



**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:
EVALUACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DE RESIDUOS
AGRÍCOLAS PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN AGUAS
RESIDUALES EN INDUSTRIAS DE ALMIDÓN EN BEJUQUILLO-
CANUTO, MANABÍ**

**AUTORES:
VERA BRAVO ESTRELLA LISBETH
ZAMBRANO BASURTO MARIO ALEJANDRO**

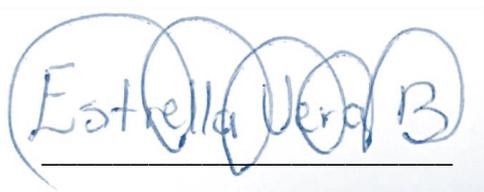
**TUTOR:
ING. JOSÉ MIGUEL GILER MOLINA, M.Sc.**

CALCETA, OCTUBRE DEL 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

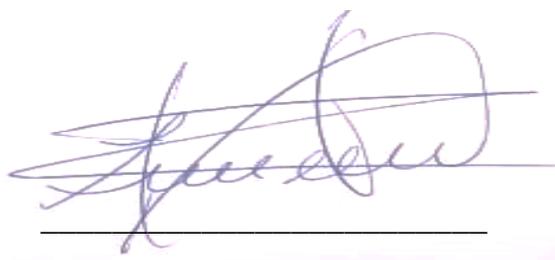
Estrella Lisbeth Vera Bravo con cédula de ciudadanía **131360890-1** y **Mario Alejandro Zambrano Basurto**, con cédula de ciudadanía **131096336-6** declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES EN INDUSTRIAS DE ALMIDÓN EN BEJUQUILLO-CANUTO, MANABÍ** 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.



Estrella Lisbeth Vera Bravo

CC: 131360890-1



Mario Alejandro Zambrano Basurto

CC: 131096336-6

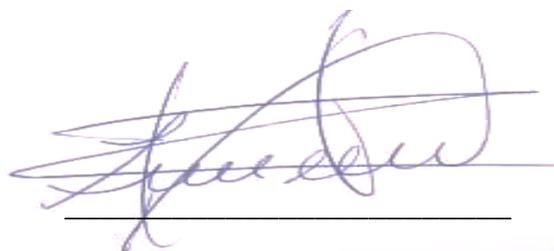
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Estrella Lisbeth Vera Bravo con cédula de ciudadanía **131360890-1** y **Mario Alejandro Zambrano Basurto**, con cédula de ciudadanía **131096336-6**, 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: **EVALUACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES EN INDUSTRIAS DE ALMIDÓN EN BEJUQUILLO-CANUTO, MANABÍ**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.



Estrella Lisbeth Vera Bravo

CC: 131360890-1



Mario Alejandro Zambrano Basurto

CC: 131096336-6

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. José Miguel Giler Molina, Mg. certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES EN INDUSTRIAS DE ALMIDÓN EN BEJUQUILLO-CANUTO, MANABÍ**, que ha sido desarrollado por **Estrella Lisbeth Vera Bravo** y **Mario Alejandro Zambrano Basurto**, 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. José Miguel Giler Molina, M.Sc.

CC: 131065676-2

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES EN INDUSTRIAS DE ALMIDÓN EN BEJUQUILLO-CANUTO, MANABÍ**, que ha sido desarrollado por **Estrella Lisbeth Vera Bravo** y **Mario Alejandro Zambrano Basurto**, 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 Vera Villamil., Mg.

CC:131020148-6

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Joffre Andrade Candell., Mg.

CC: 131165139-0

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Villafuerte Vélez, Mg.

CC: 130760554-1

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Quiero iniciar agradeciendo a Dios por permitirme llegar a este día y cumplir esta meta, agradezco a mis padres Tito Vera y Marilú Bravo por siempre impulsarme a ser mejor cada día y ser quienes han trabajado duro para que este logro se alcance, gracias por siempre apoyarme y dar todo de ustedes, agradezco de corazón por estar siempre y ser los mejores, que, con mucho o poco me han dado lo más valioso de la vida, amor y valores; este logro es de ustedes.

Agradezco a mi esposo Jorge Terán por apoyarme e impulsarme a cumplir mis sueños, por el abrazo justo en momentos donde he querido rendirme, gracias por tenderme tu mano y ayudarme a seguir. A mi familia y a cada una de las personas que de una u otra manera me han apoyado a lo largo este camino.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López y a su magna calidad de equipo docente por ser precursores de conocimientos y saberes en este camino.

Y de manera muy especial agradezco a mi tutor Ing. José Miguel Giler por la acertada orientación a lo largo de este trabajo, que con su apoyo, compromiso y calidad humana nos ha podido guiar de la mejor manera para culminar con éxito este trabajo.

ESTRELLA LISBETH VERA BRAVO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, mi familia y a cada una de esas personas especiales que estuvieron presentes durante todo mi proceso y finalización de este proyecto de tesis.

A la ESPAM MFL por abrirme las puertas y permitirme un aprendizaje lleno de conocimientos basado en una buena conducta para tomar decisiones y afrontarlos con profesionalismo.

A mi tutor mi más profundo agradamiento Ing. José Miguel Giler Molina por su calidad humana, las asesorías, conocimientos y aportaciones brindadas a mi persona para el desarrollo de mi trabajo de tesis.

A cada uno de los docentes de la ESPAM MFL que compartieron sus conocimientos para ser un profesional de calidad.

ZAMBRANO BASURTO MARIO ALEJANDRO

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro primeramente a mis padres Tito Vera y Marilú Bravo quienes han sido mi motivación por quien luchar y trabajar duro para de una u otra manera tratar de devolver un poco de lo que me han dado, ustedes quienes con mucho esfuerzo han trabajado duro para darme una buena educación, y demostrarme que con perseverancia y esfuerzo los sueños se pueden conseguir.

A mi hija Camila Terán por ser mi motor y razón de ser, qué, con tan solo una sonrisa me da la fuerza y valor suficiente para continuar y no rendirme, por ser quién me inspira a ser mejor cada día. A mi esposo Jorge por siempre apoyarme e impulsarme a continuar.

Y muy especialmente a mi abuelita Martha Dueñas que a pesar de que ya no esté conmigo físicamente, sé que desde donde esta, debe sentirse muy orgullosa y feliz por mí.

ESTRELLA LISBETH VERA BRAVO

DEDICATORIA

El presente trabajo primeramente se lo quiero dedicar a Dios por sus bendiciones a lo largo de toda mi carrera, que por medio de mis oraciones hacia el espiritualmente me ha llevado a tomar decisiones llevándome por el camino del bien.

A mi madre que siempre me brindó su apoyo incondicionalmente a lo largo de toda mi carrera universitaria dándome siempre fuerzas para seguir adelante y no rendirme durante el proceso de mi profesión como Ingeniero Ambiental.

ZAMBRANO BASURTO MARIO ALEJANDRO

CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	viii
DEDICATORIA	ix
CAPITULO 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
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 CARBÓN ACTIVADO	6
2.2 FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO.....	8
2.2.1 TIPOS DE FILTROS.....	8
2.3 OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO.....	8
2.4 TIPOS DE CARBÓN ACTIVADO	9
2.5 RESIDUOS AGRÍCOLAS.....	10
2.5.1 CASCARILLA DE ARROZ.....	10
2.5.2 CÁSCARA DE PIÑA	12
2.6 AGUAS RESIDUALES.....	14
2.6.1 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.....	14

2.6.2	COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES...	15
2.6.3	CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	15
2.6.4	TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	17
CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO		19
3.1	UBICACIÓN.....	19
3.2	DURACIÓN.....	19
3.3	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	20
3.3.1	MÉTODOS	20
3.4	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	20
3.5	VARIABLES A MEDIR	21
3.6	MANEJO DEL EXPERIMENTO	21
3.6.1	FASE I: OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y CÁSCARA DE PIÑA.....	21
3.6.2	FASE II: CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LAS INDUSTRIAS ALMIDONERAS.....	23
3.6.3	FASE III: DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN ÓPTIMA DE CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS INDUSTRIAS ALMIDONERAS	24
3.7	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	26
3.8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		28
4.1	OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y CÁSCARA DE PIÑA	28
4.2	FASE II: CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LAS INDUSTRIAS ALMIDONERAS.....	29
4.3	FASE III: DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN ÓPTIMA DE CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS INDUSTRIAS ALMIDONERAS	30
4.3.1	TURBIDEZ	31

4.3.2	COLOR.....	32
4.3.3	SÓLIDOS TOTALES	33
4.3.4	pH.....	34
4.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	35
4.4.1	TURBIDEZ	35
4.4.2	COLOR.....	36
4.4.3	SÓLIDOS TOTALES	38
4.4.4	pH.....	399
4.5	CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	3541
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		4242
5.1	CONCLUSIONES	4242
5.2	RECOMENDACIONES	4343
BIBLIOGRAFÍA.....		44

RESUMEN

Esta investigación tuvo como finalidad evaluar el carbón activado de residuos agrícolas (cascarilla de arroz y cáscara de piña) para remoción de sólidos en aguas residuales en industrias de almidón de la comunidad Bejuquillo, Canuto, Manabí. Para la obtención del carbón activado del residuo cascarilla de arroz se realizó una activación con ácido fosfórico H_3PO_4 (85%) y para la obtención del carbón activado de cáscara de piña se efectuó una activación con ácido nítrico (80%). Se trabajó con un diseño factorial de un factor, donde se evaluó un total de 5 tratamientos con 3 réplicas cada uno, además, se trabajó con un testigo de carbón activado comercial. Donde se determinaron diferentes parámetros (Sólidos Totales, Turbidez, Color, pH). Una vez aplicados los tratamientos se pudo evidenciar que el T₄ presentó los mejores resultados para los parámetros de turbidez (75,02%), color (89,55%), ST (76,2%) y pH (6,55). Por otro lado, el tratamiento con menor eficiencia reportada dentro de la investigación fue el T₅, donde se obtuvo una eficiencia de 32,26% en turbidez, 32,02% en color, 22,21% en ST y un 5,37 de pH.

PALABRAS CLAVES: Adsorción, biomasa, residuos, tratamientos, biofiltros.

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate activated carbon from agricultural residues (rice husks and pineapple husks) for the removal of solids in wastewater in starch industries in the Bejuquillo, Canuto, Manabí community. Activation with phosphoric acid H_3PO_4 (85%) was carried out to obtain the activated carbon from the rice husk residue, and activation with nitric acid (80%) was carried out to obtain the activated carbon from the pineapple husk. A one-factor factorial design was used, where a total of 5 treatments with 3 replicates each were evaluated, in addition, a commercial activated carbon control was used. Where different parameters were determined (Total Solids, Turbidity, Color, pH). Once the treatments were applied, it was possible to show that T₄ presented the best results for the parameters of turbidity (75.02%), color (89.55%), ST (76.2%) and pH (6.55). On the other hand, the treatment with the least efficiency reported within the investigation was T₅, where an efficiency of 32.26% in turbidity, 32.02% in color, 22.21% in ST and 5.37% in color was obtained pH.

KEYWORDS: Adsorption, biomass, wastes, treatments, biofilters.

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Perez (2018) alude que en la actualidad no existe conciencia ambiental sobre el uso del recurso hídrico y la reutilización del mismo. Por ello, Mendoza y Pincay (2018) señalan que, las aguas residuales son muy nocivas para el medio ambiente ya que presentan contaminantes que afectan la calidad y desarrollo natural de los ecosistemas, perjudicando en gran medida sus características físico-químicas como: olor, color, toxicidad, entre otras.

En la actualidad la población mundial enfrenta la problemática de abastecer las demandas de agua potable, de aguas de riego, y para las industrias. Se sabe que alrededor de 1,1 billones de personas no tienen el acceso adecuado al agua potable, y entre 1 y 2,2 billones no cuentan con los servicios básicos de saneamiento, esto nos indica qué, la demanda de agua va en crecimiento y, además, existe un mal uso, desperdicio y sobreexplotación de las fuentes, debido a la utilización de sistemas de distribución inadecuados y poco operantes (Bernal-Martínez *et al.*, 2011).

Mismos autores indican que se tiene que innovar en la reutilización y aprovechamiento de las aguas residuales como estrategias de manejo del agua, por ello es necesario implementar sistemas de tratamientos de efluentes que sean los más óptimos para este fin, que provean de buenos resultados, costos bajos y que sean amigables con el medio ambiente (Bernal-Martínez *et al.*, 2011). Por otro lado, Valladares-Cisneros *et al.* (2017) manifiestan que dependiendo del origen de las aguas residuales estas pueden tener diferentes contaminantes, algunos han sido clasificados como peligrosos debido a su alta toxicidad para la vida acuática y la salud humana.

