UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA:

REMOCIÓN DE MANGANESO EN AGUA PARA POTABILIZACIÓN DE LA PLANTA DE TIXÁN DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE ADSORCIÓN CON CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ

AUTOR:

JOSÉ LUIS MORALES HARO

DIRECTOR:

Dr. LUIS RAMÓN BRAVO SÁNCHEZ, PhD.

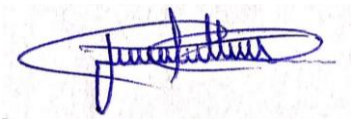
PUYO – ECUADOR

2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien/es suscribe/n José Luis Morales Haro con Cédula de Identidad 160065039-2, hace constar que es autor del proyecto de investigación /Trabajo de Integración Curricular titulado: ¨Remoción de manganeso en agua para potabilización de la Planta de Tixán de la ciudad de Cuenca, mediante adsorción con ceniza de cáscara de arroz¨, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor Dr. Luis Ramón Bravo Sánchez, PhD. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto del trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 16 días del mes de julio del 2021.



_____

José Luis Morales Haro
Cl:160065039-2

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: ¨Remoción de manganeso en agua para potabilización de la Planta de Tixán de la ciudad de Cuenca, mediante adsorción con ceniza de cáscara de arroz¨.

ANGELICA MARIA TASAMBAY SALAZAR
Firmado digitalmente por ANGELICA MARIA TASAMBAY SALAZAR
Fecha: 2021.07.19 00:18:42 -05'00'

MSc. Angélica María Tasambay Salazar

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
PAMELA JACQUELINE PINTADO VALLEJO

MSc. Pamela Jacqueline Pintado Vallejo

Miembro del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
REGLA MARIA BERNAL GUTIERREZ

MSc. Regla María Bernal Gutiérrez

Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DEL PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

Quien suscribe el presente Dr. Luis Ramón Bravo Sánchez, PhD con CI: 175704145-2, certifica que el Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración curricular titulado: "REMOCIÓN DE MANGANESO EN AGUA PARA POTABILIZACIÓN DE LA PLANTA DE TIXÁN DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE ADSORCIÓN CON CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ", ha sido examinado a través del sistema antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 4%.

En el cantón Pastaza a los 16 días del mes de julio del 2021.

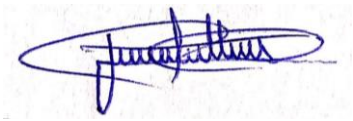
Firmado electrónicamente por:
LUIS RAMON BRAVO

Dr. Luis Ramón Bravo Sánchez, PhD.
Director del proyecto de Investigación/Trabajo de integración curricular

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, José Luis Morales Haro, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de las otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular.



JOSE LUIS MORALES HARO

No. Cédula:160065039-2

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado especialmente a mis padres Fausto Elías Morales y Gladys Noemi Haro Rivera, quienes son el eje fundamental en mi vida y el motor de aliento para no decaer, siendo ellos quienes con su apoyo, amor y sacrificio me han brindado la motivación necesaria para seguir adelante en todos estos años.

A mis 6 hermanos Vicente Agustín Morales Haro, Susana Maribel Morales Haro, Henry Germain Morales Haro, Jefferson Elías Morales Haro, John Fabricio Morales Haro, Gladys Paola Morales Haro por su motivación y confianza brindados en mí, quienes han hecho que mis años de estudio se finalicen con éxito.

AGRADECIMIENTO

Al finalizar esta etapa de mi vida quiero expresar mi más sincero agradecimiento a varias personas que han puesto su confianza en mí y han contribuido en mi formación profesional.

Expreso mi infinita gratitud a Dios por llenarme de bendiciones en todo el transcurso de mi vida, por guiarme y acompañarme en todos estos años transcurridos, brindándome amor, sabiduría, misericordia y dándome la oportunidad de adquirir nuevas experiencias para el futuro.

De igual forma a mis padres por los valores que han inculcado en mi enseñándome el sentido de la honestidad, respeto y lealtad hacia los demás, por ese amor tan puro y sincero y por el sacrificio que han realizado día a día por darme una formación profesional. A mis hermanos que me han motivado a seguir luchando en mis años de estudio para culminarlo con éxito

A mi querida y prestigiosa Universidad Estatal Amazónica por abrirme las puertas y verme crecer. A mis estimados docentes quienes me han brindado sus conocimientos y me han ayudado en mi formación como profesional. A mi tutor de proyecto de integración curricular Dr. Luis Ramón Bravo Sánchez, PhD por su apoyo y comprensión en los avances del proyecto.

