



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE CACAO
(*Theobroma cacao L.*) EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES
DEL EFLUENTE DE LA CAMARONERA “LA GRINGA”**

AUTORES:

LUIS FERNANDO CHIRIBOGA FARÍAS

JUAN DE DIOS MOLINA CEDEÑO

TUTORA:

ING. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS, M. Sc

CALCETA, FEBRERO 2024

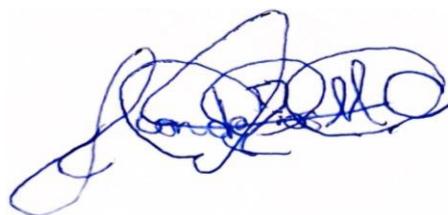
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

LUIS FERNANDO CHIRIBOGA FARÍAS, con cédula de ciudadanía **2350068173** y **JUAN DE DIOS MOLINA CEDEÑO**, con cédula de ciudadanía **1315612497**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE DE LA CAMARONERA “LA GRINGA”** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



LUIS FERNANDO CHIRIBOGA FARÍAS
CC: 2350068173



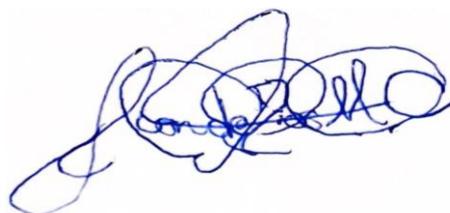
JUAN DE DIOS MOLINA CEDEÑO
CC: 1315612497

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

LUIS FERNANDO CHIRIBOGA FARÍAS, con cédula de ciudadanía **2350068173** y **JUAN DE DIOS MOLINA CEDEÑO**, con cédula de ciudadanía **1315612497**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE DE LA CAMARONERA “LA GRINGA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



LUIS FERNANDO CHIRIBOGA FARÍAS
CC: 2350068173



JUAN DE DIOS MOLINA CEDEÑO
CC: 1315612497

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS, M. Sc, certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE DE LA CAMARONERA “LA GRINGA”**, que ha sido desarrollado por **LUIS FERNANDO CHIRIBOGA FARÍAS** y **JUAN DE DIOS MOLINA CEDEÑO**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS, M. Sc
CC: 1313175158

TUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE DE LA CAMARONERA “LA GRINGA”**, que ha sido desarrollado por **LUIS FERNANDO CHIRIBOGA FARÍAS** y **JUAN DE DIOS MOLINA CEDEÑO**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. VERÓNICA M. VERA VILLAMIL, M. Sc.
CC: 1310201486
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DR. C. JOAN P. COBEÑA CEVALLOS
CC: 1307612885
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. CARLOS A. VILLAFUERTE VÉLEZ, Mg
CC: 1307605541
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer infinitamente a mis padres Rene Chiriboga y Mayra Farias, que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos.

También agradecer a mis hermanas Yolanda y Mayra, mis hermanos Mateo y Matías, por nunca abandonarme y ser mi motivación para jamás rendirme durante la trayectoria académica. Al igual que mi abuela Rosa Iza que siempre estuvo presente con su bendición para que nunca me rindiera a lograr este objetivo, así mismo me impulsó a seguir adelante y motivar a los demás familiares a que se puede lograr los éxitos que queremos en esta vida.

Le agradezco muy profundamente a mi tutora la Ing. Teresa Vivas Saltos Mgs. por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

Por último, agradecer a la universidad que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener buenos conocimientos que me van a servir en un futuro como gran profesional. Agradezco a cada directivo por su trabajo y por su gestión, sin lo cual no estarían las bases ni las condiciones para aprender conocimientos.

LUIS FERNANDO CHIRIBOGA FARIÁS

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de este trabajo de tesis. Su apoyo, orientación y aliento fueron fundamentales en este largo y desafiante viaje académico.

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres Rocio Cedeño y José Molina, por su orientación, paciencia y dedicación que fueron esenciales para lograr todo lo que he llegado a ser.

Mi gratitud se extiende a mis familiares y amigos por su amor inquebrantable y apoyo constante a lo largo de mi carrera académica, sus palabras de aliento y comprensión en los momentos difíciles me impulsaron a seguir adelante, agradezco también a mis compañeros de clase por su amistad, apoyo moral y por compartir sus experiencias y conocimientos, a mi tutora Ing. Teresa Vivas Saltos, la cual enriqueció mi perspectiva y este trabajo.

Este logro no hubiera sido posible sin la contribución de todos ustedes, mi agradecimiento se extiende a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de este proceso.

JUAN DE DIOS MOLINA CEDEÑO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo final con mucho orgullo y esfuerzo a mis padres Rene Chiriboga y Mayra Farias, los amo, esto va para ustedes, ya que me apoyaron y contuvieron los momentos buenos, malos y peores. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

Quiero dedicarle también a mi abuela, a mis familiares y a todas esas personas que me apoyaron en todo momento, por convertirse en esas personas importantes en mi vida, porque siempre estuvieron listo para brindarme todo el apoyo y el afecto, para ustedes también con todo el cariño mundo.

Finalmente agradecer a mi abuelo Reinaldo Chiriboga que desde el cielo me guía y me ayuda con su bendición a seguir adelante y no rendirme ante ninguna circunstancia, el cual fue el pilar fundamental de la familia y nos educó con grandes valores y principios.

LUIS FERNANDO CHIRIBOGA FARÍAS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a las personas especiales que han sido la fuente de inspiración y fortaleza a lo largo de mi trayecto académico.

A mis padres, José Molina y Rocío Cedeño, quienes desde el principio me inculcaron la importancia del conocimiento y la perseverancia, su amor, apoyo y sacrificio son el motor que me ha impulsado a alcanzar este logro.

Finalmente, a mis hermanos y abuelita Mary Zambrano que me apoyaron en toda mi carrera por su apoyo incondicional fue un estímulo fundamental para afrontar los obstáculos y seguir avanzando.

JUAN DE DIOS MOLINA CEDEÑO

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
DEDICATORIA	ix
CONTENIDO GENERAL	x
CONTENIDO DE FIGURAS	xiv
CONTENIDO DE FÓRMULAS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4. HIPÓTESIS	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. ACTIVIDADES DE CAMARONERAS	6
2.1.1. AGUA RESIDUAL DE CAMARONERAS.....	6
2.1.2. CARACTERÍSTICA FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL DE CAMARONERAS	6
2.1.3. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LAS ACTIVIDADES DE CAMARONERAS	7
2.2. CACAO	8
2.2.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CACAO.....	8
2.2.2. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL CACAO.....	8
2.2.3. CÁSCARA DE CACAO.....	9

2.3. CARBÓN ACTIVADO.....	9
2.3.1. COMPOSICIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	9
2.3.2. ACTIVACIÓN Y OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO.....	10
2.3.3. TIPOS DE POROS DE CARBÓN ACTIVADO.....	10
2.3.4. APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO.....	11
2.4. BIOCHAR.....	11
2.4.1. IMPORTANCIA DEL BIOCHAR.....	11
2.4.2. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE BIOCHAR EN AGUAS RESIDUALES	12
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	13
3.1. UBICACIÓN	13
3.2. DURACIÓN	13
3.3. MÉTODOS	13
3.3.1. MÉTODO ANALÍTICO	14
3.3.2. MÉTODO EXPERIMENTAL	14
3.4. TÉCNICAS	14
3.4.1. MUESTREO	14
3.4.2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	15
3.5. FACTOR EN ESTUDIO.....	15
3.5.1. NIVELES.....	15
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	15
3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL	16
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	16
3.9. VARIABLES A MEDIR	17
3.9.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	17
3.9.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	17
3.10. PROCEDIMIENTOS	17
3.10.1. FASE I. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN LA CAMARONERA “LA GRINGA”.....	17
3.10.2. FASE II. EXPERIMENTACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DE PROPORCIONES Y TIEMPO DE CONTACTO DE BIOCHAR PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE DE CAMARONERA.....	18

3.10.3. FASE III. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE ADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO (<i>Theobroma cacao L.</i>) PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE LA CAMARONERA “LA GRINGA”	19
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN LA CAMARONERA “LA GRINGA”	21
4.2. EXPERIMENTACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DE PROPORCIONES Y TIEMPO DE CONTACTO DE BIOCHAR PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE DE CAMARONERA	23
4.3. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE ADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO (<i>Theobroma cacao L.</i>) PARA LA REMOCION DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE LA CAMARONERA “LA GRINGA”	25
4.3.1. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL pH.....	27
4.3.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ	29
4.3.3. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR	31
4.3.4. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS SST	33
4.3.5. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES SDT.....	35
4.3.6. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE.....	37
4.3.6.1. COMPARACIÓN DE pH – NORMATIVA.....	38
4.3.6.2. COMPARACIÓN DE TURBIDEZ – NORMATIVA	39
4.3.6.3. COMPARACIÓN DE COLOR – NORMATIVA	40
4.3.6.4. COMPARACIÓN DE SST – NORMATIVA	41
4.3.6.5. COMPARACIÓN SDT – NORMATIVA	42
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. CONCLUSIONES.....	43
5.2. RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	59

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1. Caracterización física-química de agua del efluente de camaronera	7
Tabla 2.2. Composición química del cacao.....	8
Tabla 3.1. Niveles de estudio.....	15
Tabla 3.2. Diseño Completamente al Azar (DCA)	16
Tabla 3.3. Fuentes de variación	16
Tabla 4.1. Caracterización física química del agua residual de la camaronera "La Gringa"	21
Tabla 4.2. Pesos de residuo de cáscara de cacao y del biochar obtenido.....	23
Tabla 4.3. Concentraciones finales de parámetros físico-químicos de la muestra de agua residual de camaronera	25
Tabla 4.4. Remoción promedio de los tratamientos por cada parámetro.....	25
Tabla 4.5. Análisis de la Varianza de la remoción del pH.....	27
Tabla 4.6. Prueba de Tukey en la remoción de pH del agua residual de la camaronera "La Gringa".....	27
Tabla 4.7. Análisis de la Varianza de la remoción de la Turbidez	29
Tabla 4.8. Prueba de Tukey en la remoción de Turbidez del agua residual de la camaronera "La Gringa"	29
Tabla 4.9. Análisis de la Varianza de la remoción del Color	31
Tabla 4.10. Prueba de Tukey en la remoción del Color del agua residual de la camaronera "La Gringa"	31
Tabla 4.11. Análisis de la Varianza de la remoción de SST.....	33
Tabla 4.12. Prueba de Tukey en la remoción de SST del agua residual de la camaronera "La Gringa"	33
Tabla 4.13. Análisis de la Varianza de la remoción de SDT	35
Tabla 4.14. Prueba de Tukey en la remoción de SST del agua residual de la camaronera "La Gringa"	35
Tabla 4.15. Comparación de parámetros físico – químicos entre los resultados obtenidos con los límites permitidos del TULSMA	37

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3.1. Mapa de ubicación de la camaronera “La Gringa”	13
Figura 4.1. Medias del porcentaje de remoción del pH mediante los tratamientos	28
Figura 4.2. Medias del porcentaje de remoción del Turbidez mediante los tratamientos	30
Figura 4.3. Medias del porcentaje de remoción del Color mediante los tratamientos	32
Figura 4.4. Medias del porcentaje de remoción de SST mediante los tratamientos	34
Figura 4.5. Medias del porcentaje de remoción de SDT mediante los tratamientos	36
Figura 4.6. Concentración de pH mediante los tratamientos vs Normativa	38
Figura 4.7. Concentración final de Turbidez mediante los tratamientos vs Normativa	39
Figura 4.8. Concentración final de color mediante los tratamientos vs Normativa	40
Figura 4.9. Concentración final de SST mediante los tratamientos vs Normativa	41
Figura 4.10. Concentración final de SDT mediante los tratamientos vs Normativa	42

CONTENIDO DE FÓRMULAS

Ecuación 3.1. Porcentaje de remoción.....	19
--	----

RESUMEN

La presente investigación evaluó la eficiencia del biochar a base de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la remoción de contaminantes del efluente de la camaronera “La Gringa” en Pedernales, Manabí. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial 3^2 , dos factores (A: concentración de Biochar (g) y B: Tiempo de contacto) y tres niveles, obteniendo 27 unidades experimentales. Se realizó la caracterización del efluente de camaronera analizando parámetros de SST, SDT, Turbidez, Color y pH. Para la obtención de carbón activado de cáscara de cacao se efectuó activación química, con reacciones de deshidratación a 500°C y una mezcla con ácido fosfórico a 85°C. Posteriormente, se aplicaron tratamientos con contacto de biochar en 1000 ml, se determinó el porcentaje de eficiencia en remoción y se comparó con el anexo 1, tabla 9 del TULSMA. La caracterización del agua residual arrojó los siguientes valores: 8.21 pH, 16.8 NTU Turbidez, 416 Pt/Co color, 58 mg/L de SST y 6910 mg/L de SDT, estando dentro de los límites permisibles del TULSMA, a excepción de SDT y color. En los tratamientos, se obtuvo una eficiencia que superó el 80% en la eliminación de color y SST. Los tratamientos T5, T6, T7, T8 y T9 lograron eficiencia superior al 80% en la reducción de turbidez, siendo el T9 (20 gramos de biochar+12 horas de contacto), el que alcanzó 92% de remoción de turbidez, 95% de remoción de color y 96% de eliminación de SST, con una media de 94.33% de remoción para estas variables.

Palabras clave: agua residual, caracterización, biochar, límites permisibles, tratamientos

ABSTRACT

The present research evaluated the efficiency of biochar based on cocoa shell (*Theobroma cacao L.*) in the removal of contaminants from the effluent of the “La Gringa” shrimp farm in Pedernales canton, Manabí province. A Completely Randomized Design (DCA) was used with a 3² factorial arrangement, two factors (A: Biochar concentration (g) and B: Contact time) and three levels, obtaining 27 experimental units. The characterization of the shrimp farm effluent was carried out by analyzing parameters of TSS, TDS, Turbidity, Color and pH. To obtain activated carbon from cocoa shells, it was carried out by chemical activation, that is, dehydration reactions at 500 °C and a mixture with phosphoric acid at 85 °C in the oven. Subsequently, biochar contact treatments were applied in 1000 ml, the percentage of removal efficiency was determined and compared with Annex 1, Table 9 of the TULSMA. The characterization of the wastewater from the “La Gringa” shrimp farm were: 8.21 pH, 16.8 NTU Turbidity, 416 Pt/Co color, 58 mg/L of TSS and 6910 mg/L of TDS, these values are within the permissible limits of the TULSMA except for SDT and color. In the treatments, an efficiency that exceeded 80% was obtained in the removal of color and TSS. Treatments T5, T6, T7, T8 and T9 achieved efficiency greater than 80% in reducing turbidity. It is concluded that T9 (20 grams of biochar + 12 hours of contact), since it achieved 92% removal of turbidity, 95% removal of color and 96% removal of TSS, with an average of 94.33% removal for these variables.

Keywords: residual water, characterization, permissible limits, treatments

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El cultivo de camarones es un área de la acuicultura que ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, contribuyendo sustancialmente a la producción acuícola mundial, la intensificación de la acuicultura del camarón ha tenido consecuencias no deseadas, como la gestión de aguas residuales y otros problemas derivados del impacto ambiental de las aguas residuales (Terkula y Azman, 2021).

La necesidad urgente de encontrar avances útiles para controlar los graves impactos negativos de las aguas residuales de la acuicultura del camarón es apremiante y nunca se puede dejar de enfatizar, se ha informado que más de 1200 millones de personas se ven afectadas por la mala calidad del agua, lo que provoca alrededor de 15 millones de muertes de niños al año en todo el mundo (Meng et al., 2021).

Una estrategia sostenible es el biocarbón un producto carbonizado sólido obtenido a partir de materia prima de biomasa, como residuos agrícolas y otros materiales lignocelulósicos, mediante el proceso controlado de descomposición térmica en ausencia (pirólisis) o entorno limitado (gasificación) de oxígeno con una gran capacidad de adsorción para eliminación de contaminantes en aguas residuales (Chausali et al., 2021).

El procesamiento del cacao deja algunos residuos, más comúnmente la mazorca que cubre el 70% de la fruta, bajo las condiciones inapropiadas provocan un olor desagradable, la descomposición puede contaminar el agua, por lo que una alternativa podría ser convertir estos residuos agrícolas en carbón activado a través de activación química (Esteves, 2019).