Segovia y Zambrano (2021) exponen en su investigación que en el Ecuador se han contabilizado alrededor de 365 industrias de almidón donde 400 familias se dedican a la extracción de almidón, produciendo más de 100 toneladas de aguas residuales. Estas empresas descargan estos vertidos que sobrepasan los límites

permisibles en la descarga de efluentes, sin ningún tratamiento a los cuerpos receptores de agua dulce.

Mismos autores Segovia y Zambrano (2021) manifiestan que dentro del proceso de la extracción de almidón se generan aguas residuales en dos etapas, el lavado-pelado de la yuca y en la sedimentación del almidón de yuca, la cantidad y la calidad de los residuos generados varían en gran manera debido a diversos factores como el tiempo de cultivo, el tiempo de almacenado y el tipo de proceso que se utiliza, entre otros. Además, las aguas residuales generadas en estas industrias, tienen un alto contenido de materia orgánica, sólidos disueltos y compuestos cianuros de alta toxicidad.

Es por ello que se han desarrollado diferentes alternativas y métodos para el tratamiento de las aguas residuales, dentro de las metodologías reportadas en la literatura se encuentra precipitación química, intercambio de iones, extracción con disolventes, adsorción, entre otros (Valladares-Cisneros *et al.*, 2017). Por lo cual, Navarrete *et al.* (2014) detallan que el carbón activado es un adsorbente creado a partir de materia prima carbonosa con características novedosas como una excelente distribución de poros, alta superficie interna y una diversidad de grupos funcionales que dan como resultado la capacidad de adsorber una gran cantidad de moléculas.

Por otra parte, Mendoza y Pincay (2018) señalan que el carbón activado tiene distintas aplicaciones, algunas relacionadas con el tratamiento de agua potable, agua residual, industrial alimenticia, decoloración y farmacéuticos.

Cury *et al.* (2017) mencionan que existen muchas actividades agroindustriales que generan diversos residuos, sean estos por la agricultura, la producción pecuaria y demás actividades, lo que ha motivado a muchas instituciones y autoridades a realizar investigaciones y proyectos para el aprovechamiento de estos residuos. Morante (2019) indica que los residuos agrícolas pueden ser aprovechados para reducir la contaminación y generar ventaja competitiva con los métodos utilizados en la actualidad.

Las nuevas tecnologías procuran implementar sistemas de tratamientos de filtros con la utilización del carbón activado que ayuden no solo a reducir metales pesados sino también la disminución de otros contaminantes como componentes orgánicos, parámetros físicos (turbiedad, color, sólidos totales, pH) que son una parte fundamental e importante dentro de los efluentes líquidos (Mendoza y Pincay, 2018).

Por lo expuesto anteriormente se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál será la eficiencia del carbón activado obtenido a partir de la cascarilla de arroz y cáscara de piña en la remoción de sólidos en aguas residuales provenientes de la industria de almidón de yuca?

1.2 JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador la región costa específicamente Manabí, es reconocida por ser pionera en la producción e industrialización del almidón de yuca (Quiroz, 2020). Por ende, la siembra y procesamiento de este tubérculo para obtener almidón de yuca es el medio de sustento para muchas familias en nuestro país.

Debido a la contaminación por los efluentes emitidos dentro del proceso de extracción del almidón de yuca la presente investigación utilizará carbón activado (procedente de residuos agrícolas), ya que por sus propiedades de adsorción es considerado un material adsorbente muy versátil, debido al tamaño y distribución de poros, además de que consta de ciertos grupos químicos superficiales como oxígeno y nitrógeno que hacen posible la remoción de diferentes tipos de sustancias contaminantes presentes en el agua residual (Pérez, 2017).

Implementar el uso de residuos agrícolas para la obtención de carbón activado es una alternativa con grandes beneficios a corto plazo, al presentar algunas ventajas en términos de costos y eficiencia si se contrasta con el carbón obtenido de fuentes no renovables (Vidal *et al.*, 2018). Hoy en día la utilización de carbón activado a partir de estos residuos ha demostrado ser un método eficiente para remover olores, colores y otros contaminantes, debido a su alto contenido de carbono y bajo contenido de cenizas, lo cual ha despertado el interés por

aprovechar estos materiales que comúnmente son desechados (Rodríguez y Molina, 2002; Vidal *et al.*, 2018).

Los carbones activados obtenidos a partir de residuos como la tusa del maíz, cáscara de coco y cascarilla de arroz han demostrado tener una alta capacidad de adsorción para soluciones acuosas con colorantes (Ensuncho *et al.*, 2015). otros autores destacan la capacidad de adsorción de colorante tartrazina en medio acuoso del carbón activado a partir de residuos de maíz (Torres-Pérez *et al.*, 2020). Las cáscaras de frutas como material adsorbente han logrado remover metales como plata y cobre, demostrando que su utilización para obtener carbones activados son un tratamiento eficiente para la eliminación de contaminantes emergentes y metales en los efluentes en aguas residuales (Blaya, 2020; Chanaluisa, 2020).

El proyecto se encuentra enmarcado con lo expuesto en el objetivo 3 del Plan de Desarrollo Toda una Vida 2017 – 2021, que habla de garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones; el artículo 57 de la Ley de Recursos Hídricos del Ecuador, menciona que el derecho humano al agua es un derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, saludable, aceptable, accesible y asequible para uso personal y doméstico; en la Constitución de la República del Ecuador se reconoce el derecho a la protección de la naturaleza estableciendo leyes como las anteriormente mencionadas para la regulación y protección del recurso agua.

La presente investigación tiene como fin obtener carbón activado a partir de residuos agrícolas (cascarilla de arroz y cáscara de piña) para la reducción de contaminantes en las aguas residuales de la industria procesadora de almidón de yuca, siendo una alternativa sostenible para el aprovechamiento de estos residuos y a su vez el tratamiento de aguas residuales, permitiendo evaluar la capacidad de remoción del carbón activado en parámetros como los sólidos totales, color, turbidez y pH.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia del carbón activado procedente de residuos agrícolas: cascarilla de arroz y cáscara de piña en la remoción de sólidos en aguas residuales de la industria de almidón de yuca en el sitio Bejuquillo-Canuto, Manabí.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el carbón activado procedente de los residuos: cascarilla de arroz y cáscara de piña.
- Caracterizar el agua residual en la industria de almidón de yuca en el sitio Bejuquillo, Canuto.
- Establecer la proporción óptima de carbón activado procedente de la cascarilla de arroz y cáscara de piña para remover sólidos en aguas residuales en la industria de almidón de yuca.

1.4 HIPÓTESIS

Al menos uno de los tratamientos aplicados favorecerá la reducción de los sólidos totales en las aguas residuales de la industria de almidón de yuca.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 CARBÓN ACTIVADO

Carriazo *et al.* (2010) indican que la expresión “carbón activado” hace referencia a carbones muy porosos a partir de materiales ricos en carbono, por medio de diferentes maneras de activación siendo estas químicas o físicas. Rodríguez y Molina, (2002) mencionan que el carbón activado se lo prepara para que tenga una elevada superficie interna y poder adsorben gran cantidad de compuestos, sea en fase gaseosa o en disolución.

Por otra parte, Luna *et al.* (2007) señalan al carbón activado como un adsorbente muy versátil debido a la distribución de sus poros. Debido a que la utilización del carbón en sus inicios, se dio en la medicina, ya que utilizaban carbón vegetal como adsorbente preparado a partir de madera carbonizada, así lo describieron los griegos en un pergamino encontrado en Tebas en 1550 a.C. después ellos amplían su uso con la finalidad de filtrar el agua y reducir malos olores, sabores y así prevenir enfermedades.

Quiroz (2020) indica que el carbón activado en términos generales es una gama de productos derivados de materia prima carbonosa, se conoce que es producto del carbón amorfo, mismo que ha sido inducido a elevadas temperaturas para incrementar su área superficial hasta 300 veces, debido a la formación de poros internos, alcanzando áreas de hasta $1200 - 1500 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ de carbón. El método de activación y el control de las preparaciones va a depender del tamaño de diámetro de los poros:

Tabla 5.1. Clasificación de las propiedades fisicoquímicas de los poros.

Clasificación	Diámetro de Poros
Microporos	Menor de 2 nm
Mesoporos	Entre 2 nm y 50 nm
Macroporos	Mayor de 50 nm

Fuente: (Mendoza y Pincay, 2019).

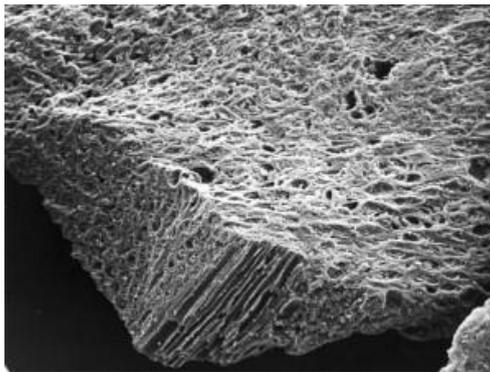


Imagen 5.1. Propiedades fisicoquímicas de los poros.

Fuente: (Mendoza y Pincay, 2019).

Según Fuentes, Alberto, Téllez y Carmina (2012) obtuvieron en su investigación de obtención de carbón activo a partir de residuos agrícolas para remover color del jugo de caña, utilizando el bagazo de caña de azúcar y la cascarilla del café en una calcinación a 600°C y una activación química de 150 ml de ácido fosfórico al 40% donde al realizar las pruebas con 2 g de carbón activado y un volumen de 100 ml en el jugo de caña con un tiempo de 30 minutos durante 4 horas procedieron a tomar muestras de 10 ml, realizando filtraciones para calcular el color obteniendo como resultado una remoción de hasta el 98.2% y 77% con el bagazo de caña y hasta el 86.1% 82.1% con la cascarilla del café.

En un estudio realizado por Álvarez y Ortiz (2016) mediante la utilización de olote o tusa de maíz para reducir el color en las aguas residuales de la Hilandería Guijarro, describe las propiedades del olote o tusa de maíz como lecho filtrante con el fin de reducir la contaminación producida por los tinturados de lana de borrego, ya que no son tratadas y las descargan directamente a los ríos, aplicando los lechos filtrantes estos fueron los más aptos para reducir el color, determinando que la tusa como lecho filtrante reduce el color y otros parámetros de las aguas residuales, siendo el carbón activado de olote o tusa de maíz el más óptimo, llegando a reducir un 78.63% de color y un 21.37% de color no retenido.

2.2 FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO

Se caracterizan por sus propiedades de adsorción excelentes, estas características son gracias a su estructura porosa donde cualquier material ya sea vegetal, mineral o animal, puede ser transformado en carbón activo, este proceso se puede obtener mediante métodos químicos y físicos, en el método químico, se calienta en atmósfera inerte una mezcla de la materia prima y compuestos químicos como el ácido fosfórico (H_3PO_4), ácido sulfúrico (H_2SO_4), cloruro de zinc ($ZnCl_2$) o hidróxido de potasio (KOH), que tiene un efecto deshidratante en el proceso otorgándole áreas superficiales internas muy elevadas (Urrutia , 2020).

2.2.1 TIPOS DE FILTROS

2.2.1.1 FILTRO LENTO DE ARENA COMÚN

La filtración lenta de arena común en su etapa principal de tratamiento, realiza un papel importante en el tratamiento de la calidad del agua tanto en zonas rurales como urbanas. Los filtros de arena reducen significativamente el número de virus total en un 99.9 % o huevos de nematodos hasta el 99.99% dañinos para la salud (Gaitán, 2019).

2.2.1.2 FILTROS DE ZEOLITA

Gaitán (2019) menciona que las zeolitas son aluminosilicatos hidratados de metales alcalinos y alcalinotérreos (especialmente Na, K, Mg y Ca), la zeolita es capaz de reducir la acidez del agua, lo cual requiere una menor cantidad de producto respecto a la arena sílica por la porosidad y densidad. Produce una mayor claridad en el agua filtrada, la zeolita es el medio filtrante más duradero (5 años) solo se requiere de un simple lavado periódico para mantener su desempeño y su eficiencia.