A mis compañeros que me han acompañado en esta etapa de vida universitaria, con quienes hemos formado grupos de trabajo y hemos puesto todo el interés por aprender cada día más para estar donde ahora estamos.

RESUMEN

Se evaluó un posible tratamiento no convencional de bajo costo, eficiente y amigable con el ambiente que permitiera reducir las concentraciones de manganeso presentes actualmente en las aguas de la planta de potabilización de Tixán con el uso de ceniza de cáscara de arroz como adsorbente. La ceniza de cáscara de arroz presentó excelentes características como adsorbente por tener una superficie porosa con gran desarrollo superficial y estar formada básicamente por sílice; la distribución del tamaño de partícula estuvo mayormente por debajo de los 0,300 mm lo que contribuyó de manera significativa a la superficie de contacto y por ende a la capacidad de adsorción, por lo que posee un elevado potencial de utilización para la remoción de manganeso. El pH de carga cero de la ceniza resultó ser 8,14; a pesar de que el valor de pH de máxima adsorción de manganeso en agua sobre ceniza de cáscara de arroz resultó ser 10, es recomendable utilizar un valor cercano a 8 por razones de factibilidad económica. Las condiciones óptimas de operación en tanque agitado fueron: pH 8, tamaño de partículas de ceniza de cáscara de arroz <0.300mm, cantidad de biomasa 0,25g (5g de ceniza de cáscara de arroz por cada litro de disolución de manganeso de concentración 5 mg/L) por un tiempo no superior a una hora.

Palabras clave: ceniza de cáscara de arroz, biosorbente, manganeso, potabilización de agua

ABSTRACT

A possible low-cost, efficient and environmentally friendly non-conventional treatment that would reduce the manganese concentrations currently present in the waters of the Tixán purification plant with the use of rice husk ash as adsorbent was evaluated. Rice husk ash presented excellent characteristics as an adsorbent because it had a porous surface with great surface development and was basically made up of silica; the particle size distribution was mostly below 0.300 mm, which contributed significantly to the contact surface and therefore to the adsorption capacity, therefore it has a high potential for use in removing manganese. The zero-charge pH of the ash was found to be 8.14; although the pH value of the maximum adsorption of manganese in water on rice husk ash was found to be 10, it is advisable to use a value close to 8 for reasons of economic feasibility. The optimal operating conditions in a stirred tank were: pH 8, rice husk ash particle size <0.300mm, amount of biomass 0.25g (5g of rice husk ash per liter of 5 concentration manganese solution mg / L) for a time not exceeding one hour.

Keywords: rice husk ash, biosorbent, manganese, water purification

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I 1

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Planteamiento del problema 2

