un total de 1.184 fuentes de captación de agua. De este número, el 55 % son fuentes subterráneas 45 % corresponden a fuentes superficiales, mientras que el 45 % corresponden a fuentes superficiales. Estas fuentes incluyen pozos profundos, vertientes, quebradas, ríos y arroyos, destacándose como las más relevantes dentro del registro.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia en la aplicación de un biofiltro a base de cascarillas de cacao y arroz en la depuración de aguas residuales de la industria del arroz?

1.3 Justificación de la investigación

El recurso del agua es uno de los temas con mayor importancia debido a que trae a discusión por todas las comunidades, especialmente en la comunidad científica, debido a que existen ciudades a nivel mundial las cuales tienen una gestión inadecuada al descargar sus aguas residuales a los cuerpos receptores.

Se realiza la investigación porque en la actualidad el problema de las aguas residuales es muy agravante para la sociedad debido a que el mayor porcentaje de estos tipos de aguas, de carácter industrial, por lo general se las descarga al cuerpo receptor más cercano con un mal tratamiento de las mismas a pesar de que exista la infraestructura, el problema es debido a que esta infraestructura no cumple con el objetivo principal como es de tratar el agua para que cumpla con los límites permisibles del Acuerdo 097-A (ver Anexo 2).

La implementación del biofiltro permitirá obtener resultados y generar conclusiones de suma importancia para la comunidad científica debido a que pueden ser aplicados para diferentes propósitos dependiendo de las necesidades de la investigación, puesto que producen datos confiables y verificables.

Debido a esto se trata de buscar alternativas que la misma naturaleza nos provee y es por ello que con los posteriores análisis que se realizarán con las especies de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.), se podrá demostrar sus capacidades como bioadsorbentes y darles más utilidad considerando que Ecuador es un país rico en estas dos especies de

cultivos, en muchas ocasiones las cáscaras de estos productos son desechados, realizando su análisis se podrán obtener resultados de eficiencia para la remoción de contaminantes.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Cantón Santa Lucia: E 612898, N 9810521 (ver Anexo 1)
- **Tiempo:** En un periodo de cuatro meses comprendido desde junio a septiembre.
- **Población:** 45.004 habitantes en el cantón Santa Lucia, acorde a los datos (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010).

1.5 Objetivo general

Implementar un biofiltro a escala piloto mediante la utilización de cascarillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) y arroz (*Oryza sativa*) para la reducción de carga de materia orgánica de aguas residuales, enfocado en la reducción de DBO₅, DQO, SST y Turbidez en una piladora de Santa Lucia.

1.6 Objetivos específicos

- Analizar las características bioadsorbentes de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) y la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) mediante revisión bibliográfica.
- Diseñar a escala piloto un biofiltro a base de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.).
- Determinar las capacidades bioadsorbentes de los materiales utilizados en el biofiltro mediante la comparación de los resultados con el AM 097A.

1.7 Hipótesis

La implementación del biofiltro a base de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) y arroz (*Oryza sativa*) es capaz de reducir la carga de contaminantes concretamente DBO₅, DQO, Turbidez y SST.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Esta investigación realizada por Guerra, Cabrera y Salazar (2018) el estudio se centró en el tratamiento de aguas residuales de la producción de queso en el Estado de Guano, Provincia de Chimborazo. El objetivo principal de este estudio fue reducir el impacto ambiental de las aguas residuales generadas durante la producción de queso. Para lograrlo, se adoptó una metodología para el diseño y construcción de una Planta Prototipo de Tratamiento de Aguas Residuales (EDAR) basada en el proceso de lodos activados. Los resultados del estudio indicaron que este sistema logró reducir el DBO₅ con una eficiencia del 99.7 %.

Al igual que en la investigación realizada por Cedeño y Ayón (2020), en la cual trataron aguas residuales proveniente de un camal municipal de Manta, mediante un biofiltro a bases de cáscara de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y coco (*Cocos nucifera*), el objetivo fue dar solución para el tratamiento de las aguas residuales. Se llevó a cabo una evaluación de la eficacia de los residuos de las especies mencionadas utilizando carbón activado como filtro. Los resultados mostraron que los filtros que contenían la cascarilla de arroz y cáscara de coco como residuos lograron una mayor remoción de los parámetros en comparación con los filtros que usaron carbón activado.

Por consiguiente para Puacar (2021), en su estudio para analizar cómo la carga hidráulica y orgánica afectan la eliminación de contaminantes de las aguas residuales en un biofiltro con carbón vegetal, el investigador llevó a cabo tres etapas. Primero, se diseñaron e instalaron los biofiltros. Luego, se tomaron muestras de datos para su análisis. Por último, se realizó el tratamiento y se obtuvo como resultado que la carga orgánica juega un papel crucial al

proporcionar alimento para el crecimiento del biofiltro, lo que a su vez tiene un mayor efecto en la eliminación de los contaminantes. El estudio respalda estas teorías al demostrar su aplicabilidad en un biofiltro con carbón vegetal.

De forma similar Jurado y Suntaxi (2020), determinó la evaluación de un biofiltro a base de la cáscara de banano para tratar aguas residuales provenientes del lavado y tinturado de jeans en la ciudad de Quito, en este estudio, se examina la utilidad de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) como agente de tratamiento para aguas residuales, enfocándose en la eliminación de DQO y color aparente. El proceso incluyó el acondicionamiento y secado de la cáscara de banano. Los resultados mostraron que el biofiltro con partículas de mayor tamaño y una altura más alta del lecho filtrante logró las mejores eficiencias en la eliminación de DQO y color aparente.

Finalmente Zambrano (2019), este estudio evaluó la eficiencia de un biofiltro para la remoción de sólidos de residuos de cultivos de maíz (*Zea mays*) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en la comunidad de San Antonio, estado de Chone. El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia de biofiltros para el tratamiento de aguas residuales de granjas camaroneras medianas. Se creó una unidad experimental con 4 tratamientos diferentes. Debido a las condiciones físicas encontradas, las propiedades del agua remanente permiten el uso de biofiltros. Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, y se informó que el tratamiento 4 a base de cacao y maíz tuvo la mayor eficiencia en la eliminación de la turbidez (95 %), el total de sólidos disueltos (25 %) y el total de sólidos en suspensión (84 %).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Residuos de las agroindustrias

Residuos o subproductos generados durante cualquier proceso de fabricación y que normalmente no se utilicen posteriormente como materias primas para la cadena productiva, Ejemplos de estos materiales incluyen productos en estado sólido o líquido derivados del consumo de materias primas o de su proceso de industrialización. Cada subsector de la agricultura produce residuos específicos. La mayoría de ellos tienen propiedades óptimas para su uso en otra línea de producción o como alternativa al tratamiento o recuperación de determinados medios contaminados (Vargas y Pérez, 2018).

Ahora la mayor parte de la economía se ha trasladado de la agricultura a la industria., está claro que una gran parte de los impactos ambientales causados por factores antropogénicos son causados por estas actividades. Esto se atribuye a varios factores, los más importantes como el consumo significativo de recursos naturales para la producción, el impacto ecológico del producto y la contaminación causada por la descarga de residuos al medio ambiente.

Los desechos agroindustriales a menudo consisten en partes no comestibles, los llamados subproductos. Hoy en día, existen enormes cantidades de subproductos que se desechan, causando enormes problemas económicos al contaminar el medio ambiente. Teniendo en cuenta el crecimiento de la población mundial y la desaparición de las materias primas, y una amenaza real en la contaminación de diversos medios, no es sorprendente que esté aumentando la conciencia sobre las necesidades de conservación y reutilización de materiales que se tratan como desechos. Las cáscaras de cacao (*Theobroma*

cacao L.) son solo uno de los ejemplos de subproductos con componentes bioactivos de alto valor.

En los últimos años, se ha dedicado una atención considerable al estudio de la aplicación de materiales agrícolas como adsorbentes. Los materiales naturales tienen las ventajas de estar presentes en grandes cantidades, tener un bajo costo y buena capacidad de adsorción. Son siempre los materiales no utilizados, pero tienen un alto potencial para ser utilizados como adsorbentes para la eliminación de diversos tipos de contaminantes.

2.2.1.1 Aguas residuales.

La composición de estas aguas puede variar significativamente debido a varios factores que la afectan. Estos factores incluyen el consumo promedio de agua por persona por día y los hábitos alimenticios, que afectan su composición química. Por lo general, las aguas residuales están compuestas en un 99,9% de agua, mientras que el restante corresponde a sólidos. Los residuos sólidos contienen minerales y materia orgánica. Los minerales pueden provenir de subproductos liberados en la vida diaria y del suministro de agua. En cuanto a la materia orgánica, esta se origina exclusivamente a partir de la actividad humana y está compuesta por carbono, proteínas y grasas (Villanueva, et al., 2013).

2.2.1.2 Aguas residuales industriales.

Las aguas residuales industriales se generan a partir de actividades industriales. La variedad de aguas residuales industriales puede ser muy grande (agua de limpieza, agua de limpieza, agua de refrigeración, etc.) porque pueden contener impurezas muy diferentes. La mayoría de los procesos industriales utilizan agua de una forma u otra, después de ser utilizada, esta agua debe someterse a un proceso de tratamiento antes de ser liberada, ya sea para ser

devuelta al medio ambiente o vertida en el sistema de alcantarillado (Sánchez y García, 2018).

2.2.1.3 Parámetros físicos del agua.

2.2.1.3.1 Turbidez

La turbidez es una característica ampliamente adoptada como criterio de calidad del agua, tanto en suministros como en procesos de filtración y sistemas de distribución, debido a que es una característica rápida, económica y de fácil comprensión para el operador (Montoya, Loaiza, Torres, Cruz y Escobar, 2011).

La turbidez es una medida que refleja la cantidad de sustancias coloidales, minerales u orgánicas presentes en el agua, lo que puede indicar posibles niveles de contaminación. Además, La alta turbidez protege a los microorganismos de la esterilización, estimula el crecimiento bacteriano y aumenta la necesidad de cloro. Por lo tanto, la presencia de turbidez en el agua se asocia con una posible amenaza para la salud humana debido a factores microbianos (Martínez, Mendoza, Medrano, Gómez y Zafra, 2020).

2.2.1.3.2 Sólidos Suspendidos totales.

Los sólidos suspendidos totales (SST) son una medida de la cantidad de materia sólida presente en el agua que se encuentra en suspensión, es decir, no se ha disuelto completamente en el líquido y se mantiene en forma de partículas sólidas en suspensión. Estas partículas pueden incluir diversos elementos, como materia orgánica, sedimentos, microorganismos, arena, arcilla, y otros materiales suspendidos (Ruiz, 2017).

2.2.1.4 Parámetros químicos del agua.

2.2.1.4.1 Potencial de hidrógeno (pH).

Según palabras de Osorio (2012) El pH es una propiedad química que mide qué tan ácida o básica es una solución acuosa. El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia o solución acuosa. Es una escala logarítmica de 0 a 14, siendo un pH de 7 considerado neutro, valores menores de 7 ácidos y valores mayores de 7 alcalinos. El pH es un parámetro importante en muchas áreas de la ciencia y la tecnología. La medición y el control adecuados de los sistemas naturales y artificiales son necesarios para mantener el equilibrio y proteger la salud humana y el medio ambiente.

2.2.1.4.2 DBO₅.

Para Castillo y Becerra (2020) la DBO₅ o demanda biológica de oxígeno es un parámetro utilizado para medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer la materia orgánica en una muestra de agua durante 5 días a 20 °C. Un objetivo importante es evaluar la calidad del agua y el contenido de contaminantes orgánicos en ella. A mayor DBO₅, mayor carga de materia orgánica y mayor impacto ambiental sobre el ecosistema acuático.

2.2.1.4.3 DQO.

La DQO (Demanda Química de Oxígeno) es un parámetro utilizado para medir la cantidad de materia orgánica y algunas sustancias inorgánicas que pueden ser oxidadas químicamente en una muestra de agua. A diferencia de la DBO₅, la DQO no depende de la actividad de microorganismos y se lleva a cabo en un corto periodo de tiempo, generalmente de 2 a 3 horas. La DQO es un indicador de la carga total de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua y

proporciona información sobre la cantidad de oxígeno necesario para oxidar estas sustancias. Es una herramienta valiosa en el análisis de la calidad del agua y la evaluación del impacto de las sustancias contaminantes en el medio ambiente acuático. La principal ventaja del DQO es la velocidad, algo más de dos horas, mientras que el DBO₅ tarda 5 días (Valente, Padilha y Silva, 1997).

2.2.1.5 Cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.).

2.2.1.5.1 Cultivo de cacao.

El cacao es uno de los cultivos alimentarios de crecimiento más lento desde un punto de vista tecnológico e industrial. Quizás una de las razones sea su carácter muy pequeño y la incompatibilidad genética que lo ha hecho así (Larrea, 2015).

El cacao tarda solo tres años en comenzar a producir y se puede cultivar en cualquier tipo de suelo, desde franco arenoso hasta arcilloso pesado. Cuando usamos cacao en nuestras parcelas, aseguramos la protección de los recursos del suelo porque reduce la erosión y proporciona nutrientes al suelo, ayuda en la permeación, protege y restaura los recursos, responde perfectamente a los fertilizantes orgánicos y cuando se maneja con técnicas agrícolas. El medio ambiente reduce la vulnerabilidad y se adapta mejor al cambio climático (Estrada, Romero y Moreno, 2016).

2.2.1.5.2 Cultivo de cacao en Ecuador.

En las décadas de 1980 y 1990, el cultivo de cacao en Ecuador tuvo un papel significativo en la economía y sociedad del país. Desde el período de independencia, el cacao fue una de las principales fuentes de financiamiento, convirtiéndose en el pilar económico para la mayoría de la población al servir

como fuente de empleo tanto directa como indirectamente (El Salous, Martillo y Martinez, 2020).

El cacao es una planta que perdura durante varias temporadas y presenta 20 cromosomas, además de tener un proceso de polinización cruzada (alógama). Su reproducción puede llevarse a cabo de forma sexual mediante semillas o de forma asexual mediante ramas.

El crecimiento del árbol del cacao y su desempeño está íntimamente relacionado con las condiciones ambientales del lugar donde se cultiva. Por ello, los factores climáticos inciden en la producción de las plantaciones, y por ello, las condiciones de calor, humedad y luz deben ser óptimas para el cultivo del cacao. El período de floración, brotación y cosecha está determinado por el clima. Debido a estos factores, es importante establecer un calendario agroclimático para el crecimiento óptimo de los cultivos (El Salous et al., 2020).

Ahora bien, de acuerdo con Llorca et al. (2012) a lo largo de la historia económica de Ecuador, el cultivo de *Theobroma cacao* L., especialmente la variedad de cacao nacional de sabor fino, ha sido de gran relevancia. Según Sánchez et al. (2019), en América, el cacao se ha cultivado desde México hasta Brasil. Brasil es el país con la mayor cantidad de hectáreas sembradas, representando el 40 % del total en la región, mientras que Ecuador ocupa el segundo lugar con un 24 % de las hectáreas sembradas.

2.2.1.5.3 Cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.).

La cáscara del cacao, como muchos otros residuos, contiene una gran cantidad de fibras (celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina), que juegan un papel crucial en la retención de iones metálicos y diversos contaminantes en el

medio acuático. Debido a sus bajos costos de implementación y mantenimiento, el cacao se considera una alternativa viable para su uso como adsorbente en sistemas de biofiltración (Lara, Tejada, Villabona y Arrieta, 2016).