2.3 OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Es una materia que puede ser de origen animal o vegetal, esta se presenta como carbón activado, debido a la gran cantidad carbonizada la cual presenta un

elevado grado de porosidad y consta con grandes grupos químicos como el oxígeno y nitrógeno los cuales hacen que sea posible la remoción de algunas sustancias (Solís *et al.*, 2012).

Según Selvanathan y Subki (2015) obtuvieron en su trabajo de investigación de adsorbentes de tintes mediante carbón activado utilizando los restos de piña como la cáscara y la corona dándoles un lavado previo con agua desionizada y secado por un lapso de 3 horas para realizarle activación química con ácido fosfórico e hidróxido de sodio al 40% por una hora para luego ser carbonizada a 500°C durante una hora, mediante la utilización de colorantes que fueron preparados con 50 m/L de azul de metileno y verde de malaquita, para después ser tratados con el carbón procediendo a realizar una filtración y ser analizados, dando como resultado un 98,80 y 99,48% de que el carbón activado con la activación al 40 % de hidróxido de sodio y ácido fosfórico remueve el color en concentraciones elevadas.

2.4 TIPOS DE CARBÓN ACTIVADO

Orozco (2013) menciona que el carbón activado se puede clasificar de acuerdo al tamaño de las partículas en dos grupos:

- **Carbón Activado en polvo (CAP):** Tienen un tamaño menor a 100 nm, siendo los típicos entre 15 nm y 25 nm.
- **Carbón Activado Granular (CG):** Presentan un tamaño medio de partícula entre 1 mm y 5mm. Los CAG pueden dividirse en dos categorías:
- **Carbón Activado Troceado (o sin forma):** Los carbones activados troceados se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de briquetas de carbón o trozos más grandes.
- **Carbón Activado Conformado (o con una forma específica):** Los carbones conformados pueden obtenerse por paletización o extrusión de carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes. Los carbones activados pueden presentar superficies específicas del orden de 500 m²g⁻¹ a 2000 m²g⁻¹ e incluso llegar a los 3000 m²g⁻¹.

2.5 RESIDUOS AGRÍCOLAS

Cualquier residuo no utilizado, o sustancia que constituye un material de rechazo que se deriva de un proceso cualquiera, así como cualquier objeto cuya eliminación sea porque está deteriorado, contaminado o usado, sobreentendiéndose que todo producto agrícola que haya sido desechado se presume que es residuo hasta que se demuestre lo contrario (Urrutia, 2020).

2.5.1 CASCARILLA DE ARROZ

La cascarilla de arroz es un subproducto que es generado a través del proceso de molienda del grano de arroz proveniente del cultivo en los campos. Este se encuentra en la parte exterior del grano de arroz maduro y está compuesta por dos glumas llamadas palea y lemma, unidas por dos pericarpios, que se localiza entre la cáscara y el endosperma que representa todos los pulimentos que se desprenden del grano una vez eliminada la cascarilla y a su vez el grano queda listo para su venta en el mercado (Vargas *et al.*, 2013).

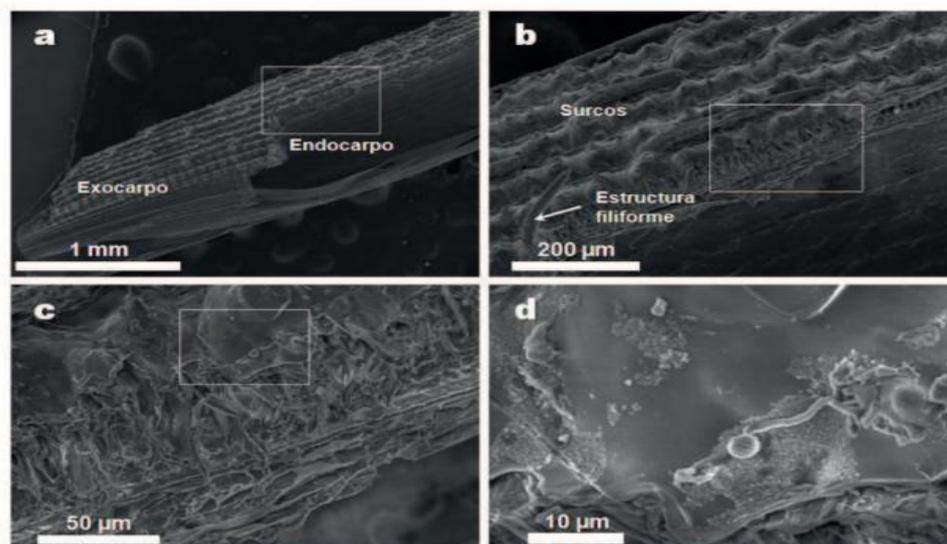


Imagen 5.2. Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) de la cascarilla de arroz original a diferentes aumentos; (a) estructura del exocarpo y endocarpo, (b) estructura filiforme, (c) y (d) detalles morfológicos del exocarpo de la cascarilla de arroz.

Fuente: Rodríguez *et al.* (2012).

El exocarpo es la capa externa que rodea al fruto o semilla, corresponde a la cáscara, puede ser liso, piloso, granuloso o ceroso, el endocarpo es la capa

interna que envuelve a la semilla, algunas veces suele ser membranosa y otras lignifica (Megías *et al.*, 2018).

2.5.1.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL ARROZ

Tabla 5.2. Clasificación taxonómica del arroz

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Fanerógama</i>
Tipo	<i>Espermatofita</i>
Subtipo	<i>Angiosperma</i>
Clase	<i>Monocotiledónea</i>
Orden	<i>Glumifloral</i>
Familia	<i>Gramineae</i>
Subfamilia	<i>Panicoidea</i>
Tribu	<i>Oryzeae</i>
Subtribu	<i>Oryzinea</i>
Género	<i>Oryza</i>
Especie	<i>Sativa</i>

Fuente: Rodríguez *et al.* (2012).

2.5.1.2 COMPOSICIÓN DE LA CÁSCARA DE ARROZ

Mendoza (2018) presenta una tabla de la composición, la cual representa los componentes orgánicos de la cáscara de arroz.

Tabla 5.3. Composición orgánica de la cáscara de arroz

COMPONENTES	% Peso
Carbono	39.8-41.1
Hidrógeno	5.7-6.1
Oxígeno	0.5-0.6
Nitrógeno	37.4-36.6

Fuente: (Mendoza, 2018).

2.5.1.3 USO DE LA CÁSCARA DE ARROZ EN LA INDUSTRIA

Años atrás la cascarilla de arroz era considerada un desecho común, terminaba arrojada en quebradas de los ríos o incinerada. La incineración de la cascarilla de conlleva a la destrucción del medio ambiente, en los últimos años se han

descubierto distintas maneras de aprovechar este residuo agrícola en funciones alimenticias para animales, fertilizantes entre otros. La presencia de celulosa y lignina en la cascarilla contribuye a la retención o absorción de diversos metales (Mattey *et al.*, 2015).

Baller y Rios (2016) manifiestan que la cascarilla de arroz posee porcentajes de sílice, lo cual permite ser utilizada en la fabricación de bloques de concreto y ladrillos. La mezcla de polietileno, polipropileno y cascarilla de arroz han sido evaluadas para la producción de postes destinados al cerramiento de sectores agropecuarios, la presencia de metales pesados en el ambiente difíciles de biodegradarse y productores de enfermedades han llevado a la utilización de residuos agrícolas capaces de ayudar en remoción como el bagazo de caña (Cr, Cd, y Pb), cáscara de plátano (Pb y Cr), cascarilla de arroz (Cr y Pb) entre otros.

2.5.1.4 USO DE LA CÁSCARA DE ARROZ EN EL ECUADOR

El uso de la cáscara de arroz en el país es muy poco, por lo general la mayoría de las veces termina siendo desechada a los ríos o incinerada provocando contaminación y malestar a las poblaciones que se encuentran a los alrededores, pero no se puede negar que hoy en día existen investigaciones y proyectos para el uso de este residuo específicamente para la generación de bioenergía llevada a cabo por el Gobierno Nacional del Ecuador (Vargas *et al.*, 2013).

2.5.2 CÁSCARA DE PIÑA

La cáscara de piña es un subproducto de la industria de procesamiento que consiste en pulpa residual, cáscaras y piel, dichos desperdicios aún contienen una cantidad considerable de azúcares solubles, así como gran contenido de fibra y bajo contenido de proteína, al igual que muchos productos agrícolas, los residuos de la piña tienen un valor bajo en el mercado comercial y su eliminación en gran escala puede llegar a ocasionar graves problemas en el ambiente (Correia *et al.*, 2004).

2.5.2.1 CARACTERÍSTICA DE LA PIÑA

La piña contiene grandes cantidades de carbohidratos de 13.7 g, hierro 0.28 mg, potasio 150 mg, zinc 0.10 mg, fósforo 11 mg, magnesio 12 mg, calcio 16 mg proteínas 0.54 g, vitamina C 24 mg, humedad de 81.2 a 86.2 %, los sólidos que contiene constituyen entre el 13 y 19 % dentro los componentes de la piña lo que resalta es la sacarosa, glucosa y fructosa (Hossain, Akhtar y Anwar, 2015).

2.5.2.2 TAXONOMÍA DE LA PIÑA

La piña es una planta herbácea perenne perteneciente a la familia de las Bromeliáceas y al género y especie *Ananas Comusus* (Urrutia, 2020).

Tabla 5.4. Información taxonómica de la piña (*Ananas comosus*)

Nombre común	Piña
Nombre científico	Ananas comosus
Reino	Vegetal
Orden	Poales
Familia	Bromeliaceae
Subfamilia	Bromelioideae
Genero	Ananas
Especie	Comosus

Fuente: (Urrutia, 2020).

2.5.2.3 MORFOLOGÍA DE LA PIÑA

Tabla 5.5. Morfología de la piña

Tallo	Puede llegar a medir hasta 50 cm de longitud, una de sus características más notables es que posee raíces que crecen alrededor del tallo y entre sus hojas.
Hojas	Su promedio de hojas varía entre 40-80, son semirrígidas y espinosas, gracias a su forma de semi luna permiten a la planta recolectar agua. Sus hojas son color verde oscuro y al ser fibrosas son resistentes a la ruptura.
Raíces	Sus raíces primarias mueren después de su germinación dando paso a raíces adventistas. Su sistema radicular puede extenderse hasta 2 m y 0.85 m en el suelo.
Inflorescencia y fruto	Se desarrolla a partir del meristemo, posee alrededor de 200 flores, con 3 pétalos, tres sépalos y seis estambres. La fruta está compuesta de los ovarios de las flores que poseen de 16 a 71 cada una dando lugar a infrutescencias que se unen para formar un solo fruto.

Corona

Es la que se encuentra en la parte superior del fruto de aproximadamente 150 hojas cortas y resistentes, un fruto puede tener una o múltiples coronas.

Fuente: Tamay (2019).

2.5.2.4 RESIDUOS DE LA PIÑA EN EL AMBIENTE

Los residuos de la cáscara de piña contienen biomasa lignocelulosa rica en polímeros de celulosa y hemicelulosa entre 80 % y 70 %, su degradación es muy baja y normalmente se deposita en terrenos vacíos o áreas verdes sin ningún control, al contener estos residuos carbohidratos los microorganismos iniciarán su degradación por lo que se generarán lixiviados los cuales podrían infiltrarse en el subsuelo provocando contaminación en los acuíferos, si la degradación es producida por bacterias anaerobias, se producirían malos olores debido a gases como el ácido sulfhídrico (H₂S) y el metano (CH₄) (Vargas y Pérez, 2018).

2.6 AGUAS RESIDUALES

Molina (2016) manifiesta que las aguas residuales son aquellas que han sido el resultado de distintas actividades sean estas agrícolas, industriales, domésticas, entre otras. Se necesita darles un tratamiento adecuado, el cual va a depender de las características del agua residual con relación a su lugar de origen. Segovia y Zambrano (2021) mencionan que las aguas residuales contienen una gran cantidad de sustancias, las cuales, son un medio de contaminación para los lugares o zonas donde son vertidas sin un previo tratamiento.

2.6.1 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

Mendoza y Pincay (2018) manifiestan que las aguas residuales son aquellas que, por las diversas actividades antropogénicas del hombre, representan un peligro y por ende deben ser desechadas, debido a que contienen sustancias o microorganismos; dentro de esta definición se enmarcan aguas con diversos orígenes:

- **Aguas residuales domésticas o aguas negras:** Estas son resultado de la utilización del agua en distintas labores domésticas, contienen gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.