1.2. Objetivos 2

1.2.1. Objetivo General 2

1.2.2. Objetivos Específicos 2

1.3. Justificación 3

CAPÍTULO II 5

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 5

2.1. El agua 5

2.1.2. Agua cruda 5

2.1.3. Calidad de agua 5

2.1.4. Agua potable 6

2.1.5. Polución o contaminación del agua 6

2.2. Metales pesados 6

2.2.1. Manganeso 7

2.2.2. Tratamientos para la remoción de metales pesados en efluentes 7

2.3. Adsorción 8

2.3.1. Factores que influyen en el proceso de adsorción 8

2.3.2. Biosorción 11

2.4. Biomasa muerta 11

2.4.1. Ceniza de cáscara de arroz 11

CAPÍTULO III 13

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 13

3.1. Localización 13

3.2. Tipo de investigación 14

3.3. Método de la investigación 14

3.3.1. Análisis de las características físicas y químicas del residuo industrial ceniza de cáscara de arroz. 15

3.3.2. Acondicionamiento de la biomasa residual (ceniza de cáscara de arroz). ... 15

3.3.3. Análisis granulométrico de ceniza cáscara de arroz 15

3.3.4. Determinación del punto de carga cero (pHpc0) de ceniza de cáscara de arroz 15

3.3.4. Estudio del proceso de biosorción en condiciones de tanque agitado 16

CAPÍTULO IV 19

4. ANALISIS DE RESULTADOS 19

4.1. Análisis de las características físicas y químicas del residuo industrial ceniza de cáscara de arroz. 19

4.2. Estudio de distribución del tamaño de partícula 20

4.3. Determinación del pH de máxima adsorción de manganeso en agua sobre ceniza de cáscara de arroz 21

4.4. Resultados de los estudios de adsorción en condiciones de tanque agitado 22

4.4.1. Efecto de la dosificación de biomasa 22

4.4.2. Efecto del pH 22

CONCLUSIONES 24

RECOMENDACIONES 25

REFERENCIAS 26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Métodos convencionales de Remoción de Manganeso. 7
Tabla 2-2. Métodos no convencionales de remoción de manganeso. 8
Tabla 3-3. Juego de tamices normalizados (Humboldt) de análisis granulométrico. 15
Tabla 4-4. Composición química de la ceniza de cáscara de arroz. 19
Tabla 5-4. Tamizado de las cenizas de cáscara de arroz. 20
Tabla 6-4. Resultados de la determinación del punto de carga cero de las cenizas de cáscara de arroz. 21
Tabla 7-4. Estudio de la dosis de adsorbente para manganeso. 22
Tabla 8-4. Comportamiento de adsorción en función del pH de la disolución de manganeso. 22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3. Mapa de la planta de agua potable de Tixán 13
Figura 2-3. Mapa de ubicación del laboratorio de CEIPA 14
Figuran 3-4. Micrografía (SEM) de ceniza de cáscara de arroz 19
Figura 4-4. Histograma de frecuencia que muestra la distribución del tamaño de partículas de las cenizas empleadas en el estudio. 20
Figura 5-4. Determinación del pH de carga cero de la ceniza de cáscara de arroz 21

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El agua es la fuente de abastecimiento primordial para la vida y el desarrollo a nivel mundial, a partir de este recurso se puede mantener un equilibrio en los ecosistemas terrestres y acuáticos, por esta y múltiples razones se lo tiene que conservar y preservar. Los desastres naturales asociados a eventos hidrometeorológicos, y las actividades antropogénicas causan afectaciones numerosas en los seres vivos e innumerables pérdidas económicas, a la vez que se tornan más recurrentes y con afectaciones a países de bajos recursos que se encuentran más vulnerables ante el riesgo hidrológico, a su vez se advierten problemas graves debido a la contaminación del agua, por este motivo más de cinco millones de personas mueren debido a enfermedades de origen hídrico o transmisión por vía del agua (Martínez Valdés & Villalejo García, 2018).

En la actualidad uno de los más grandes problemas ambientales es la contaminación de los recursos hídricos del mundo por la presencia de metales pesados, esto se debe a la toxicidad que presentan estos metales en el agua de los ríos que se consideran un grave problema para los habitantes de la población que se abastecen de dicho recurso, en especial si se considera que el incremento de estos metales es provocado por actividades antropogénicas, aumentando además los efectos potencialmente nocivos sobre los sistemas ecológicos y el ambiente que son el sustento de la humanidad, lo cual trae serios problemas en el entorno económico, local y nacional por el incremento en los costos de tratamientos médicos y la disminución en el sector productivo (Pabón et al., 2020).

Existen varias método para reducir la contaminación de metales pesados en agua, los más comunes para remoción de manganeso son: la oxidación con permanganato de potasio, aireación, cloración, catálisis, intercambio iónico, dióxido de cloro, entre otros, en general tienen sus desventajas por el costo elevado que presentan, por este motivo surge la biosorción como un método alternativo eficiente en el que se utilizan recursos renovables o desechos agroindustriales que se caracterizan por la retención del metal a partir de una biomasa muerta mediante un interacción físico-química como la adsorción, en la cual este proceso involucra una fase sólida (adsorbente) y una fase líquida que es el disolvente (agua) que contienen las especies disueltas (adsorbato) (Cuizano & Navarro, 2008).

Por lo tanto, el proyecto está basado en el estudio de la remoción de manganeso (II) mediante un proceso de adsorción con biomasa de ceniza de cáscara de arroz en el agua cruda que sirve como fuente de abastecimiento a la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Tixán en la ciudad de Cuenta provincia de Azuay, Ecuador.

1.1. Planteamiento del problema

El agua es un recurso natural indispensable para los seres humanos, la cual se está viendo afectada frecuentemente por la presencia de manganeso, generando la contaminación del recurso que se prevé ingresar a la planta de potabilización.

Frente a esta problemática la planta de potabilización de Tixán que recibe agua del río Machángara en la provincia del Azuay provee métodos de tratamientos, pero a costos elevados; entre los más comunes que se utilizan para eliminar manganeso del agua para potabilización, es la oxidación con permanganato de potasio y luego una posterior filtración de los óxidos de manganeso.