Los estudios realizados informan que el carbón activado proveniente de cáscara de cacao presenta excelentes resultados de adsorción de una diversidad de contaminantes presentes en el agua (Macías, 2021).

Por las razones anteriores, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es el nivel de eficacia del biochar elaborado a partir de cáscara de cacao (*Teobroma cacao L.*) en la mejora de la calidad del agua contaminada de camaroneras?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El Ecuador, es uno de los mayores productores de cacao tanto así, que este produce grandes cantidades de mazorcas de cacao en lechos abiertos, durante su pudrición se desarrollan varias plagas y diferentes enfermedades que afectan el rendimiento y provocan contaminación ambiental, por lo que es necesario promover su uso como materia prima y dar valor agregado para la obtención de subproductos por lo cual tiene ventajas comerciales y ambientales.

De acuerdo con Zambrano (2019) la cáscara de cacao se puede considerar como un medio adecuado para mejorar la calidad de las aguas residuales, ya que este es un material orgánico lo cual por ser considerado desecho y tener propiedades como dureza y estructura porosa hace que sea un material alternativo utilizado en el proceso de adsorción.

Este estudio se realizará de conformidad con lo dispuesto en el artículo 1 de la Constitución Política de la República del Ecuador Art. 14 del año 2008 menciona sobre el derecho de la población a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y sostenible. En concordancia con el Art. 276 No. 4 donde se expresa la protección de un medio ambiente sano y sostenible para la calidad del aire, suelo y agua para las personas o la sociedad.

En este sentido, dada la creciente contaminación de las aguas superficiales por actividades humanas, se han realizado diversos estudios reportando resultados satisfactorios utilizando carbón activado de cáscara de cacao, el cual es de gran interés por la disponibilidad de recursos para la descontaminación, y elimina los contaminantes en el agua (Macías, 2021).

Desde el punto de vista ambiental, la Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2018) el objetivo 11 de desarrollo sostenible establece que en 2030 se debe reducir el impacto de las ciudades en el medio ambiente per cápita, ya que se pone énfasis

en mejorar la calidad del agua mediante la implementación de planes y políticas de control de la contaminación, además, de los beneficios de crear vínculos ambientales positivos en las ciudades.

Desde el punto de vista social, la Secretaría Nacional de Planificación de Ecuador [SNPE] (2021) planteó en el plan de creación de oportunidades que la población reconoce que la contaminación ambiental es un tema prioritario y que se deben implementar políticas y normas efectivas para regular y controlar la contaminación. Al igual que con la actividad humana, se reconoce la necesidad de promover la educación ambiental y capacitar a las personas para que participen en el manejo de la degradación ambiental.

En el transcurso de este trabajo, se aprovechará estos residuos de cáscara de cacao en la producción de biocarbón para probar la eficiencia de este, en la eliminación de contaminantes que se encuentran en el agua, lo que contribuirá al uso de estos residuos del medio ambiente y se utilizará para mejorar la calidad del agua residual en las camaroneras.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia del biochar a base de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la remoción de contaminantes del efluente de la camaronera “La Gringa”.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el agua residual para la identificación de los contaminantes presentes en la camaronera “La Gringa”.
- Experimentar con diferentes tamaños de proporciones y tiempo de contacto de biochar para la remoción de contaminantes del efluente de camaronera.
- Determinar la eficiencia de adsorción de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) para la remoción de contaminantes en aguas residuales de la camaronera “La Gringa”.

1.4. HIPÓTESIS

La aplicación de biochar de cáscara de cacao permite una eficiencia por encima del 80% de remoción de los parámetros fisicoquímicos del agua residual en al menos un tratamiento.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ACTIVIDADES DE CAMARONERAS

Las actividades de producción camaronera es el sustento de alrededor de 180.000 persona en Ecuador en varios cantones del país. La producción camaronera del país es uno de los sectores más importantes de la economía nacional, con más de 50 años de producción, este sector representa más del 40% de exportaciones en el Ecuador. Además, la ventaja comparativa de nuestro país puedes ser aprovechada por sus factores climáticos el cual favorecen la producción continua de esta especie, logrando así tres o cuatros ciclos de cosecha anuales con una sobrevivencia del 65% por hectárea cultivada (Uriguen y Ramírez, 2023).

2.1.1. AGUA RESIDUAL DE CAMARONERAS

El remanente de agua descargada de la camaronera hacia un cuerpo de agua dulce se debe al proceso de reposición por abonos orgánicos e inorgánicos en la camaronicultura, ya que tiene un alto contenido de materia orgánica biodegradable, una alta concentración de bacterias coliformes y una composición alcalina, por lo cual no brinda una seguridad en la salud y servicios de saneamiento a los empleados de la empresa. La cría de camarones es una industria que requiere mucha electricidad para hacer funcionar los sistemas de aireación, bombear agua y realizar cambios de agua limpia para mantener la calidad del agua de cultivo, además de agotar los recursos esenciales del cuerpo (Carranza, 2017).

2.1.2. CARACTERÍSTICA FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL DE CAMARONERAS

Entre las principales características de las aguas residuales de camaroneras, se puede identificar claramente un alto enriquecimiento de materia orgánica, así como un alto contenido de nutrientes y sólidos añadidos al producto en suspensión de alimentos no consumidos y heces. Los organismos cultivados pueden afectar los cuerpos de agua receptores (lagunas, ríos, estuarios y pantanos) dependiendo de la especie, el método de cultivo y las condiciones agrícolas e hidrológicas (Zambrano, 2019).

A continuación, se presenta una tabla con varios resultados de análisis para parámetros físico-químico de un efluente de camaronera:

Tabla 2.1. Caracterización física-química de agua del efluente de camaronera

Parámetros	Unidad	Cantidad
Sólidos suspendidos totales	mg/l	6400
Sólidos disueltos totales	mg/l	90
Turbidez	NTU	104
Color real	Unidades de color	170
Potencial de hidrógeno (pH)	-	7.95

Fuente: Zambrano (2019)

2.1.3. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LAS ACTIVIDADES DE CAMARONERAS

La producción de camarones genera ingresos significativos para el país, pero existen preocupaciones sobre su posible impacto ambiental y social. Los principales problemas que ocasiona esta actividad son la transformación de los ecosistemas naturales, especialmente los manglares utilizados para crear estanques camaroneros, impactos como la salinización de las aguas subterráneas y del suelo agrícola, el uso de harina de pescado en la alimentación de los camarones, la contaminación de las aguas costeras por los efluentes de los estanques causados por impactos en la biodiversidad de la recolección natural de semillas y peces reproductores y conflictos sociales en algunas zonas hidrológicas costeras (Yelena et al., 2019).

Según Briones y Solórzano (2018) las piscinas camaroneras se construyen sobre manglares y humedales, que son ecosistemas importantes ecológicamente para el desarrollo de la flora y fauna, pero se ven afectados por esta actividad, debido al enorme potencial contaminante de los efluentes de las granjas camaroneras.

2.2. CACAO

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es considerada una planta originaria de América tropical, se caracteriza por ser una planta de porte bajo, hasta 8 metros de alto y con un marcado dimorfismo de ramas (Daviran, 2021). De acuerdo con Tejada et al. (2018) el cacao se lo cataloga como un producto agroalimentario en la explotación cacaotera donde solo se aprovecha económicamente la semilla, que representa alrededor de un 10% del peso del fruto fresco.

2.2.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CACAO

La tabla 2.2 muestra la composición química del cacao:

Tabla 2.2. Composición química del cacao

Parámetros %	%p/p
Humedad	85
Proteínas	1.07
Minerales	1.41
Grasas	0.02
Fibra	5.45
Carbohidratos	7.05
N	0.171
P	0.026
K	0.545
Pectinas	0.89

Fuente: Torres (2021)

2.2.2. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL CACAO

La industria del cacao desperdicia una gran cantidad de materiales que podrían utilizarse como base para nuevos productos, incluidas las cáscaras de cacao y el mucílago. Con ellos, podemos crear dos productos residuales principales en la industria del cacao; residuos industriales: paja y residuos agrícolas: cascarilla y limo (Parra et al., 2018).

2.2.3. CÁSCARA DE CACAO

La cascarilla de cacao es considerada como un subproducto o desecho rico de las fincas cacaoteras debido a que es un desecho agrícola que contiene celulosa y por ende tiene una alta capacidad de adsorción de contaminantes, por lo que se considera un eficaz adsorbente de contaminantes en solución acuosa, los estudios de caracterización revelaron varias propiedades de la cáscara de cacao, como su gran capacidad para absorber y retener agua, alto contenido de grupos hidroxilo (principalmente a través de la presencia de celulosa y lignina) y alta biodegradabilidad (Gómez et al., 2020).

2.3. CARBÓN ACTIVADO

Según Yachas (2019) el carbón activado o carbón activo es un término genérico que describe una familia de adsorbentes carbonáceos altamente cristalinos y con una porosidad interna altamente desarrollada. Balta (2019) expone que el carbón activado (CA) es un material carbonoso, microcristalino y no grafitico, preparado por carbonización de materiales orgánicos, especialmente de origen vegetal, que se ha sometido a un proceso de activación con gases oxidantes, o bien a un tratamiento con adición de productos químicos, con el objeto de aumentar su porosidad y desarrollar su superficie interna, lo que confiere a los carbones activados una alta capacidad adsorbente.

2.3.1. COMPOSICIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado está compuesto por material de gran espectro diferente, principalmente con cristales elementales en su estructura interior variando así la granulometría, observado desde la composición química es un carbón natural, como el diamante, el grafito, el color oscuro de humo, y como tal la variedad de carbones minerales, todo aquel posee dominio de adsorber, esto refiere a un fenómeno físico-químico en el cual el sólido adsorbente inmoviliza en sus paredes a gran cantidad de moléculas nombrados adsorbatos y que se encuentran dentro de líquidos o gases (Condor y Maza, 2020).

2.3.2. ACTIVACIÓN Y OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Se entiende por activación química generada por reacciones de deshidratación química, que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas, en este proceso el material a base de carbón se impregna con un agente químico, principalmente ácido fosfórico (o cloruro de cinc) y el material impregnado se calienta en un horno a 500–700 °C, los agentes químicos utilizados reducen la formación de materia volátil y alquitranes se lava para eliminar los restos del agente químico usado (Luy, 2022). Rodríguez (2020) menciona que el uso de H_3PO_4 como agente activante permite obtener carbones activados con altas capacidades de retención para compuestos orgánicos volátiles, superiores a las que se consiguen empleando otros agentes activantes.

2.3.3. TIPOS DE POROS DE CARBÓN ACTIVADO

Debido a su gran distribución de tamaño de poro y forma, pueden clasificarse como microporosos, mesoporosos o macroporosos, o incluso presentar una estructura mixta, micromesoporosa, la presencia de microporos es predominante en carbones activados preparados convencionalmente, lo que implica la necesidad de tratamientos de producción específicos que favorezcan la formación de poros más grandes accesibles por moléculas más grandes, tales moléculas requieren no solo una gran superficie, sino también un mayor volumen de meso y macroporos en la estructura de carbón activado, mientras que el diámetro de los microporos permite el acceso exclusivo de pequeños adsorbatos, como en el caso de las moléculas de gas (Vidal et al., 2018).

Minaya et al. (2020) indican que cada tipo de poro tiene una función clave en las propiedades de adsorción que pueda tener el carbón activado preparado debido a su estructura y distribución de sus poros encontramos, microporos diámetro de poro menor de 2 nm mesoporos diámetro de poro entre 2 nm y 50 nm, macroporos: diámetro de poro mayor de 50 nm.

2.3.4. APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado es un adsorbente versátil ya que sus características del tamaño de poro, de forma y superficie química pueden controlarse en el proceso de producción, en la actualidad tienen múltiples usos, en ciertos países suman aproximadamente un 80% del total del uso en distintos productos en general, la adsorción sobre carbones activados es principalmente por la capacidad que posee de recuperar el adsorbato, gracias a esto es lo más utilizado por ejemplo para recuperación de solventes en el aire y en el uso en filtros de agua, permite la adsorción de impurezas, los disolventes comunes que más se recuperan usando material carbonoso son principalmente los solventes orgánicos derivados del benceno, alcoholes y clorados (Novillo y Serrano, 2019).

2.4. BIOCHAR

El biochar, el producto sólido del pirólisis de biomasa, se ha producido y utilizado durante varios miles de años y es conocido como carbón vegetal, cuando se produce a partir de biomasa leñosa (Weber y Quicker, 2018). Por otro lado, Wang y Shizong (2019) mencionan que el biochar es un material rico en carbono con la capacidad de intercambio catiónico que se puede preparar a partir de diversas materias primas de desechos orgánicos, como desechos agrícolas y lodos de aguas residuales municipales.

2.4.1. IMPORTANCIA DEL BIOCHAR

Es importante resaltar que las propiedades físicas y químicas del biocarbón pueden ser modificadas bajo diferentes tratamientos para lograr la adsorción eficaz de un contaminante en específico destacando que el biocarbón se posiciona por encima del carbón activado debido a su sostenibilidad, bajo costo de producción y a sus fuentes de generación, ya que este es un subproducto que puede ser generado a partir del proceso de conversión termoquímica de biomasa residual; contrario al carbón activado, el cual es generalmente producido a partir de recursos no renovables. Por otro lado, el biocarbón es fácilmente reciclable, a diferencia del carbón activado (Gallego et al., 2022).

2.4.2. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE BIOCHAR EN AGUAS RESIDUALES

El proceso de adsorción, con carbón activado como adsorbente, es ampliamente utilizado en la purificación de agua y por lo tanto es capaz de adsorber nutrientes y otros compuestos disueltos en ella, la capacidad de adsorción del biochar ha sido incluso mejor que la del carbón activado aunque se ha utilizado principalmente como enmienda del suelo, pero como buen adsorbente, puede proporcionar una alternativa de menor costo al carbón activado en el tratamiento de aguas Residuales (Tajja et al., 2020).

La capacidad de adsorción del biocarbón en aguas residuales se verá reflejada directamente con la dosis de biocarbón utilizado, así como con otros parámetros tales como la concentración del contaminante y los tiempos de contacto (tiempo de retención hidráulico) no obstante, dependiendo del tipo de contaminante que se desee remover y del origen del biocarbón, la dosis del biocarbón tendrá un efecto diferente se puede presentar el caso de un aumento de la dosis y a su vez un aumento en la adsorción, pero también puede tener lugar el efecto contrario; es decir, que, aunque aumente la dosis del adsorbente el proceso de adsorción se vea limitado (López et al., 2020).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se realizó en la camaronera “La Gringa” correspondiente a un punto de la ciudad de Pedernales en la provincia de Manabí, a una latitud de -0.248971 y una longitud de $-80-017683$ a una altitud de 5 m.s.n.m.

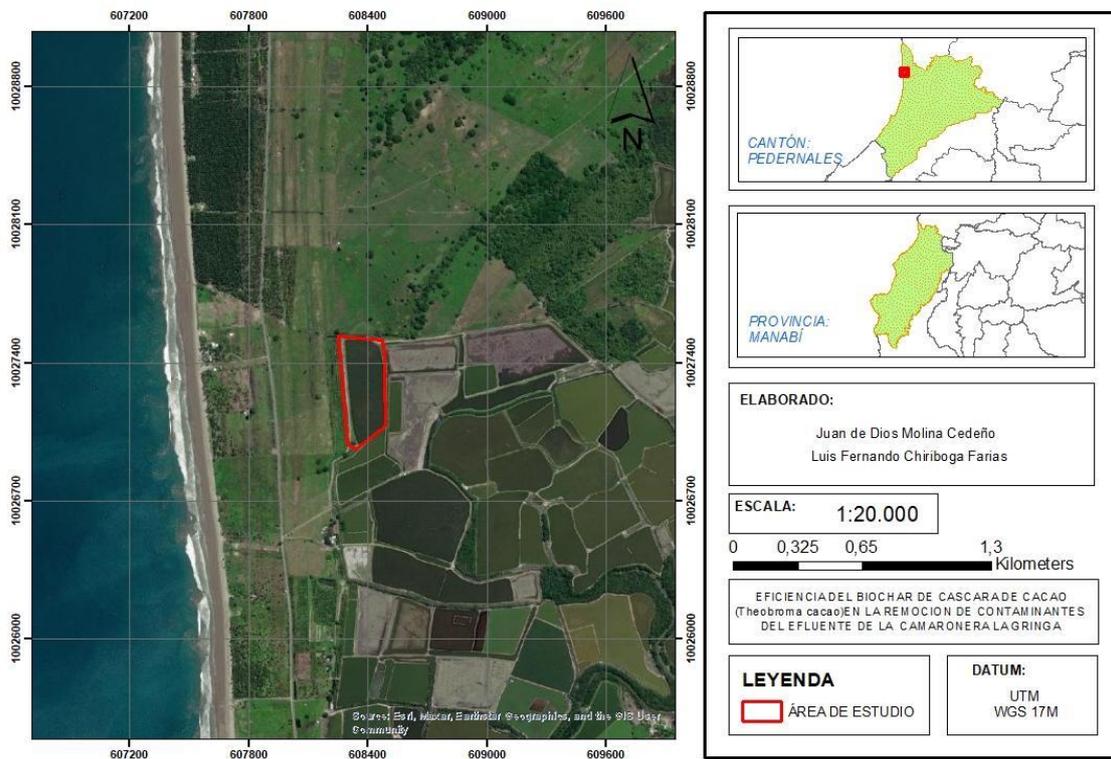


Figura 3.1. Mapa de ubicación de la camaronera “La Gringa”.