- **Aguas blancas:** éstas son procedentes de la naturaleza atmosférica, lluvia, nieve, hielo o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos.
- **Aguas residuales industriales:** son producto de las actividades realizadas en fábricas y establecimientos industriales, dependiendo de su origen contienen: aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos o subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal.
- **Aguas residuales agrícolas:** resultado de las actividades agrícolas en zonas rurales, esta clase de agua residual posee gran cantidad de contaminantes derivados de ciertos productos químicos utilizados en la agricultura y ganadería. Éstas se utilizan en muchos lugares para riego agrícola con o sin tratamiento.

2.6.2 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Espigares y Pérez (2005) mencionan que, las aguas residuales industriales debido a la cantidad de procesos de los que proceden pueden tener una composición constante, o estar ligada a variaciones tanto cualitativas como cuantitativas. Por otro lado, Segovia y Zambrano (2021) señala que las aguas residuales procedentes de las industrias de almidón poseen valores bajos en pH, ausencia de alcalinidad bicarbonática, elevada acidez, alto nivel de ácidos grasos volátiles y un elevado contenido de materia orgánica con poca capacidad de sedimentación.

2.6.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Molina (2016) indica que las aguas residuales se especifican por su composición física, química y biológica dependiendo de su procedencia y el caudal.

2.6.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

De las características del agua, la más definida es que es un elemento indispensable para la supervivencia de las especies. Además de ser la sustancia más abundante del planeta. Conocer las propiedades del agua nos ayuda a entender por qué es un recurso indispensable para los seres humanos y el elemento fundamental que permite el desarrollo de la vida (Feléz, 2009).

- **Temperatura:** Ésta puede ser superior debido a las actividades que se realizan sean domésticas o industriales.
- **Turbidez:** Es la cantidad de materia en suspensión que hay en las aguas residuales, esta no permite el ingreso de la luz al agua.
- **Color:** Va a depender de la presencia de los sólidos suspendidos, por lo general es de gris o pardo, debido a procesos sin oxígeno pueden ser de color negro.
- **Sólidos:** Suelen tener cantidades muy pequeñas menor al 0.1% del agua residual, donde se encuentran sólidos orgánicos e inorgánicos y estos pueden ser suspendidos o disueltos.
- **Sólidos Orgánicos:** De origen animal o vegetal, pueden descomponerse con facilidad por acción de las bacterias u otros organismos vivos.
- **Sólidos Inorgánicos:** son materia inerte a la que no se la puede degradar como es el caso de la arena, grava, sales minerales y metales.
- **Sólidos Suspendidos:** Son aquellos que se pueden observar ya que se encuentran en suspensión y su tamaño es mayor 1.2 μm , mediante la sedimentación o filtración pueden separarse del agua con facilidad.
- **Sólidos Disueltos:** Son de material soluble y coloidal, su tamaño es menor a 1.2 μm , para ser removido del agua necesita de procesos como la oxidación biológica o coagulación – floculación y sedimentación.

2.6.3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Al hablar de calidad del agua sea para su tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, es necesario determinar una serie de parámetros químicos a través de métodos con el objetivo de conocer si los valores de estos parámetros se encuentran dentro de los valores máximos y mínimos permitidos (Galvis y Rivera, 2013)

- **Potencial de Hidrógeno (pH):** Este parámetro nos permite saber si el agua está ácida, neutra o base. El valor del pH entre 5 y 9 no tiene un valor significativo en la actividad biológica.
- **Metales Pesados:** Pueden ser muy tóxicos cuando están en concentraciones muy altas como en el caso del plomo, hierro, mercurio, cobre, etc.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Este parámetro permite conocer la concentración de materia orgánica en el agua residual. La demanda química de oxígeno es necesaria para descomponer la materia orgánica e inorgánica, es utilizada para medir la cantidad de contaminantes orgánicos presente en aguas residuales, mediante la oxidación química, la materia orgánica es llevada a cabo mediante la ebullición de la muestra en una mezcla de H_2SO_4 y un exceso de dicromato (Pérez y Restrepo, 2008).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO_5):** Es la cantidad de oxígeno que necesitan ciertos microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua residual, se realizan los análisis a los cinco días y a $20^\circ C$. Cuando los niveles de la DBO son altos, los niveles de oxígeno disuelto serán bajos, dado que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en mayor cantidad, puesto que al haber menos oxígeno en el agua los peces y cualquier otro organismo tiene pocas posibilidades de vivir, la DBO es importante en la medición de contaminación de aguas residuales como en el agua potable (Lecca y Lizama, 2014).

2.6.4 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Guastay y Tinoco (2019) menciona que, para eliminar contaminantes, la filtración es un proceso que no asegura la remoción de los mismos, este es un proceso que se utiliza para remover partes sólidas como la tierra. Lo que ha llevado a utilizar técnicas o tratamientos más tradicionales.

2.6.4.1 ÓSMOSIS INVERSA

Este tratamiento implica el paso del agua a través de una membrana densa selectiva, desde la zona de mayor a menor concentración, mediante la aplicación de una presión superior a la presión osmótica en el lado de mayor concentración (Benavides-Prada y Muvdi-Nova, 2014). Por ello Vargas y Acevedo (2020) concluyen que la ósmosis inversa es uno de los tratamientos donde se puede remover hasta un 99% de sales disueltas o iones, partículas y demás contaminantes.

2.6.4.2 DEGRADACIÓN FOTO CATALÍTICA DE METALES PESADOS

Guastay y Tinoco (2019) señalan que este tratamiento se basa en la transferencia de carga entre el semiconductor y el efluente contaminado. Al momento que la temperatura aumenta la conductividad genera un electrón-hueco, se da la adsorción de fotones y de los diferentes estados electrónicos estos se distribuyen en la superficie ocurriendo la degradación de metales pesados y colorantes orgánicos.

La interacción de la irradiación junto al catalizador es desplazar al electrón de la banda de valencia a la banda de conducción, generando un par de cargas eléctricas, una negativa siendo el electrón deslocalizado y una vacancia de electrón que será la carga positiva, los cuales reaccionarán con la especie inorgánica y una orgánica respectivamente en el proceso (Rosales *et al.*, 2004).

En las aplicaciones prácticas, no es suficiente la eliminación de los contaminantes, sino también la conversión un importante porcentaje del carbón orgánico en carbón inorgánico, en forma de CO₂ (Giraldo y Mesa, 2005).

2.6.4.3 INTERCAMBIO IÓNICO

Es una operación de separación que se basa en traspaso de materia fluido-sólido de manera reversible, donde se aprovecha la capacidad que tienen las resinas de intercambiar iones (Hidalgo y Guamán, 2006). Además, Cahuaya (2017) indica que es una técnica que permite balancear la composición de sal en el agua, consiste en intercambiar iones del agua por otros, los iones se reemplazan por otros menos nocivos o perjudicial. Estos se pueden realizar a partir de una resina catiónica que, regenerada con ácido, transformando sales en el agua.

CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

La presente investigación se realizó en la comunidad de Bejuquillo la cual está ubicada en la parroquia de Canuto, cantón Chone, en su zona geográfica (X) 6026131 (Y) 9912699.



Imagen 6.1. Ubicación Zona de Estudio

Fuente: Google Maps (2021).

3.2 DURACIÓN

La investigación fue realizada en un periodo de 6 meses una vez aprobada la planificación.

3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 MÉTODOS

OBSERVACIÓN

Este método permitió obtener información acerca de las descargas de aguas residuales de las industrias de almidón al río Bejuquillo, en el área de influencia, además se observó los problemas ambientales por dicha actividad.

INDUCTIVO

La inducción es la forma de razonamiento en la que pasa del conocimiento de casos particulares (evaluación de carbón activado procedente de cascarilla de arroz y cáscara de piña) a un conocimiento más general, (remoción de sólidos en aguas de residuales de industrias almidoneras) que refleja lo que hay de común en los fenómenos individuales, su base es la repetición de hechos y fenómenos de la realidad, encontrando los rasgos comunes en un grupo definido, para llegar a conclusiones generales que lo caracterizan.

ESTADÍSTICO

Este método nos permitió recolectar, analizar y caracterizar los resultados que se obtendrán en la investigación, con el fin de describir las características y comportamientos de este conjunto mediante medidas de resumen, tablas y gráficos. Por lo cual, para el análisis de la información se trabajó con un ANOVA para cada una de las variables en estudio, en el que se analizarán las siguientes técnicas:

- ANOVA.
- Prueba de Tukey ($p < 0,05$).

3.4 UNIDAD EXPERIMENTAL

Las unidades experimentales están conformadas por la implementación de filtros de acuerdo al diseño y dimensionamiento planteado por Bravo y Garzón (2017),

utilizando un volumen de 316 cm³ y una altura para el carbón activado de 8,03 cm; siendo empleado la cantidad de 50 g de carbón activado obtenido a partir de residuos para cada uno de los tratamientos con las diferentes proporciones planteadas, además se detalla en la tabla 3.1 los parámetros de dimensionamiento como son la altura, el diámetro y el área de la zona filtrante.

Tabla 6.1. Dimensionamiento del filtro.

Dimensionamiento del filtro		
Parámetro	Ecuación	Resultado
Área de filtración	$A = \frac{V_{ca}}{h}$	39.6 cm ²
Diámetro de filtración	$D = \sqrt{\frac{4xA}{\pi}}$	7.1 cm
Altura de filtración	$H = 3 * h$	24.1 cm

Fuente: Bravo y Garzón, (2017)

3.5 VARIABLES A MEDIR

VARIABLE INDEPENDIENTE

Proporción de carbón activado.

VARIABLE DEPENDIENTE

Remoción de sólidos ST.

3.6 MANEJO DEL EXPERIMENTO

El procedimiento de la investigación se desarrolló en base a los objetivos específicos:

3.6.1 FASE I: OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y CÁSCARA DE PIÑA

Actividad 1: Recolección y clasificación de los residuos agrícolas (cascarilla de arroz y cáscara de piña).

La cáscara de piña fue recolectada en distintos puntos, donde pequeños comerciantes realizan sus labores diarias sobre la venta de dicho producto, mientras que la cascarilla de arroz se recolectó en los sectores aledaños del lugar. La clasificación de los residuos consistió en escoger las cáscaras de piña y cascarilla de arroz en buen estado, para así poder llegar a obtener un mejor resultado al momento de realizar la evaluación del carbón activado.

Actividad 2. Obtención del carbón activado a partir de los residuos procedentes de la cascarilla de arroz y cáscara de piña

Para la obtención del carbón activado procedente de la cáscara de piña se trabajó con la metodología expuesta por Urrutia (2020) donde se menciona que para la obtención del carbón activado se inicia con la recepción y selección del residuo. Los residuos de piña recolectados fueron lavados con agua destilada para remover cualquier contaminante presente, luego fueron secados a temperatura ambiente durante 24 horas, para después ser llevadas a la estufa a una temperatura de 90°C por 2 horas para eliminar la humedad por completo.

Para la activación del residuo de piña se utilizó ácido nítrico al 80%, en lo cual se dejó impregnar los residuos por 12 horas. Después de la activación se procedió con la calcinación de los residuos de la cáscara de piña a una temperatura de 300 °C por 2 horas. Una vez finalizado este proceso se tamizó (diámetro de partícula de 1,7 mm). Luego de obtener el carbón activado de los residuos de piña se realizó un lavado con agua destilada para mantener el pH neutro. Finalmente se realizó un secado para retirar el agua destilada contenida en el carbón activado.

Por otro lado, para la obtención del carbón activado procedente de la cascarilla de arroz se trabajó con la metodología expuesta por Fierro *et al.* (2010) citada por Rodríguez *et al.* (2012) en donde se especifica que la preparación del carbón activado se realiza en dos partes: activación y calcinación.

Para la activación se procedió a retirar las impurezas presentes en la cascarilla de arroz, luego se pesó 100 g de cascarilla y se lo colocó en un vaso de

precipitación (1000 ml). Posteriormente, se elaboró una mezcla al 0,5% de H_3PO_4 (85%).

Rodríguez *et al.* (2012) indican que para cada 100 g de cascarilla de arroz se debe adicionar 800 ml de esta mezcla, para dejarlo en contacto por 1 h. Una vez transcurrido este tiempo, se procedió a realizar varios lavados de la cascarilla impregnada con la mezcla de H_3PO_4 , hasta obtener un pH neutro. Una vez obtenido el pH neutro, la cascarilla fue secada a 120 °C durante 1 h y finalmente, se calcinó a 450 °C durante 1 h.