“La cáscara de cacao (CDC) es el residuo más abundante del proceso de producción del cacao y representa el 75 % del peso total de la fruta. Los productores lo consideran un subproducto indeseable y lo dejan descomponerse en el campo y conforme con la información del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) esos desechos de cacao se han utilizado mínimamente en la industria alimentaria” (Zavala, Pritell, Verastegui y Ramirez, 2021).

2.2.1.6 Cascarilla de arroz (*Oryza sativa*).

2.2.1.6.1 Cultivo de arroz en Ecuador.

En Ecuador, el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) es fundamental para la alimentación y forma parte esencial de la dieta de los ecuatorianos. Es el tipo de cultivo más extendido y ocupa más de un tercio de la superficie cultivada. A pesar de las tierras adecuadas debido a las condiciones climáticas favorables, el rendimiento promedio fue de 4,35 toneladas por año. hectáreas, que es un indicador bajo en comparación con otros países de la región; la principal causa es el uso de variedades infectadas y el uso limitado de variedades certificadas, entre otros factores (Pérez, Rodríguez y García, 2018).

2.2.1.6.2 Cascarilla de arroz (*Oryza sativa*).

La cascarilla de arroz ha sido reconocida como un material económico y efectivo para eliminar diferentes contaminantes, especialmente colorantes y metales pesados, gracias a sus propiedades fisicoquímicas. Además, su manejo y acceso son sencillos, lo que destaca su utilidad como un residuo fácil de utilizar, porque al utilizarlo en el proceso de descontaminación se solucionan

directamente dos problemas ambientales, considerando que se utiliza el envase, aplicación y tratamiento y se eliminan contaminantes de alto impacto donde hay presencia de agua. Así lo demuestran los numerosos estudios que se han desarrollado en este ámbito y con este material (Llanos, Ríos, Jaramillo y Rodríguez, 2016).

2.2.2 Filtración

La filtración implica la separación de coloides y partículas suspendidas en suspensión acuosa utilizando un medio poroso. Su principal objetivo es separar partículas y microorganismos que no hayan sido retenidos en procesos de depuración previos, como la coagulación y la sedimentación. Para describir el proceso de filtración, puede haber diferentes formas de hacerlo, según su carga superficial (filtro lento o rápido), medio filtrante (poroso o particulado), su sentido de flujo va, hacia abajo o hacia arriba y finalmente su, porque puede ser creado por gravedad o presión (Hernández y Tautiva, 2020).

2.2.2.1 Filtración lenta.

La filtración lenta en arena es una tecnología de tratamiento de agua adecuada donde la mano de obra calificada es limitada, costosa y donde se requieren grandes áreas para instalar estos sistemas. Estos son algunos de los beneficios clave inherentes y lo hacen posible para países y comunidades con bajos presupuestos de operación y mantenimiento (Blacio y Palacios, 2011).

2.2.2.2 Filtración rápida.

En el proceso de filtración rápida, se utiliza comúnmente arena y grava como medio filtrante, actuando como soporte para retener partículas grandes en la capa superior del filtro debido a la gravedad a alta velocidad. Estos materiales son principalmente empleados en áreas con una alta carga superficial, ya que

permiten la separación de partículas relativamente grandes. Es importante considerar las características del agua para diseñar un filtro multicapa, con dos o más capas de diferentes materiales de filtración y condiciones. En comparación con otras tecnologías a alta velocidad, este tipo de filtración es amigable con el medio ambiente (Cánepa, 2010).

2.2.2.3 Biofiltros.

Un biofiltro se define como una alternativa fácil de usar al tratamiento del agua, que se compone de diferentes capas de filtro de materiales orgánicos e inorgánicos. Los biofiltros fabricados con materiales lignocelulósicos poseen la capacidad de separar contaminantes, lo que los hace útiles en el tratamiento de aguas residuales para eliminar tanto la materia orgánica como la inorgánica (Zambrano, 2019).

2.2.2.4 Metales pesados

Los metales pesados son contaminantes comunes en los efluentes industriales y son altamente tóxicos para el medio ambiente y la salud humana. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2019), los metales pesados son considerados elementos naturales que no se pueden destruir ni descomponer. Tanto en el medio ambiente como en los organismos vivos, pueden acumularse y aumentar el riesgo de efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente.

En cuanto a los metales pesados, la cascarilla de cacao y la cascarilla de arroz han demostrado ser efectivas en la remoción de algunos metales tóxicos como:

- Plomo: un metal pesado tóxico que puede causar daño a los sistemas nervioso, cardiovascular y reproductivo.

- Cadmio: un metal pesado tóxico que puede causar daño a los riñones y otros órganos.
- Mercurio: un metal pesado tóxico que puede causar daño a los sistemas nervioso y reproductivo.

2.2.2.5 Compuestos orgánicos persistentes (COPs)

Los Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs) son sustancias químicas orgánicas que son altamente resistentes a la degradación natural en el medio ambiente, lo que los hace persistentes y bioacumulativos. Muchos de estos contaminantes se encuentran comúnmente en las aguas residuales industriales, lo que representa un grave problema ambiental y de salud pública (Kumar y Yadav, 2019).

En cuanto a los compuestos orgánicos persistentes (COPs), se ha demostrado que la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz son efectivas en la eliminación de algunos compuestos, incluyendo:

- Bisfenol A (BPA): un compuesto orgánico utilizado en la fabricación de plásticos y que puede ser perjudicial para la salud humana.
- Clorobenceno: un compuesto orgánico utilizado en productos químicos industriales y que puede ser tóxico para la salud humana y el medio ambiente.

Se ha demostrado que la cáscara de cacao es efectiva en la eliminación de algunos colorantes artificiales, incluyendo el rojo 40 y el amarillo 5. La cascarilla de arroz también se ha utilizado en la eliminación de colorantes y se ha demostrado que es efectiva en la eliminación de algunos colorantes naturales, como los carotenoides (Wang, Cheng y Li, 2021).

Es importante tener en cuenta que la eficacia de la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz en la eliminación de metales pesados, colorantes y COPs

puede variar según el tipo y la concentración de estos compuestos en el líquido. Además, la eficacia de estos materiales filtrantes puede disminuir con el tiempo debido a la acumulación de partículas y compuestos en el filtro. Por lo tanto, es importante evaluar regularmente la eficacia de estos materiales filtrantes y, si es necesario, reemplazarlos con materiales filtrantes más efectivos.

2.2.3 Disposición de los materiales orgánicos

Los biofiltros, utilizados en el tratamiento de aguas residuales y gases, tienen como finalidad eliminar materia orgánica y otros contaminantes. En los biofiltros, se emplean sustancias orgánicas como sustrato para el desarrollo de microorganismos que descomponen los elementos contaminantes que se encuentran en el agua o en el gas.

La disposición de los materiales orgánicos en los biofiltros es un factor importante para asegurar un rendimiento óptimo en la eliminación de contaminantes. Según un estudio publicado en la revista "Water Research", "la selección de materiales orgánicos adecuados para su uso en biofiltros depende de varios factores, como la disponibilidad local, la capacidad de soporte de carga, la densidad aparente, la porosidad y la capacidad de retención de humedad" (Jiang, Dong, Wu y Yang, 2020).

Entre los materiales orgánicos utilizados comúnmente en los biofiltros se incluyen restos de madera, turba, astillas de coco, cascarilla de arroz, compost y restos de poda. Estos materiales pueden tener diferentes características físicas y químicas que pueden afectar su capacidad de soporte de carga y su capacidad para retener agua y nutrientes.

Para asegurar una eficiente eliminación de contaminantes, es importante que los materiales orgánicos sean colocados en los biofiltros de manera uniforme y

en capas bien definidas. Según García, Orta, López, Gutiérrez y Limares (2019) la correcta configuración de los biofiltros implica elegir los materiales orgánicos adecuados y colocarlos en capas para garantizar una retención óptima de la humedad y los nutrientes, así como una eliminación efectiva de los contaminantes.

Es importante destacar que los materiales orgánicos utilizados en los biofiltros deben ser renovados periódicamente para mantener su capacidad de soporte de carga y su capacidad para retener agua y nutrientes. Según Sánchez y Garcia (2018) Es fundamental llevar a cabo una sustitución regular de los materiales orgánicos empleados en los biofiltros con el fin de preservar un rendimiento óptimo en la eliminación de contaminantes y disminuir los costos de mantenimiento a largo.

2.3 Marco legal

Constitución de la República del Ecuador (2008)

Asamblea Constituyente 2008

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida (p. 13).

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p.14).

Art. 15 - El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua (p. 14).

TITULO VII

Régimen del buen vivir

Capítulo segundo

Biodiversidad y recursos naturales

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas (p. 188).

Sección sexta Agua

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua (p. 192).

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico (p. 193).

Código Orgánico Ambiental (COA) (2017)

Libro Preliminar

Título I Objeto, Ámbito Y Fines

Art. 1.- Objeto. Este Código tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o sumak kawsay (Código Orgánico del Ambiente, 2017). Las disposiciones de este Código regularán los derechos, deberes y garantías ambientales contenidos en la Constitución, así como los instrumentos que fortalecen su ejercicio, los que deberán asegurar la sostenibilidad, conservación, protección y restauración del ambiente, sin perjuicio de lo que establezcan otras leyes sobre la materia que garanticen los mismos fines (p. 11).

Capítulo V

Calidad y estado de los componentes abióticos y bióticos.

Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto (p. 55).

Ley de Aguas (2004)

Conservación y contaminación de las aguas

Codificación 16, Registro Oficial 339 de 20 de mayo del 2004.

Capítulo 1 de la conservación

Art. 20.- A fin de lograr las mejores disponibilidades de las aguas, el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, prevendrá, en lo posible, la disminución de ellas, protegiendo y desarrollando las cuencas hidrográficas y efectuando los estudios de investigación correspondientes (p. 3).

Ley Orgánica de Recurso Hídrico (2014)

Título II

Recursos hídricos

Capítulo I

Definición, infraestructura y clasificación de los recursos hídricos

Art 13.- Formas de conservación y de protección de fuentes de agua. Constituyen formas de conservación y protección de fuentes de agua: las servidumbres de uso público, zonas de protección hídrica y las zonas de restricción (p. 6).

- Los terrenos que lindan con los cauces públicos están sujetos en toda su extensión longitudinal a una zona de servidumbre para uso público, que se regulará de conformidad con el Reglamento y la Ley.
- Para la protección de las aguas que circulan por los cauces y de los ecosistemas asociados, se establece una zona de protección hídrica.
- Cualquier aprovechamiento que se pretenda desarrollar a una distancia del cauce, que se definirá reglamentariamente, deberá ser objeto de autorización por la Autoridad Única del Agua, sin perjuicio de otras autorizaciones que procedan.
- Las mismas servidumbres de uso público y zonas de protección hídrica existirán en los embalses superficiales.
- En los acuíferos se delimitarán zonas de restricción en las que se condicionarán las actividades que puedan realizarse en ellas en la forma y con los efectos establecidos en el Reglamento a esta Ley.

CAPITULO VI

GARANTIAS PREVENTIVAS

Sección Segunda

Objetivos de Prevención y Control de la Contaminación del Agua

Art. 79.- Objetivos de prevención y conservación del agua. - La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos:

Literal d: Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua y de los ecosistemas acuáticos y terrestres con ella relacionados y cuando estén degradados disponer su restauración.

Literal e: Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia

tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida (p. 23).

Acuerdo Ministerial 097-A (2015)

Anexo 1

Norma de calidad ambiental y de descargas de afluentes: recurso agua
Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, marítimas y de estuarios (p. 7).

La norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

- a) Consumo humano y uso doméstico.
- b) Preservación de la vida acuática y silvestre.
- c) Uso Agrícola o de riego.
- d) Uso Pecuario.
- e) Uso Recreativo.
- f) Uso Estético.

(ver Anexo 2)

NTE INEN 2169: (2013)

Manejo y conservación de muestras

Esta norma se aplica particularmente cuando una muestra (simple o compuesta) no puede ser analizada en el sitio de muestreo y tiene que ser trasladada al laboratorio para su análisis (p. 2).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación que se llevó a cabo es de naturaleza experimental debido a que se manipularon variables durante la ejecución del proyecto. Además, se realizó en el campo, ya que se realizaron visitas para tomar muestras y aplicar los biofiltros con el fin de analizar su efectividad.

Es importante mencionar que también se llevó a cabo investigación en laboratorio, ya que fue necesario realizar pruebas para identificar la variabilidad de los parámetros evaluados. Para esto, se utilizó un biofiltro hecho a partir de residuos de cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y cascarilla de arroz (*Oryza sativa*). Este biofiltro se plantea como una alternativa para tratar aguas residuales industriales provenientes de la piladora de Santa Lucía.

3.1.1.1 Investigación de campo y laboratorio.

Para el levantamiento de información se efectuaron visitas de campo en la zona de estudio, tomando muestras de aguas residuales industriales de la piladora en el proceso de envejecimiento de arroz para análisis de diversos parámetros regulatorios.

Las muestras recogidas se utilizaron para determinar la composición de las aguas residuales industriales de la piladora en el proceso de envejecimiento de arroz, se analizaron a partir de los parámetros especificados. Para Moreno (2014) este tipo de investigación distingue entre el sitio de la encuesta, las condiciones naturales en el campo del evento, tenemos encuestas de campo, como observaciones en las cercanías, encuesta a los empleados de la empresa,

registros de datos con respecto a las mareas, la precipitación y la temperatura. en condiciones naturales.

3.1.1.2 Investigación experimental.

En concordancia con Moreno (2014) la manipulación de una o más variables no probadas en condiciones rigurosamente controladas implica la investigación experimental para analizar cómo o por qué ocurre un evento o situación específica. El investigador, a través de esta experiencia, puede introducir variables de estudio para controlar el aumento o la disminución de dichas variables y analizar su influencia en los comportamientos objeto de estudio.

En la que se aplicaron biofiltros en los que se buscó que los parámetros planteados como turbidez, DBO₅, DQO y sólidos suspendidos totales se encuentren en un rango aceptado para su descarga al sistema de alcantarillado

3.1.2 Diseño de investigación

La metodología empleada en este estudio se basa en una investigación experimental, en la que se evaluó la eficiencia de distintos biofiltros, incluyendo cascarilla de cacao, cascarilla de arroz y una combinación de ambas, para tratar aguas residuales industriales provenientes del proceso de envejecimiento del arroz en una piladora.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1 Variables independientes.

Biofiltros de cáscara de cacao y cascarilla de arroz:

- Biofiltro de cáscara de cacao (200 g)
- Biofiltro de cascarilla de arroz (200 g)

- Biofiltro de cáscara de cacao (100 g) y cascarilla de arroz (100 g)

3.2.1.2 Variables dependientes.

- Potencial de hidrogeno (pH) medido en unidades de pH
- Turbidez medida en unidades NTU
- Solidos suspendidos totales medido en mg/l
- DBO₅ medido en miligramos por litro (mg /l)
- DQO medido en miligramos por litro (mg /l)

3.2.2 Tratamientos

Se llevaron a cabo cuatro tratamientos, cada uno repetido tres veces, con un total de tres unidades experimentales equivalentes. Estos tratamientos consistieron en diferentes combinaciones de residuos de cacao, residuos de arroz y una combinación de ambos, con el propósito de mejorar la eficiencia del tratamiento.