3.2. DURACIÓN

La presente investigación tuvo una duración de 9 meses a partir de la aprobación de la planificación del trabajo de integración curricular.

3.3. MÉTODOS

Los métodos empleados en esta investigación son: Analítico y Experimental.

3.3.1. MÉTODO ANALÍTICO

El método analítico o empírico es un modelo de investigación científica basado en experimentos directos y lógicas empírica, es uno de los más importantes y más usados tanto como en el ámbito académico como en las ciencias, ya que, este método analiza el fenómeno de estudio, es decir, es un procedimiento que descompone un todo en sus elementos básicos y, por tanto, va de lo general a lo específico (López, 2019). Este método permitió desarrollar un proceso de análisis respecto a la evaluación de la eficiencia de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) para la remoción de contaminantes en las aguas residuales de la camaronera “La Gringa”.

3.3.2. MÉTODO EXPERIMENTAL

Guevara et al. (2020) dice que la investigación experimental consiste en someter a un objeto o grupo de individuos en determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente). Esta metodología ayudó a la observación y manipulación del experimento en la remoción de contaminantes presentes en el agua residual de camaroneras y, también permitió describir y explicar dichas variables.

3.4. TÉCNICAS

Las técnicas empleadas en esta investigación son el muestreo basándose en los tipos de contaminantes que existen en el lugar y el análisis estadístico descriptivo.

3.4.1. MUESTREO

De acuerdo con el Instituto de Normalización (INEN) en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 el muestreo consiste en tomar una porción de un volumen del agua residual para el análisis de las características fisicoquímicas y bacteriológicas presentes en el agua. Esta técnica se empleó para recolectar las muestras de agua residual en la camaronera “La Gringa” y así determinar el nivel de contaminantes existentes en el fluido.

3.4.2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

La estadística descriptiva hace referencia a los procesos de recolección, descripción, y visualización de datos, que pueden ser presentados de forma numérica o gráfica. López (2019) menciona que la estadística descriptiva se encarga de la recopilación, ordenación y representación de una gran cantidad de datos de una manera sintetizada, que puede realizarse en tablas, figuras, gráficas y/o cuadros (Rendón et al., 2016). Esta técnica permitió describir y analizar los resultados obtenidos de las variables estudiadas a través de gráficos estadísticos.

3.5. FACTOR EN ESTUDIO

Los factores de estudio son la cantidad (g) biochar de cáscara de cacao y tiempo de contacto.

- **Factor A:** Concentración de biochar (g)
- **Factor B:** Tiempo de contacto

3.5.1. NIVELES

Tabla 3.1. Niveles de estudio

Factores	Niveles	Respuestas
Concentración de biochar (A)	A1 10 g	Remoción de contaminantes (turbidez, color, pH, sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales)
	A2 15 g	
	A3 20 g	
Tiempo de contacto (B)	B1 1 hora	
	B2 6 horas	
	B3 12 horas	

Elaborado por: Autores (2023)

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), el diseño presentado en la tabla 3.2 cuenta con un arreglo factorial 3^2 , es decir, dos factores con tres niveles por cada factor, obteniendo nueve tratamientos cada uno con tres repeticiones, alcanzando un total de 27 unidades experimentales. El diseño experimental empleado fue seleccionado por la necesidad de la investigación de conocer si es posible encontrar interacciones entre los factores establecidos con un nivel de significancia de 0.05.

Tabla 3.2. Diseño Completamente al Azar (DCA)

N° Tratamientos	Nomenclatura	Proporción de biochar (g)	Tiempo de contacto	Tamaño partícula	Agua a tratar ml
T1	A1B1	10	1 h		
T2	A1B2	10	6 h		
T3	A1B3	10	12 h		
T4	A2B1	15	1 h		
T5	A2B2	15	6 h	1 mm	1000
T6	A2B3	15	12 h		
T7	A3B1	20	1 h		
T8	A3B2	20	6 h		
T9	A3B3	20	12 h		

Elaboración por: Autores (2023)

3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental consistió en un vaso de precipitado de 1000 ml que contenía agua residual de camaronera. Esta agua residual se expuso al contacto con biochar a base de cáscara de cacao con partículas de 1 mm, agitado a 200 rpm durante 15 minutos. El experimento se llevó a cabo mediante un diseño completamente aleatorio (DCA) con el propósito de evaluar la eficacia en la eliminación de contaminantes en el agua. Se implementaron nueve tratamientos con tres repeticiones cada uno, lo que resultó en un total de 27 unidades experimentales.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicó el análisis de ANOVA que permitió verificar si existe diferencia estadística significativa de las medias obtenidas en la aplicación de los tratamientos, posteriormente se realizaron pruebas múltiples de medias (permite examinar cuáles medias son diferentes y estimar el grado de diferencia).

Tabla 3.3. Fuente de variación

Fuente de variación	Grados de libertad
Factor A (Proporción de Biochar)	2
Factor B (Tiempo de contacto)	2
Interacción de Factor A x B	4
Error experimental	18
Total	26

Elaboración por: Autores (2023)

3.9. VARIABLES A MEDIR

3.9.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Proporción de cáscara de cacao
- Tiempo de contacto

3.9.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Remoción de contaminantes en agua de camaronera

3.10. PROCEDIMIENTOS

3.10.1. FASE I. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN LA CAMARONERA “LA GRINGA”

Actividad 1. Recolección de muestra del efluente de la camaronera “La Gringa”

Para llevar a cabo esta actividad, se aplicó la metodología de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 sobre el muestreo, manejo y conservación de las muestras, que consistió en definir el punto de muestreo, toma y respectivo traslado de la muestra del agua residual. A su vez, también permitió tomar ciertas pautas para los análisis en laboratorio del efluente generado por la actividad camaronera ubicada en la comunidad Cañaverl perteneciente al cantón Pedernales. Cabe resaltar que el muestreo del agua se ejecutó una vez culminada la etapa de crianza en el proceso productivo.

Actividad 2. Caracterización del efluente de la camaronera “La Gringa”

Para la caracterización de las muestras extraídas de la piscina camaronera se efectuaron análisis para determinar las condiciones iniciales del agua, teniendo en consideración la metodología de Espinoza y Zambrano (2019) que analizaron parámetros como sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, turbidez, color y pH.

3.10.2. FASE II. EXPERIMENTACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DE PROPORCIONES Y TIEMPO DE CONTACTO DE BIOCHAR PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE DE CAMARONERA

Actividad 3. Recolección y preparación de residuos de la cáscara de cacao

Para ejecutar esta actividad se procedió a recolectar residuos de cacao provenientes de la zona de cultivos de la ESPAM MFL. Seguidamente, se llevó a cabo una primera etapa de limpieza utilizando agua potable para eliminar la mayor cantidad de suciedad. Luego, se realizó un enjuague con agua destilada con el propósito de eliminar posibles impurezas, garantizando así un proceso completo de purificación de los residuos de cacao (Chauca y Tadeo, 2022).

Actividad 4. Obtención química del biochar a partir de la cáscara de cacao

Para la obtención del carbón activado de cáscara de cacao, se empleó el método de activación química de acuerdo a Esteves (2019), este método consistió en someter a un proceso de calcinación la mazorca de cacao, se mezcló con HCl al 20% y se calentó a 150°C por 30 minutos, luego se filtró al vacío y se secó a 100°C. Después del secado, se sometió por dos horas en la mufla a temperatura de 500°C, posteriormente se agregó ácido fosfórico (H_3PO_4) y se sometió a una temperatura de 85°C, luego se procedió a la filtración de las partículas de biochar utilizando un tamiz de malla metálica con un tamaño de 1 mm, con el objetivo de homogeneizar el producto; se realizó el lavado con agua destilada con pH de 6 y finalmente se secó a una temperatura de 100°C por 24 horas.

Actividad 5. Selección de granulometría (tamaño de partícula)

Una vez obtenida la muestra seca, se procedió a tamizar el tamaño de partícula para la adsorción de contaminantes presentes en el agua residual de camaronera, utilizando la metodología propuesta por Zambrano (2020) empleando biochar de mejor adsorción constituido con partículas de 1mm.

3.10.3. FASE III. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE ADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE LA CAMARONERA “LA GRINGA”

Actividad 6. Aplicación de los tratamientos y toma de muestras

Cada muestra se sometió a contacto del biochar en 1000 ml de acuerdo al diseño experimental presentado en la tabla 3.2. Transcurrido el tiempo de contacto del biochar con la muestra de agua de acuerdo a la metodología de Zambrano (2020) se procedió a extraer y filtrar la cantidad de muestra para la realización de los parámetros fisicoquímicos del agua residual de camaronera en el laboratorio de la carrera de ingeniería ambiental de la Escuela Superior Politécnica Manuel Félix López “ESPAM-MFL”.

Actividad 7. Cálculo de la eficiencia de remoción de contaminantes

Para evaluar el funcionamiento del biochar de cáscara de cacao, se determinó el porcentaje de eficiencia en remoción de los parámetros analizados con la ecuación propuesta por Castillo y Chimbo (2021).

$$\%Remoción = \frac{VP_i - VP_f}{VP_i} \times 100 \text{ [Ec. 3.1]}$$

Dónde:

%= Remoción

P_i = Parámetro inicial

P_f = Parámetro final

Parámetros analizados:

- Turbidez
- Color
- pH
- Sólidos disueltos totales
- Sólidos suspendidos totales

Actividad 8. Comparación de los resultados de la normativa ambiental vigente

Una vez tratada el agua con el biochar se realizó la comparación de los análisis con el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y Descarga Ambiental de efluentes al recurso agua, tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN LA CAMARONERA “LA GRINGA”

En la caracterización inicial del agua residual de la camaronera “La Gringa”, situada en la comunidad Cañaverál, se registraron los siguientes datos.

Tabla 4.1. Caracterización física química del agua residual de la camaronera “La Gringa”

Parámetro	Método	Valor	Unidad
Potencial de hidrógeno	Potenciómetro	8.21	Unidades pH
Turbidez	Turbidimetría	16.8	NTU
Color real	Espectrofotometría	416	UCV escala Pt/Co
Sólidos suspendidos totales SST	Gravimetría	58	mg/L
Sólidos disueltos totales SDT	Gravimetría	6910	mg/L

Elaborado por: Autores (2023)

El efluente proveniente de la actividad exhibe un valor de pH de 8.21, una turbidez de 16.8 NTU, un color de 416 Pt/Co, una concentración de sólidos suspendidos SST de 58 mg/L y un valor de 6910 mg/L para los sólidos disueltos totales SDT.

En el estudio efectuado por Zambrano (2019) en la caracterización del efluente de la actividad camaronera de la comunidad San Antonio del cantón Chone se consiguieron resultados de 6400 mg/L con respecto a los SDT, mientras que para los SST un total de 90 mg/L. Referente a la turbidez se alcanzó un valor de 104 NTU siendo mayor al dato obtenido en este estudio de (16.8 NTU), por otro lado, el color fue de 170 Pt/Co y el pH de 7.95, siendo menores a los de la investigación.

Los resultados presentan discrepancias respecto a los obtenidos por Gorozabel (2023), quien realizó un estudio específico acerca de las descargas de las camaroneras ubicadas en las concesiones del manglar en la Isla Costa Rica, perteneciente al Archipiélago de Jambelí en la provincia de El Oro. En su investigación, reportaron valores de pH cercanos a 7 y concentraciones de 2.43 mg/L de sólidos disueltos, sumando a ello, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) fue de 268.2 mg/L y la demanda química de oxígeno (DQO) 445 mg/L. Es importante destacar que estos últimos valores excedieron los límites permitidos

asociados a la actividad camaronera, los cuales se habían establecido para salvaguardar la integridad del manglar; dichos límites estaban en el rango de 60 mg/L para DBO₅ y 100 mg/L para DQO.

Guerra y Sarango (2022) al caracterizar las aguas liberadas por las camaroneras del estuario de Cojimíes, ubicado en la provincia de Manabí, obtuvieron los siguientes datos: el pH registró un valor de 7.76. La turbidez alcanzó un nivel de 104.5 NTU. Además, se observó que los SST variaron en un rango comprendido entre 198 y 568 mg/L.

Pis et al. (2010) al realizar la caracterización de los efluentes de la camaronera Cultizaza de Cuba, encontraron que las descargas tenían valores de pH similares a las del presente estudio con un valor igual a 8.11. Por otro lado, Klinfor (2020) llevó a cabo un análisis sobre el impacto generado por las descargas de efluentes vertidos por diferentes fuentes, incluyendo el sistema de alcantarillado urbano, las camaroneras y las plantaciones de banano cercanas a la parroquia Tendales. Los resultados revelaron que las descargas provenientes de las plantaciones de banano presentaron un valor de 261.5 mg/L SST, en el caso del alcantarillado urbano se registraron 65.3 mg/L, mientras que las camaroneras mostraron niveles de 87.3 mg/L.

Pardo y Ramírez (2023) resaltaron que las aguas residuales provenientes de las granjas camaroneras acarrear considerables cantidades de materia orgánica, sólidos suspendidos y disueltos, fertilizantes y compuestos químicos, además de antibióticos. Esta mezcla de elementos tiene la consecuencia de inducir la eutrofización en el agua del ecosistema al cual son liberados (Cardoso et al., 2016). A pesar de ello, es necesario tomar en cuenta que los esteros experimentan variaciones en términos de espacio y tiempo, lo que complica la capacidad de discernir entre los efectos de los factores naturales estresantes y los impactos derivados de actividades humanas (Núñez et al., 2023).

4.2. EXPERIMENTACIÓN CON DIFERENTES TAMAÑOS DE PROPORCIONES Y TIEMPO DE CONTACTO DE BIOCHAR PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE DE CAMARONERA

A continuación, se muestran los resultados de la elaboración del biochar a partir de la cáscara de cacao por el método de activación química, para lo cual se utilizó un total de 7000 g de materia prima, misma que fue recolectada en el área de la carrera de agrícola, se empleó este método con la finalidad de conocer el porcentaje que se obtuvo de este residuo, tal como se detalla en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Pesos de residuo de cáscara de cacao y del biochar obtenido

Materia prima	Peso de residuo de cáscara de cacao	Peso después del secado a 500°C	Peso después del secado a 100° C por 24 h	Peso de biochar de 1 mm obtenido
Cáscara de cacao	7000 g	2156	1074	650 g
	100%	31%	15%	9.3%

Elaborado por: Autores (2023)

La tabla 4.2 expone que con 7000g de cáscara de cacao se obtiene un total de 650g de biochar, alcanzando un rendimiento de biochar del 9.3%. Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los alcanzados por Oré et al. (2022) en su trabajo de “Producción de biocarbón a partir de la cáscara de *Theobroma cacao L.*, cascarilla de *Oryza Sativa* y *Coffea arabica*” presentando un rendimiento de 9.70% en la cáscara de cacao. De igual forma, en los resultados de Romero (2020) se obtiene un rendimiento del 11% con respecto de 165 g de carbón a partir de 1500 g de residuos de cáscara de cacao.