Se considera que la presencia del manganeso en el agua es debido no solamente a fuentes antropogénicas, sino que también uno de los inconvenientes fundamentales que está ocasionando el problema en la planta potabilizadora de Tixán de la ciudad de Cuenca es la ocurrencia de deslaves y movimientos de tierra que contaminan los ríos de los cuales se abastece la planta potabilizadora; debido a esto la cantidad de manganeso presente en las aguas sobrepasa los límites máximos permisibles (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2006). Teniendo en cuenta estos antecedentes, el problema puede plantearse a través de la siguiente pregunta:

¿Es posible eliminar la contaminación por manganeso en agua para potabilización utilizando adsorción sobre ceniza de cáscara de arroz?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Eliminar la contaminación por manganeso en agua para potabilización utilizando la biomasa residual ceniza de cáscara de arroz.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la ceniza de cáscara de arroz con vistas a su utilización para la remoción de manganeso.

- Determinar el pH de máxima adsorción de manganeso en agua sobre ceniza de cáscara de arroz.
- Evaluar las condiciones óptimas en cuanto a relación agua – adsorbente (dosis de adsorbente), concentración inicial y tiempo para lograr un máximo de remoción de manganeso en el agua para potabilización utilizando ceniza de cáscara de arroz.

1.3. Justificación

El presente trabajo surge de la necesidad de dar solución a la contaminación presente en el recurso agua generada por deslizamientos de tierras que se producen cercanas al río Machángara del cual se realiza la captación para el posterior ingreso a la planta potabilizadora, generalmente se han evidenciado concentraciones elevadas de manganeso que es necesario sean removidas a partir de métodos de inversión económica bajos y que tengan una buena eficiencia de remoción, motivo por el cual se opta por adsorción con la biomasa residual de ceniza de cáscara de arroz con la finalidad de que el agua sea óptima para el ingreso a la planta de potabilización y posteriormente apta para el consumo de las personas.

La ceniza de cáscara de arroz ha sido utilizada con anterioridad para la remoción de manganeso, y a modo de ejemplo se puede mencionar un estudio realizado en el que se utiliza un reactor en columna empacada con flujo continuo de agua, el cual mostró resultados adecuados para la remoción de manganeso en el intervalo de concentraciones de 5 a 20 mg L^{-1}, mostrando una capacidad de absorción entre 2,73 y 4,76 mg g^{-1} (Ningning et al. 2016).

Otros autores realizaron un estudio en "batch" para la biosorción de Fe (II) y Mn (II) con ceniza de cáscara de arroz de disoluciones acuosas. Los parámetros operacionales: pH de la disolución, tiempo de contacto, dosis de adsorbente (relación sólida – líquido), y concentración inicial influyeron de manera significativa en la eficacia de la biosorción de Fe (II) y Mn (II). La capacidad de adsorción máxima que obtuvieron fue de 6,211 mg g^{-1} para Fe (II) y 3,016 mg g^{-1} para Mn (II). Después de 60 minutos la remoción fue de 96% para el Fe (II) y 95% para Mn (II) (Zhang, Zhao, Jiang, Shan, & Lu, 2014).

A partir de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108, dirigida especialmente para el agua de consumo humano y con base en los límites permisibles de metales dentro de un cuerpo de agua dulce para la salud humana y uso doméstico, se puede disminuir la presencia excesiva del manganeso en el agua para su posterior abastecimiento hacia la ciudad de Cuenca.

Considerando que el límite permisible para el manganeso es de 100 mg L^{-1}. Partiendo de los estándares de calidad se puede proveer a la ciudad de un agua apta para su uso (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2006).

Como solución a los problemas causados por la presencia excesiva de manganeso en cuerpos de agua dulce, se puede realizar el método no convencional de adsorción considerado como una técnica efectiva y económica que podrá ser replicado nacional e internacionalmente.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. El agua

El agua (H_2O) es una molécula con dos átomos de hidrógeno unidos covalentemente a uno de oxígeno la cual a temperaturas y presiones ambientales se mantiene mayormente en estado líquido. El cuerpo humano está compuesto mayoritariamente por agua por lo que se considera como un nutrimento indispensable para la vida, muchos expertos han reconocido que la ingesta de agua es de vital importancia para mantener una vida saludable e incluso para la prevención de ciertas enfermedades no contagiosas relacionadas con la nutrición, por este motivo las características del agua tienen que ser aptas para poder consumirla (Arredondo García et al., 2017).