Tabla 1. Tratamientos propuestos

Tratamiento	Porcentaje de Cacao	Porcentaje de Arroz	Lecho filtrante	Agua dosificada
	(%)	(%)	(g)	(cm ³)
T1	100 %	0%	200	1000
T2	0 %	100 %	200	1000
T3	50 %	50 %	200	1000
T4	0 %	0 %	0	1000

Nota: Se consideró para los tratamientos un uso de 100 g de materia orgánica como una equivalencia del 100 %.
Campodónico, 2023

3.2.3 Diseño experimental

Tabla 2. Diseño experimental

Tratamiento	Parámetro	Unidades
<i>T1= Biofiltro a base de cacao (Theobroma cacao L.)</i>	• Potencial de hidrogeno (pH)	• Unidades de pH
	• Turbidez	• Unidades NTU
	• Solidos suspendidos totales	• mg/l
	• DBO ₅	• mg/l
	• DQO	• mg/l
<i>T2= Biofiltro a base de cascarilla de arroz (Oryza sativa)</i>	• Potencial de hidrogeno (pH)	• Unidades de pH
	• Turbidez	• Unidades NTU
	• Solidos suspendidos totales	• mg/l
	• DBO ₅	• mg/l
	• DQO	• mg/l
<i>T3= Biofiltro a base de cacao (Theobroma cacao L.) y cascarilla de arroz (Oryza sativa)</i>	• Potencial de hidrogeno (pH)	• Unidades de pH
	• Turbidez	• Unidades NTU
	• Solidos suspendidos totales	• mg/l
	• DBO ₅	• mg/l
	• DQO	• mg/l
<i>T4= Testigo</i>	• Potencial de hidrogeno (pH)	• Unidades de pH
	• Turbidez	• Unidades NTU
	• Solidos suspendidos totales	• mg/l
	• DBO ₅	• mg/l
	• DQO	• mg/l

Nota: Diseño experimental en el que se especifican los tratamientos con sus combinaciones respectivas.
Campodónico, 2023

En el diseño experimental, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con un nivel de significancia del 5 %, que buscó demostrar cuál biofiltro obtuvo mejor eficiencia para la disminución de los parámetros seleccionados en aguas residuales provenientes de piladoras del sector Santa Lucia, se utilizaron otros materiales específicos para mejorar su capacidad de filtración. Estos

materiales incluyeron, la grava es un material poroso que se utiliza en los biofiltros para proporcionar un medio de soporte para el crecimiento de bacterias beneficiosas. Estas bacterias descomponen los contaminantes presentes en el agua residual, contribuyendo así a su tratamiento.

La arena es otro material comúnmente utilizado en los biofiltros. Ayuda a retener partículas suspendidas y proporciona una superficie adicional para que las bacterias beneficiosas colonicen y descompongan los contaminantes orgánicos.

Similar a la grava, la gravilla es un material poroso que mejora la retención de partículas y proporciona espacio para el crecimiento de microorganismos responsables de la degradación de sustancias contaminantes.

El carbón activado es un material ampliamente reconocido por su capacidad de adsorber compuestos orgánicos, olores y contaminantes químicos en el agua. Su inclusión en el biofiltro ayuda a eliminar compuestos orgánicos disueltos y reduce la presencia de contaminantes no deseados.

Estos componentes se combinaron para formar un biofiltro eficiente que podría tratar eficazmente las aguas residuales de la piladora "Industria La Maná". La cáscara de cacao y la cascarilla de arroz, junto con los otros materiales, crean un entorno propicio para el crecimiento de microorganismos que degradan los contaminantes presentes en el agua residual, mejorando así su calidad antes de ser liberada al medio ambiente. El diseño experimental permitió determinar cuál de estos biofiltros, con la combinación de materiales específicos, logró la mayor eficiencia en la reducción de los parámetros seleccionados en las aguas residuales de la piladora. Se tomaron muestras del agua residual de la piladora

"Industria La Maná" y se procedió a realizar un análisis inicial de laboratorio. Después, se continuó a la recolección de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) y cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la elaboración del biofiltro utilizado en las aguas residuales, en el cual se obtuvo la muestra de aguas para las que posteriormente se realizaron los análisis de laboratorio y se logró determinar su eficiencia.

3.2.4 Recolección de datos

Para recopilar los datos, se siguieron las directrices establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169, que define los procedimientos adecuados para el muestreo y conservación de muestras.

Estas pautas garantizan que las muestras se recolecten de manera puntual y precisa, siguiendo los estándares establecidos, lo que garantiza la confiabilidad y validez de los datos obtenidos para su posterior análisis y evaluación.

La Normativa Técnica Ecuatoriana (INEN, 2013) explica cómo se debe recolectar la muestra del sitio, el modo para preservar la muestra sin que sea alterada por factores externos y cómo manejar una muestra de agua al momento de usarla y precautelar la salud, puesto que las aguas residuales están contaminadas y cualquier contacto puede provocar alguna reacción de enfermedad.

Los recipientes de recolección de la muestra no deben ser causa de contaminación por lixiviación de componentes inorgánicos de recipientes de vidrio, algunas tapas coloreadas pueden tener niveles significativos de metales pesados (INEN, 2013).

3.2.4.1 Recursos.

Se detallan los recursos, materiales y equipos necesarios para la realización del biofiltro.

Tabla 3. Recursos utilizados para la implementación del biofiltro

<i>Recursos Utilizados en la investigación.</i>	
Recursos bibliográficos	<ul style="list-style-type: none"> • Libros, revistas, páginas web • Bolígrafos • Libreta de apuntes
Materiales orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de cacao • Agua residual • Cascarilla de arroz
Equipos y materiales de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes • Mascarillas • Mandil • Tubos • Probeta • Estufa • Bomba de vacío • Filtros de fibra de vidrio para SST • Pipeta • Llaves de agua • Pegamento • Llaves de agua • Mangueras • Conectores de pvc • Botellas plásticas • Potenciómetro • Beaker • Capsulas de porcelana • Capsulas de metal • Kitasato • Tapón para kitasato • Pinzas • Crisoles • Agitadores magnéticos • Matraz aforado • Frasco Winkler • Turbidímetro • Colorímetro

Nota: Recursos utilizados en la investigación.
Campodónico, 2023

3.2.4.2 Métodos y técnicas.

Los métodos y técnicas que se utilizaron van acuerdo al tipo de investigación y experimentación, donde cabe mencionar que el detalle de cómo se realizó la recolección de datos aplicando las diferentes técnicas y métodos.

En la primera parte de la investigación se utilizaron revisiones bibliográficas para fundamentar la eficiencia de los materiales para la elaboración del biofiltro, luego en la experimentación se recolectaron muestras de aguas residuales industriales, seguido de un análisis de forma conjunta para la determinación de los compuestos contaminantes y parámetros mencionados dentro de la investigación.

Posteriormente se diseñó el biofiltro, se realizaron tres biofiltros experimentales se encuentra básicamente construida a base de un tubo pvc con una medida de 80 cm de altura y un diámetro de 10 cm, complementadas por las uniones y llaves con medidas de ½ pulgada. Su composición se encuentra dividida en un 50 % de materia orgánica equivalente a 40 cm de altura la misma que contempla las proporciones 100 % de la materia orgánica, en la parte baja del biofiltro que corresponde al 50 % restante es decir 40 cm se encuentra ubicada la materia inorgánica, conformada por grava (10 cm), gravilla (10 cm), arena (10 cm) y carbón activado (10 cm), este procedimiento se hizo para cada biocomponente a usar, los mismo que estuvieron compuestos por capas de lechos filtrantes dentro del recipientes, para obtener una comparación futura para determinar el más eficiente, después de la creación del biofiltro se recolectó por separado el agua tratada como resultado del tratamiento del biofiltro, se procederá a realizar los análisis para verificar la reducción de contaminantes.

3.2.4.2.1 Determinación de potencial de hidrogeno pH.

Para determinación del pH se utilizó un potenciómetro para medir la diferencia potencial que se produce entre un electrodo de trabajo y uno de referencia, al estar ambos electrodos sumergidos en una solución a la cual se requiere medir su pH, debido a que es un método analítico para medir la concentración de iones hidronio en una solución, luego se procedió a medir el pH de la muestra indicando la temperatura de esta. Realizar la medida con una agitación moderada para minimizar la entrada de dióxido de carbono y suficiente como para homogeneizar la muestra. Una vez finalizada la medida enjuagar y secar suavemente los electrodos y proceder a ubicarlos en la solución de preserva de los mismos.

3.2.4.2.2 Determinación de Turbidez.

Para medir la turbidez presente en las muestras del testigo y de los tratamientos planteados, se utilizó un turbidímetro para analizar este parámetro en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) se procedió a limpiar la celda con un paño suave y sin pelusas para eliminar las manchas de agua y las huellas dactilares. Posteriormente se aplicó una fina capa de aceite de silicona. Se limpió con un paño suave para obtener una película uniforme sobre toda la superficie. Se encendió el instrumento después se insertó la celda de muestra, en el compartimiento de la celda del instrumento de manera que la marca de orientación o diamante se alinee con la marca de orientación levantada en frente del compartimiento de la celda.

Procedemos a cerrar la tapa, escogemos la selección manual o automática de rango presionando la tecla RANGO (La pantalla mostrará AUTO RNG cuando el instrumento no esté en la selección de rango automático). Se selecciona el modo

de promediado de señal presionando la tecla SIGNAL AVERAGE. La pantalla mostrará SIG AVG cuando el instrumento esté utilizando el promedio de la señal. Para la obtención del resulta se presiona: READ La pantalla mostrará - - - NTU, luego la turbidez en NTU. Registre la turbidez después de que se apague el símbolo de la lámpara y anotar los resultados obtenidos para cada tratamiento, definiendo cuál de los tratamientos tendrá mejores resultados, basando los resultados en los parámetros del Acuerdo 097A.

3.2.4.2.3 Análisis de solidos suspendidos totales (SST).

A fin de analizar los Solidos Suspendidos Totales se utilizó un método gravimétrico que se basa en la retención de las partículas sólidas en un filtro de fibra de vidrio a través del cual se hace pasar una muestra homogénea; el residuo que queda retenido se seca a 103-105 °C durante cuatro horas o el tiempo que sea necesario hasta que la muestra se seque. Enfriar en desecador y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado en desecador y pesado hasta que se obtenga peso constante o que la pérdida de peso sea menor al 4 % que el peso previo o menos de 0.5 mg (el que sea menor) y se anotarán los resultados.

3.2.4.2.4 Medición de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

Para la medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se utilizará una botella especial para DBO₅ o también llamado “frasco Winkler” en el que se llena al borde con la prueba de agua. La prueba se dejará cinco días a una temperatura constante de 20 °C en la oscuridad. Después de los cinco días se medirá el contenido de oxígeno en comparación con el valor original, el consumo de oxígeno durante este periodo indicará la demanda de oxígeno del agua.

Procedimiento experimental para DBO₅

Se agregaron soluciones de cloruro de hierro, cloruro de calcio, sulfato de magnesio y fosfatos a razón de 1 ml por litro de dilución. Se controló el pH del agua de dilución utilizando ácido sulfúrico 0.1 N o hidróxido de sodio 0.1 N para asegurarse de que estuviera entre 6.50 y 7.50. La temperatura se ajustó a 20 ± 3 °C utilizando un termómetro digital calibrado del laboratorio y se aireó con un aireador durante 48 horas antes de que se verificara que la temperatura estuviera dentro del rango adecuado. Se agregó la muestra al agua de dilución en un balón de 1 l y se aforó con más agua de dilución.

También se preparó un inóculo o blanco agregando 1 ml de inóculo en 1 l de dilución. Se utilizaron tres frascos winkler de 300 ml para la solución preparada, midiendo el Oxígeno Disuelto inicial de uno de ellos mediante titulación con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.025 N. Los dos winkler restantes se incubaron a $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ por cinco días \pm seis horas y luego se midió el Oxígeno Disuelto final por titulación con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.025 N.

Para la valoración del tiosulfato de sodio, se disolvió yodato de potasio en agua desionizada y se agregó ácido sulfúrico y solución yodato. Después de titular con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, se agregó almidón cerca del punto final de la titulación y se continuó hasta que el color desapareciera. Se registró el volumen gastado de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ y se calculó el valor de la DBO₅ utilizando la ecuación.

3.2.4.2.5 Medición de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

En la medición Demanda Química de Oxígeno se recolectaron las muestras preferentemente en botellas de vidrio; si se usan botellas de plástico, se debe asegurar que no exista presencia de contaminantes orgánicos, las muestras pueden conservarse por un tiempo no mayor a siete días con la adición

de ácido sulfúrico a $\text{pH} < 2$ y manteniendo a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta el momento del análisis, se utilizó un colorímetro que leerá la adsorbancia de las muestras después del proceso de digestión para correlacionarlo con el DQO, este método nos proporciona gran precisión, resultados certificables y disminución de la interferencia del cloruro.

Procedimiento experimental para DQO

En el proceso experimental, se realizó la preparación del Reactor HACH AMB-EQ-046 calentándolo previamente a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 horas. Luego, se adicionó una muestra de 2 ml en un vial de 3-150 mg/l o de 20-1500 mg/l según corresponda, en un ángulo de 45 grados, y para el control, se utilizó agua desionizada en un vial con las mismas características.

Después de cerrar los viales y limpiarlos con papel toalla, se mezclaron suavemente inclinándolos varias veces con precaución debido al aumento de temperatura. Posteriormente, se colocaron los viales en el reactor precalentado y se dejaron actuar durante dos horas a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, para luego enfriarse a una temperatura inferior a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante aproximadamente 20 minutos. Durante el proceso, se invirtieron los viales varias veces para mantener una temperatura uniforme.

A continuación, se colocaron los viales en una gradilla hasta que alcanzaron la temperatura ambiente y se inició el programa correspondiente en el Espectrofotómetro UV-VIS para el rango bajo o alto de DQO según sea el caso. Se limpió el control y se presionó cero en el equipo para que la pantalla mostrara 0 mg/l DQO. Finalmente, se retiró el control, se limpió la muestra, se colocó en el soporte de la celda y se presionó leer para obtener los resultados expresados en unidades de mg/l.

3.2.5 Análisis estadístico

La hipótesis planteada es que la implementación de los biofiltros a base de cáscara de cacao, cascarilla de arroz y su combinación, permitirá una reducción significativa en los niveles de DBO_5 , DQO, turbidez y SST en comparación con la muestra de agua cruda sin tratar. Estas hipótesis se sustentan en estudios previos que han demostrado el potencial de los biofiltros en la eliminación de contaminantes.

Población:

La población de estudio está compuesta por todos los posibles biofiltros que podrían ser implementados utilizando cáscara de cacao, cascarilla de arroz y una combinación de ambos (cáscara de cacao y arroz). Esto incluye todas las posibles combinaciones de peso de cáscara de cacao y cascarilla de arroz en los biofiltros.