3.6.2 FASE II: CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LAS INDUSTRIAS ALMIDONERAS

Actividad 3: Recolección de la muestra

Se procedió a la toma de la muestra de las aguas residuales de la industria de almidón para los respectivos análisis físico-químicos, donde se recolectó la muestra en recipientes de 1 L, controlando las condiciones de la temperatura. La norma INEN 2169 establece que para la recolección de muestras de parámetros físicos y químicos los recipientes deben estar llenos completamente y cubrirlos con tapas herméticas de manera que no exista aire sobre la muestra, esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte (así se podrá evitar la modificación del contenido de dióxido de carbono y la variación del valor del pH).

Los recipientes cuyas muestras se vayan a congelar como método de conservación, no se deben llenar completamente, la refrigeración de las muestras es efectiva si es realizada inmediatamente luego de su recolección, es recomendable usar cajas térmicas o refrigeradores de campo desde el lugar del muestreo (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013).

Actividad 4: Determinación de los parámetros físicos

Para la determinación de los parámetros físicos se utilizó 1 L de agua residual por cada unidad experimental, luego se procedió a vaciar las muestras en los filtros de carbón activado a base de cascarilla de arroz y cáscara de piña, para

evaluar cada parámetro se utilizaron los siguientes métodos como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 6.2. Parámetros de control en el diseño experimental.

Parámetros	Métodos	Unidad	Método
Sólidos Totales	Gravimetría	mg/l	S.M. Ed. 22 2012. 2540D
Color	Espectrofotometría	Pt/Col	S.M. Ed. 22.2012. 2120 C
Turbiedad	Espectrofotometría	NTU	S.M. Ed.22. 2005. 2130B
pH	Potenciometría	-	S.M. Ed. 22 2012. 4500 H

Se procederá a emplear el método gravimétrico para determinar los ST de las unidades experimentales, el método de espectrofotometría se procederá a utilizar para determinar el color y turbidez en las muestras recolectadas, a su vez el método de potenciometría servirá para determinar el estado en el que se encuentra la muestra, ya sea ácido, neutro o alcalino.

3.6.3 FASE III: DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN ÓPTIMA DE CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS INDUSTRIAS ALMIDONERAS

Actividad 5: Aplicación del carbón en filtro

Para la aplicación de los 6 tratamientos con sus respectivas repeticiones se desarrollaron los filtros con base a la metodología propuesta aplicada por Bravo y Garzón (2017), con los parámetros de diseño especificados en la tabla 3.1. Para la construcción de las unidades experimentales se desarrolló mediante el criterio de los autores antes mencionados tomando en cuenta el siguiente procedimiento:

- a. A un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada se perforaron dos tapas ciegas de 3 pulgadas ubicando un conector de $\frac{1}{2}$ pulgada a cada tapa, en donde se ubicó un tubo de 3 pulgadas de 25 cm de largo.
- b. En la parte inferior del filtro se colocó una malla para dar forma de coladera siendo el lugar donde irán colocadas las proporciones de carbón activado.

- c. En un tubo de 25 cm de $\frac{1}{2}$ pulgada será conectado a la parte superior de la tapa a ciegas. A su vez será conectado un codo en el tubo de $\frac{1}{2}$ pulgada que une al tubo de 25 cm de la parte superior y al de la parte inferior.
- d. En la salida de los codos se colocaron tubos de $\frac{1}{2}$ pulgada de un tamaño de 5 cm.
- e. Se utilizaron válvulas de $\frac{1}{2}$ pulgada al final de cada tubo de 5 cm y en su salida se adicionará otro tubo de $\frac{1}{2}$ pulgada ubicándole un codo de $\frac{1}{2}$ pulgada.
- f. Para la elaboración del recipiente de la muestra de agua se utilizó un tubo de 4 pulgadas con 20 cm de largo perforando una tapa ciega de 4 pulgadas acoplado el conector de $\frac{1}{2}$ al tubo cortado en la tapa.
- g. Por último, se unió el codo ubicado en la parte superior de la tapa ciega de 4 pulgadas.
- h. Una vez construido los filtros se le ubicaron los 100 g de carbón activado a partir de los residuos cascarilla de arroz y cáscara de piña con las diferentes proporciones indicadas en el diseño experimental junto al tratamiento testigo utilizando carbón activado comercial. El tiempo de contacto de los tratamientos será de 25 min según lo detalla en su metodología Chanaluisa (2020).
- i. Para el montaje de la unidad experimental se utilizó un soporte metálico para mantener estables las unidades experimentales evitando alguna alteración durante el proceso.

Actividad 6: Cálculo del porcentaje de remoción

Con el objetivo de evaluar las condiciones de operación de los filtros en el tratamiento del agua residual de la industria de almidón (filtración) y determinar si produce cambios en la calidad del agua, se procedió a calcular el porcentaje de remoción de sólidos totales, turbidez, color, y la variabilidad del pH en función de la ecuación 1 propuesta por (Mendoza y Pincay, 2019):

$$\%Remoción = \frac{VPi-VPf}{VPi} \times 100 \quad \text{[Ec. 3.1]}$$

Dónde:

- P_i = Parámetro inicial
- P_f = Parámetro final

Actividad 7: Aplicar un diseño completamente aleatorizado

Se aplicó un diseño aleatorizado, ya que es flexible en cuanto al número de tratamientos y de repeticiones, el número de repeticiones puede variar de un tratamiento a otro. En la investigación se usaron tres tratamientos que contienen diferentes proporciones de carbón activado elaborado a partir de los residuos agrícolas de cascarilla de arroz y cáscara de piña con tres repeticiones, dando un total de 18 unidades experimentales.

3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el diseño experimental se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA), evaluando un total de 5 tratamientos con 3 repeticiones, obteniendo un total de 15 unidades experimentales. Este diseño permitió establecer la proporción óptima de carbón activado a partir de los residuos de cascarilla de arroz y cáscara de piña utilizando un filtro con base a la metodología y diseño planteado por Bravo y Garzón (2017) el cual permitió evaluar la remoción de sólidos con volumen de muestra de 500 ml de agua residual. Dentro de esta investigación se utilizó carbón activado comercial como testigo.

Tabla 6.3. Composición de los Tratamientos

Diseño Experimental		Diseño completamente aleatorizado (DCA)	
Número de tratamientos		5	
Número de repeticiones		3	
Factor de estudio		Proporción de carbón activado (%)	
		Cascarilla de arroz	Cáscara de piña
Niveles	T ₁	75	25
	T ₂	25	75
	T ₃	50	50
	T ₄	100	---
	T ₅	---	100
	Testigo	---	---

Tabla 6.4. Fuentes de variación del análisis de varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	4
Error experimental	10
Total	14

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un ANOVA y la prueba múltiple de medias Tukey, con el propósito de poder determinar diferencias estadísticas entre tratamientos, estableciendo cuál de ellos presenta una mejor eficiencia en las variables analizadas.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y CÁSCARA DE PIÑA

La recolección de la cascarilla de arroz fue realizada en la Piladora San José, ubicada en la vía Calceta – Tosagua. Por otra parte, para la recolección de la cáscara de piña, se ubicó lugares donde se comercializa con este producto, en función de la accesibilidad de estos negocios.

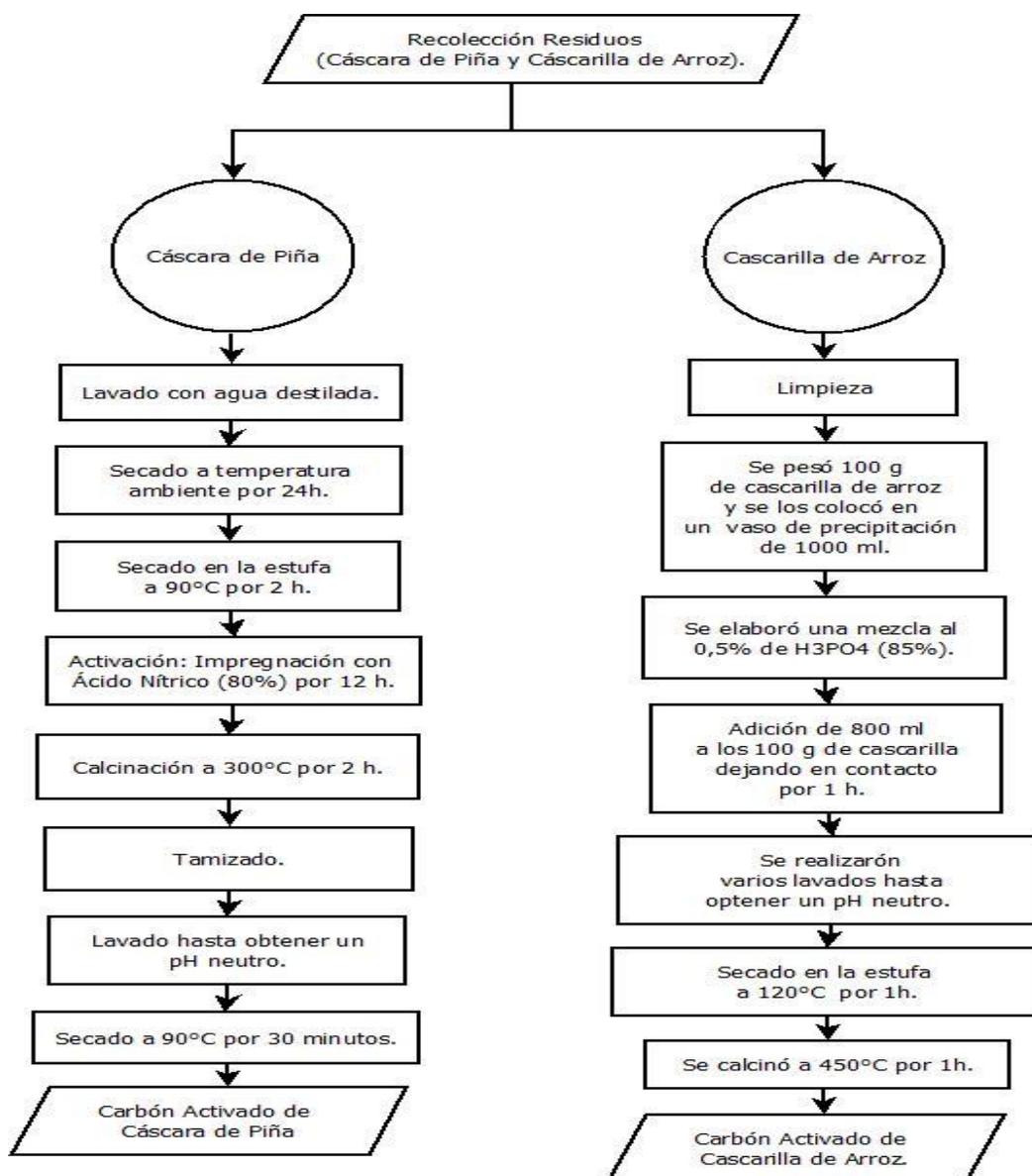


Figura 7.1. Diagrama de flujo obtención de carbón activado.

En cuanto al rendimiento de la obtención del carbón activado de la cáscara de piña se obtuvo 0,855 kg a partir de 15 kg de este residuo (pérdida de peso del 94,30%). En cuanto a la cascarilla de arroz se procesó de igual manera 15 kg y se logró obtener 1,58 kg de carbón activado (pérdida de masa del 89,46%).

4.2 FASE II: CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LAS INDUSTRIAS ALMIDONERAS

Las muestras de agua residual fueron obtenidas en las empresas artesanales de extracción de almidón de yuca. Para esto, se tomó en consideración la Norma INEN 2168:98, la cual indica que, para turbidez, pH, sólidos totales y color se podrá conservar la muestra en un recipiente plástico (INEN, 2015).

Tabla 7.1. Valores iniciales muestra agua residual de industrias de almidón.

Turbidez (NTU)	Color (Pt/Co)	pH	Sólidos Totales (mg/L)
287	3020	5,11	1370

La muestra de agua residual de las industrias de extracción de almidón presentó una turbidez de 287 NTU, 3020 Pt/Co de color, 1370 mg/L de sólidos totales y un pH de 5,11 tal como se muestra en la tabla 4.1. Estos valores se asemejan a los encontrados por Saltos y Zambrano (2021) en su investigación de las aguas residuales de procesamiento de almidón yuca en la misma zona (Tarugo) donde en la caracterización inicial reportaron 282 NTU en turbidez, 1200 mg/L y un pH de 5,77.