Sin embargo, Burgos y Jaramillo (2015) mencionan que alcanzaron un rendimiento de biochar del 30% utilizando 500 g de cáscara de cacao a temperaturas de 200°C en 120 minutos, dichos resultados son superiores a los obtenidos en esta investigación. Por su parte, Suárez y Villegas (2019) exponen un rendimiento de carbón activado a base de cacao con un porcentaje de 30.20% al 36.27% empleando temperaturas de entre 500 a 700°C durante un período de tiempo de 60 y 90 minutos, estos autores afirman que el carbón a temperaturas de 500°C exteriorizan una cantidad de masa residual mayor, por lo tanto, el rendimiento del biochar es mayor que aquellos carbones que son sometidos a temperaturas de

700°C, concluyendo que a mayor tiempo de exposición los carbones muestran un menor rendimiento.

Asimismo, Mohanty et al. (2013) manifiestan que el biochar generado a temperaturas > 600°C resulta eficiente para la eliminación de compuestos orgánicos dado a su mayor área de superficie y de microporosidad, por el contrario, Suliman et al. (2016) afirman que el biochar producido a temperaturas inferiores de 500°C contienen más grupos funcionales de O y H, siendo probable que posean una alta afinidad por los compuestos orgánicos polares.

Por otro lado, autores como Abdelhafez y Jianhua (2016) determinaron que el biochar a partir de temperaturas < 500°C eran más apropiadas para eliminar compuestos inorgánicos como metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg y Zn) y compuestos como NO₃, NO₂, NH₄, P y H₂S (Cao et al., 2009), esto debido a la composición química y la estructura morfológica que cumplen un rol esencial en la naturaleza de adsorción del biocarbón (Pokharel et al., 2020).

4.3. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE ADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) PARA LA REMOCION DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE LA CAMARONERA “LA GRINGA”

La tabla 4.3 presenta la concentración final del pH, turbidez, color, SST, SDT de cada prueba experimental de agua residual de la camaronera mediante el uso de los nueve tratamientos aplicados.

Tabla 4.3. Concentraciones finales de parámetros físico – químicos de la muestra de agua residual de camaronera

Descripción	Concentración final de pH	Concentración final de Turbidez	Concentración final de Color	Concentración final de SST	Concentración final de SDT
		NTU	Pt/Co	mg/L	mg/L
Agua residual	8.21	16.8	416	58	6910
T1	6.8	7.1	80.0	8.0	5977
T2	6.8	5.5	50.7	3.9	5963
T3	6.8	3.7	41.7	7.2	5927
T4	7.0	5.1	23.0	3.3	5980
T5	7.0	2.8	31.3	3.5	5967
T6	7.0	2.5	31.3	3.7	5943
T7	7.0	2.8	41.3	2.2	6103
T8	7.1	2.3	28.3	4.2	6130
T9	7.1	1.4	19.0	2.6	6057

Elaborado por: Autores (2023)

La tabla 4.4 presenta el promedio de tres pruebas experimentales que evalúan la eficiencia de adsorción del biochar de cáscara de cacao para la remoción de contaminantes del agua residual de la camaronera. Se exponen los resultados de nueve tratamientos distintos en este estudio.

Tabla 4.4. Remoción promedio de los tratamientos por cada parámetro

Tratamientos	% Remoción de pH	% Remoción de Turbidez	% Remoción de Color	% Remoción de SST	% Remoción de SDT
T1	18%	58%	81%	86%	14%
T2	17%	67%	88%	93%	14%
T3	17%	78%	90%	88%	14%
T4	15%	70%	94%	94%	13%
T5	15%	83%	92%	94%	14%
T6	14%	85%	92%	94%	14%
T7	15%	83%	90%	96%	12%
T8	14%	86%	93%	93%	11%
T9	13%	92%	95%	96%	12%
Promedio	15%	78%	91%	93%	13%

Elaborado por: Autores (2023)

Según los datos de la tabla anterior, se observa que los tratamientos más eficientes son el Tratamiento (T9), que demostró un notable rendimiento en la eliminación de turbidez, color y SST, logrando un 92 %, 95 % y 96 % de remoción respectivamente. Por otra parte, el Tratamiento (T7) mostró eficacia en términos de remoción de SST, alcanzando un 96 %. Además, los tratamientos (T1, T2, T3, T5 y T6) evidenciaron una remoción del 14 % de SDT. Sumando a ello, el tratamiento (T1) muestra un 18% de remoción del pH ácido que existía en un inicio.

Investigaciones como las de Martínez (2023) y Zapien et al. (2023) han constatado que la aplicación de biochar contribuye a la eliminación de contaminantes en aguas residuales, en función de las condiciones en las que se lleva a cabo dicha aplicación.

A continuación, se muestra el análisis estadístico de cada una de las variables expuestas en la tabla 4.4.

4.3.1. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL pH

En la tabla 4.5, se visualiza que el valor-P para los factores e interacción son menores a 0.05 con un nivel de confianza del 95%. Esto explica que entre los tratamientos existe al menos uno que difiere en la remoción del pH de la muestra del agua residual. En consecuencia, hay diferencias significativas.

Tabla 4.5. Análisis de la Varianza de la remoción del pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Factor A	56	2	28	378	<0.0001
Factor B	5.56	2	2.78	37.50	<0.0001
Interacción AxB	1.11	4	0.28	3.75	0.0218
Error	1.33	18	0.07		
Total	64	26			

Elaborado por: Autores (2023)

Mediante la prueba de Tukey se identificaron las medias de los tratamientos que muestran diferencias significativas con respecto a las demás. La tabla 4.6 presenta estos resultados y muestra 6 grupos heterogéneos ordenados según las categorías correspondientes a las diferencias observadas.

Tabla 4.6. Prueba de Tukey en la remoción de pH del agua residual de la camaronera "La Gringa"

Tratamiento	Casos	Medias	Categoría
T1	3	18%	A
T2	3	17%	B
T3	3	17%	B
T4	3	15%	C
T5	3	15%	C
T6	3	14%	CD
T7	3	15%	DE
T8	3	14%	DE
T9	3	13%	E

Las medias con letra común en sus categorías no presentan diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$)

En la tabla 4.6 y figura 4.1, se evidencia que los valores de las medias varían entre el 13% y el 18% en remoción del pH de la muestra de agua residual. Particularmente, los tratamientos T2 y T3 tienen valores medios del 17%, colocándolos en la categoría B. Por otro lado, los tratamientos T4, T5, T7 y T6 están agrupados en la categoría "C y CD" presentando medias similares del 15%, indicando que estos tratamientos tienen un efecto similar en términos de resultado. Al contrario, el tratamiento T1 muestra un valor medio del 18%, situándolo en la

categoría A. Esto sugiere que el tratamiento T1 tiene un efecto ligeramente más alto en comparación con los demás tratamientos. Cabe indicar que, aunque las medias de algunos tratamientos son similares, las diferentes repeticiones experimentales influyeron en la asignación de sus categorías. Finalmente, los tratamientos T8 y T9 tienen valores medios más bajos en comparación con los demás tratamientos, con un 14% y 13% respectivamente.

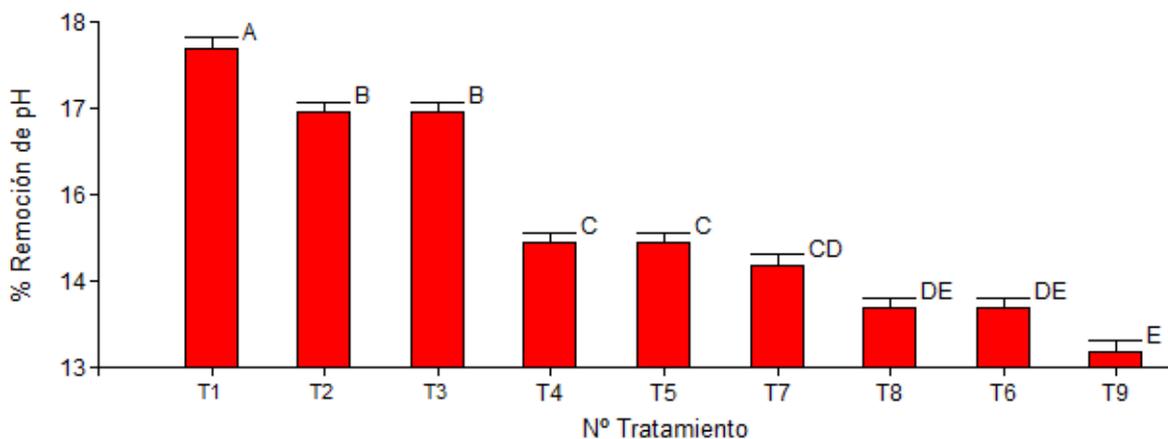


Figura 4.1. Medias del porcentaje de remoción del pH mediante los tratamientos

Fasabi (2023) logró estabilizar el pH desde 5.20 utilizando biochar derivado de la cascarilla de arroz en dosis del 20 % y 25 % del peso total, logrando elevar el pH a valores de 7.38 y 7.25, con una remoción del 30 y 28 %. Por el contrario, Visiy et al. (2022) al utilizar una granulometría combinada de 0.25 a 2 mm de biochar tanto de la mazorca de maíz como de cáscara de arroz aplicado en humedales artificiales con flujo vertical y un afluente con pH de 7.8 no encontraron diferencias significativas.

El resultado fue una remoción promedio del 6.5 ± 0.35 % para ambos escenarios, logrando un pH final de 7.3 unidades. Algunos estudios han registrado que el empleo de biochar como sustrato puede ocasionar la estabilización del pH hacia valores neutros (Gupta et al., 2016). Por otro lado, el aumento del pH se puede relacionar con las propiedades alcalinas y contenido de cenizas presentes en un medio de biochar (Deng et al., 2021). Según Li et al. (2022) y Mu et al. (2021), los niveles de pH observados se mantuvieron dentro del rango óptimo (4.0 a 9.5) recomendado para favorecer la presencia de numerosas bacterias beneficiosas en el proceso de tratamiento.

4.3.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ

En la tabla 4.7, se observa que el valor-P para los factores e interacción es menor a 0.05 con un nivel de confianza del 95%, indicando que entre los tratamientos existe al menos uno que difiere en la remoción de la turbidez de la muestra del agua residual. Por lo tanto, hay diferencias significativas.

Tabla 4.7. Análisis de la Varianza de la remoción de la Turbidez

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Factor A	1726.74	2	863.37	23311	<0.0001
Factor B	989.41	2	494.7	13357	<0.0001
Interacción AxB	156.15	4	39.04	1054	<0.0001
Error	0.67	18	0.04		
Total	2872.96	26			

Elaborado por: Autores (2023)

En la prueba de Tukey se identificaron las medias de los tratamientos que muestran diferencias significativas con respecto a los demás. La tabla 4.8 expone los resultados y muestra 8 grupos heterogéneos ordenados de acuerdo con las categorías correspondientes a las diferencias observadas.

Tabla 4.8. Prueba de Tukey en la remoción de Turbidez del agua residual de la camaronera "La Gringa"

Tratamiento	Casos	Medias	Categoría
T9	3	92%	A
T8	3	86%	B
T6	3	85%	C
T7	3	83%	D
T5	3	83%	D
T3	3	78%	E
T4	3	70%	F
T2	3	67%	G
T1	3	58%	H

Las medias con letra común en sus categorías no presentan diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$)

De acuerdo los datos presentados en la tabla 4.8, se observa que los tratamientos T9, T8 y T6 exhiben las medias más altas en remoción de la turbidez del agua residual, registrando valores del 92 %, 86 % y 85 %. En contraste, se identifica que el siguiente mejor rendimiento corresponde a los tratamientos T7 y T5, los cuales presentan valores del 83 %. Además, se establece un orden descendente para los demás tratamientos: T3, T4, T2 y T1, con medias inferiores a los anteriores. Estos valores oscilan entre el 58 % y el 78 %.

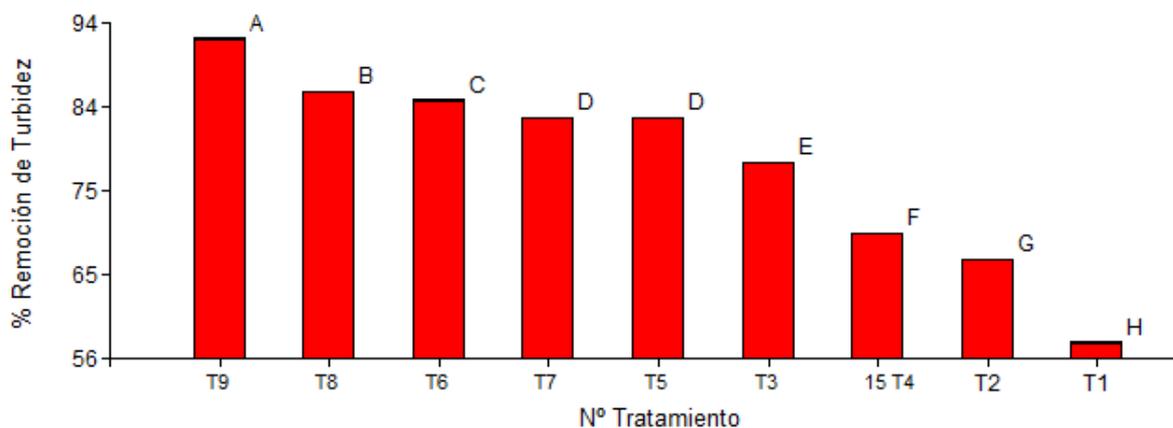


Figura 4.2. Medias del porcentaje de remoción del Turbidez mediante los tratamientos

La turbidez es indicativa de la existencia de sólidos suspendidos y disueltos que interactúan con la luz al absorberla o dispersarla (Thegarathah et al., 2022). En términos de calidad del agua, los niveles elevados de turbidez tienen la consecuencia de disminuir el contenido de oxígeno disuelto en el agua (Cunha et al., 2023), lo que a su vez compromete la aptitud de ambientes para sostener un estado saludable de los organismos acuáticos (Gutiérrez et al., 2023).

Los resultados demostraron una disminución en comparación con los obtenidos por Gupta et al. (2016), quienes emplearon 33 kg de biochar de tamaño grueso (3 a 5 mm) derivado del roble (*Quercus sp.*) como material de soporte en humedales artificiales con una capacidad de 99 litros. En ese estudio, se logró una reducción promedio del 99.3% en la turbidez en 24 horas después de la introducción de las aguas residuales. La turbidez se redujo de 65.2 NTU a 0.43 NTU.

Por el contrario, Khiari et al. (2020) al comparar el efecto de dos tamaños de biochar de bambú (fino y grueso) en la remoción de un flujo de agua residual de turbidez 77.4 ± 2.0 NTU, se encontró que el uso de biochar fino (1 a 3 mm) conducía a valores de turbidez más bajos y mejores porcentajes de remoción en comparación con el biochar grueso (3 a 5 mm), el valor de turbidez promedio con el biochar fino fue de 15.2 NTU y 80.6% de remoción, mientras que la mejor eficiencia para el biochar grueso fue de 69.2 %. Esto se debe a que el biochar fino tiene menos espacios porosos y una superficie mayor, lo que permite atrapar partículas de manera efectiva (Edeh y Mašek, 2021).

Durante la filtración, las partículas se transportan desde la entrada y se capturan en los poros debido a movimientos aleatorios y fuerzas eléctricas (Kamal et al., 2023). También se pueden excluir por tamaño si no encajan en los poros, o caer por gravedad si son más densas que el líquido (Tan y Wang, 2023).

4.3.3. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR

La tabla 4.9, muestra que el valor-P para los factores e interacción es menor a 0.05 con un nivel de confianza del 95%. Esto sugiere que entre los tratamientos existe al menos uno que difiere en la remoción del color de la muestra del agua residual, demostrando que hay diferencias significativas.

Tabla 4.9. Análisis de la Varianza de la remoción del Color

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Factor A	276.52	2	138.26	466,62	<0.0001
Factor B	87.63	2	43.81	147,87	<0.0001
Interacción AxB	105.7	4	26.43	89,19	<0.0001
Error	5.33	18	0.3		
Total	475.19	26			

Elaborado por: Autores (2023)

Mediante la prueba de Tukey se identificaron las medias de los tratamientos que muestran diferencias significativas con respecto a los demás. La tabla 4.10 presenta estos resultados y muestra 7 grupos heterogéneos ordenados según las categorías correspondientes a las diferencias observadas.