Muestra:

Para llevar a cabo el estudio, se seleccionó una muestra específica de biofiltros, la cual incluyó tres tipos de biofiltros:

- Biofiltro de cáscara de cacao (200 g): Este biofiltro utilizó (200 g) de cáscara de cacao como medio filtrante.
- Biofiltro de cascarilla de arroz (200 g): Este biofiltro utilizó (200 g) de cascarilla de arroz como medio filtrante.
- Biofiltro de cáscara de cacao (100 g) y cascarilla de arroz (100 g): Este biofiltro utilizó una combinación de 100 g de cáscara de cacao y 100 g de cascarilla de arroz como medio filtrante.

Cada uno de estos biofiltros representó un grupo de tratamiento en el estudio. Además, se realizaron tres repeticiones para cada tipo de biofiltro. Por lo tanto,

se obtuvo un total de tres repeticiones para el biofiltro de cáscara de cacao (200 g), tres repeticiones para el biofiltro de cascarilla de arroz (200 g) y tres repeticiones para el biofiltro de cáscara de cacao (100 g) y cascarilla de arroz (100 g).

Adicionalmente, se incluyó una muestra de agua cruda sin tratar como referencia para comparar los niveles de contaminantes antes y después del tratamiento con los diferentes biofiltros.

El tamaño total de la muestra utilizada en el estudio consistió en el número total de biofiltros y repeticiones. La selección de esta muestra específica se basó en criterios predefinidos, los cuales deben ser mencionados y justificados en la tesis.

Para desarrollar este proyecto se realizó un análisis estadístico descriptivo e inferencial. Se efectuó un análisis de varianza, se utilizó ANOVA para evaluar las diferencias debido a los factores de tratamiento, es decir, las medidas de las variables independientes propuestas. Esta prueba se realiza para comparar la igualdad de las medidas de tres o más tratamientos de muestras independientes.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas en las variables dependientes (pH, turbidez, SST, DBO₅ y DQO) entre los grupos de tratamiento (biofiltro de cáscara de cacao 200 g, biofiltro de cascarilla de arroz 200 g y biofiltro de cáscara de cacao 100 g y cascarilla de arroz 100 g) y la muestra de agua cruda sin tratar.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) se presentarán en forma de tabla, que incluirá el valor de F, el valor p y la significancia estadística para cada variable dependiente.

Tabla ANOVA para las variables dependientes:

Tabla 4. Tabla ANOVA para las variables dependientes

Variable	Valor F	Valor p	Significancia
pH	F-value	p-value	Significativo
Turbidez	F-value	p-value	Significativo
SST	F-value	p-value	No significativo
DBO ₅	F-value	p-value	Significativo
DQO	F-value	p-value	No significativo

Nota: La tabla ANOVA muestra la significancia de las variables dependientes en el estudio.

Campodónico, 2023

El pH y la turbidez son significativos, mientras que los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) no lo son en este contexto. Estos resultados ayudan a identificar las variables clave en el estudio.

En función de los resultados del análisis de varianza (ANOVA), se puede determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de tratamiento y la muestra de agua cruda para cada variable dependiente. Los valores p menores que el nivel de significancia establecido (por ejemplo, 0.05) indicarán diferencias significativas.

Es importante interpretar los resultados del análisis de varianza (ANOVA) junto con pruebas de comparaciones múltiples, como la prueba de Tukey, para identificar qué grupos específicos difieren significativamente entre sí.

Tabla 5. Esquema de análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de variación	Formula	Desarrollo	Grados de libertad
Tratamiento (t-1)	$(T - 1)$	4-1	3
Repeticiones (r-1)	$(R - 1)$	3-1	2
Error	$(T - 1) \times (R - 1)$	3x2	6
Total			11

Nota: Esquema de análisis de varianza (ANOVA).

Campodónico, 2023

Se emplearon dos tipos de análisis estadísticos en InfoStat.

Hipótesis: La implementación del biofiltro a base de cáscara de cacao y cascarilla de arroz es capaz de reducir la carga de contaminantes, específicamente en términos de DBO_5 , DQO, turbidez y SST.

- Hipótesis nula (H_0): No hay diferencias significativas entre los grupos de biofiltros en términos de las variables dependientes (pH, turbidez, SST, DBO_5 , DQO).
- Hipótesis alternativa (H_1): Existen diferencias significativas entre al menos dos grupos de biofiltros en términos de las variables dependientes (pH, turbidez, SST, DBO_5 , DQO).

Planteamiento de la Prueba:

En este estudio, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba post hoc de Tukey al 5 % para evaluar las diferencias significativas entre los grupos de biofiltros en relación a las variables dependientes. Los grupos de biofiltros analizados fueron: cáscara de cacao (200 g), cascarilla de arroz (200 g) y cáscara de cacao (100 g) con cascarilla de arroz (100 g).

El ANOVA se llevó a cabo utilizando software estadístico y se verificaron los supuestos necesarios, como la normalidad de los residuos y la homogeneidad de las varianzas. El valor p obtenido en el ANOVA indicó si existían diferencias significativas entre los grupos para cada una de las variables dependientes.

En caso de que se rechazara la hipótesis nula en el ANOVA, se realizó una prueba post hoc de Tukey para determinar qué grupos específicos presentaban diferencias significativas entre sí en términos de las variables dependientes. Esta prueba permitió comparar todas las combinaciones posibles de los grupos y

proporcionó intervalos de confianza y valores de comparación para cada par de grupos.

Los resultados obtenidos en el análisis ANOVA y la prueba de Tukey permitieron determinar la presencia de diferencias significativas entre los grupos de biofiltros en relación a las variables dependientes, brindando información relevante para evaluar la efectividad de los biofiltros en la reducción de la carga de contaminantes.

- Análisis de la Varianza (ANOVA) debido a que es una fórmula estadística que se utiliza para comparar las varianzas entre las medias (o el promedio) de diferentes grupos. Una variedad de contextos lo utilizan para determinar si existe alguna diferencia entre las medias de los diferentes grupos.
- Prueba de Tukey a un nivel de significancia al 5 % puesto que es una prueba estadística utilizada general y conjuntamente con ANOVA, La prueba Tukey se usa en experimentos que implican un número elevado de comparaciones.

Se realizaron bases de datos en Microsoft Excel versión 2019 para tener un control respectivo de las variaciones que se obtuvieron en la investigación y de las fórmulas utilizadas en la misma, además con los datos obtenidos se pudo elaborar gráficos estadísticos que demuestran los resultados con respecto a los tratamientos.

4. Resultados

4.1 Análisis de las características bio-adsorbentes de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) y la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) mediante revisión bibliográfica.

Para esta fase del estudio, se realizaron revisiones bibliográficas para determinar las características bioadsorbente que presentan estos residuos agrícolas como lo son la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) y la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*), con el fin de tener un mejor control para sus posteriores análisis en el proceso de la implementación del biofiltro para la depuración de aguas residuales de una piladora y verificar si son eficientes para la reducción de los contaminantes planteados en la investigación.

Tabla 6. Comparativa de la composición química de la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz

Propiedad	Cáscara de cacao	Cascarilla de arroz
Celulosa	Alta 35-45%	Alta 35-50%
Hemicelulosa	Alta 20-35%	Alta 20-30%
Lignina	Alta 15-25%	Baja 5-15%
Almidón	Bajo 1-5%	Alto 35-45%
Proteínas	Bajo 5-10%	Bajo 3-7%

Nota: Descripción de la composición química de los materiales orgánicos utilizados en los biofiltros.

Campodónico, 2023

La lignina y el almidón son componentes importantes de la estructura de la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz que influyen en su capacidad de adsorción. La lignina es un polímero de lignocelulosa que proporciona rigidez y resistencia mecánica a la planta. Además, contiene grupos funcionales, como

los hidroxilos, que pueden participar en procesos de adsorción y formar enlaces covalentes con los compuestos a ser adsorbidos. Por lo tanto, un contenido alto de lignina en la cáscara de cacao puede aumentar su capacidad de adsorción. Por otro lado, el almidón es un polisacárido de reserva que se encuentra en las semillas y en el endospermo de los granos.

El almidón también puede ser un componente importante en la adsorción, ya que puede formar complejos con compuestos y ayudar a retenerlos. Sin embargo, un contenido alto de almidón en la cascarilla de arroz puede disminuir su capacidad de adsorción debido a su gran tamaño y a su estructura rígida. En resumen, ambos componentes pueden afectar la capacidad de adsorción.

Tabla 7. Comparativa de la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz

Propiedad	Cáscara de cacao	Cascarilla de arroz
Fuente	Derivado de la producción de chocolate	Residuo de la producción de arroz
Propiedades adsorbentes	Buenas 20-50 mg/g	Buenas 20-40 mg/g
Capacidad de biodegradación	Alta 70-90%	Alta 70-90%
Costo	Relativamente alto debido a la demanda de la industria del chocolate	Bajo debido a su disponibilidad en grandes cantidades
Disponibilidad	Limitada en algunas regiones	Abundante en regiones productoras de arroz
Efectividad en la eliminación de compuestos tóxicos (COPs: Bisfenol, Clorobenceno)	Alta (84 %)	Alta (80 %)
Capacidad de adsorción de metales pesados (Pb,Cd,Hg)	Buena (68 %)	Buena (62 %)
Eficiencia en la eliminación de colorantes (Rojo 40, amarillo 5, carotenoides)	Buena (65 %)	Buena (77 %)

Nota: Tabla en la que se referencia las propiedades de los materiales orgánicos empleados en la investigación.
Campodónico, 2023

4.1.1 Cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) como bio-adsorbente.

La cáscara de cacao está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. También contiene pequeñas cantidades de proteínas, grasas, taninos y compuestos fenólicos. Además, la cáscara de cacao contiene minerales como calcio, fósforo y magnesio.

Los desechos agrícolas, especialmente los que contienen celulosa, tienen la capacidad de adsorber metales y otros contaminantes. Para el proceso de adsorción se utilizan residuos agrícolas como productos naturales o modificados mediante el proceso de activación. La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) ha sido identificada como un adsorbente natural altamente eficaz para la eliminación de diversos contaminantes, demostrando su eficacia contra otros tipos de desechos agrícolas. Las cáscaras de cacao tienen un buen potencial para el tratamiento de aguas residuales de la agroindustria. Sin embargo, son menos eficaces en la eliminación de contaminantes orgánicos que el material de polietileno utilizado como soporte bacteriano.

La proporción específica de estos componentes varía dependiendo de la diversidad de cacao y de las condiciones de cultivo. La composición de la cáscara de cacao puede afectar sus propiedades físicas y químicas, como la solubilidad y la capacidad de adsorción. Por lo tanto, es importante considerar la composición de la cáscara de cacao al evaluar su potencial como material biodegradable y bioadsorbente.

4.1.2 Cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) como bio-adsorbente

La cascarilla de arroz es un adsorbente base para la eliminación de contaminantes como colorantes o metales pesados presentes en las corrientes de efluentes. Es un material rentable, la cascarilla de arroz es un material

adsorbente prometedor para eliminar diferentes contaminantes porque es un recurso renovable y de bajo costo.

La composición química típica de la cascarilla de arroz es de aproximadamente 32 % de celulosa, 20 % de hemicelulosa, 21 % de lignina y 20 % de otra materia orgánica, como proteínas y grasas. En la actualidad, gran parte de la cascarilla de arroz se desecha directamente en el suelo o se quema, lo que genera contaminación ambiental. Sin embargo, la conversión termoquímica de la cáscara de arroz, como la pirólisis, la gasificación y la combustión, se puede utilizar para generar subproductos de valor agregado y, por lo tanto, reducir sustancialmente la presión sobre el medio ambiente.

Esta composición de la cascarilla de arroz permite considerarla como adsorbente. Actualmente, la comunidad científica se ha interesado más en la aplicación e investigación de estos desechos agroindustriales como lo es la cáscara de arroz como adsorbente. Investigaciones anteriores revelan que la cascarilla de arroz se ha utilizado para eliminar tintes iónicos de soluciones acuosas y la cascarilla de arroz pretratada se ha utilizado para la adsorción de contaminantes de los efluentes.

4.2 Diseño a escala piloto un biofiltro a base de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Se presentó un diseño a escala piloto de tres biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. Cada biofiltro utilizó materiales de lecho filtrante específicos, y se describió en detalle el proceso de construcción. Además, se destacó la importancia del monitoreo constante de parámetros de calidad del agua y se abordaron consideraciones ambientales y de seguridad. Este documento

proporcionó una guía práctica y efectiva para la purificación de agua residual y sentó las bases para posibles implementaciones a mayor escala (ver anexo 3).

Descripción del Biofiltro:

Unidad Experimental: Se utilizará un tubo de PVC de 10 cm de diámetro y 80 cm de altura para construir el biofiltro.

Composición del Biofiltro:

- Materia Orgánica (50 %):
- Altura: 25 cm desde la parte superior.
- Composición: Cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.).
- Materia Inorgánica (50 %):

Altura: 20 cm desde la parte inferior.

Composición:

- Grava: 5 cm.
- Gravilla: 5 cm.
- Arena: 5 cm.
- Carbón activado: 5 cm.

Parámetros de Diseño:

Caudal de Aguas Residuales de la Piladora de Arroz: 12,500 litros de agua por cada 5 toneladas de arroz procesadas.

Procedimiento de Operación:

Se introduce el agua cruda, que proviene de la piladora de arroz, en la parte superior del biofiltro.

El agua atraviesa la capa de materia orgánica (cascarilla de cacao) y luego pasa a través de la capa de materia inorgánica (grava, gravilla, arena y carbón activado).

El agua tratada se recolecta en la parte inferior del biofiltro.

Parámetros de Monitoreo:

Durante el experimento y la operación a escala piloto, se deben medir y registrar los siguientes parámetros:

Turbidez: Se mide antes y después del tratamiento para evaluar la eficiencia en la remoción de partículas en suspensión.

pH: Se monitorea el pH del agua cruda y el agua tratada para evaluar cualquier cambio en la acidez o alcalinidad.

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Se mide antes y después del tratamiento para evaluar la remoción de sólidos suspendidos.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5): Se mide antes y después del tratamiento para evaluar la capacidad del biofiltro para reducir la DBO_5 en el agua.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Se mide antes y después del tratamiento para evaluar la capacidad del biofiltro para reducir la DQO en el agua.

Consideraciones Adicionales:

El diseño del biofiltro se ajusta para manejar el caudal específico de 12,500 litros de agua por cada 5 toneladas de arroz procesadas.

Se deben considerar las condiciones ambientales locales y las variaciones en la calidad del agua residual para ajustar el diseño del biofiltro según sea necesario.

La operación del biofiltro a escala piloto debe llevarse a cabo durante un período suficiente para evaluar su rendimiento a largo plazo y realizar mejoras si es necesario.

Este diseño detallado y adaptado al caudal de la piladora de arroz permitirá la evaluación precisa de la efectividad del biofiltro en el tratamiento de aguas residuales industriales.

El diseño del biofiltro se realizó en base a los requerimientos del proyecto en el cual el sistema de filtración biológica debía realizar una circulación continua para filtrar las aguas residuales con el fin de tratar las muestras de la piladora “La Maná” en Santa Lucía.