De acuerdo con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, se aprecia en la tabla 10 que se establecen los límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce, se observa que los sólidos totales encontrados en esta investigación (1370 mg/l) esta dentro del rango establecido el cual es de 1600 mg/L Por otro lado, en cuanto al pH, dentro de esta normativa se establece un rango de 5 a 9, por ende, el valor reportado se encuentra dentro de los valores establecidos (5,11).

4.3 FASE III: DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN ÓPTIMA DE CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS INDUSTRIAS ALMIDONERAS

En la tabla 4.2, se observa los resultados obtenidos luego de la aplicación del carbón activado de la cascarilla de arroz y cascara de piña, para la disminución de turbidez, color y sólidos totales. Por otra parte, en cuanto al pH se observa la variación en cada uno de los tratamientos planteados.

Tabla 7.2. Resultados aplicación del carbón activado de cascara de piña y cascarilla de arroz en los filtros.

TRATAMIENTOS	TURBIDEZ			COLOR			ST			pH	
	TURBIDEZ FINAL	% EFICIENCIA REPETICION	% EFICIENCIA TRATAMIENTO	COLOR FINAL	% EFICIENCIA REPETICION	% EFICIENCIA TRATAMIENTO	ST FINAL	% EFICIENCIA REPETICION	% EFICIENCIA TRATAMIENTO	pH REPETICIÓN	pH TRATAMIENTO
T1R1	88,75	69,08		1354	55,17		651	52,48		5,98	
T1R2	88,14	69,29	69,21	1320	56,29	54,87	612	55,33	53,84	6,10	6,13
T1R3	88,23	69,26		1415	53,15		634	53,72		6,30	
T2R1	142,5	50,34		1725	42,88		804,3	41,29		5,10	
T2R2	140,1	51,18	50,73	1798	40,46	41,85	762,21	44,36	42,52	5,56	5,28
T2R3	141,6	50,67		1745	42,22		795,74	41,92		5,19	
T3R1	164,6	42,66		2114	30,00		973	28,98		5,32	
T3R2	167,5	41,63	42,35	2098	30,53	30,94	986	28,03	29,12	5,40	5,35
T3R3	164,3	42,77		2045	32,28		954	30,36		5,34	
T4R1	71,5	75,09		1171	61,23		514	62,48		6,51	
T4R2	72,4	74,77	75,02	1181	60,89	61,13	521	61,97	62,24	6,62	6,55
T4R3	71,2	75,19		1170	61,26		517	62,26		6,53	
T5R1	195,9	31,75		2346	22,32		1092	20,29		5,31	
T5R2	194,7	32,18	32,26	2413	20,10	19,80	982	28,32	22,21	5,68	5,37
T5R3	192,7	32,86		2507	16,99		1123	18,03		5,12	

4.3.1 TURBIDEZ

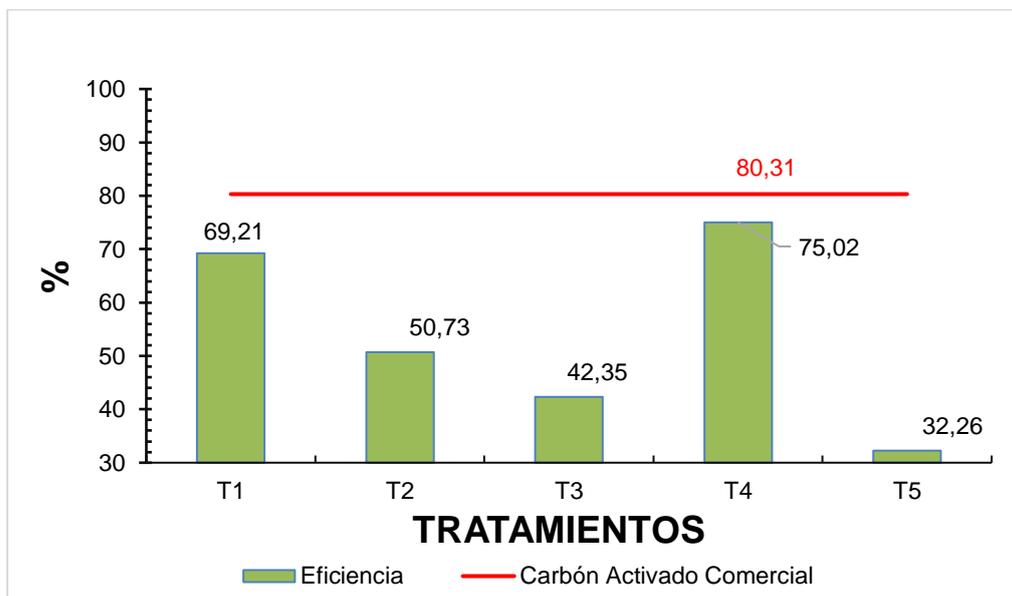


Gráfico 7.1 %Eficiencia Turbidez

Se observa en el Gráfico 4.1, que el tratamiento con mayor eficiencia fue el T₄ (100% cascarilla de arroz) mismo que obtuvo un 75,02%, mientras que, el tratamiento que presentó menor eficiencia fue el T₅ (100% cáscara de piña) con un valor de 32,26%. La utilización del carbón activo comercial (testigo) obtuvo un valor de 80,31%, estando este por encima de los valores obtenidos en la aplicación de los tratamientos. Iturralde (2020) en su investigación reportó un 72,52% de remoción de turbidez aplicando carbón activado (ácido fosfórico al 89%) de cascarilla arroz.

4.3.2 COLOR

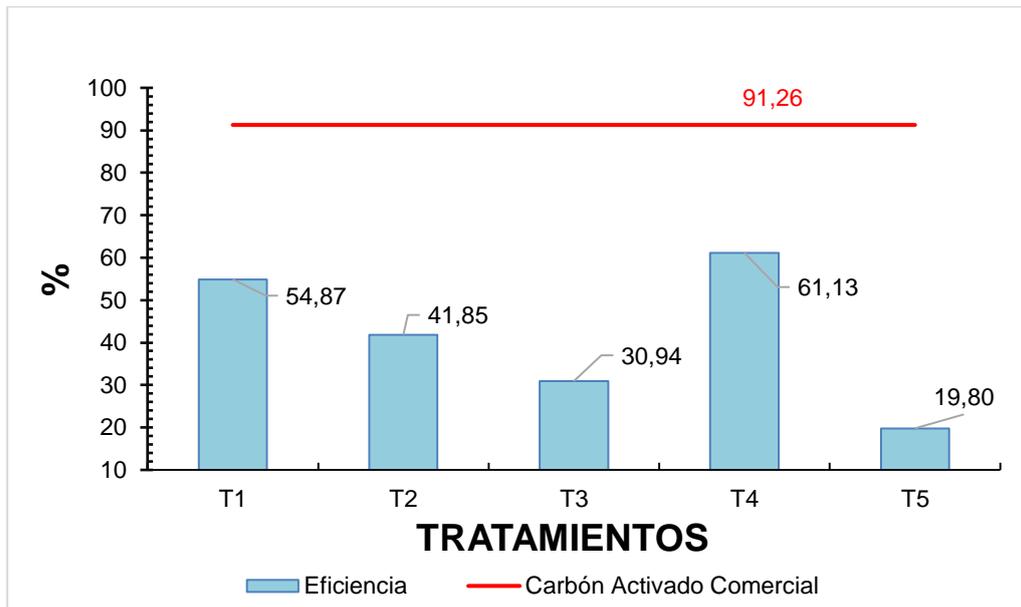


Gráfico 7.2 % Eficiencia de Color

Según el gráfico 4.2 el tratamiento con mayor eficiencia en la disminución de color fue el T₄ (61,13%), a su vez, el tratamiento con menor eficiencia fue el T₅ con un 19,80%. En cuanto al testigo (Carbón activado comercial) este obtuvo un 91,26%. Ortiz (2019) en su investigación presentó una eficiencia máxima del color del 52,37% al aplicar cascarilla de arroz, para la remoción de color, estando este valor por debajo al obtenido en este trabajo con el mejor tratamiento (T₄).

4.3.3 SÓLIDOS TOTALES

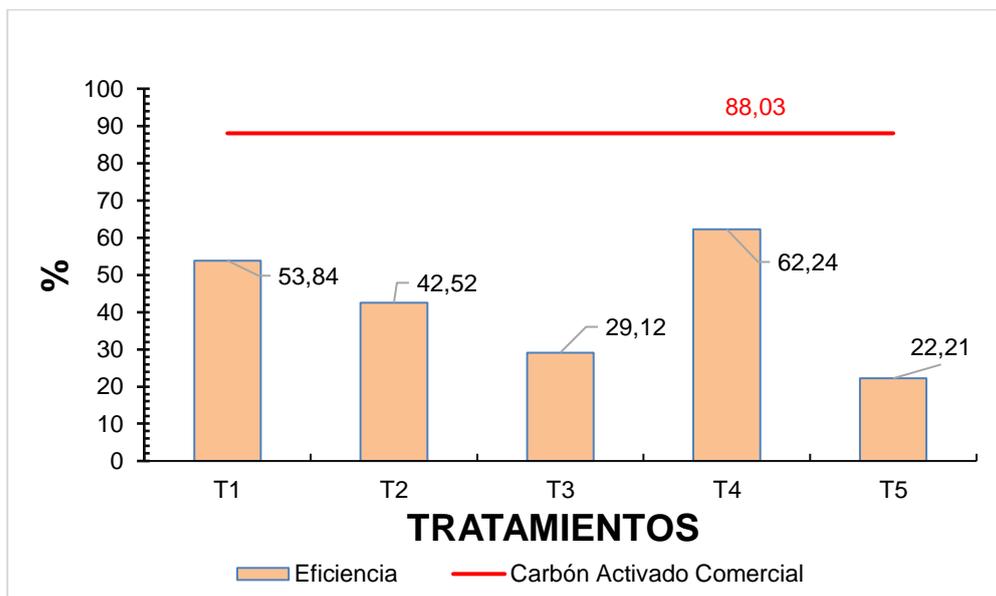


Gráfico 7.3 % Eficiencia Sólidos Totales

En el gráfico 4.3 se observa que la mayor eficiencia en la disminución de sólidos totales se encuentra al aplicar el tratamiento T₄ (100% cascarilla de arroz) en donde se obtiene un 62,24%, valor que se encuentra más cercano al testigo el cual reportó un 88,03% de eficiencia. Por otra parte, el tratamiento con menor eficiencia fue el T₅ (100% cáscara de piña) reportando un valor de 22,21%.

4.3.4 pH

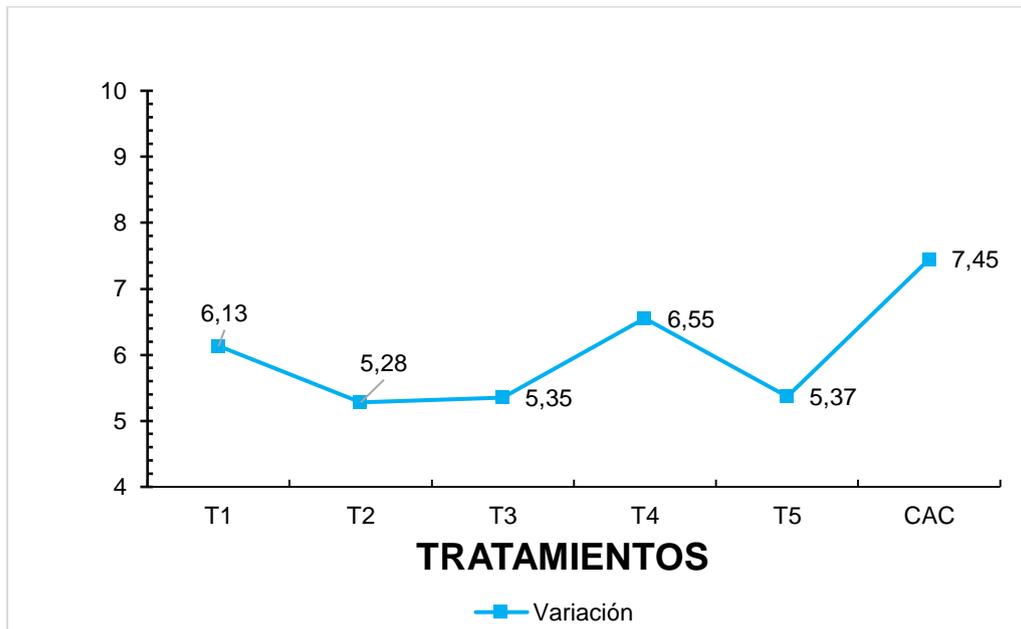


Gráfico 7.4 Variación de pH.