Tabla 4.10. Prueba de Tukey en la remoción del Color del agua residual de la camaronera "La Gringa"

Tratamiento	Casos	Medias	Categoría
T9	3	95%	A
T4	3	94%	AB
T8	3	93%	BC
T6	3	92%	C
T5	3	92%	C
T7	3	90%	D
T3	3	90%	D
T2	3	88%	E
T1	3	81%	F

Las medias con letra común en sus categorías no presentan diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$)

Los datos presentados en la tabla 4.10, muestran una variación significativa en la eficacia de los tratamientos, siendo el tratamiento T9 aquel con la media más alta del 95 % en la remoción del color del agua residual. Seguido de los tratamientos T4 y T8 con resultados prometedores del 94 % y 93 %. Posteriormente, los

tratamientos T6 y T5 no tienen diferencias significativas entre ellos, con una media del 92 %. Asimismo, el grupo de tratamientos T7 y T3 presentan una similitud con una media del 90 % en remoción. Y, en mejor eficiencia fue para los tratamientos T2 y T1, con una media del 88 % y 81 % respectivamente. Adicional, las categorías asignadas a cada tratamiento indican una relación entre la efectividad, donde las categorías superiores alinean con medias más altas.

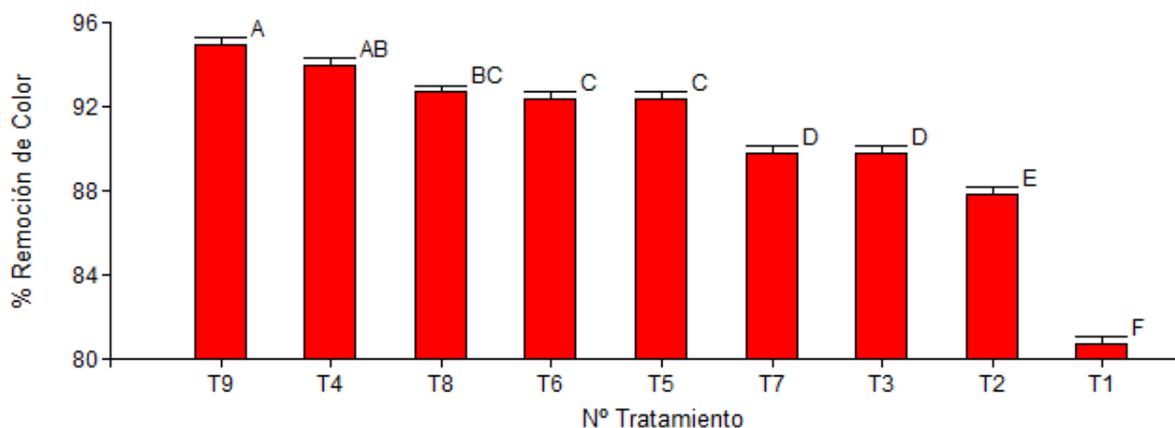


Figura 4.2. Medias del porcentaje de remoción del Color mediante los tratamientos

Los resultados en el presente estudio fueron mejores que los obtenidos por Visiy et al. (2022), dado a que lograron tasas de remoción del color en un 76.6% con biochar de mazorca de maíz, 74.9% con biochar de cáscara de arroz y, utilizando solo arena como filtro, redujeron el 56.8% de una muestra de agua residual con 2203 ± 618 Pt/Co.

En cambio, Azabache et al. (2022) alcanzaron una notable disminución en el color del agua de escorrentía en el sector de San Lorenzo de Moyobamba. Utilizaron carbón activado proveniente del endocarpio de coco (*Cocos nucifera*) y aplicaron tres tratamientos con cantidades de 25 g, 50 g y 100 g, posteriormente los resultados fueron una reducción del 51.5 %, 93.7 % y 97.1 % del color inicial del agua de (265 Pt/Co). Investigaciones adicionales, como la llevada a cabo por Mahajan (2016) han presentado enfoques alternativos, como el uso de cáscaras de coco sin carbonización ni activación, logrando una impresionante eficiencia del 99.5% en la eliminación del color de las aguas residuales provenientes de papelerías.

4.3.4. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS SST

En la tabla 4.11, se puede notar que el valor-P para los factores e interacción es menor a 0.05 con un nivel de confianza del 95%. Esto sugiere que entre los tratamientos existe al menos uno que difiere en la remoción de sólidos suspendidos de la muestra del agua residual. En consecuencia, hay diferencias estadísticas significativas.

Tabla 4.11. Análisis de la Varianza de la remoción de SST

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Factor A	173.85	2	86.93	335.29	<0.0001
Factor B	4.74	2	2.37	9.14	0.0018
Interacción AxB	93.48	4	23.37	90.14	<0.0001
Error	4.67	18	0.26		
Total	276.74	26			

Elaborado por: Autores (2023)

Con la prueba de Tukey se identificaron las medias de los tratamientos que muestran diferencias significativas con respecto a los demás. La tabla 4.12 presenta estos resultados y muestra 3 grupos heterogéneos ordenados según las categorías correspondientes a las diferencias observadas.

Tabla 4.12. Prueba de Tukey en la remoción de SST del agua residual de la camaronera "La Gringa"

Tratamiento	Casos	Medias	Categoría
T7	3	96%	A
T9	3	96%	A
T4	3	94%	B
T5	3	94%	B
T6	3	94%	B
T2	3	93%	B
T8	3	93%	B
T3	3	88%	C
T1	3	86%	C

Las medias con letra común en sus categorías no presentan diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$)

Los datos expuestos en la tabla 4.12, revelan que la mayoría de los tratamientos tienen medias bastante similares en términos de la remoción de los SST. Los tratamientos T7, y T9, comparten una media del 96 %. De igual manera, con una ligera variación en los tratamientos T4, T5, y T6, también muestran un 94 % de remoción. Los tratamientos T2 y T8 permitieron una eficiencia del 93 %. Por otro lado, el T3 y T1 exhiben medias más bajas del 88% y 86%.

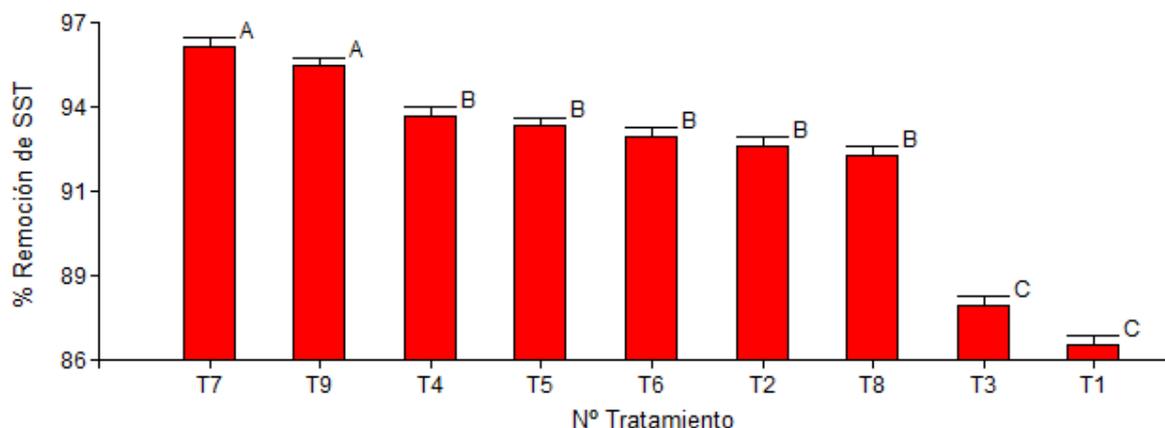


Figura 4.3. Medias del porcentaje de remoción de SST mediante los tratamientos

De acuerdo a los datos de la figura 4.4, la reducción de sólidos suspendidos osciló entre un 86% como mínimo y un 96% como máximo. Sin embargo, estos resultados superaron los obtenidos por Castillo y Chimbo (2021), quienes lograron una remoción promedio del 66.7 % con una concentración final de 488.3 mg/L de SST. Esto lo lograron a través de lombrifiltros de dimensiones 15 cm de ancho, 44 cm de largo y 25 cm de alto. En su biofiltro, asignaron un 40 % para una capa compuesta por 1 kg de lombrices *Eisenia foetida* + humus y aserrín, seguido de un 20 % para los estratos de carbón activo, grava y piedra.

En contraste con Merizalde et al. (2019) estos niveles de remoción fueron más bajos, ya que obtuvieron la remoción del 99.68% de una concentración de 221 mg/L utilizando un reactor biológico rotativo de contacto (RBC) durante un período operativo de 120 minutos. Por su parte, Castañeda et al. (2023) al utilizar 7 gramos de carbón activo de melocotón (*Prunus pérsica*) y aguacate (*Persea americana*) con tamaños de partícula de 0.85 mm por un tiempo de contacto de 30 minutos en una muestra de agua residual de 1 litro con 257 mg/L de sólidos suspendidos y 5.9 de pH, lograron reducir solamente el 7.4 % y 11.7 % de SST. Aunque, encontraron mayor eficiencia para la reducción de metales, específicamente, la remoción de arsénico en 96.9 % y 95.3 %, y valores de remoción de plomo de 97.2 % y 95.5 %.

Liu et al. (2021) descubrió que al emplear una capa de biochar proveniente de paja de arroz con un espesor de 5 centímetros y partículas de 1 a 2 mm como filtro, lograron tasas de remoción del 95 % de 30.7 mg/L de SST y una purificación de turbidez del 98%. No obstante, se observó un incremento en los niveles de contaminantes de nitrógeno y fósforo en el efluente en comparación con el afluente,

señalando una preocupante contaminación por lixiviación del biochar. Por lo tanto, antes de la aplicación de biochar, se deben tomar en cuenta el grosor de las capas y, medidas de limpieza para minimizar la contaminación por lixiviación del biochar (Bhardwaj et al., 2022; Bhatnagar et al., 2022).

4.3.5. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES SDT

La tabla 4.13, expone el valor-P para los factores e interacción es menor a 0.05 con un nivel de confianza del 95%, demostrando que entre los tratamientos existe al menos uno que difiere en la remoción de sólidos disueltos de la muestra del agua residual. En consecuencia, hay diferencias estadísticas significativas.

Tabla 4.13. Análisis de la Varianza de la remoción de SDT

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Factor A	24	2	12	40.5	<0.0001
Factor B	2	2	1	3.38	0.0569
Interacción AxB	1.33	4	0.33	1.13	0.3758
Error	5.33	18	0.3		
Total	32.67	26			

Elaborado por: Autores (2023)

Mediante la prueba de Tukey se identificaron las medias de los tratamientos que muestran diferencias significativas con respecto a los demás. La tabla 4.14 presenta estos resultados y muestra 4 grupos heterogéneos ordenados según las categorías correspondientes a las diferencias observadas.

Tabla 4.14. Prueba de Tukey en la remoción de SST del agua residual de la camaronera "La Gringa"

Tratamiento	Casos	Medias	Categoría
T3	3	14%	A
T6	3	14%	A
T2	3	14%	A
T5	3	14%	A
T1	3	14%	AB
T4	3	13%	AB
T9	3	12%	BC
T7	3	12%	C
T8	3	11%	C

Las medias con letra común en sus categorías no presentan diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$)

Los datos presentados en la tabla revelan que la mayoría de los tratamientos tienen medias desde 11% hasta 14% en términos de remoción de los SDT. Los tratamientos T3, T6, T2, T5, T1 y T4, comparten una media igual al 14%. En cambio,

con una ligera variación el tratamiento T9 y T7, también muestran un 12% de remoción de los sólidos disueltos presentes en la muestra de agua residual. Por último, el tratamiento T8 mostró una media del 11%.

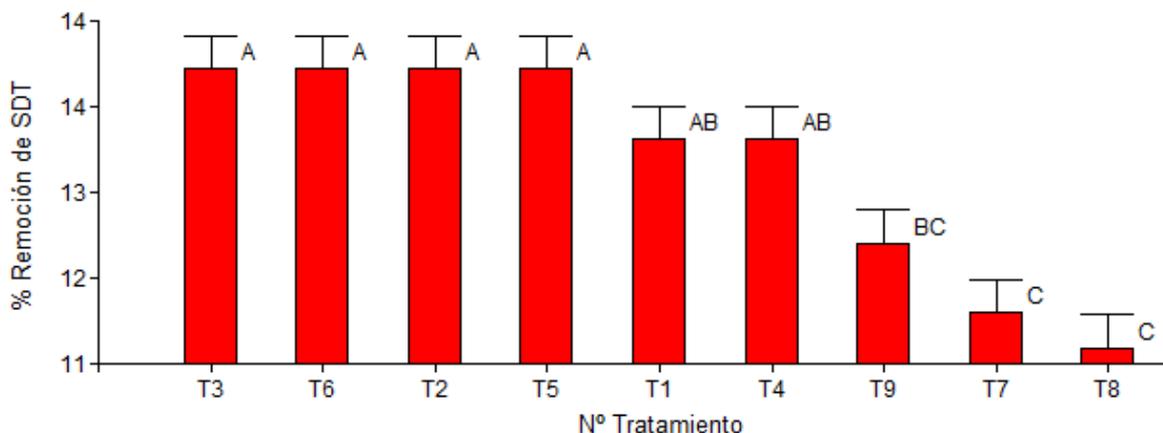


Figura 4.4. Medias del porcentaje de remoción de SDT mediante los tratamientos

En el estudio de Zambrano (2019), al utilizar 200 gramos de biochar en distintas mezclas: (90 % de maíz + 10 % de cacao), (25 % de maíz + 75 % de cacao), (75 % de maíz + 25 % de cacao) y (50 % de maíz + 50 % de cacao). Estas combinaciones se aplicaron a una muestra de 1 litro de agua residual proveniente de la camaronera, logrando tasas de remoción de 8.6%, 12.6 %, 18.3 % y 25 % de sólidos disueltos. Por otro lado, Merizalde et al. (2019) lograron la remoción del 93.5 % de una concentración de 4591 mg/L mediante el reactor biológico rotativo de contacto (RBC).

Además de la aplicación inicial de biochar para la remoción de contaminantes en el agua residual de la camaronera, sería pertinente considerar la implementación de un tratamiento secundario mediante técnicas de fitorremediación (Monsalve y Quiroga, 2022) y filtros (Nugraha et al., 2023). La introducción de especies de plantas acuáticas específicas, reconocidas por su capacidad para absorber y metabolizar compuestos nocivos, podría significativamente mejorar la eficiencia en la eliminación de los contaminantes remanentes (Goto et al., 2023). Según investigaciones previas de Cardoso et al. (2016) y Abubakar et al. (2023) esta estrategia adicional no solo complementaría el proceso de biochar, sino que también ofrecería una solución integral y sostenible para optimizar la calidad del agua residual de la camaronera.

Por ejemplo, Yaseen et al. (2019) al evaluar una combinación de filtro de arena, biochar de *E. camaldulensis* y *E. globulus*, junto con medios de paja de teff (*Eragrostis tef*) en el tratamiento de aguas residuales de una lavandería, se logró reducir el 62% de sólidos disueltos, que inicialmente era de 0,08 mg/L. En contraste, Visiy et al. (2022) lograron una remoción del 43.3 % al emplear biochar proveniente de mazorca de maíz en una muestra que inicialmente contenía 1347 mg/L de sólidos disueltos.

4.3.6. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE

La tabla 4.15 muestra una comparación entre los límites máximos permitidos para descarga de agua residual a un cuerpo de agua dulce según el anexo 1, tabla 9 del Libro VI del TULSMA con los resultados obtenidos mediante la aplicación de tratamientos en las muestras de agua residual de la camaronera. Este análisis busca determinar la conformidad con los estándares normativos para prevenir potenciales impactos ambientales negativos derivados de la introducción de estas aguas modificadas al medio.

Tabla 4.15. Comparación de parámetros físico – químicos entre los resultados obtenidos con los límites permitidos del TULSMA

Descripción	Concentración final de pH	Concentración final de Turbidez	Concentración final de Color	Concentración final de SST	Concentración final de SDT
		NTU	Pt/Co	mg/L	mg/L
Normativa	6 a 9	< 50	< 100	< 130	< 3000
Agua residual	8.21	16.8	416	58	6910
T1	6.8	7.1	80.0	8.0	5977
T2	6.8	5.5	50.7	3.9	5963
T3	6.8	3.7	41.7	7.2	5927
T4	7.0	5.1	23.0	3.3	5980
T5	7.0	2.8	31.3	3.5	5967
T6	7.0	2.5	31.3	3.7	5943
T7	7.0	2.8	41.3	2.2	6103
T8	7.1	2.3	28.3	4.2	6130
T9	7.1	1.4	19.0	2.6	6057

Elaborado por: Autores (2023)

Inicialmente, el agua residual de la camaronera presentó valores dentro de los límites máximos permisibles para las variables (pH, turbidez y sólidos suspendidos totales) a excepción del color y sólidos disueltos, los cuales poseen valores de 416 Pt/Co y 6910 mg/L respectivamente. Por otro lado, una vez implementado los tratamientos con biochar se presentó una mejoría en todos los valores, tal como se

muestra en la tabla 4.13, alcanzando resultados favorables en cuanto a la eficiencia del proceso. Pero cabe destacar que, para las concentraciones finales de los SDT no llegaron a reducir las concentraciones por debajo de los límites de la normativa.