Acorde a diferentes investigaciones enfocadas en la realización de biofiltros para el tratamiento de aguas residuales industriales, se destacan las siguientes características en el diseño, según Jácome (2020) para la elaboración de los biofiltros se utilizaron botellas plásticas, bombas para recircular el agua, tubo PVC 1/2 pulgada, llave de agua, algodón, arena fina, piedra y carbón activado en dos biofiltros con diferentes dosificaciones y un tercer biofiltro con cenizas de cascarilla de arroz, este proceso se realizó con el fin de conocer la eficiencia del material filtrante aplicado. El proceso de filtrado se realizó durante el periodo de 12 horas”.

En comparación con Bernal (2022) que realizó cuatro pequeños biofiltros experimentales con medidas de 22 cm de largo, 15 cm de ancho, 29.1 cm de alto y capacidad de 4 litros, este procedimiento se hizo para cada biocomponente a usar, los mismo que estuvieron compuestos por capas de lechos filtrantes dentro del recipientes los cuales fueron: Para el primer biofiltro se colocó cascarilla de arroz, arena, grava fina, grava gruesa, piedra pómez y algodón en orden descendente respectivamente, el agua filtrada pasó a un recipiente con medidas aproximadas de 18 cm de altura, 18.5 de ancho, 18.5 cm de largo y capacidad de 3.25 litros.

Contrastando las investigaciones planteadas Santillán (2020) planteó que para la construcción de un biofiltro se necesita 75 cm de tubo PVC, teflón, pasta para posteriormente pegar tubería, tela blanca, malla de fibra de vidrio, algodón, uniones para tubería y el material o lecho filtrante constituido por zeolita y carbón.

Por su parte Noboa (2014), afirma que el tiempo de contacto a utilizar es de 8 y 12 minutos, mientras que Cecen (2011), sostiene una versión en la que el tiempo de contacto superficial se encuentra entre 6 y 30 minutos. Esto también puede variar ya que cuando el volumen de los medios filtrantes varia lo hace consigo la tasa de flujo y el tiempo de contacto, esto se puede calcular con la ecuación (Bravo y Garzón, 2017)

$$TC = \frac{VCA}{ts}$$

Dónde:

- TC = tiempo de contacto (min)
- VCA = volumen del carbón activado (m³)
- Tf = tasa de flujo (m³ /h)

El valor de la velocidad lineal puede variar entre 5 y 20 m/h.

$$vl = \frac{tf}{As}$$

Dónde:

- vl=velocidad lineal (m/h)
- tf=tasa de flujo (m³ /h)
- As=área superficial (m²)

En concordancia con las investigaciones acerca del diseño de los biofiltros se detallan los parámetros de diseño en la siguiente tabla.

Tabla 8. Parámetro de diseño

PARÀMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
Velocidad lineal	2-8	m/h
Tiempo de contacto	10-30	min
Diámetro	5 a 40	mm
Área de filtración	0,2-7	m ²
Caudales	0,01 a 100	m ³ /h
Materiales de soporte	Acero inoxidable
Profundidad del lecho	1 a 10	m
Medios de filtración	Materia orgánica	gr
Renovación	1-32	Semana

Nota: Los parámetros de diseño se realizaron en base a los biofiltros realizados. Campodónico, 2023

Un biofiltro que combina cáscara de cacao y cascarilla de arroz es un sistema que utiliza ambos materiales juntos como filtro para remover contaminantes de agua y aire. La cáscara de cacao y la cascarilla de arroz son materiales abundantes y económicos que tienen propiedades filtrantes únicas.

En un biofiltro de cáscara de cacao y cascarilla de arroz, el agua o el aire se filtran a través de un lecho de ambos materiales juntos. Los contaminantes se adhieren a la superficie de la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz debido a la adsorción física y química.

Se ha demostrado que los biofiltros que combinan cáscara de cacao y cascarilla de arroz son efectivos para la remoción de metales pesados, compuestos orgánicos y otros contaminantes de agua y aire. Sin embargo, la eficacia de un biofiltro combinado depende de varios factores, incluido el tipo de contaminante, la concentración, la presencia de otros compuestos y las condiciones ambientales.

Además, la eficacia y la durabilidad a largo plazo de los biofiltros combinados de cáscara de cacao y cascarilla de arroz aún requieren más investigación. En

general, estos biofiltros pueden ser una alternativa sostenible y económica para la remediación ambiental, pero es necesario realizar más estudios antes de que puedan ser ampliamente utilizados. En base a la información previamente levantada, el diseño de este estudio será utilizando los materiales de manera independiente y en sistema combinado en base a los siguientes materiales:

- Tubos de desagüe 1/2"
- Tapones hembra 110 mm pvc plegables
- Tubos pvc roscable 1/2, codo 1/2 x 90
- Válvula roscable
- Adaptador tanque 1/2"

Los siguientes materiales fueron utilizados para conformar el lecho filtrante:

- Algodón
- Arena fina
- Piedras
- Carbón activado
- Materia orgánica (Cáscara de arroz y cáscara de cacao)

Es importante tener en cuenta que ambos materiales tienen características similares como adsorbentes y biodegradables, y pueden ser útiles en la construcción de biofiltros y en otras aplicaciones de materiales filtrantes. La elección entre cáscara de cacao y cascarilla de arroz dependerá de la disponibilidad y el costo en una determinada región.

4.2.1 Esquematización de los biofiltros

En las figuras 1,2 y 3 se ilustra el esquema de las proporciones utilizadas en los tratamientos planteados, enfatizando que se lo realizó de acuerdo a la altura

del filtro y a sus parámetros de diseño, a continuación, se representa lo anteriormente mencionado.



Figura 1. Ilustración del biofiltro para el Tratamiento 1.
Campodónico, 2023

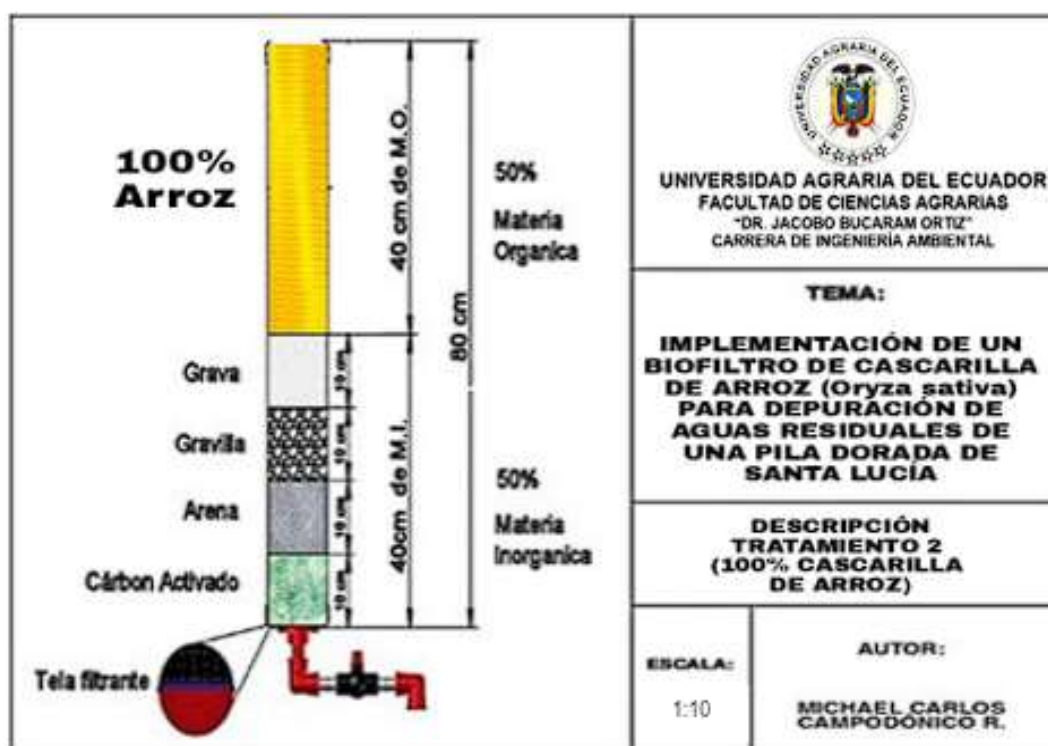


Figura 2. Ilustración del biofiltro para el Tratamiento 2.
Campodónico, 2023



Figura 3. Ilustración del biofiltro para el Tratamiento 3.
Campodónico, 2023

En las figuras 1, 2 y 3. Se observa la composición y características del tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3, la unidad experimental se encuentra básicamente construida a base de un tubo pvc con una medida de 80 cm de altura y un diámetro de 10 cm, complementadas por las uniones y llaves con medidas de ½ pulgada.

Su composición se encuentra dividida en un 50 % de materia orgánica equivalente a 25 cm de altura, en la parte baja del biofiltro que corresponde al 50 % restante es decir 20 cm se encuentra ubicada la materia inorgánica, conformada por grava (5 cm), gravilla (5 cm), arena (5 cm) y carbón activado (5 cm).

Tabla 9. Esquema de los biofiltros

Parte Del Biofiltro	Datos	Notas
Caja de entrada	3,54 cm diámetro	Lugar donde ingresa el agua cruda.
Altura del lecho filtrante	47.75 cm (para los tratamientos planteados)	47.75 cm para el lecho filtrante y 32.25 cm para entrada del agua a tratar.
Caja de salida	3,54 cm diámetro	Lugar donde sale el agua tratada, adaptada a una válvula para la recolección de la muestra.
Tiempo de retención	15 minutos	Desde que ingresa la muestras hasta que sale, (6 minutos para completar una muestra de 750ml).
Soporte metálico	1.55 metros	Soporte utilizado para los biofiltros.

Nota: El soporte metálico de 1.55 metros es esencial para asegurar la estabilidad y el adecuado funcionamiento de los biofiltros.
Campodónico, 2023

4.3 Determinación de las capacidades bio-adsorbentes a partir de los materiales utilizados en el biofiltro en base a los resultados obtenidos y la comparación con los parámetros de descarga en base a los parámetros: DBO₅, DQO, SST, Turbiedad, pH..

En base a los datos obtenidos, los resultados que se muestran en esta tabla son los valores iniciales del agua cruda (testigo) adicional a los promedios que se consiguieron con las repeticiones post tratamientos fueron estos:

Tabla 10. Valores iniciales del agua cruda (Testigo) con los tratamientos planteados.

Parámetros planteados	Agua cruda (Testigo)	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
SST	416 ppm	124,33 ppm	115,61 ppm	102,00 ppm
DBO ₅	49.7 mg/l	23,3 mg/l	26,1 mg/l	29,05 mg/l
DQO	135 mg/l	59 mg/l	74 mg/l	67 mg/l
Turbiedad	111 NTU	4,2 NTU	4,84 NTU	4,63 NTU
pH	7,7	6,64	6,44	6,48

Nota: Los valores de DBO₅ y DQO no son valores promediados, debido a que solo se lo realizó un análisis de laboratorio a cada biofiltro.

Campodónico, 2023

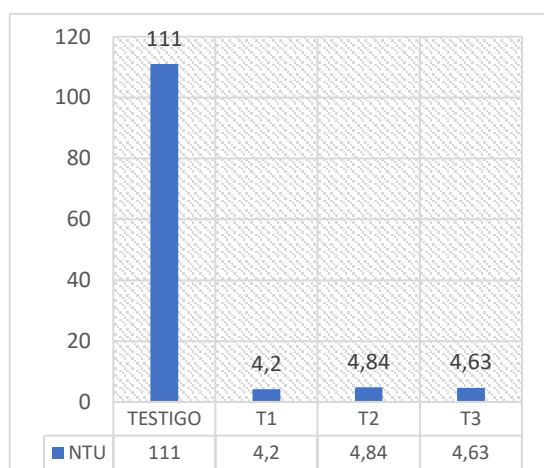


Figura 4. Valores obtenidos de turbiedad
Campodónico, 2023

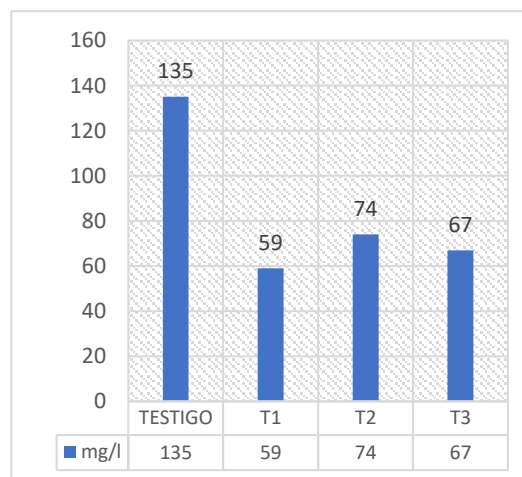


Figura 5. Valores obtenidos de DQO
Campodónico, 2023

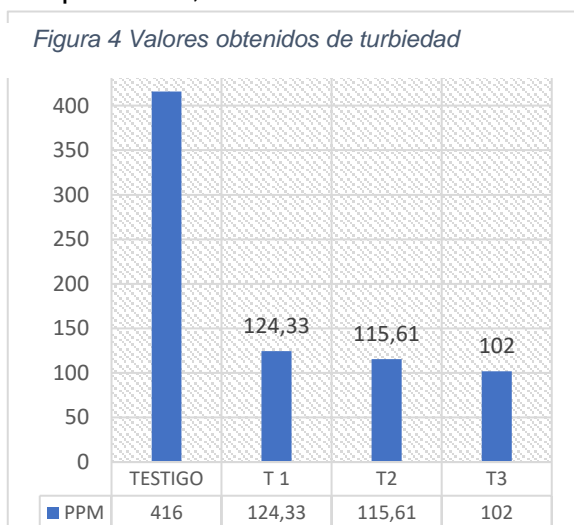


Figura 6. Valores obtenidos de SST
Campodónico, 2023

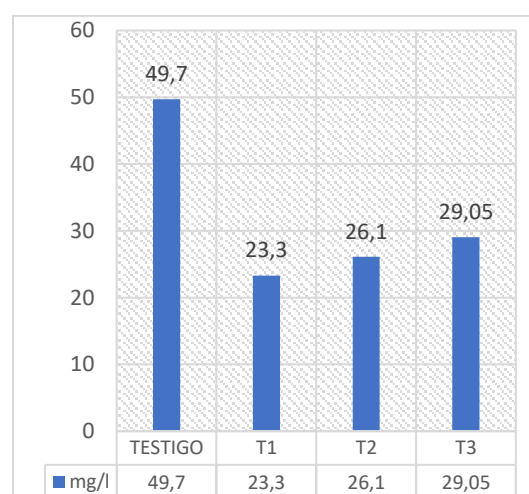


Figura 7. Valores obtenidos de DBO₅
Campodónico, 2023

En las figuras 4 a 7, se muestran mediante gráficos de barras, como han fluctuado los valores que se han obtenido en la investigación, apoyándose en los análisis de laboratorio realizados para los diferentes tratamientos, para dar un mejor entendimiento a la efectividad de los biofiltros realizados.

4.3.1 Porcentajes de remoción y determinación de los resultados obtenidos

Tabla 11. Porcentaje de remoción de los parámetros planteados.