En lo que respecta a la variación de pH, los tratamientos presentaron diferentes comportamientos. El T₁ y T₄ reportaron valores de pH de 6,13 y 6,55 respectivamente. Mientras que los tratamientos T₂, T₃ y T₅ presentaron valores desde 5,28 a 5,37. Zambrano (2019) en su investigación presentó valores de 6,6 a 7,2 de pH aplicando cascarilla de arroz y arcilla en biofiltros. Este autor menciona que estos valores obtenidos en el T₁ y T₅ se mantienen en un rango aceptable, ya que son ligeramente ácidos.

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

4.4.1 TURBIDEZ

Tabla 7.3. ANOVA Eficiencia turbidez

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3875,485	4	968,871	5105,772	,000
Intra-grupos	1,898	10	,190		
Total	3877,383	14			

Tabla 7.4. Prueba múltiple Tukey (Turbidez).

TRATAMIENTOS		Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.
T1	T2	18,48000*	,35568	,000
	T3	26,85667*	,35568	,000
	T4	-5,80667*	,35568	,000
	T5	36,94667*	,35568	,000
T2	T1	-18,48000*	,35568	,000
	T3	8,37667*	,35568	,000
	T4	-24,28667*	,35568	,000
	T5	18,46667*	,35568	,000
T3	T1	-26,85667*	,35568	,000
	T2	-8,37667*	,35568	,000
	T4	-32,66333*	,35568	,000
	T5	10,09000*	,35568	,000
T4	T1	5,80667*	,35568	,000
	T2	24,28667*	,35568	,000
	T3	32,66333*	,35568	,000
	T5	42,75333*	,35568	,000
T5	T1	-36,94667*	,35568	,000
	T2	-18,46667*	,35568	,000
	T3	-10,09000*	,35568	,000
	T4	-42,75333*	,35568	,000

Tabla 7.5. Prueba Tukey de Subconjuntos homogéneos (Turbidez).

TRATAMIENTOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
T5	3	32,2633				
T3	3		42,3533			
T2	3			50,7300		
T1	3				69,2100	
T4	3					75,0167
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Los resultados obtenidos referente al ANOVA (Tabla 4.3), muestran que el nivel de significancia es $p < 0,05$, en todas las interacciones que se producen. En cuanto a la prueba de múltiple de Tukey (Tabla 4.4) se observa que entre los tratamientos existen diferencias significativas puesto que su valor $p < 0,05$. En la tabla 4.5 se aprecia que el mejor tratamiento para la remoción de turbidez es el T4.

4.4.2 COLOR

Tabla 7.6. ANOVA Eficiencia color.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3438,539	4	859,635	337,603	,000
Intra-grupos	25,463	10	2,546		
Total	3464,001	14			

Tabla 7.7. Prueba múltiple de Tukey (Color).

TRATAMIENTOS		Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.
T1	T2	13,01667*	1,30289	,000
	T3	23,93333*	1,30289	,000
	T4	-6,25667*	1,30289	,005
	T5	35,06667*	1,30289	,000
T2	T1	-13,01667*	1,30289	,000
	T3	10,91667*	1,30289	,000
	T4	-19,27333*	1,30289	,000
	T5	22,05000*	1,30289	,000
T3	T1	-23,93333*	1,30289	,000
	T2	-10,91667*	1,30289	,000
	T4	-30,19000*	1,30289	,000
	T5	11,13333*	1,30289	,000
T4	T1	6,25667*	1,30289	,005
	T2	19,27333*	1,30289	,000
	T3	30,19000*	1,30289	,000
	T5	41,32333*	1,30289	,000
T5	T1	-35,06667*	1,30289	,000
	T2	-22,05000*	1,30289	,000
	T3	-11,13333*	1,30289	,000
	T4	-41,32333*	1,30289	,000

Tabla 7.8. Prueba Tukey de Subconjuntos homogéneos (Color).

TRATAMIENTOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
T5	3	19,8033				
T3	3		30,9367			
T2	3			41,8533		
T1	3				54,8700	
T4	3					61,1267
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se observa en la tabla 4.6 que el nivel de significancia es $p < 0,05$ (estadísticamente significativos). De acuerdo con la prueba múltiple de Tukey se aprecia en la tabla 4.7 que los tratamientos son estadísticamente significativos ($p < 0,05$). Por otra parte, según los datos obtenidos en la tabla 4.8 (Prueba de Tukey Subconjuntos Homogéneos) existe mayor eficiencia al utilizar el T₄, para la remoción de color.

4.4.3 SÓLIDOS TOTALES

Tabla 7.9. ANOVA Eficiencia Sólidos Totales.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3322,143	4	830,536	117,457	,000
Intra-grupos	70,710	10	7,071		
Total	3392,853	14			

Tabla 7.10. Prueba múltiple de Tukey (Sólidos Totales).

TRATAMIENTOS		Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.
T1	T2	11,32000*	2,17117	,003
	T3	24,72000*	2,17117	,000
	T4	-8,39333*	2,17117	,021
	T5	31,63000*	2,17117	,000
T2	T1	-11,32000*	2,17117	,003
	T3	13,40000*	2,17117	,001
	T4	-19,71333*	2,17117	,000
	T5	20,31000*	2,17117	,000
T3	T1	-24,72000*	2,17117	,000
	T2	-13,40000*	2,17117	,001
	T4	-33,11333*	2,17117	,000
	T5	6,91000	2,17117	,059
T4	T1	8,39333*	2,17117	,021
	T2	19,71333*	2,17117	,000
	T3	33,11333*	2,17117	,000
	T5	40,02333*	2,17117	,000
T5	T1	-31,63000*	2,17117	,000
	T2	-20,31000*	2,17117	,000
	T3	-6,91000	2,17117	,059
	T4	-40,02333*	2,17117	,000

Tabla 7.11. Prueba Tukey de Subconjuntos homogéneos (Sólidos Totales).

TRATAMIENTOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
T5	3	22,2133			
T3	3	29,1233			
T2	3		42,5233		
T1	3			53,8433	
T4	3				62,2367
Sig.		,059	1,000	1,000	1,000

Como se aprecia en la tabla 4.9, los tratamientos presentan significancia en lo referente a la eficiencia de remoción de sólidos totales, ya que el valor $p < 0,05$, en todas las interacciones que se producen. Por otra parte, en la tabla 4.10 la prueba múltiple de Tukey muestra que los tratamientos T_3 y T_5 no presentan diferencias estadísticas ($p > 0,05$). En cuanto al mejor tratamiento en la tabla 4.11, se observa que es el T_4 .

4.4.4 pH

Tabla 7.12. ANOVA Variación pH.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3,918	4	,979	28,500	,000
Intra-grupos	,344	10	,034		
Total	4,261	14			

Tabla 7.13. Prueba múltiple de Tukey (pH).

TRATAMIENTOS		Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.
T1	T2	,84333*	,15136	,002
	T3	,77333*	,15136	,003
	T4	-,42667	,15136	,103
	T5	,75667*	,15136	,004
T2	T1	-,84333*	,15136	,002
	T3	-,07000	,15136	,989
	T4	-1,27000*	,15136	,000
	T5	-,08667	,15136	,976
T3	T1	-,77333*	,15136	,003
	T2	,07000	,15136	,989
	T4	-1,20000*	,15136	,000
	T5	-,01667	,15136	1,000
T4	T1	,42667	,15136	,103
	T2	1,27000*	,15136	,000
	T3	1,20000*	,15136	,000
	T5	1,18333*	,15136	,000
T5	T1	-,75667*	,15136	,004
	T2	,08667	,15136	,976
	T3	,01667	,15136	1,000
	T4	-1,18333*	,15136	,000

Tabla 7.14. Prueba Tukey de Subconjuntos homogéneos (pH).

TRATAMIENTOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T2	3	5,2833	
T3	3	5,3533	
T5	3	5,3700	
T1	3		6,1267
T4	3		6,5533
Sig.		,976	,103

De acuerdo con la tabla 4.12, el $p < 0,05$ indica que los tratamientos fueron significativos estadísticamente. La prueba múltiple de Tukey muestra que la relación entre el T₁ – T₄ no presenta nivel de significancia, además, la interacción entre el T₂, T₃ y T₅ de igual manera no presenta significancia (Tabla 4.13). Por otra parte, en la tabla 4.13 se observa que el T₁ y T₄, son los que más acercan a un pH neutro, es por ello, que se presentan como los mejores tratamientos.

4.5 CONTRASTE HIPÓTESIS

Los resultados que se han obtenido por medio del análisis de las variables sujetas en el estudio, se contrastan con la hipótesis planteada. Se estableció que el al menos uno de los tratamientos aplicados favorecerá la reducción de los sólidos totales en las aguas residuales de la industria de almidón de yuca. En la tabla 4.2, se observa que el T₄ (100% cascarilla de arroz) es el tratamiento que presenta mayor eficiencia al disminuir lo sólidos totales; además, este mismo tratamiento presentó los mejores resultados en todos los parámetros analizados dentro de esta investigación. Por tanto, se sugiere su idoneidad para la remoción de sólidos totales en aguas residuales de la industria de almidón de yuca.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La cascarilla de arroz permitió un mayor rendimiento en la obtención del carbón activado, puesto que, se procesaron 15 kg de cada uno de los residuos de (cáscara de piña y cascarilla de arroz) obteniendo al final 0,855 kg de carbón activado de cáscara de piña y 1,58 kg de carbón activado de cascarilla de arroz.

La caracterización de las aguas residuales de la industria de almidón de yuca presenta una turbidez de 287 NTU, 3020 Pt/Co de color, 1370 mg/L de sólidos totales y un pH de 5,11. De acuerdo con la normativa ambiental vigente para descarga de efluentes (TULSMA, Tabla 10), los límites de descarga a cuerpos de agua dulce para sólidos totales es de 1600 mg/l como límite máximo permisible; dicho resultado comparado con los obtenidos en la investigación (1370 mg/L) demuestran que el valor obtenido está dentro de los límites máximos permisibles, con lo que respecta al Potencial de hidrógeno (pH) el límite máximo permisible de descarga a un cuerpo de agua dulce es de 5-9, mientras que el resultado obtenido en la investigación fue de 5,11 estando dentro del límite máximo permisible para descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce.

En cuanto a la eficiencia del carbón activado, se evidenció que el tratamiento con 100% de cascarilla de arroz (T₄) presentó los mejores resultados de remoción para los parámetros de turbidez (75,02%), color (89,55%), ST (76,2%) y pH (6,55). Además, se puede agregar que el tratamiento con 75% de cascarilla de arroz y 25% de cascarilla de piña (T₁) presentó en 3 de 4 parámetros valores cercanos a los obtenidos con el T₄, siendo estos de 65,21% para turbidez, 85,24% en color, pH de 6,13 y ST de 53,84% siendo este último parámetro uno de los valores más alejados a los obtenidos por el T₄. Por otro lado, el tratamiento con menor eficiencia reportada en la investigación fue el (T₅), donde se obtuvo una eficiencia de 32,26% en turbidez, 32,02% en color, 22,21% en ST y un pH de 5,37.

5.2 RECOMENDACIONES

Promover el uso del carbón activado de cascarilla de arroz, puesto que presenta mayor rendimiento en la obtención de carbón activado con respecto a la cáscara de piña.

Considerar otros parámetros físicos, químicos y microbiológicos para la caracterización del agua residual de las industrias de almidón de yuca.

Utilizar el tratamiento T₄ en biofiltros, para la disminución de turbidez, color, sólidos totales y acidez (pH).