A continuación, se muestra una serie de gráficos con las concentraciones finales a partir de los tratamientos aplicados para cada variable en estudio:

4.3.6.1. COMPARACIÓN DE pH – NORMATIVA

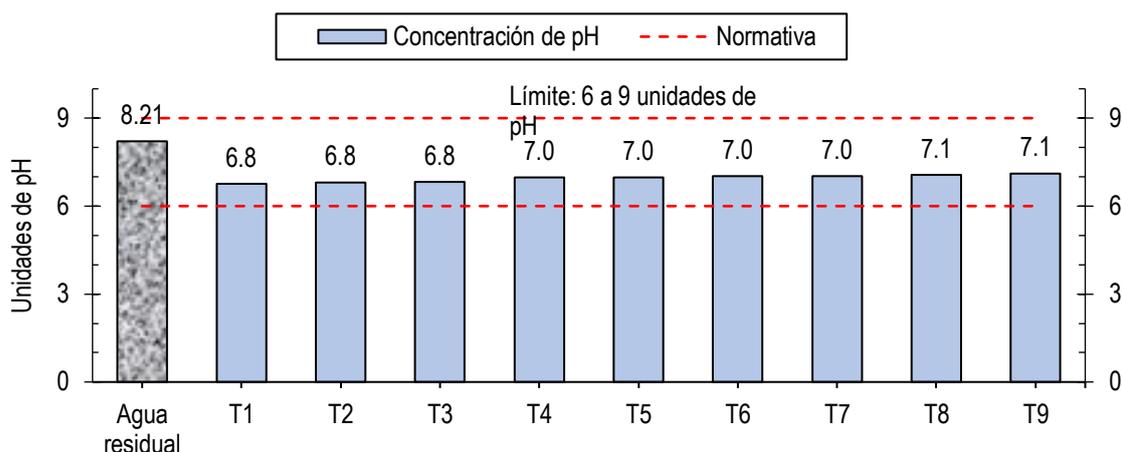


Figura 4.5. Concentración de pH mediante los tratamientos vs Normativa

Los resultados de pH de los tratamientos estudiados están dentro de los valores establecidos por la normativa, el cual está considerado entre 6 a 9 unidades. Los valores alcanzados en esta investigación oscilan entre 6.8 a 7.1 unidades de pH, mismos que se asemejan a los de Zambrano (2019) quién obtuvo valores de pH de 7.5 en el agua residual de camaronera en San Antonio, Chone. En la investigación de Bernal (2013) los resultados del pH indican que este no sobrepasa el límite máximo permisible de descargas a un cuerpo de agua dulce, ya que se mantiene en un pH de 6.9 a 7.5 según lo indicado por el TULSMA.

El pH proveniente en este estudio cae en la categoría de pH medianamente alcalino según los criterios delineados por Ramírez et al. (2018), quienes definen este rango desde 7.80 hasta 8.39 unidades de pH. De acuerdo con las investigaciones de Cercado (2023), así como con los hallazgos presentados por Flores y Herrera (2022), la presencia de un pH alcalino en el agua suele indicar una mayor concentración de sales y bases, incluyendo elementos como calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), así como otros compuestos en relación a estos elementos, como

carbonatos y bicarbonatos de los sustratos que las contienen (Humanante et al., 2022).

4.3.6.2. COMPARACIÓN DE TURBIDEZ – NORMATIVA

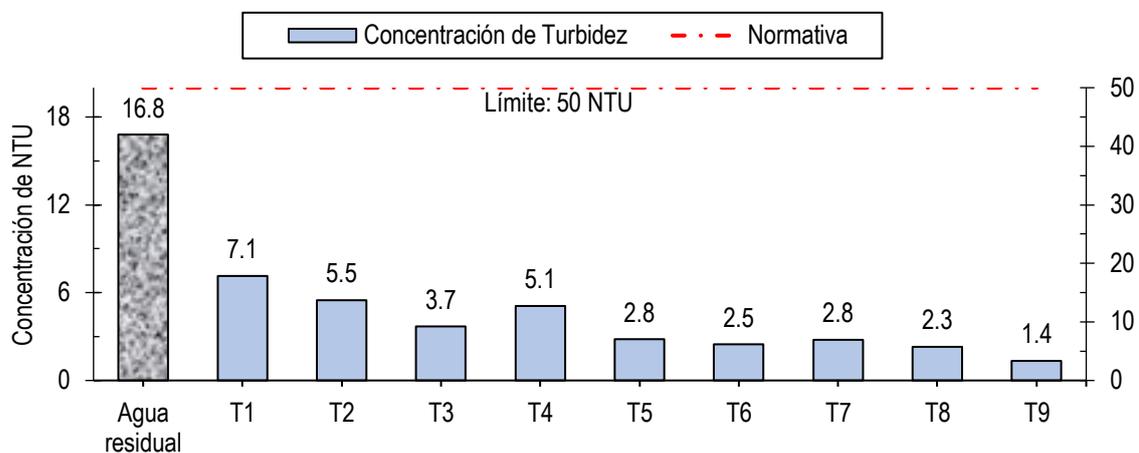


Figura 4.6. Concentración final de Turbidez mediante los tratamientos vs Normativa

En la figura 4.7, se muestra la concentración final de turbidez de los tratamientos realizados, visualizándose que todos los tratamientos se encuentran por debajo de los límites establecidos correspondientes a 50 NTU, dichos valores presentan un rango de entre 1.4 NTU para el tratamiento 9 (T9) y 7.1 NTU para el tratamiento 1 (T1) en comparación con el agua residual con un valor de 16.8 NTU.

En el estudio efectuado por Romero (2020) los resultados superan los obtenidos en esta investigación, ya que el autor alcanzó un valor de turbidez de 659 NTU en el agua residual, superando los límites permisibles según el TULSMA, esto trae como consecuencia diversos de problemas para el ecosistema acuático.

4.3.6.3. COMPARACIÓN DE COLOR – NORMATIVA

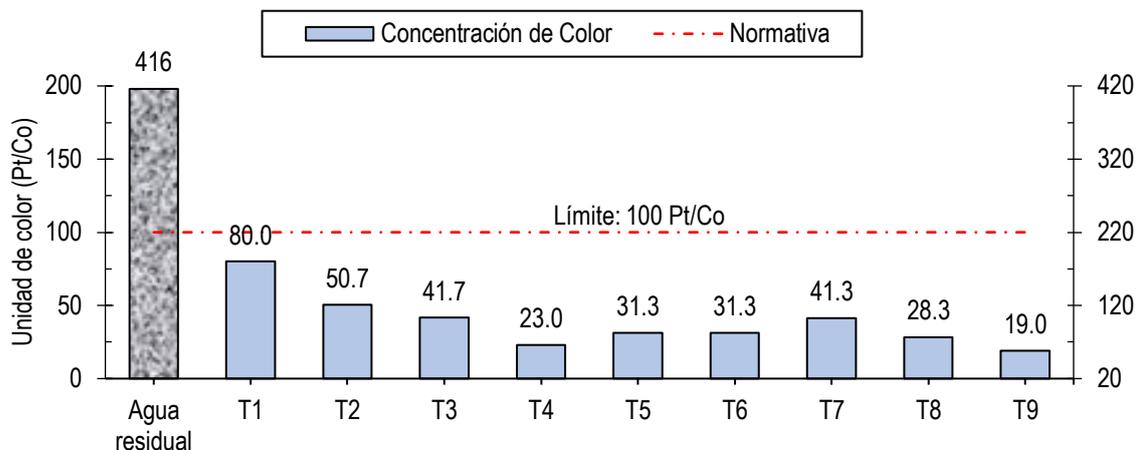


Figura 4.7. Concentración final de color mediante los tratamientos vs Normativa

Con respecto al color, se observa que el agua residual presenta un valor de 416 Pt/Co superior al límite establecido en la normativa de 100 Pt/Co, sin embargo, una vez realizado la fase experimental se notó una remoción significativa en los tratamientos, con un rango de valores de entre 19 Pt/Co para el T9 hasta 80 Pt/Co para el T1, siendo el T9 el tratamiento con mayor remoción (figura 4.8), demostrando que los valores obtenidos se encuentran por debajo del límite máximo permisible.

Romero (2020) afirma que en la caracterización de aguas residuales se obtuvieron datos del color de 650 Pt/Co, resultados que sobrepasan los límites permisibles establecidos por el TULSMA, sin embargo, el agua tratada con biochar a partir de la cáscara de cacao tuvo una remoción del 59.4% de eficiencia.

4.3.6.4. COMPARACIÓN DE SST – NORMATIVA

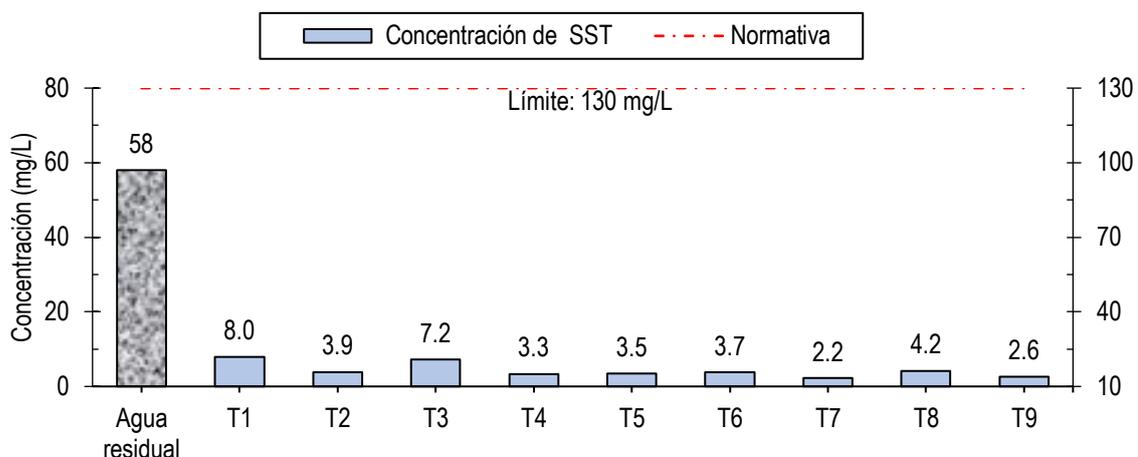


Figura 4.8. Concentración final de SST mediante los tratamientos vs Normativa

La figura 4.9 presenta la concentración final de sólidos suspendidos totales (SST) con valores de 2.6 mg/L para el tratamiento 9 y 8 mg/L para el tratamiento 1, exteriorizando que todos los tratamientos se encuentran por debajo de los límites establecidos en la tabla 9, anexo 1 del TULSMA siendo el valor máximo de 130 mg/L. Bernal (2013) manifiesta que alcanzó un valor de 38 mg/L para los SST, demostrando que el agua tratada cumple con los límites permisibles establecido por la normativa.

4.3.6.5. COMPARACIÓN SDT – NORMATIVA

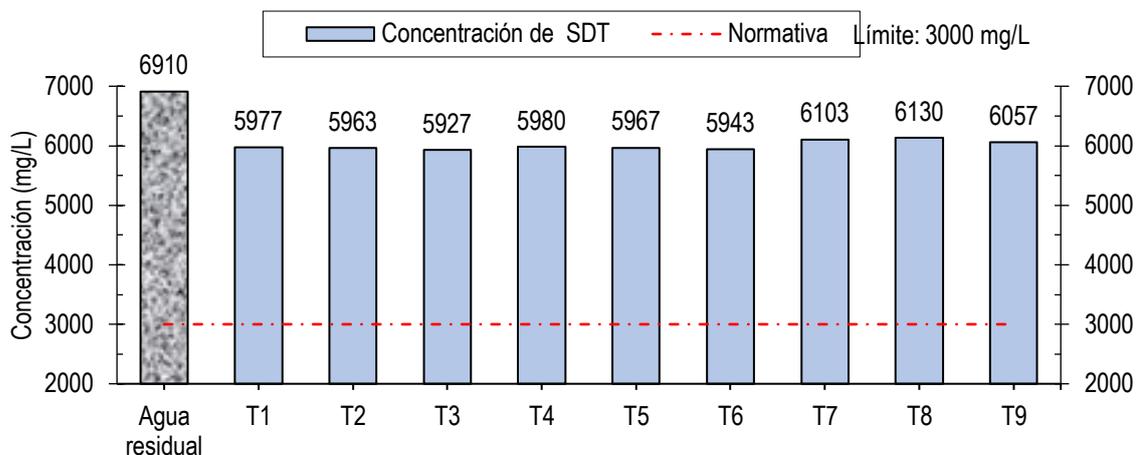


Figura 4.9. Concentración final de SDT mediante los tratamientos vs Normativa

Referente a la concentración final de sólidos disueltos totales se determinó que el agua residual de la camaronera “La Gringa” supera los límites establecidos en el anexo 1 del TULSMA (3000 mg/L) ya que presenta valores de 6910 mg/L. Por otro lado, los tratamientos también presentan valores altos en comparación con los permitidos por la normativa, mismos que van desde 5927 mg/L (T3) hasta 6057 (T9) evidenciándose que no existe mayor efectividad en la remoción del parámetro estudiado.

Zambrano (2019) también presentó valores superiores a los establecidos en el anexo 1 del TULSMA en la caracterización inicial del agua de camaroneras, con valores de 6400 mg/L, mismo que alcanzó una remoción de 25% con el biochar a base de cáscara de cacao y maíz.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación, se demostró que la aplicación de biochar de cáscara de cacao permitió tener una eficiencia de remoción mayor del 80% en el T9, para los parámetros de turbidez (92%), color (95%) y SST (96) del agua residual de la camaronera la Gringa, mostrando que, se acepta la hipótesis inicial planteada donde se afirmó que al menos unos de los tratamientos tenían una eficiencia de remoción del 80%.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los valores iniciales del agua residual de la granja camaronera “La Gringa” fueron los siguientes: 8.21 para el pH, 16.8 NTU para la turbidez, 416 Pt/Co para la intensidad del color real, 58 mg/L para la cantidad de sólidos suspendidos y 6910 mg/L para la concentración de sólidos disueltos.
- Se obtuvo biochar a partir de 7000 gramos de cáscara de cacao, sometiéndolo a una calcinación a 500 °C para obtener un rendimiento del 9.3% (650 g). Luego, se activó el biochar con una mezcla de ácido fosfórico a 85 °C, se filtró, lavó con agua destilada (pH 6) y se secó a 100 °C durante 24 horas para obtener porosidad interna y alta capacidad adsorbente.
- La implementación de todos los tratamientos utilizando biochar de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la muestra de agua residual de la camaronera, superó el 80% en la eliminación del color y los sólidos suspendidos. Sin embargo, únicamente los tratamientos T5, T6, T7, T8 y T9 lograron una eficiencia superior al 80 % en la reducción de la turbidez. Es importante destacar que la eliminación de sólidos disueltos fue inferior al 15 % en todos los tratamientos, mientras que los valores de pH se lograron estabilizar en niveles cercanos a neutros (pH: 7). En definitiva, el tratamiento con valores mayores de eficiencia resultó ser el T9 (20 gramos de biochar + 12 horas de contacto), alcanzando un 92 % de remoción de turbidez, 95 % de remoción de color y un 96 % de eliminación de sólidos suspendidos, con una media de 94.33 % de remoción para estas tres variables.
- Las concentraciones finales resultantes de la aplicación de los nueve tratamientos en términos de pH, turbidez, color y sólidos suspendidos del agua residual se sitúan por debajo de los valores límites permitidos según la normativa ecuatoriana TULSMA (2015). Sin embargo, estos tratamientos no lograron cumplir con los niveles requeridos para los sólidos disueltos totales (<