Parámetro	Tratamiento 1 Cáscara de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	Tratamiento 2 Cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa.</i>)	Tratamiento 3 Cáscara de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) + Cáscara de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)
SST	70,11 %	72,21 %	75,48 %
Turbidez	96,22 %	95,64 %	95,83 %
DBO ₅	56,30 %	47,48 %	41,55 %
DQO	56,30 %	45,19 %	50,37 %

Nota: Los valores varían entre los tratamientos, lo que refleja las diferencias en el rendimiento de cada método de tratamiento.
Campodónico, 2023

El porcentaje de remoción de los parámetros evaluados en los tres tratamientos indica la eficacia de cada uno en la eliminación de sólidos suspendidos totales (SST), turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO) en el agua tratada.

Una vez caracterizada la muestra cruda y unidades experimentales, se obtiene el porcentaje de remoción de los filtros biológicos.

Los resultados de los análisis de laboratorio indican una mejora significativa en la remoción de contaminantes en las aguas residuales. De los cuatro

parámetros analizados, si bien es cierto, todos redujeron, pero la turbidez fue el que mostró la mayor reducción.

El tratamiento 1 tuvo una excelente remoción de la turbidez con un 92.22 %, seguido de los sólidos suspendidos totales (SST) con un 72,21 %. Es importante destacar que la reducción de la turbidez también conlleva una disminución en los SST presentes en la muestra. En cuanto a la remoción de DBO₅ y DQO, los resultados fueron bastante similares en un 50 % de remoción en comparación con los análisis iniciales.

Estos resultados positivos se deben a la eficacia de los tratamientos utilizados, en particular el tratamiento 1 que utiliza cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L). La presencia de celulosa en las cáscaras de cacao es un factor importante en la eliminación de diversos tipos de contaminantes presentes en el agua.

4.3.1.1 Determinación del potencial de hidrogeno

En la tabla 11 se muestran los valores promedios obtenidos de pH que registró cada tratamiento.

Tabla 12. Determinación del pH

Tratamiento	Materia Orgánica	Promedio
T1	Cáscara de cacao	6.64
T2	Cascarilla de arroz	6.44
T3	Cáscara de cacao y	6.48
	Cascarilla de arroz	

Nota: Los valores promedio de pH en los tratamientos T1, T2 y T3 se mantienen en torno a 6.5
Campodónico, 2023

Análisis de la varianza (ANOVA)

Después de aplicar los biofiltros para la remoción de los distintos parámetros en estudio, se obtuvieron los siguientes datos para evaluar la significación estadística.

Análisis estadístico descriptivo:

- pH:

Media del pH: 6.52

Desviación estándar del pH: 0.09

- Turbidez (en NTU):

Media de la turbidez: 4.56 NTU

Desviación estándar de la turbidez: 0.34 NTU

- SST (en ppm):

Media de los SST: 76.98 ppm

Desviación estándar de los SST: 55.15 ppm

- DBO₅ (en mg/l):

Media de DBO₅: 26.48 mg/l

Desviación estándar de DBO₅: 2.05 mg/l

- DQO (en mg/l):

Media de DQO: 66.67 mg/l

Desviación estándar de DQO: 6.53 mg/l

Estos resultados proporcionan una visión general de las medidas de tendencia central y dispersión para cada variable dependiente en el estudio. La media

representa el valor promedio de cada variable, mientras que la desviación estándar indica la variabilidad de los datos en torno a la media.

Análisis estadístico inferencial (ANOVA):

Tabla 13. Análisis de la varianza del porcentaje de remoción por tratamientos en turbidez

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Turbiedad	9	0,77	0,54	5,33

Nota: El coeficiente de variación (CV) es del 5.33%, indica una relativa consistencia en los resultados de remoción de turbidez en los tratamientos.
Campodónico, 2023

El análisis de la varianza (ANOVA) revela que el porcentaje de remoción de turbidez en los diferentes tratamientos tiene un coeficiente de determinación (R²) de 0.77, lo que indica una correlación significativa entre los tratamientos y la remoción de turbidez.

Tabla 14. Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,80	4	0,20	3,39	0,1318
TRATAMIENTO	0,64	2	0,32	5,46	0,0720
REPETICIONES	0,16	2	0,08	1,33	0,3601
Error	0,24	4	0,06		
Total	1,04	8			

Nota: El análisis de la varianza (ANOVA) revela que el modelo evaluado tiene un valor de suma de cuadrados (SC) total de 1.04.
Campodónico, 2023

El modelo en sí tiene una suma de cuadrados de 0.80, con 4 grados de libertad (gl), lo que resulta en un valor F de 3.39 con un p-valor de 0.1318, lo que indica que no es estadísticamente significativo.

Tabla 15. Test:Tukey para la remoción de turbidez

Tratamiento	Medidas	n	E.E.
1	4,20	3	0,14 A
3	4,63	3	0,14 A
2	4,84	3	0,14 A

Nota: Alfa=0,05 DMS=0,70633 Error: 0,0589 gl: 4
Campodónico, 2023

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Al analizar la comparación de medias se observa que los tratamientos T1, T3, T2 presentan medias significativamente diferentes con respecto al análisis inicial del testigo, siendo T1 el mejor tratamiento al obtener la media más baja registrando un valor de 4.20NTU.

Tabla 16. Análisis de la varianza de determinación por tratamientos en pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	9	0,85	0,71	0,84

Nota: Se muestra alta correlación (R^2) entre los tratamientos y las variaciones en el pH, indica una influencia significativa de los tratamientos en el pH del sistema. Campodónico, 2023

Tabla 17. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	0,07	4	0,02	5,80	0,0584
TRATAMIENTO	0,07	2	0,03	11,26	0,0227
REPETICIONES	2,1E-03	2	1,0E-03	0,35	0,7266
Error	0,01	4	3,0E-03		
Total	0,08	8			

Nota: Las repeticiones no tienen un efecto significativo en los resultados. Campodónico, 2023

El análisis de varianza revela que el tratamiento tiene un efecto significativo en los resultados, con un valor F de 11.26 y un p-valor de 0.0227, lo que indica una influencia importante. El modelo en su conjunto no es estadísticamente significativo a un nivel convencional (p-valor de 0.0584).

El cuadro de análisis de la varianza (ANOVA) muestra que el modelo evaluado tiene un valor de suma de cuadrados (SC) total de 0.07. El modelo en sí tiene una suma de cuadrados de 0.07 con 4 grados de libertad (gl), lo que resulta en un valor F de 5.80 con un p-valor de 0.0584, lo que sugiere que el modelo podría tener algún impacto en los resultados, aunque no es estadísticamente significativo a un nivel de significancia convencional.

Al analizar los efectos individuales, el tratamiento tiene una suma de cuadrados de 0.07 con 2 grados de libertad, lo que resulta en un valor F de 11.26 con un p-valor de 0.0227, lo que indica que el tratamiento tiene un efecto significativo en el resultado.

Por otro lado, las repeticiones tienen una suma de cuadrados de 2.1E-03 (0.0021) con 2 grados de libertad y un valor F de 0.35 con un p-valor de 0.7266, lo que sugiere que las repeticiones no tienen un impacto significativo en el resultado.

Tabla 18. Test:Tukey para la determinación de pH

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2	6,44	3	0,03 A
3	6,48	3	0,03 A
1	6,64	3	0,03 B

Nota: Alfa=0,05 DMS=0,15894 Error: 0,0030 gl: 4
Campodónico, 2023

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La comparación de medias indica que los tratamientos T2 (100% arroz) y T3 (50% cacao+ 50% arroz) difieren del tratamiento T1 (100% cacao), a pesar de ello, los tres tratamientos han reducido el pH de la muestra inicial, siendo el tratamiento T2 el que mejores resultados obtuvo.

Tabla 19. Análisis de la varianza del porcentaje de remoción por tratamientos en SST

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
SST	9	1,00	1,00	0,49

Nota: Esto demuestra una influencia altamente significativa de los tratamientos en la remoción de SST.
Campodónico, 2023

El análisis de varianza (ANOVA) indica una correlación perfecta ($R^2 = 1.00$) entre los tratamientos y la remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST), con una baja variabilidad ($CV = 0.49$) en los resultados entre los tratamientos.

Tabla 20. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	768,01	4	192,00	621,50	<0,0001
TRATAMIENTOS	760,07	2	380,04	1230,16	<0,0001
REPETICIONES	7,94	2	3,97	12,84	0,0182
Error	1,24	4	0,31		
Total	769,24	8			

Nota: El análisis de varianza (ANOVA) muestra que el modelo es altamente significativo (p-valor <0.0001).
Campodónico, 2023

El cuadro de análisis de la varianza (ANOVA) muestra resultados significativos. El modelo en su conjunto tiene una suma de cuadrados (SC) total de 768.01, con 4 grados de libertad (gl), lo que resulta en un valor F de 621.50 con un p-valor muy bajo (<0.0001), lo que indica que el modelo es altamente significativo.

El efecto de los tratamientos tiene una suma de cuadrados de 760.07 con 2 grados de libertad, lo que resulta en un valor F de 1230.16 con un p-valor muy bajo (<0.0001), lo que indica un impacto altamente significativo de los tratamientos en los resultados.

Las repeticiones también tienen un efecto significativo, con una suma de cuadrados de 7.94, 2 grados de libertad y un valor F de 12.84 con un p-valor de 0.0182. En resumen, tanto los tratamientos como las repeticiones tienen un

impacto significativo en los resultados, y el modelo en su conjunto es altamente significativo

Tabla 21. Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
3	102,00	3	0,32	A
2	115,61	3	0,32	B
1	124,33	3	0,32	C

Nota: Se utilizan letras (A, B, C) para indicar diferencias significativas entre los tratamientos, siendo "A" la media más baja y "C" la más alta.
Campodónico, 2023

En el cuadro se presentan las medias ajustadas (Medias), el número de observaciones (n), el error estándar (E.E.) y las letras designadas para indicar diferencias significativas entre los tratamientos.

- El tratamiento 3 tiene una media de 102.00 con 3 observaciones y un error estándar de 0.32, marcado con la letra "A".
- El tratamiento 2 tiene una media de 115.61 con 3 observaciones y un error estándar de 0.32, marcado con la letra "B".
- El tratamiento 1 tiene una media de 124.33 con 3 observaciones y un error estándar de 0.32, marcado con la letra "C".

4.3 Comparación de los parámetros del agua tratada en laboratorio con los límites de descarga en cuerpos de agua dulce del Acuerdo Ministerial 097^a en base a los parámetros: DBO₅, DQO, SST, Turbiedad, pH.

La comparación realizada entre los resultados de los parámetros del agua residual tratada a nivel de laboratorio con los límites permisibles de la normativa ambiental se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 22. Comparación con los límites descarga en cuerpos de agua dulce AM 097A Tabla 9 en los tratamientos en base a los parámetros: DBO₅, DQO, SST, Turbiedad, pH.

Parámetros analizados	Testigo	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Límites permisibles AM 097A	Comentario
Potencial de Hidrógeno (Unidades de pH)	7,7	6.64	6.44	6.48	6-9	Todos los tratamientos cumplen con los LMP.
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	416	124,33	115,61	102	130	La muestra testigo no cumple con los LMP, los tratamientos si cumplen los LMP.
Turbidez (NTU)	111	4.2	4.84	4.63	-	-
Demanda biológica de Oxígeno (mg/l)	49,7	23.3	26,1	29.05	100	Todos los tratamientos cumplen con los LMP
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	135	59	74	67	200	Todos los tratamientos cumplen los LMP

Nota: Todos los tratamientos cumplen con los límites permisibles para los parámetros analizados, excepto el testigo en el caso de Sólidos Suspendidos Totales, que supera el límite.

Campodónico, 2023

En la “Tabla 12” de los resultados, se puede apreciar claramente que, después de someter el agua al proceso de biofiltración, se han logrado alcanzar valores de sólidos suspendidos totales (SST), turbiedad, Demanda Biológica de Oxígeno durante 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y pH que se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por las normativas vigentes.

Este éxito en la conformidad con las normativas es especialmente destacable debido a los valores iniciales extremadamente elevados de sólidos suspendidos totales (SST) en la muestra de agua. Los altos niveles de SST en el agua cruda

indicaban una presencia significativa de partículas sólidas en suspensión, lo que suele ser un indicativo de una calidad de agua deficiente y potencialmente contaminada. Sin embargo, gracias al proceso de biofiltración implementado, se ha logrado reducir y mantener estos valores dentro de los límites permitidos.

En resumen, los resultados de la biofiltración demuestran de manera concluyente que este proceso ha sido efectivo en la mejora de la calidad del agua al cumplir con los estándares regulatorios, incluso cuando se partió de una muestra con niveles iniciales de contaminación considerablemente altos. Esto subraya la eficacia y la importancia de la biofiltración como una técnica de tratamiento de agua en situaciones en las que se requiere el cumplimiento estricto de las normativas ambientales.

5. Discusión

En el presente trabajo de investigación, se evaluó la eficiencia de un biofiltro piloto en la depuración de aguas residuales de la piladora "La Maná" en Santa Lucía, con el objetivo de determinar el porcentaje de remoción de varios parámetros, incluyendo DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales y turbidez.

Como indican Díaz, Ramón y Moreno (2022), tanto la cáscara de cacao como la cascarilla de arroz son materiales naturales con probada capacidad de adsorción, ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina, que actúan como adsorbentes. La cáscara de cacao es un subproducto de la industria del chocolate, mientras que la cascarilla de arroz se genera durante el procesamiento del arroz. Ambas cáscaras han sido utilizadas para eliminar contaminantes, como metales pesados y compuestos orgánicos, de aguas y otros entornos ambientales.

Es relevante considerar que la composición química y la estructura de la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz pueden influir en su eficacia y seguridad en aplicaciones específicas. La investigación continúa explorando el potencial de estos materiales como alternativas sostenibles y económicas para la remediación ambiental. La composición química varía según la variedad de cacao y el tipo de arroz, así como las condiciones de cultivo y procesamiento, lo que implica variaciones entre fuentes.

Los resultados de las pruebas experimentales en un biofiltro piloto con cáscaras de cacao mostraron una eficiencia del 56.30 % en la remoción de DBO₅. Sin embargo, estos resultados difieren de los obtenidos por Burgos y

Destin (2021), quienes utilizaron un filtro con fibra de coco y alcanzaron un 93.91 % en la remoción de DBO_5 . La diferencia podría atribuirse a la recirculación del agua realizada en su investigación, lo que favorece la actividad microbiana y, por lo tanto, la remoción de contaminantes.

Además, Maya (2017) encontró que un biofiltro piloto con cáscaras de cacao logró una eficiencia del 85 % en la remoción de DBO_5 y un 85.27 % en DQO. Morales, Reyes, Quiñones y Milla (2019) destacaron el uso de *Eichhornia crassipes* para la depuración de aguas residuales y obtuvieron una eficiencia favorable del 83.18 % en DBO_5 y 85.97 % en DQO.

En cuanto a los parámetros de SST y turbidez, el biofiltro piloto mostró eficiencias del 75.48 % y 96.22 %, respectivamente, superando los resultados obtenidos por Zambrano (2019) utilizando cáscaras de maíz y cacao.

El análisis del pH en el biofiltro piloto arrojó valores iniciales de 7.7 y finales de 6.64, dentro de los límites permitidos por la normativa del Acuerdo Ministerial 097. A. Reyes (2016) también informó que sus datos de pH se encontraban en el rango normal de 6 a 9.