BIBLIOGRAFÍA

- Baller González, J. M., & Rios Castiblanco, A. (2016). *Evaluación del uso de cascarilla de arroz, polietileno y polipropileno en la producción de postres para uso agropecuario*. 103. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/610>
- Bernal-Martínez, L. A., Solís-Morelos, C., Linares-Hernández, I., Barrera-Díaz, C., & Colín-Cruz, A. (2011). Tratamiento De Agua Residual Municipal Por Un Sistema Físicoquímico Y Oxidación Química En Flujo Continuo Municipal Wastewater Treatment By Physicochemical and Chemical Oxidation System in Continuous Flow. *ACI*, 2(2), 69–81. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627682007.pdf>
- Blaya Ortega, G. (2020). *Eliminación de contaminantes emergentes y microorganismos mediante filtración, adsorción y UV, con planta piloto AZUD autosuficiente* [Universidad de Alicante]. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/108431/1/Eliminacion_de_contaminantes_emergentes_y_microorganismos_Blaya_Ortega_Gines.pdf
- Carriazo, J. G., Saavedra, M. J., & Molina, M. F. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educacion Quimica*, 21, 224–229. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30087-9](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30087-9)
- Chanaluiza Toapanta, T. Y. (2020). *Diseño y evaluación de la eficiencia de un filtro mixto a base de (cáscara de plátano verde, cáscara de piña y material litológico) para reducir la dureza y turbidez de las aguas de un pozo en el Cantón Naranjito*. [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/50304/1/BINGQ-IQ-20P09.pdf>
- Correia, R. T. P., Mccue, P., Vattem, D., Magalhaes, M. M. A., Macedo, G. R., & Shetty, K. (2004). AMYLASE AND HELICOBACTER PYLORI INHIBITION BY PHENOLIC EXTRACTS OF PINEAPPLE WASTES BIOPROCESSED BY RHIZOPUS OLIGOSPORUS. *Journal of Food Biochemistry*, 28(2004), 419–434.
- Cury R, K., Aguas M, Y., Martinez M, A., Olivero V, R., & Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), 122–132. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.530>
- Ensuncho, A. E., Robles, J. R., & Carriazo, J. G. (2015). Adsorción Del Colorante Amarillo Anaranjado En Sunset Yellow Dye Adsorption From Aqueous Solutions Using Activated Carbons Derived From. *Rev Soc Quím Perú*, 81, 135–147. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n2/a06v81n2.pdf>
- Espigares García, M., & Pérez López, J. A. (2005). *Agua Residual. Composición*. <https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/>

Aguas_Residuales_composicion.pdf

- Feléz Santafé, M. (2009). Situación actual del estado de la depuración biológica. *Aguateros*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2kjcwk8.4>
- Gaitán Nieto, J. F. (2019). *POTABILIZACION DE AGUA MEDIANTE FILTRACIÓN Y DESINFECCIÓN QUÍMICA* [UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA]. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.1.78>
- Galvis Toro, J., & Rivera Guerrero, X. (2013). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LODOS PRESENTES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (PTARI) DE LA EMPRESA JUGOS HIT DE LA CIUDAD DE PEREIRA [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA]. En *Occupational Medicine*. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2157dcb6-205c-44ae-abfc-90b4c65d53e3/content>
- Luna, D., González, A., Gordon, M., & Martín, N. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. *ContactoS*, 64, 39–48. http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n64ne/carbon_v2.pdf
- Mattey, P. E., Robayo, R. A., Díaz, J. E., Delvasto, Si., & Monzo, J. (2015). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: Diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *DYNA (Colombia)*, 35(2), 285–294. <http://ve.scielo.org/pdf/rlmm/v35n2/art15.pdf>
- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. A. (2018). Órganos Vegetales: fruto. *Atlas de histología vegetal y animal*, 1, 1–15. <http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/Flores.pdf>
- Mendoza Moreira, M. A., & Pincay Campos, J. A. (2018). *Eficiencia de carbón activado procedentes del coco (Cocos nucifera) en remoción de sólidos en aguas residuales de la empacadora de pescado frecodegfer* [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí]. <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1196/1/TTMA63.pdf>
- Mendoza Zambrano, L. A. (2018). *Remoción de colorantes sintéticos de las aguas residuales de la industria alimentaria usando como material adsorbente biomasa de arroz* [Instituto Politécnico de Leiria]. https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/3473/1/Dissertação_IPL_ESTM.pdf
- Molina García, M. E. (2016). Elaboración de un filtro artesanal de agua utilizando materiales no convencionales, evaluando su eficiencia para la disminución de los niveles de contaminación de aguas resi [Universidad Técnica de Ambato]. En *Repo.Uta.Edu.Ec*. <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>

- Morante Adrianzen, L. O. (2019). *Beneficios de un plan de gestión de residuos agrícolas en cultivos de arroz y algodón, en el Instituto de Desarrollo Agrario de Lambayeque - Idal.* [Universidad Nacional de Trujillo]. [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/14465/Aguilar Ramos Cesar Hilton.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/14465/Aguilar_Ramos_Cesar_Hilton.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Navarrete Aguirre, D. F., Quijano Arteaga, N. R., & Vélez Sancán, C. D. (2014). *ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE MATERIALES NO CONVENCIONALES, PARA SER USADO COMO MEDIO FILTRANTE* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025><http://dx.doi.org/10.1038/nature10402><http://dx.doi.org/10.1038/nature21059><http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127><http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577>
- Orozco, C. A. (2013). Estudio De Pre-Factibilidad Para La Creación De Una Planta De Carbón Activado a Base De Cascara De Coco En Tumaco Y Sus Alrededores [Universidad ICESI]. En CIAT. https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/76996/1/estudio_creacion_planta.pdf
- Perez Bendezu, L. S. (2018). *Uso de la electrocoagulación para reducir la carga de contaminantes en la* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/20565>
- Pérez Méndez, R. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO DE OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A BASE DE RESIDUO DE CAFÉ (CASCABILLO, CISCO) NATIVA DE YAJALÓN, CHIAPAS.* [Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutierrez]. <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/688/757.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quiroz Quiroz, S. M. (2020). *APLICACIÓN DE NORMAS DE CALIDAD EN EL PROCESAMIENTO PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE LA MASA DE YUCA ELABORADA POR LA MICROEMPRESA "MASAQUI" SITIO ESTANCIA VIEJA DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO.* http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2341/1/TESIS_STEFANY_QUIROZ_PREDEFENSA.pdf
- Rodríguez Reinoso, F., & Molina Sabio, M. (2002). *El CARBÓN ACTIVADO EN PROCESOS DE DESCONTAMINACIÓN.* 163–168. http://elaguapotable.com/El_carbon_activo_en_procesos_de_descontaminacion.pdf
- Rodríguez, Y. M., Salinas, L. P., Ríos, C. A., & Vargas, L. Y. (2012). Adsorbentes A Base De Cascarilla De arroz En La Retención De Cromo De Efluentes De La Industria De Curtiembres. *biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 146–156. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a17>

- Segovia Zambrano, A. M., & Zambrano Zambrano, V. M. (2021). *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López Dirección De Carrera: Medio Ambiente Informe De Trabajo De Titulación Previa a La Obtención Del Título De Ingeniero En Medio Residuales De La Industria De Almidón Autores: Segovia Zamb* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ]. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1453/1/TTMA38D.pdf>
- Selvanathan, N., & Subki, N. S. (2015). Dye adsorbent by pineapple activated carbon: H₃PO₄ and NaOH activation. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(20), 9476–9480.
- Tamay Crespo, A. P. (2019). *Determinación de la capacidad de biosorción y desorción de la corona de piña (Ananas comosus) para la remoción de metales pesados*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17182>
- Torres-Pérez, J., López-Téllez-Girón, P. N., Corral-Avitia, A. Y., Carrasco-Urrutia, K. A., & Delgado-Ríos, M. (2020). Preparación de carbón activado a partir de residuos de Zea mays para eliminar tartrazina. *Cultura Científica y Tecnológica*, 17(1), 1–10. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2020.1.2.1>
- Urrutia Viscarra, J. P. (2020). *Evaluación del carbón activado obtenido de la cáscara de piña “ Ananas Comosus ” PARA* [Universidad Agraria del Ecuador]. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/URRUTIA_VISCARRA_JENNY_PAOLA.pdf
- Valladares-Cisneros, M. G., Valerio Cárdenas, C., De La Cruz Burelo, P., & Melgoza Alemán, R. M. (2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55–73. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a3>
- Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, V(1), 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Vargas, J., Alvarado, P., Vega-Baudrit, J., & Porras, M. (2013). Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS*, 23, 87–102. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5069938>
- Vidal, M. ., Rodríguez Suarez, A., Martínez Barrios, K., Ocampo Pérez, J., & Barrios Lara, W. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et Technica Año XXIII*, 23(03), 411–419. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6760221.pdf>
- Bravo Moreira, K. I., y Garzón Moreno, A. R. (2017). Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (*Cocus nucifera*)

para remoción de contaminantes en agua (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM).

<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/606/1/TMA124.pdf>

Benavides-Prada, O. A., y Muvdi-Nova, C. J. (2014). Evaluación de la ósmosis inversa y de la evaporación de película ascendente como técnicas de concentración de hidrolizados de almidón de yuca. *Revista ION*, 27(1), 59-70. <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342031331007.pdf>

Cahuaya Vargas, H. R. (2017). Eficiencia de la membrana de nanofiltración para obtener salmuera a partir de aguas residuales de regeneración de resinas de intercambio iónico en el distrito de Carabayllo-2017. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/19699>

Vargas, M. A., y Acevedo Buitrago, P. V. (2020). Propuesta para la disminución de contaminantes en las aguas residuales provenientes de las piscinas termales del instituto de turismo de Paipa (*Bachelor's thesis*, Fundación Universidad de América). <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8110>.

Giraldo, L. F. G., & Mesa, G. A. P. (2005). Cinética de degradación y mineralización del colorante naranja reactivo 84 en aguas. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(2), 21-25. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520205.pdf>

Guastay Guingla, L. I., y Tinoco Chica, E. A. (2019). Evaluación de la bio-reducción del cromo hexavalente (VI) en aguas de estero salado con filtros de zuro de maíz (*Zea mays*) y cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas). <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/43621/1/BCIEQ-T-0421%20Guastay%20Guingla%20Lida%20Ivon%3B%20Tinoco%20Chica%20Emilio%20Alexander.pdf>

Hidalgo Domínguez, F. E., y Guamán Pérez, M. V. (2006). Diseño y construcción de un desmineralizador de lechos múltiples (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química). <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/746/1/976.pdf>

Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización [inen]. (2013). agua. calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras. <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/nte-inen-2169-agua.-calidad-del-agua.-muestreo.-manejo-y-conservaci%c3%93n-de-muestras.pdf?x42051>

Rosales, B., del Río, J., López, A., & Salinas, J. (2004). Degradación fotocatalítica de fenol y plata y estudio de la hidrodinámica del reactor y campo de irradiación. *Jornada de Investigación*, 1, 1-39.

- Iturralde, A. (2020). Evaluación de la eficiencia de un biofiltro de cascarilla de arroz para tratamiento de aguas residuales de piladoras de Yaguachi Trabajo experimental (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR).
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ITURRALDE%20JACOME%20XAVIER%20ANDRES.pdf>
- Saltos Anchundia, J. A., & Zambrano Mora, J. D. (2021). Implementación de biofiltro para remoción sólidos en aguas residuales de procesamiento de almidón yuca, alrededor de comunidad San Pablo Tarugo-Chone, Manabí (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1451/1/TTMA36D.pdf>
- Zambrano, S. (2019). Filtros de arcilla y cascarilla de arroz, incidencia en remoción de carga orgánica en aguas residuales de la ciudad de Portoviejo (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/988/1/TTMA34.pdf>
- Ortiz 2018
- Ortiz Cornejo, E. S. (2018). Análisis de la cascarilla de arroz utilizada como material para filtros de tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de jeans "Multiprocesos Gallegos" (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil).
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27812/1/Tesis%201243%20-%20Ortiz%20Cornejo%20Enrique%20Sebasti%C3%A1n.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Proceso de obtención de carbón activado a partir residuos de la cascarilla de arroz

Anexo 1-A: Recolección de la cascarilla de arroz



Anexo 1-B: Limpieza.



Anexo 1-C: Pesado.



Anexo 1-D: Impregnación



Anexo 1. Proceso de obtención de carbón activado a partir residuos de la cascarilla de arroz

Anexo 1-E: Lavado



Anexo 1-F: Secado.



Anexo 1-G: Calcinación.



Anexo 1-H: Carbón activado



Anexo 2. Proceso de obtención de carbón activado a partir residuos de la cáscara de piña.

Anexo 2-A: Recolección de la cáscara de piña



Anexo 2-B: Secado al ambiente



Anexo 2-C: Secado en la estufa



Anexo 2. Proceso de obtención de carbón activado a partir residuos de la cáscara de piña.

Anexo 2-D: Impregnación con el ácido



Anexo 2-E: Calcinación



Anexo 2-F: Tamizado



Anexo 2. Proceso de obtención de carbón activado a partir residuos de la cáscara de piña.

Anexo 2-H: Foto 18: Carbón Activado Cáscara de Piña.



Anexo 3: Biofiltros aplicados en cada tratamiento