3000 mg/L). La acumulación diaria de estos constituye una preocupación, debido a la posible presencia de nutrientes o sales que podrían generar implicaciones en la salud de los organismos acuáticos y para el proceso de tratamiento del agua.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar una caracterización del agua antes de su entrada a las camaroneras y después de su descarga, permitiendo una comparación entre ambos momentos. Antes de comenzar este proceso, es esencial establecer un plan detallado que defina los parámetros a medir, como variables químicas y biológicas. Este plan también debe abarcar los métodos de muestreo y análisis, asimismo, es fundamental que se cumplan todas las normas de seguridad necesarias tanto para la manipulación de las muestras como para la protección del personal investigador.
- Evaluar el rendimiento de la producción de biochar en otros tipos de cultivos.
- Aplicar un segundo tratamiento relacionado a procesos de Coagulación-Floculación para aglutinar partículas finas y sólidos disueltos, facilitando su posterior eliminación por sedimentación o filtración.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelhafez, A., y Jianhua, L. (2016). Removal of Pb(II) from aqueous solution by using biochars derived from sugar cane bagasse and orange peel. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 61, 367-375. Obtenido de <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-9927051d-f00c-3498-b8a5-c80ec639ef15>
- Abubakar, F., Ibrahim, S., y Moruf, R. (2023). Phytoremediation of aquaculture wastewater: A review of microalgae bioremediation. *Science World Journal*, 18(1). doi:<https://doi.org/10.4314/swj.v18i1>
- Aylan, R., Al-Abbawy, D., y Yaseen, D. (2023). Development of the Horizontal Flow Wetland Using Palm Waste Biochar for Greywater Reclamation. *Journal of Ecological Engineering*, 24. doi:<https://doi.org/10.12911/22998993/166552>
- Azabache, Y., Santillán, K., Rodríguez, R., Guerero, A., Mendiola, A., Olano, R., y Vela, T. (2022). Removal of Color and Turbidity in Runoff Water using Coconut (Cocos Nucifera) Endocarp Activated Carbon. *Chemical Engineering*, 93, 355-360. doi:<https://doi.org/10.3303/CET2293060>
- Bernal, J. (2013). Impacto ambiental por descargas de agua efluentes de las camaroneras en el estuario del Río Chone. Propuesta Plan de Manejo Ambiental, Manabí-2013. Obtenido de Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/67423/1/BCIEQ-MAA-%20018%20Bernal%20Zambrano%20Juan%20Jos%C3%A9.pdf>
- Bhardwaj, A., Nag, S., Hussain, K., Arora, M., Pandey, P., y Babu, N. (2022). Adsorption of Zn(II) on Pristine and SPLP/TCLP Leached Rice Straw Biochar: an Interplay of Precipitation and Ion Exchange. *Water, Air, & Soil Pollution*, 475. doi:<https://doi.org/10.1007/s11270-022-05940-y>
- Bhatnagar, A., Singhal, A., Tolvanen, H., Valtonen, K., Joronen, T., y Konttinen, J. (2022). Effect of pretreatment and biomass blending on bio-oil and biochar quality from two-step slow pyrolysis of rice straw. *Waste Management*, 138. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.013>

- Briones, H., y Solórzano, M. (2018). Evaluación del impacto de las aguas residuales del cultivo de camarón a través de ensayos de exposición forzada: alevines de guppy (*Poecilia reticulata*) como bioindicador. *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura YAKU*, 1(2). Obtenido de <https://publicacionescd.ulead.edu.ec/index.php/yaku/article/view/70>
- Burgos, G., y Jaramillo, J. (2015). Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón Milagro, provincia del Guayas. Obtenido de Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8941/1/BCIEQ-T-0114%20Burgos%20Campuzano%20Gabriela%20Elizabeth%3b%20%20Jaramillo%20Quiroz%20Jomayra%20Lorena.pdf>
- Cao, X., Ma, L., Gao, B., y Harris, W. (2009). Dairy manure derived biochar effectively sorbs Lead and Atrazine. *Environmental Science & Technology*, 3285–3291. doi:<https://doi.org/10.1021/es803092k>
- Cardoso, J., Páez, F., Amezcua, F., Ruiz, A., Ramírez, G., y Sánchez, J. (2016). Combined environmental stress from shrimp farm and dredging releases in a subtropical coastal lagoon (SE Gulf of California). *Marine Pollution Bulletin*, 104(1), 83-91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.008>
- Carranza, O. (2017). Aguas residuales en la industria del camarón. Obtenido de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/filespdf/doc_pdf_49214.pdf
- Castañeda, C., Román, H., Barrenechea, R., Benites, E., Rojas, R., y Gutiérrez, A. (2023). Use of Activated Carbon from *Prunus persica* and *Persea americana* for the Removal of Arsenic and Lead in Contaminated Water. *Chemical Engineering Transactions*, 100, 1-6. doi:<https://doi.org/10.3303/CET23100001>
- Castillo, J., y Chimbo, J. (2021). Efficiency in the removal of organic matter by wormfilters (*Eisenia foetida*) in domestic wastewater for rural areas. *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador*, 12(2). Obtenido de <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>

- Cercado, J. (2023). Efectos del agua con detergentes en plantas de trigo (*triticum aestivum* L) y en microorganismos fungosos radiculares. Obtenido de Universidad Nacional Cajamarca: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5775>
- Chauca, K., y Tadeo, J. (2022). Reducción de fosfatos y nitratos en efluentes domésticos mediante filtros a base de cáscaras de Cocos nucifera y huevo de Gallus gallus domesticus en Carabayllo, Lima 2022. En Tesis de Grado (págs. 1-53). Universidad César Vallejo.
- Chausali, N., Saxena, J., y Prasad, R. (2021). Nanobiochar and biochar based nanocomposites: Advances and applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5, 1-12. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154321000934?via%3Dihub>
- Condor, J., y Maza, D. (2020). Remoción de plomo para mejorar el agua de Mórrope utilizando carbón activado del endocarpio de aceituna y cáscara de coco. Obtenido de Universidad César Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50262/Condor_MJS.%20Maza_PD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial 449 de 20-oct-2008. Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Cunha, M., Ferreira, L., Gordinho, D., Da Silva, C., Barros, F., Rodrigues, I., y Rodrigues, E. (2023). Quality of water from springs in the administrative region of Brazlândia, located in the Descoberto River micro hydrographic basin, Federal District, Brazil. *Agrarian and Biological Sciences*, 12(6). doi:<https://doi.org/10.33448/rsd-v12i6.41954>
- Daviran, J. (2021). Remoción de turbiedad y sólidos suspendidos totales con la utilización de la cáscara de cacao (*theobroma cacao*) como coagulante natural en las aguas del Río Chillón. Obtenido de Universidad Nacional: http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6368/TESIS_PREGRADO_DAVIRAN_FIARN_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Deng, S., Chen, J., y Chang, J. (2021). Application of biochar as an innovative substrate in constructed wetlands/biofilters for wastewater treatment: Performance and ecological benefit. *Journal of Cleaner Production*, 293. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126156>
- Edeh, I., y Mašek, O. (2021). The role of biochar particle size and hydrophobicity in improving soil hydraulic properties. *European Journal of Soil Science*, 73(1). doi:<https://doi.org/10.1111/ejss.13138>
- Espinoza, M., y Zambrano, S. (2019). Eficiencia de microorganismos (*Saccharomyces sp*, *Lactobacillus spp*, *Rhodospseudomonas spp*) en el tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL. Obtenido de Repositorio ESPAM MFL: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1215/1/TTMA82.pdf>
- Esteves, L. (2019). Propuesta para la elaboración de carbón activado a partir de mazorca de cacao (*Theobroma cacao*) para el pre-tratamiento de agua residual de lubricadora. Obtenido de Universidad Agraria del Ecuador.
- Fasabi, Y. (2023). Efecto de la incorporación del biochar de origen orgánico (cascarilla de arroz) en la calidad del suelo agrícola contaminado, Colpa Baja, Huánuco, 2022. Obtenido de Universidad de Huánuco: <http://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/4177>
- Flores, D., y Herrera, B. (2022). Evaluación del efecto del hidróxido de calcio (cal apagada) en la estabilización del pH de aguas desembocadas del río Millojahuirá en el embalse Pasto Grande, Moquegua - 2022. Obtenido de Universidad Continental: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12760>
- Gallego, C., Chica, E., y Rubio, A. (2022). Coupling of Advanced Oxidation Technologies and Biochar for the Removal of Dyes in Water. *Water*, 14(2531), 2-24. doi:<https://doi.org/10.3390/w14162531>
- Gómez, C., Mazo, P., Penagos, L., Serpa, A., Urbina, L., Velásquez, J., y Zuluaga, R. (2020). Cocoa shell: an industrial by-product for the preparation of suspensions of holocellulose nanofibers and fat. *Cellulose*, 10873–10884.

- Gorozabel, J. (2023). Impacto ambiental del recurso hídrico causado por las camaroneras en las concesiones de manglar en la Isla Costa Rica, Archipiélago de Jambelí, El Oro- Ecuador". Obtenido de Universidad Nacional de Tumbes: <https://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/64219/TESIS%20-%20GOROZABEL%20ROSILLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Goto, G., Corwin, E., Farthing, A., Lubis, A., y Klinger, D. (2023). A nature-based solutions approach to managing shrimp aquaculture effluent. *PLOS Sustainability and Transformation*. *PLOS Sustainability and Transformation*, 2(8). doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000076>
- Guerra, R., y Sarango, V. (2022). Caracterización de aguas de descarga de camaroneras en el estuario de Cojimíes, provincia de Manabí. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23460/1/UPS%20-%20TTS1052.pdf>
- Guevara, G., Verdesoto, A., y Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 4(3). Obtenido de <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>
- Gupta, P., Ann, T., y Mok, S. (2016). Use of biochar to enhance constructed wetland performance in wastewater reclamation. *Environmental Engineering Research*, 36-44. doi:<https://doi.org/10.4491/eer.2015.067>
- Gutiérrez, N., Sánchez, C., y Gutiérrez, J. (2023). Variation in phytoplankton diversity during phycoremediation in a polluted Colombian Caribbean swamp. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2). doi:<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10843-w>
- Humanante, J., Moreno, L., Endara, A., Saldoya, R., y Suárez, J. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, 19(2), 177-181. doi:<https://doi.org/10.17268/manglar.2022.022>

- Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 2169:2013. (2013). Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras. Obtenido de Norma técnica Ecuatoriana : <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACION%20DE%20MUESTRAS.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 2176:2013. (2013). Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo. Obtenido de Norma Técnica Ecuatoriana: https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/biblioteca/legislacion-ambiental/patrimonio_natural/nte_inen_2176_1_agua_calidad_agua_muestreo_tecnicas_muestreo.pdf
- Kamal, A., Ali, M., Farraj, D., Zaidi, E., Khizar, M., Aljaaidi, R., y Munis, M. (2023). Diagnosis and Control of Brown Leaf Spot of Kiwi (*Actinidia deliciosa*) Using Biochar-Zinc Oxide Nanocomposite (MB-ZnO) as a Non-Toxic Bio-Fungicides. *Crystals*, 13(1). doi:<https://doi.org/10.3390/cryst13010098>
- Khiari, Z., Alka, K., Kelloway, S., Mason, B., y Savidov, N. (2020). Integration of Biochar Filtration into Aquaponics: Effects on Particle Size Distribution and Turbidity Removal. *Agricultural Water Management*, 229. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105874>
- Klinfor, R. (2020). Impacto ambiental de las descargas de aguas residuales en el Río Chaguana. Obtenido de Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/51394/1/TESIS%20Klinfor%20Ramon-signed.pdf>
- Li, S., Ondon, B., Ho, S., Jiang, J., y Li, F. (2022). Antibiotic resistant bacteria and genes in wastewater treatment plants: From occurrence to treatment strategies. *Science of The Total Environment*, 838. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156544>

- Liu, J., Li, H., Harvey, J., Zhang, H., y Tian, Y. (2021). Application of Biochar on the runoff purification performance of porous asphalt pavement. *Transportation Safety and Environment*, 3(4). doi:<https://doi.org/10.1093/tse/tdab026>
- López, M., Echezuría, H., Delgado, J., y Soledad, B. (2020). Evaluación de las características físicas del biocarbón obtenido por el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de la UCAB. *tekhné*, 23(2), 42-51. doi:<https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/4657>
- Luy, S. (2022). Obtención de carbón activado a partir de la semilla de eucalipto de la provincia de Huancabamba, para tratamiento de agua de mesa. Obtenido de Universidad Nacional de Piura: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/3809/IQUI-LUY-SAA-2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Macías, G. (2021). Aprovechamiento de residuos de cáscara de cacao en la obtención de carbón activado para ser usado como medio filtrante. Obtenido de Universidad Técnica Estatal de Quevedo: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1382e6c6-fa8e-4f10-97a7-4038594bf622/content>
- Mahajan, L., Pawar, A., y Bhagat, S. (2016). Comparative analysis for suitability of fly ash and coconut husk in BOD and COD removal from paper mill waste water. 4(2).
- Martínez, G. (2023). Remoción de fluoruro en aguas mediante el uso de biochar de cáscara de arroz modificado con aluminio. Obtenido de Universidad Mayor de San Andrés: <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/31566>
- Meng, N., Yuan, J., Zhang, L., Hua, J., Rong, H., y Gu, Z. (2021). In-situ and ex-situ purification effect of ecological ponds of *Euryale ferox* Salisb on shrimp aquaculture. *Aquaculture*, 540. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848621003409?via%3Dihub>

- Merizalde, E., Montenegro, L., y Cabrera, M. (2019). Study of a Wastewater Treatment System from a Paper Industry. *Revista Politécnica*, 43(1). Obtenido de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v43n1/2477-8990-rpolit-43-01-00007.pdf>
- Minaya, M., Cari, P., Garate, J., y Rodríguez, L. (2020). Carbón activado de residuos maderables de shihuahuaco (*Dipteryx micrantha*), y su aplicación en decoloración de aceite de castaña (*Bertholletia excelsa*). *Ciencia amazónica (Iquitos)*, 8(1), 1-16. Obtenido de <https://ojs.ucp.edu.pe/index.php/cienciaamazonica/article/view/277/134>
- Mohanty, P., Nanda, S., Pant, K., Naik, S., Kozinski, J., y Dalai, A. (2013). Evaluation of the physiochemical development of biochars obtained from pyrolysis of wheat straw, timothy grass and pinewood: Effects of heating rate. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 485-493.
- Monsalve, E., y Quiroga, E. (2022). Farmed shrimp aquaculture in coastal wetlands of Latin America—A review of environmental issues. *Marine Pollution Bulletin*, 183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113956>
- Mu, R., Jia, Y., Ma, G., Liu, L., Hao, K., Qi, F., y Shao, Y. (2020). Advances in the use of microalgal–bacterial consortia for wastewater treatment: Community structures, interactions, economic resource reclamation, and study techniques. *Water Environment Research*, 93(8), 1217-1230. doi:<https://doi.org/10.1002/wer.1496>
- Novillo, F., y Serrano, D. (2019). Síntesis de carbón activado a partir del endocarpio de *Cocos nucifera* y su aplicación en la adsorción de algunos metales pesados. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20332>
- Nugraha, M., Dewi, N., Awaluddin, S., Widodo, A., Sumon, M., Jamal, M., y Santanumurti, M. (2023). Recirculating Aquaculture System (RAS) towards emerging whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) aquaculture. *International Aquatic Research*, 15(1), 1-14. doi:<https://doi.org/10.22034/iar.2023.1973316.1361>

- Núñez, M., Martínez, D., y Merlo, V. (2023). Evaluación de la calidad de agua mediante un análisis multivariante en los esteros del Golfo de Fonseca, Honduras. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 52(1). doi:<https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2023.52.1.1181>
- Oré, L., Silva, C., y Loarte, W. (2022). Production of biochar from the shell of *Theobroma cacao* L., husk of *Oryza sativa* and *Coffea arabica*. *Revista Científica y Tecnológica QANTU YACHAY*, 2(2), 68-80. Obtenido de <https://revistas.une.edu.pe/index.php/QantuYachay/article/view/31/31>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Pardo, R., y Ramírez, A. (2023). Administración integrada de aguas residuales del cultivo del camarón. *Veterinaria argentina*, XL(422). Obtenido de <https://www.veterinariargentina.com/revista/2023/06/administracion-integrada-de-aguas-residuales-del-cultivo-del-camaron/>
- Parra, N., Henríquez, M., y Villanueva, S. (2018). Utilización de los subproductos del cultivo y procesamiento del cacao. *Jornadas de Investigación. Encuentro Académico Industrial*, 1-8.
- Pis, M., Delgado, G., Fuentes, M., Martínez, Y., Hernández, A., Díez, J., y Valdivia, Y. (2010). Caracterización de los efluentes de la camaronera CULTIZAZA de Cuba. *Journal Contribution*, 11(03), 1-14. Obtenido de <https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/13266/Caracterizaci%C3%B3n%20de%20los%20efluentes%20de%20la%20camaronera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pokharel, A., Acharya, B., y Farooque, A. (2020). Biochar-assisted wastewater treatment and waste valorization. *Applications of Biochar for Environmental Safety*. Obtenido de <https://www.intechopen.com/chapters/71992>