Macías (2021) construyó biofiltros piloto con cáscaras de cacao, arena, gravilla y grava como materiales de lecho filtrante, y sus resultados cumplieron con los límites permitidos para la depuración de aguas residuales. Esto confirma la efectividad del tratamiento con cáscaras de cacao, respaldando los resultados de la presente investigación en los mismos parámetros mencionados.

6. Conclusiones

Los resultados de este estudio respaldan la capacidad de la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz para adsorber eficazmente los contaminantes presentes en aguas residuales, lo que sugiere su potencial como soluciones sostenibles y económicas en el tratamiento de este tipo de aguas.

En relación a la construcción de los biofiltros, es fundamental destacar el éxito en la implementación de un sistema de filtración utilizando las cascarillas de cacao y arroz. Los resultados obtenidos señalan que esta tecnología puede constituir una alternativa efectiva y respetuosa con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales generadas en la industria alimentaria, especialmente en la producción de arroz. Además, se confirmó la capacidad de los biofiltros para reducir los niveles de materia suspendida y carga orgánica en los efluentes, lo que contribuye a la mejora de la calidad del agua y a la reducción del impacto ambiental.

La eficiencia de los biofiltros está influenciada por múltiples factores, incluyendo el tipo de material de filtración utilizado, la carga orgánica y la concentración de sólidos suspendidos. Es igualmente importante considerar los parámetros de diseño propuestos por otros investigadores, tales como la profundidad del medio de filtración, el diámetro de los poros, el tiempo de retención hidráulica y la tasa de carga orgánica.

Se llevó a cabo una caracterización inicial que permitió establecer un punto de referencia para posteriormente comparar los resultados de los parámetros después de aplicar cada uno de los tratamientos. Los análisis revelaron que el DBO_5 fue de 135 mg/l, la DQO de 49.7 mg/l, los sólidos suspendidos totales alcanzaron los 416 ppm, la turbidez llegó a 111 NTU y el pH se situó en 7.7. Es

relevante mencionar que el parámetro de sólidos suspendidos totales superó los límites máximos permitidos por el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 2.

El biofiltro compuesto por cáscara de cacao demostró su eficacia en la depuración del agua residual de la piladora "La Maná" en Santa Lucía, logrando porcentajes de remoción del 56.30 % en DBO₅, 56.30 % en DQO, 70.11 % en sólidos suspendidos totales y 96.22 % en turbidez.

Se realizaron pruebas experimentales en el laboratorio para evaluar el rendimiento del biofiltro óptimo, y los resultados confirmaron que el proceso de depuración cumplió con los límites establecidos por la legislación vigente en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 2. Es importante destacar que el biofiltro piloto tiene un tiempo de uso aproximado de cuatro semanas, ya que después de ese período, tanto el biocomponente como el lecho filtrante comienzan a saturarse.

Estas conclusiones abren la puerta a la implementación de esta tecnología en otras industrias alimentarias que generen aguas residuales similares, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y al manejo adecuado de los efluentes industriales.

7. Recomendaciones

En el ámbito de la ingeniería ambiental, la búsqueda de soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas residuales adquiere una importancia fundamental. En este contexto, la cascarilla de arroz y la cáscara de cacao han demostrado ser materiales efectivos en la eliminación de contaminantes del agua debido a su capacidad de adsorción. Se sugiere aprovechar plenamente las propiedades adsorbentes de estos materiales, tanto para la depuración de contaminantes en el agua como para la fabricación de materiales adsorbentes.

En lo que respecta a la construcción del biofiltro piloto, es esencial que la estructura sea lo suficientemente robusta para soportar el flujo de agua y que el diseño sea adecuado para prevenir posibles fallos. Asimismo, se destaca la importancia de llevar a cabo una limpieza rigurosa del tanque antes de cada proceso de filtración. Para futuras investigaciones, se recomienda prestar especial atención a los parámetros de diseño, en particular al tiempo de retención hidráulica, con el fin de obtener resultados precisos y confiables.

Resulta fundamental considerar la evaluación de las cantidades y la naturaleza de los materiales utilizados en la construcción de los biofiltros, tales como el lecho filtrante, los componentes biológicos, la gravilla, la grava, el carbón activado y la arena. Esto puede significativamente mejorar la eficiencia de los filtros. Además, se debe prestar atención al tiempo de filtración y emplear técnicas precisas en los análisis de laboratorio para asegurar la obtención de resultados confiables y precisos. En términos generales, se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales para optimizar las condiciones de producción y evaluar la capacidad de adsorción de los biofiltros.

Bibliografía

- Antúñez, A., y Guanoquiza, L. L. (2018). La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. *Revista Visión Contable*, 5337(19), 64-101.
- Fundación Aquae. (2019). *Informe de la calidad del agua y la desigualdad*. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/>
- Bernal, C. (2022). *Construcción de un biofiltro piloto adicionando Eichhornia crassipes para depuración de aguas residuales del hospital* (Tesis de Grado). Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- Blacio, D., y Palacios, J. (2011). Filtros Biologicos Para La Potabilizacion Del Agua, Posibilidades De Uso De Fla (Filtros Lentos De Arena) Con Agua Superficial De Nuestra Region. *UCUENCA*, 700(71), 1-81.
- Bravo, K., y Garzón, A. (2017). *Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (cocos nucifera) para remoción de contaminantes en agua* (Tesis de Grado). Universidad politécnica agropecuaria de manabí, Manabí, Ecuador.
- Banco de desarrollo de America Latina. (2016). *CAF y su apoyo al tratamiento de aguas residuales en América Latina*. Recuperado de https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/901/Bolet%C3%ADn%20agua%20abril%202016_digital.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cánepa, L. (2010, 29 de enero). Filtración lenta como proceso de desinfección. Elaguapotable. Recuperado de <http://www.elaguapotable.com/>
- Castillo, A., y Becerra, N. (12 de agosto de 2020). Revisión de eficiencia del lombrifiltro y biofiltro en la remoción de DBO y DQO en aguas residuales

domésticas. *Dirección general de Investigación*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3225>.

Cecen, F., y Aktaş, Ö. (2011). *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment*. Estambul, Turquía: Wiley-vch.

Cedeño, R. O., y Ayón, C. C. (2020). Reducción de color y turbidez en aguas residuales del camal municipal de manta , mediante biofiltración con cáscara de coco (cocos nucifera) y cascarilla de arroz (oryza sativa), enero 2020. *YAKU*, 3(6), 37-12.

Díaz-Oviedo, A. F., Ramón-Valencia, B. A., y Moreno-Contreras, G. G. (2022). Caracterización físico-química de la cáscara de mazorca de cacao como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados. *Scielo*, 12(1), 97-106.

El Salous, A., Martillo García, J. J., Gómez Vargas, J. A., y Martínez Alcivar, F. R. (2020). Mejoramiento de la calidad del cultivo de cacao en Ecuador. *RVG*, 25(3), 368-380.

Estrada, W. J., Romero Castellano, X. G., y Moreno Peraza, J. A. (7 de diciembre de 2016). Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas. Catie. Recuperado de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/01/Estrada_et_al_Guia_Tecnica_Cacao.pdf

Fernandez, A. (1 de octubre de 2013). El agua en México : El agua en México. Medio Ambiente y desarrollo hacia un manejo sustentable del agua, *rd*u. Recuperado de [http:// www.iberroamericaninstituteofthehague.org.pdf](http://www.iberroamericaninstituteofthehague.org.pdf).

García, F. J. (2019). *Minimización de vertidos para el desarrollo sostenible*.

Recuperado de https://books.google.com.ec/books/about/Minimización_de_vertidos_para_el_desarr.html?id=h3bIDwAAQBAJ&redir_esc=y

García-Sánchez, A., Orta de Velásquez, M. T., López-López, E., Gutiérrez-Segura, E., y Linares, H. (2019). Biofiltration of volatile organic compounds using different organic materials. *Science*, 26(28), 28649-28660.

Gómez, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(1), 7-8.

Guerra, F., Cabrera, M., y Salazar, W. (2018). Prototipo para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria quesera en el cantón Guano. *Novasinerгия*, 1(2), 20-29.

Hernández, A. T., y Tautiva, Y. A. (2020). Determinación del coeficiente de filtración (λ) global, para 3 tipos de lechos filtrantes utilizando la turbiedad inicial en ptpa a nivel cundinamarca. *Akrab*, 5(1), 43-54.

Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013 Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras. Instituto Ecuatoriano De Normalización*. Recuperado de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/n-te-inen-2169-agua.-calidad-del-agua.-muestreo.-manejo-y-conservación-de-muestras.pdf>

- Jácome, A. X. (2020). *Evaluación de la eficiencia de un biofiltro de cascarilla de arroz para tratamiento de aguas residuales de piladoras de yaguachi* (tesis de pregrado). Universidad Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí, Manabí, Ecuador.
- Jiang, Y., Dong, B., Wu, X., Wu, Y., y Yang, Q. (2020). Effects of organic packing materials on the performance of biofilters for wastewater treatment. *Science*, 175(285), 115677.
- Jurado Chora, P. V., y Suntaxi Cantuña, G. M. (2020). *Evaluación de la cáscara de banano como material de empaque en un sistema de biofiltración para tratar aguas residuales provenientes del Lavado y Tinturado de Jeans* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Kumar, A., Kumar, V., Yadav, S., y Kumar, V. (2019). Heavy metals in industrial wastewater and their effect on human health. *Science*, 248(377), 114-126.
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, A., y Arrieta, A. (2016). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *ION*, 29(2), 111-122.
- Larrea, M. (2015). *El Cultivo De Cacao Nacional* [versión electrónica]. Quito, <https://www.ecociencia.org>.
- Llanos, O., Ríos, A., Jaramillo, C. A., y Rodríguez, L. F. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Unad*, 11(2), 150-160.

Loor Solorzano, R. G., Fouet, O., Lemainque, A., Pavek, S., Boccara, M., Argout, X., Amores, F., Courtois, B., Risterucci, A. M., y Lanaud, C. (2012). Insight into the Wild Origin, Migration and Domestication History of the Fine Flavour Nacional Theobroma cacao L. Variety from Ecuador. *PLoS ONE*, 7(11), 10-1371.

Macías, G. (Ed.). (2021). *Universidad técnica estatal de quevedo facultad de ciencias ambientales "aprovechamiento de residuos de cáscara de cacao en la*. Quevedo, Ecuador: Editorial UTEQ.

Martínez, M. R., Mendoza, J. Y., Medrano, B. E., Gómez, L. M., y Zafra, C. A. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15-24.

Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C., y Escobar, C. (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *Scielo*, 16, 7-12.

Morales, E., Reyes, J., Quiñones, L., y Milla, M. (2019). Efecto del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la depuración del agua residual del colector Santa Lucía- Chachapoyas. *Cinecia y Tecnología*, 15(4), 19-25.

Moreno Tapia, J. (2014). Tipos de Investigación. *DIVULGARE*, 1(1), 4-7.

Naciones Unidas. (2017). *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017: Las aguas residuales: el curso desaprovechado, resumen ejecutivo*. Recuperado de

https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pdf0000247552_spa.

Noboa, E. (Ed.). (2014). *Diseño de un filtro de carbón activado para la remoción de cloro libre residual del agua potable para uso en la industria farmacéutica*.

Quito, Ecuador: Editorial USFQ.

Organización de las Naciones Unidas. (2018). *Informe de los desafíos globales-agua | Naciones Unidas*. Recuperado de <https://www.un.org/es/global-issues/water>

Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal. *Augura*, 1(4), 4-7.

Pérez, H. I. I., Rodríguez, I. D., y García, R. M. B. (2018). Principales enfermedades que afectan al cultivo del arroz en Ecuador y alternativas para su control. *Agroecosistemas*, 6(1), 16-27.

Puacar Rosas, Y. W. (2021). *Un biofiltro con carbon vegetal-tuyururi-2019*. Una Revisión. In *Revista Ingeniería y Región* (Vol. 11)

Reyes, J. V. (2016). Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Enfoque UTE*, 3(1), 41-56.

Rivera, E., Sánchez, M., y Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de Iniciación Científica*, 4(2), 101-105.

Rosangela, K., y Monar, M. (2017). *Universidad técnica de ambato facultad de ingeniería civil y mecánica carrera de ingeniería civil trabajo experimental previo a la obtención del título de ingeniero civil* (tesis de pregrado). Universidad Técnica De Ambato, Ambato, Ecuador.

- Ruiz, D. C. (2017). *Método de estimación de sólidos suspendidos totales como indicador de la calidad del agua mediante Imágenes satelitales* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Sánchez Proaño, R. G., y García Gualoto, K. J. (2018). Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. *Revista de ciencias de la vida*, 27(1), 103-111.
- Sánchez, V., Zambrano, J. L., Iglesias, C., Rodríguez, E., Villalobos, V., y Díaz, F. J. (Ed.). (2019). Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe. En *La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe*. Quito, Ecuador: Editorial INIAP.
- Santillán, J. (2020). *Diseñar un biofiltro mineral mediante zeolita y carbón activado para descontaminación de agua en la cooperativa Unidos Venceremos II* (Tesis de Grado). Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- Unidas, N. (2015). *Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible*. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Valente, J. P. S., Padilha, P. M., y Silva (1997). Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. *Eclética Química*, 22, 49-66.
- Vargas, Y. A., y Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 1, 59-72.
- Villanueva, A. A. C., Flores, H. E., Sahagún, R., SILVA, Á. S., ZAMORA, H. D.,

- Rojas, I. R., Rodrigues, V. A., Piérart, I. S. P., Rojas, G. C., Melorose, J., Perroy, R., Careas, S., Llagas Chafloque, W., Guadalupe Gómez, E., Lara Borrero, J. A., Garcia, J. S., Corzo, A. H., Delgadillo, O., ... Alvarado, P. C. O. (2013). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. *Universidad Politecnica de Cataluña*, 1(3), 39-51.
- Wang, X., Chen, J., Wang, Y., y Li, X. (2021). Advanced treatment technologies for the removal of persistent organic pollutants from industrial wastewater. *Science*, 281, 130917.
- Zambrano, C. M. (2019). Eficiencia del biofiltro a base de los residuos del cultivo de maíz (zea mays) y cacao (theobroma cacao) para remoción de sólidos en agua. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(3), 523–535.
- Zavala, C. H., Pretell, V., Verastegui, J., y Ramirez, A. (2021). Estimación del potencial energético del gas pobre a partir de la gasificación de cáscara de cacao y racimos de frutos vacíos de palma aceitera. *Información tecnológica*, 32(2), 143-150.

Anexos

Anexo 1 Mapa de la piladora "Industria La Maná"



Figura 8. Mapa de Piladora Industria La Maná Campodónico, 2023.

Anexo 2.

Tabla 23. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmino	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ^c	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformoECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ^c	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ^{<2}	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Nota: Tabla 9 Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.

Acuerdo Ministerial 097 A, 2015.

Campodónico, 2023

Anexo 3 .

Diseño a escala piloto un biofiltro a base de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.).

En este diseño a escala piloto se presentaron tres biofiltros para el tratamiento de aguas residuales, destinados a purificar un caudal de 12,500 litros de agua. Cada biofiltro utilizó diferentes materiales de lecho filtrante y se analizaron parámetros claves de calidad del agua, incluyendo DBO₅, DQO, SST, pH y turbidez. El objetivo fue proporcionar un enfoque detallado y accesible para la construcción y evaluación de estos biofiltros, de manera que personas no expertas puedan llevar a cabo el proceso.

El caudal de 12,500 litros al día fue un factor clave en el diseño y funcionamiento de los biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. Este valor representa la cantidad de agua residual que será procesada y purificada diariamente por los tres biofiltros a escala piloto que se han diseñado.

Aquí hay algunas consideraciones importantes relacionadas con este caudal:

- **Dimensionamiento de los Biofiltros:** El caudal de 12,500 litros al día es el volumen total de agua que los biofiltros deben tratar. Para asegurar una purificación efectiva, se calculó el tiempo de retención adecuado en cada biofiltro. Esto determinó la velocidad a la cual el agua pasa a través del lecho filtrante y, por lo tanto, la eficacia en la eliminación de contaminantes.
- **Distribución del Caudal:** Fue esencial distribuir equitativamente el caudal entre los tres biofiltros para que cada uno maneje una porción adecuada del agua residual. Esto se logra mediante el uso de tuberías de entrada y sistemas de distribución que dividen uniformemente el flujo.

- **Capacidad de Tratamiento:** Los biofiltros fueron dimensionados y contruidos de manera que pudieron manejar el caudal diario sin comprometer su eficacia. Esto implica que el lecho filtrante sea lo suficientemente grande y que se ajuste a las tasas de flujo óptimas para cada material filtrante específico.
- **Monitoreo Continuo:** Dado el volumen significativo de agua que se trata diariamente, fue importante establecer un sistema de monitoreo continuo de los parámetros de calidad del agua para asegurarse de que los biofiltros estén funcionando de manera efectiva.
- **Posible Ampliación:** Se encontró que los biofiltros a escala piloto son efectivos en el tratamiento del caudal de 12,500 litros al día, se podría considerar la posibilidad de ampliar el sistema a una escala mayor para el tratamiento de volúmenes de agua residual aún más grandes.

$$\text{Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)} = \frac{\text{Volumen del Sistema (V)}}{\text{Tasa de flujo (Q)}}$$

Volumen del Sistema (V): Este es el volumen total del sistema de tratamiento, que en este caso sería el volumen del biofiltro. Para un biofiltro rectangular como el que se ha descrito previamente, el volumen se puede calcular multiplicando la longitud, el ancho y la profundidad del biofiltro. En este caso, sería 1.465 m x 1.12 m x profundidad.

Tasa de Flujo (Q): Esta es la cantidad de agua que fluye a través del sistema en un período de tiempo dado. En este caso, sería el caudal de 12,500 litros al día. Para convertirlo a metros cúbicos por día (que es la unidad que se utiliza en el sistema métrico), debes dividirlo por 1,000, ya que hay 1,000 litros en un metro cúbico.

Después de calcular el tiempo de retención hidráulica, fue importante asegurarse de que sea adecuado para los objetivos de tratamiento y que permita que el agua tenga suficiente tiempo para interactuar con el lecho filtrante y ser purificada.

Esta fórmula calcula el tiempo de retención hidráulica, pero para evaluar la eficacia en la eliminación de contaminantes, también se debe considerar la cinética de reacción de los contaminantes específicos y realizar un monitoreo constante de los parámetros de calidad del agua, como se mencionó anteriormente.

Diseño de los Biofiltros

Los tres biofiltros tuvieron dimensiones idénticas de 1.465 metros de largo, 1.12 metros de ancho y una tapa de entrada de 0.55 metros. Cada biofiltro estuvo contenido en un compartimento independiente.



Figura 9 Especificaciones técnicas del diseño del biofiltro.

A continuación, se describen los materiales de lecho filtrante y el procedimiento para su construcción:

Materiales del Lecho Filtrante

Se utilizaron los siguientes materiales de lecho filtrante comunes para los tres biofiltros:

- Grava: Proporcionó una base sólida para el lecho filtrante y permitirá el drenaje adecuado del agua tratada.
- Gravilla: Mejoró la filtración y la retención de partículas.
- Arena: Ayudó a mejorar la calidad del agua tratada al eliminar partículas más finas y mejorar la absorción.
- Carbón Activado: Se utilizó para adsorber compuestos orgánicos y mejorar la calidad del agua.

Procedimiento para la Construcción

A continuación, se presenta un procedimiento paso a paso para la construcción de los tres biofiltros:

Paso 1: Preparación del Tanque

- Coloque cada tanque con las dimensiones mencionadas en una ubicación adecuada.
- Asegúrese de que los tanques estén nivelados y firmemente asentados en el suelo.

Paso 2: Capa Base de Grava

- En cada tanque, agregue una capa de grava de aproximadamente 15 cm de espesor como base.

Paso 3: Capa de Gravilla

- Sobre la capa de grava, coloque una capa de gravilla de aproximadamente 30 cm de espesor.

Paso 4: Capa de Arena

- Sobre la capa de gravilla, agregue una capa de arena de aproximadamente 30 cm de espesor.

Paso 5: Capa de Carbón Activado

- Sobre la capa de arena, agregue una capa de carbón activado de aproximadamente 15 cm de espesor.

Paso 6: Materiales de Lecho Filtrante Específicos por Biofiltro

- En el primer biofiltro, llene el compartimento con cáscaras de cacao hasta alcanzar una altura de 30 cm.
- En el segundo biofiltro, llene el compartimento con cáscaras de arroz hasta alcanzar una altura de 30 cm.
- En el tercer biofiltro, llene el compartimento con una mezcla de cáscaras de cacao y arroz hasta alcanzar una altura de 30 cm.

Paso 7: Entrada de Agua

- En la parte superior de cada tanque, instale una tapa de entrada de 0.55 metros de ancho para permitir la introducción del agua residual.

Paso 8: Monitoreo y Análisis

- Dirija el flujo de agua residual hacia cada biofiltro y registre los parámetros de calidad del agua (DBO₅, DQO, SST, pH y turbidez) antes y después del tratamiento.

- Realice análisis periódicos para evaluar la eficacia de cada biofiltro en la eliminación de contaminantes.

Este diseño a escala piloto permitió la evaluación de la eficacia de los tres biofiltros en la purificación del caudal de agua residual. Los resultados obtenidos sirven como base para considerar la implementación de sistemas de tratamiento a mayor escala en el futuro.

Monitoreo y Análisis de Parámetros

Para evaluar la eficacia de los biofiltros, fue fundamental llevar a cabo un monitoreo constante de los parámetros de calidad del agua:

- DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno a 5 días): Indicó la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para descomponer la materia orgánica. Un descenso en los valores de DBO₅ después del tratamiento sugiere una reducción en la materia orgánica.
- DQO (Demanda Química de Oxígeno): Mide la cantidad total de sustancias químicas oxidables en el agua. La disminución de la DQO indica una reducción de contaminantes químicos.
- SST (Sólidos Suspendidos Totales): Representa la cantidad de partículas sólidas en suspensión en el agua. Un descenso en los valores de SST indica una mejora en la claridad del agua.
- pH: Controlar el pH es importante para asegurar que el agua tratada esté dentro de los límites aceptables para su uso o descarga.
- Turbidez: La turbidez mide la opacidad del agua debido a la presencia de partículas en suspensión. Una disminución en la turbidez indica una mayor claridad del agua.

Consideraciones Ambientales y de Seguridad

Es importante recordar que el agua tratada tuvo residuos que deben ser gestionados adecuadamente. Además, fue fundamental seguir las regulaciones ambientales locales y los procedimientos de seguridad al operar los biofiltros.

Este diseño a escala piloto permitió una evaluación práctica y efectiva de los biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. Los resultados obtenidos fueron valiosos para tomar decisiones informadas sobre la implementación de sistemas de tratamiento a mayor escala y contribuir a la mejora de la calidad del agua en el entorno deseado.

Resultados y Ajustes

Después de un período de operación, se evaluaron los resultados obtenidos en cada biofiltro y realizar ajustes según sea necesario. Si se observan mejoras insuficientes en la calidad del agua, se pueden modificar las capas del lecho filtrante o aumentar el tiempo de retención del agua en el biofiltro.

Tabla 24. Porcentaje de remoción de Turbidez

Tratamiento	Repeticiones	Tratamientos	% de Remoción
T1	1	T ₁ R ₁	70,05
	2	T ₁ R ₂	70,29
	3	T ₁ R ₃	70,00
	EFICIENCIA		70,11%
T2	1	T ₂ R ₁	72,02
	2	T ₂ R ₂	72,55
	3	T ₂ R ₃	72,06
	EFICIENCIA		72,21%
T3	1	T ₃ R ₁	75,38
	2	T ₃ R ₂	75,91
	3	T ₃ R ₃	75,14
	EFICIENCIA		75,48%

Anexo 4.

Tabla 25. Determinación del pH

Tratamiento	Repeticiones	Tratamientos	%de disminución
T1	1	T ₁ R ₁	13,25
	2	T ₁ R ₂	13,90
	3	T ₁ R ₃	14,03
	EFICIENCIA		13,72%
T2	1	T ₂ R ₁	16,49
	2	T ₂ R ₂	17,14
	3	T ₂ R ₃	15,32
	EFICIENCIA		16,32%
T3	1	T ₃ R ₁	16,23
	2	T ₃ R ₂	15,45
	3	T ₃ R ₃	15,71
	EFICIENCIA		15,80%

Campodónico, 2023

Anexo 5.

Tabla 26. Porcentaje de remoción de SST

Tratamiento	Repeticiones	Tratamientos	% de Remoción
T1	1	T ₁ R ₁	70,05
	2	T ₁ R ₂	70,29
	3	T ₁ R ₃	70,00
	EFICIENCIA		70,11%
T2	1	T ₂ R ₁	72,02
	2	T ₂ R ₂	72,55
	3	T ₂ R ₃	72,06
	EFICIENCIA		72,21%
T3	1	T ₃ R ₁	75,38
	2	T ₃ R ₂	75,91
	3	T ₃ R ₃	75,14
	EFICIENCIA		75,48%

Campodónico, 2023

Anexo 6.

Tabla 27. Porcentaje de remoción de DBO

Tratamiento	Repeticiones	Tratamientos	% de Remoción
T1	1	T ₁ R ₁	56,30
	EFICIENCIA		56,30%
T2	1	T ₂ R ₁	47,48
	EFICIENCIA		47,48%
T3	1	T ₃ R ₁	41,55
	EFICIENCIA		41,55%

Campodónico, 2023

Anexo 7.

Tabla 28. Porcentaje de remoción de DQO

Tratamiento	Repeticiones	Tratamientos	% de Remoción
T1	1	T ₁ R ₁	56,30
	EFICIENCIA		56,30%
T2	1	T ₂ R ₁	45,19
	EFICIENCIA		45,19%
T3	1	T ₃ R ₁	50,37
	EFICIENCIA		50,37%

Campodónico, 2023

Anexo 8.

Tabla 29. Límites descarga en cuerpos de agua dulce AM 097A Tabla 9 en el tratamiento T1 (100% cacao)

Parámetros analizados	Expresada como	Unidades	Valores obtenidos	Límites permisibles AM 097 ^a	Cumple Si/No
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades de pH	6.64	6-9	Cumple
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	124,33	130	Cumple
Turbidez	NTU	NTU	4.2	-	-
Demanda biológica de Oxígeno	DBO ₅	mg/l	23.3	100	Cumple
Demanda química de Oxígeno	DQO	mg/l	59	200	Cumple

Campodónico, 2022

Anexo 9.

Tabla 30. Límites descarga en cuerpos de agua dulce AM 097A Tabla 9 en el tratamiento T2 (100% arroz)

Parámetros analizados	Expresada como	Unidades	Valores obtenidos	Límites permisibles AM 097 ^a	Cumple Si/No
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades de pH	6.44	6-9	Cumple
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	115,61	130	Cumple
Turbidez	NTU	NTU	4.84	-	-
Demanda biológica de Oxígeno	DBO ₅	mg/l	26,1	100	Cumple
Demanda química de Oxígeno	DQO	mg/l	74	200	Cumple

Campodónico, 2023

Anexo 10.

Tabla 31. Límites de descarga en cuerpos de agua dulce AM 097A Tabla 9 en el tratamiento T3 (50% cacao + 50 % arroz)

Parámetros analizados	Expresada como	Unidades	Valores obtenidos	Límites permisibles AM 097A	Cumple Si/No
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades de pH	6.48	6-9	Cumple
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	102	130	Cumple
Turbidez	NTU	NTU	4.63	-	-
Demanda biológica de Oxígeno	DBO ₅	mg/l	29.05	100	Cumple
Demanda química de Oxígeno	DQO	mg/l	67	200	Cumple

Campodónico, 2023

Figura 10. Uso del biofiltro recolectando muestras
Campodónico, 2023



Figura 11. Recolección de muestras previo análisis



Figura 12. Muestras filtradas
Campodónico, 2023



Figura 13. Ensayo de turbidez
Campodónico, 2023



Figura 14. Materiales empleados para prueba de SST
Campodónico, 2023



Figura 15. Ensayo de SST
Campodónico, 2023

ELICROM

RESUMEN DE RESULTADOS
ORDEN DE TRABAJO OT-M-1924-22

1 INTRODUCCION

CAMPODONICO RIVERA MICHAEL CARLOS, solicitó el servicio de mediciones en sus instalaciones, con los equipos detallados en el numeral 3 de este documento, para lo que ELICROM Cía. Ltda., presentó una propuesta técnica económica C-43-2023-22, la cual fue aprobada generando la orden de trabajo OT-M-1924-22.

La ejecución de esta orden de trabajo fue coordinada por la Ing. Tatiana Garza, Coordinadora Técnica del Laboratorio de Medio Ambiente de ELICROM, quien asignó a María Martínez - Analista Senior De Laboratorio quien llevó todas las operaciones de coordinación, preparación, muestreo y análisis.

Las mediciones fueron llevadas a cabo el 01 de septiembre del 2023, con el respectivo apoyo y supervisión de Michael Campodónico.

2 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Parámetro	Documento de Referencia
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	SM 52105, PEE EL 335
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	SM 5220 D, HACH 8030, PEE EL 335

3 EQUIPOS UTILIZADOS

CODIGO	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	FECHA CALIBRACION	Nº CERTIFICADO
EL-EM-147	ESPECTROFOTOMETRO	HACH	DR 5000	1442832	2023-05-04	CC-1804-025-23
EL-EM-148	ESPECTROFOTOMETRO	HACH	DR5000	1948868	2023-05-04	CC-1804-025-23
EL-ET-006	INCUBADOR A	POL-ERD	ST4	S248F12987	2023-12-30	CC-4523-384-21

4 TABLA DE RESULTADOS

Los resultados a continuación son comparados directamente con el límite superior o inferior de acuerdo a la norma aplicada, a diferencia de la conformidad que se detalla en los informes que se basa en la declaración de la regla de decisión aplicada por el cliente o por parte de Elicrom.

Locación / puesto / muestra	Parámetro	Resultado	Unidad	Referencia	Evaluación
MUESTRA T1	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	23.30	mg/L		
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	59	mg/L		
MUESTRA T2	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	26.10	mg/L		
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	74	mg/L		
MUESTRA T3	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	29.05	mg/L		
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	67	mg/L		
MUESTRA T4	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	49.7	mg/L		
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	135	mg/L		

Figura 16. Análisis de laboratorio de DBO₅ y DQO
Campodónico, 2023