- Ramírez, E., Valencia, M., y Alvarado, J. (2018). Génesis, morfología, clasificación y susceptibilidad de suelos de la parte media de la cuenca del río Abujao Región Ucayali. *Ciencias Agrícolas y Biológicas*, 79(2), 368-376. doi:<https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.1249>
- Rendón, M., Villacís, M., y Miranda, M. (2016). Estadística descriptiva. *Rev Alerg Mex*, 63(4), 397-407. Obtenido de <https://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/230/387#:~:text=La%20estad%C3%ADstica%20descriptiva%20tiene%20como,datos%20y%20mostrar%20cifras%20puntuales>.
- Rodríguez, I. S. (2020). Elaboración y caracterización de carbón activado a partir de residuos agroindustriales para reducir fluoruros en aguas de consumo. En Tesis de Grado (págs. 1-85). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Romero, H. (2020). Comparación ecoeficiente de carbón activado a partir de la cáscara de *Theobroma cacao* mediante activación física y química para la remoción de color de efluentes avícolas. Obtenido de Universidad Agraria del Ecuador: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ROMERO%20ALVARADO%20HENRY%20FABRICIO.pdf>
- Secretaría Nacional de Planificación de Ecuador [SNPE] . (2021). Toda una vida Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Obtenido de SNPE: <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Plan%20Nacional%20de%20Desarrollo%20Toda%20Una%20Vida%202017%20-%202021.pdf>
- Suárez, D., y Villegas, E. (2019). Evaluation of the adsorption of the modified carbon by ultrasound obtained from the mesocarpio de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de la Sociedad Química de México*, 85(2), 216-230. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n2/a09v85n2.pdf>

- Suliman, W., Harsh, J., Abu, N., y Fortuna, A. (2016). Influence of feedstock source and pyrolysis temperature on biochar bulk and surface properties. *Biomass and Bioenergy*, 84, 37-48. doi:10.1016/j.biombioe.2015.11.010
- Taija, S., Lafdani, E., y Palviainen, M. (2020). Biochar as adsorbent in purification of clear-cut forest runoff water: adsorption rate and adsorption capacity. *Biochar*, 2, 227-237. Obtenido de <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42773-020-00049-z>
- Tan, K., y Wang, J. (2023). Substrate modified with biochar improves the hydrothermal properties of green roofs. *Environmental Research*, 216. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114405>
- Tejada, C., Villabona, Á., Caballero, V., Paternina, J., y Granados, C. (2018). Optimización de parámetros para la construcción de la curva de ruptura en la adsorción de Cr(VI) sobre cáscara de cacao. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 167-177. Obtenido de <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/675/675>
- Terkula, I., y Azman, N. (2021). Recent advances in Shrimp aquaculture wastewater management. *Heliyon*, 7(11). Obtenido de <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2821%2902386-0>
- Thegarathan, P., Jewaratnam, J., y Simarani, K. (2022). Turbidity reduction in palm oil mill effluent (POME) by submerged fermentation with immobilized *Aspergillus niger* spores using coconut husk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1074(1). doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1074/1/012027>
- Torres, F. (2021). Elaboración de cerveza en base de harina de residuos agroindustriales de cacao. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32128/1/BQ%20261.pdf>
- Urighuen, P., y Ramírez, J. (2023). Aspectos socioeconómicos y su determinación producto de la actividad camaronera en la parroquia Puerto Jelí del cantón Santa Rosa. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*(2), 1-33. Obtenido de

<https://dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/3578/3529>

- Vidal, M., Rodríguez, A., Martínez, K., Ocampo, J., y Barrios, W. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado. *Scientia et Technica* Año XXIII, 23(3), 411-419.
- Visiy, E., Djousse, B., Martin, L., Zangue, C., Sangodoyin, A., Gbadegesin, A., y Fonkou, T. (2022). Effectiveness of biochar filters vegetated with *Echinochloa pyramidalis* in domestic wastewater treatment. *Water Sci Technol*, 85(9), 2613–2624. doi:<https://doi.org/10.2166/wst.2022.147>
- Wang, J., y Shizong, W. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1002-1022. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619313733>
- Weber, K., y Quicker, P. (2018). Properties of biochar. *Fuel*, 240-261. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236117316216?via%3Dihub>
- Yachas, E. (2019).). Grado de eficacia del carbón activado de la cáscara de coco, en la absorción del hierro y plomo del agua de consumos de los estudiantes de la I.E. San Andrés de Paragsha - Simón Bolívar 2018. Obtenido de Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1444/1/T026_62137573_T.pdf
- Yaseen, Z., Zigale, T., Kumar, R., Awasthi, S., Tung, T., Ansari, N., y Bhagat, S. (2019). Laundry wastewater treatment using a combination of sand filter, biochar and teff straw media. *Scientific reports*, 9(1). Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41598-019-54888-3>
- Zambrano, C. (Diciembre de 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. Obtenido de Repositorio ESPAM MFL: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1199/1/TTMA66.pdf>

Zambrano, K. (2020). Evaluación de la capacidad de adsorción de la corteza de plátano (musa paradisiaca) para la remoción de metabisulfito y amonio presentes en aguas residuales de camarónicas. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/14230/1/236T0483.pdf>

Zapien, J., Vásquez, E., Pozuelo, M., Zorilla, A., Flores, E., Guzmán, O., y Vásquez, E. (2023). Principios de química verde aplicados a la síntesis de materiales carbonosos para su uso en remediación ambiental. Jóvenes en la Ciencia, 21, 1-8. Obtenido de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/articloe/view/4125>

ANEXOS

Anexo 1. Registros fotográficos

1-A. Toma de muestras del agua residual de la camaronera



1-B. Obtención de residuos de cacao

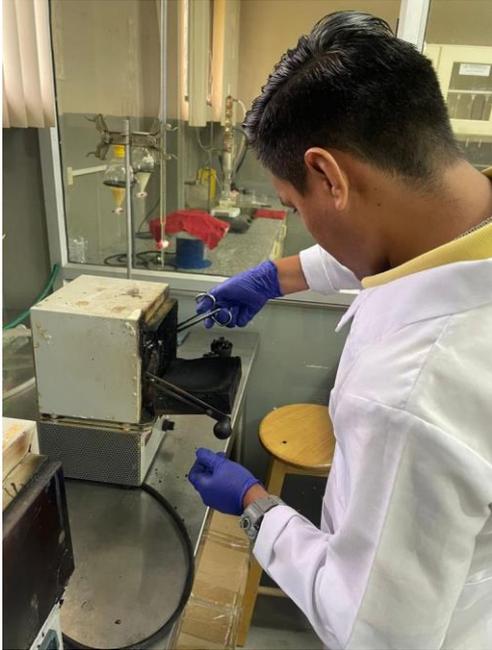


1-C. Preparación del residuo de la cáscara de cacao



1-D. Ingreso a la estufa**1-E. Tamizado de 1 mm****1-F. Deshidratación de la cáscara**

1-G. Ingreso a la mufla



1-H. Carbón obtenido



1-I. Activación del carbón con H_3PO_4 **1-J. Lavado con HCl**

1-K. Carbón tamizado**1-L. Aplicación de los tratamientos**

1-M. Análisis de turbidez

Anexo 2. Rendimiento y concentraciones de los tratamientos por réplicas

Nº Tratamiento	Factor A (Biochar)	Factor B (contacto)	Réplicas	Concentración final de pH	% Remoción de pH	Concentración final de Turbidez	% Remoción de Turbidez	Concentración final de Color	% Remoción de Color	Concentración final de SST	% Remoción de SST	Concentración final de SDT	% Remoción de SDT
T1	10 g	1h	R1	6,75	18%	7,14	58%	82	80%	8,3	86%	5990	13%
T1	10 g	1h	R2	6,76	18%	7,15	57%	80	81%	8,1	86%	5980	13%
T1	10 g	1h	R3	6,77	18%	7,12	58%	78	81%	7,5	87%	5960	14%
T2	10 g	6h	R1	6,8	17%	5,51	67%	52	88%	3,9	93%	5970	14%
T2	10 g	6h	R2	6,8	17%	5,49	67%	50	88%	3,9	93%	5970	14%
T2	10 g	6h	R3	6,82	17%	5,5	67%	50	88%	3,8	93%	5950	14%
T3	10 g	12h	R1	6,79	17%	3,7	78%	43	90%	7,3	87%	5940	14%
T3	10 g	12h	R2	6,81	17%	3,72	78%	42	90%	7,2	88%	5930	14%
T3	10 g	12h	R3	6,85	17%	3,68	78%	40	90%	7,2	88%	5910	14%
T4	15 g	1h	R1	6,97	15%	5,12	70%	22	95%	3,4	94%	5980	13%
T4	15 g	1h	R2	6,98	15%	5,11	70%	24	94%	3,3	94%	5970	14%
T4	15 g	1h	R3	6,98	15%	5,1	70%	23	94%	3,3	94%	5990	13%
T5	15 g	6h	R1	6,99	15%	2,8	83%	31	93%	3,9	93%	5970	14%
T5	15 g	6h	R2	6,99	15%	2,81	83%	32	92%	3,3	94%	5970	14%
T5	15 g	6h	R3	6,98	15%	2,79	83%	31	93%	3,3	94%	5960	14%
T6	15 g	12h	R1	7,02	14%	2,49	85%	33	92%	3,9	93%	5890	15%
T6	15 g	12h	R2	7,02	14%	2,5	85%	30	93%	3,5	94%	5950	14%
T6	15 g	12h	R3	7,04	14%	2,45	85%	31	93%	3,8	93%	5990	13%
T7	20 g	1h	R1	6,99	15%	2,78	83%	40	90%	2,1	96%	6130	11%
T7	20 g	1h	R2	7,01	15%	2,79	83%	43	90%	2,5	96%	6100	12%
T7	20 g	1h	R3	7,05	14%	2,82	83%	41	90%	2	97%	6080	12%
T8	20 g	6h	R1	7,07	14%	2,29	86%	32	92%	4,2	93%	6130	11%
T8	20 g	6h	R2	7,08	14%	2,28	86%	28	93%	3,8	93%	6110	12%
T8	20 g	6h	R3	7,04	14%	2,35	86%	25	94%	4,5	92%	6150	11%
T9	20 g	12h	R1	7,11	13%	1,38	92%	16	96%	2,3	96%	6050	12%
T9	20 g	12h	R2	7,12	13%	1,33	92%	19	95%	2,9	95%	6030	13%
T9	20 g	12h	R3	7,1	14%	1,35	92%	22	95%	2,5	96%	6090	12%

Anexo 3. Análisis estadístico ANOVA en el software InfoStat

Nueva tabla: 29/10/2023 - 20:37:06 - [Versión : 20/9/2018]

Análisis de la varianza

% Remoción de pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Remoción de pH	27	0,98	0,97	1,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	62,67	8	7,83	105,75	<0,0001
Factor A (gr de Biochar)	56,00	2	28,00	378,00	<0,0001
Factor B (Tiempo de contac..	5,56	2	2,78	37,50	<0,0001
Factor A (gr de Biochar)*F..	1,11	4	0,28	3,75	0,0218
Error	1,33	18	0,07		
Total	64,00	26			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,77864

Error: 0,0741 gl: 18

Factor A (gr de Biochar)	Factor B (Tiempo de contac..	Medias	n	E.E.
10 g	1h	18,00	3	0,16 A
10 g	6h	17,00	3	0,16 B
10 g	12h	17,00	3	0,16 B
15 g	1h	15,00	3	0,16 C
15 g	6h	15,00	3	0,16 C
20 g	1h	14,67	3	0,16 C
D				
20 g	6h	14,00	3	0,16
D E				
15 g	12h	14,00	3	0,16
D E				
20 g	12h	13,33	3	0,16

E

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

% Remoción de Turbidez

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Remoción de Turbidez	27	1,00	1,00	0,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2872,30	8	359,04	9694,00	<0,0001
Factor A (gr de Biochar)	1726,74	2	863,37	23311,00	<0,0001
Factor B (Tiempo de contac..	989,41	2	494,70	13357,00	<0,0001
Factor A (gr de Biochar)*F..	156,15	4	39,04	1054,00	<0,0001
Error	0,67	18	0,04		
Total	2872,96	26			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,55058

Error: 0,0370 gl: 18

Factor A (gr de Biochar)	Factor B (Tiempo de contac..	Medias	n	E.E.
20 g	12h	92,00	3	0,11 A
20 g	6h	86,00	3	0,11 B

15 g	12h	85,00	3 0,11	C
15 g	6h		83,00	3 0,11
D				
20 g	1h		83,00	3 0,11
D				
10 g	12h		78,00	3 0,11
E				
15 g	1h		70,00	3 0,11
F				
10 g	6h		67,00	3 0,11
G				
10 g	1h		57,67	3 0,11

H

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

% Remoción de Color

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Remoción de Color	27	0,99	0,98	0,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	469,85	8	58,73	198,22	<0,0001
Factor A (gr de Biochar)	276,52	2	138,26	466,62	<0,0001
Factor B (Tiempo de contac..	87,63	2	43,81	147,87	<0,0001
Factor A (gr de Biochar)*F..	105,70	4	26,43	89,19	<0,0001
Error	5,33	18	0,30		
Total	475,19	26			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,55727

Error: 0,2963 gl: 18

Factor A (gr de Biochar)	Factor B (Tiempo de contac..	Medias	n	E.E.
20 g	12h	95,33	3	0,31 A
15 g	1h	94,33	3	0,31 A B
20 g	6h	93,00	3	0,31 B
C				
15 g	6h	92,67	3	0,31 C
15 g	12h	92,67	3	0,31 C
20 g	1h	90,00	3	0,31
D				
10 g	12h	90,00	3	0,31
D				
10 g	6h	88,00	3	0,31
E				
10 g	1h	80,67	3	0,31

F

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

% Remoción de SST

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Remoción de SST	27	0,98	0,98	0,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	272,07	8	34,01	131,18	<0,0001

Factor A (gr de Biochar)	173,85	2	86,93	335,29	<0,0001
Factor B (Tiempo de contac..)	4,74	2	2,37	9,14	0,0018
Factor A (gr de Biochar)*F..	93,48	4	23,37	90,14	<0,0001
Error	4,67	18	0,26		
Total	276,74	26			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,45669

Error: 0,2593 gl: 18

Factor A (gr de Biochar)	Factor B (Tiempo de contac..)	Medias	n	E.E.	
20 g	1h	96,33	3	0,29	A
20 g	12h	95,67	3	0,29	A
15 g	1h	94,00	3	0,29	B
15 g	6h	93,67	3	0,29	B
15 g	12h	93,33	3	0,29	B
10 g	6h	93,00	3	0,29	B
20 g	6h	92,67	3	0,29	B
10 g	12h	87,67	3	0,29	C
10 g	1h	86,33	3	0,29	C

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

% Remoción de SDT

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Remoción de SDT	27	0,84	0,76	4,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27,33	8	3,42	11,53	<0,0001
Factor A (gr de Biochar)	24,00	2	12,00	40,50	<0,0001
Factor B (Tiempo de contac..)	2,00	2	1,00	3,38	0,0569
Factor A (gr de Biochar)*F..	1,33	4	0,33	1,13	0,3758
Error	5,33	18	0,30		
Total	32,67	26			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,55727

Error: 0,2963 gl: 18

Factor A (gr de Biochar)	Factor B (Tiempo de contac..)	Medias	n	E.E.	
15 g	12h	14,00	3	0,31	A
10 g	6h	14,00	3	0,31	A
15 g	6h	14,00	3	0,31	A
10 g	12h	14,00	3	0,31	A
15 g	1h	13,33	3	0,31	A B
10 g	1h	13,33	3	0,31	A B
20 g	12h	12,33	3	0,31	B
20 g	1h	11,67	3	0,31	C
20 g	6h	11,33	3	0,31	C

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