2.1.2. Agua cruda

Se considera al agua que se encuentra en la naturaleza y que en lo general no ha sido producto de alteración en cuanto a sus propiedades, ya que no ha recibido algún tipo de tratamiento que modifiquen sus características físicas, químicas, radiobiológicas, biológicas o microbiológicas, por lo general se localizan en ríos, embalses, esteros y también puede localizarse por debajo de la superficie terrestre como los pozos, manantiales entre otros. A diferencia del agua proveniente de algún sistema que alteren sus propiedades y que requiera algún tipo de tratamiento especial para hacerla potable la cual no se considera como agua cruda, por lo general para ser considerada como tal, la contaminación presente en el agua bruta mayoritariamente debe ser de origen natural, causado por fenómenos propios de la cuenca (Chica & Chimborazo, 2020).

2.1.3. Calidad de agua

La calidad del agua tiene un valor de importancia ecológico significativo que influye directamente en la salud y en el crecimiento económico, desempeña un rol fundamental en el bienestar humado y en el desarrollo sostenible. La calidad del agua satisface los requerimientos óptimos por parte de los seres humanos y propicia un recurso ambiental eficiente en cuanto a las unidades familiares. Motivo por el cual la OMS establece que para promover la salud y mitigar la pobreza se tiene que permitir el acceso del agua tratada (salubre) que no genere daños a la salud de las personas que lo consumen (Chávez, 2018).

2.1.3.1. Criterios de calidad del agua para consumo humano: las Guías de Calidad referente a la presencia de manganeso para consumo humano.

Según la OMS, la presencia de manganeso a concentraciones mayores que 0,1 mg L^{-1} en sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable en bebidas y mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. Los programas de control y vigilancia del agua potable requieren normas adecuadas que regulen la calidad del agua para consumo humano, que permitan seleccionar fuentes adecuadas de agua cruda y los procesos de tratamiento y distribución. Las normas americanas dan como concentración límite para el manganeso 0,05 mg L^{-1}, aunque este valor puede cambiar dependiendo de las condiciones locales. Las guías para calidad de agua potable basadas en criterios sanitarios, sugieren que un valor de 0,5 mg L^{-1} de manganeso debería ser suficiente para proteger la salud pública (OMS, 2011).

2.1.4. Agua potable

Considera apta para el consumo humano, es el recurso natural que ha tenido que pasar por procesos dentro de la planta de tratamientos para conservar sus propiedades aceptables para la salud de las personas, considerando los parámetros establecidos dentro de la normativa vigente que establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para su consumo (Escalona, Espitia, & García, 2009).

2.1.5. Polución o contaminación del agua

Es la presencia de cualquier sustancia, material o energía en el agua que produce la alteración en su calidad y composición química que puede afectar negativamente al hombre y a los demás seres vivos. Según la Organización Mundial de la Salud se considera agua contaminada aquella que ha sido modificada su composición de modo que no presenta las condiciones necesarias para su uso. Por este motivo la contaminación del agua representa un problema existencial a nivel mundial ya que se trata de la principal fuente de vida para un planeta entero (Guadarrama et al., 2016).

2.2. Metales pesados

Los metales pesados son grupos de elementos químicos que presentan una densidad alta, son generalmente tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua son: cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo y cinc, entre otros, que son peligrosos en concentraciones elevadas (FACSA, 2017).

2.2.1. Manganeso

Es un elemento químico considerado un metal pesado, que es esencial para mantener las funciones adecuadas y la regulación de muchas reacciones bioquímicas y celulares. Sin embargo, el manganeso en grandes cantidades también es un contaminante ambiental común que puede causar efectos tóxicos en animales y humanos. Además de causar efectos sobre el desarrollo y la reproducción, la toxicidad del manganeso se asocia principalmente con efectos neurológicos (Milatovic & Gupta, 2018)**.**

2.2.2. Tratamientos para la remoción de metales pesados en efluentes

2.2.2.1. Tratamiento convencional para la remoción de metales pesados en efluentes

La remoción del manganeso soluble ha sido practicada por muchos años. El tratamiento consiste en la conversión del ion Mn^{2+}, lo cual se realiza de manera simultánea con la remoción del hierro. La remoción de manganeso es afectada por el estado de oxidación del ion manganoso y por la separación de los óxidos e hidróxidos insolubles de manganeso. En la tabla 1-2 se indican los procesos de remoción de manganeso más comunes (Valencia, 2014).

Tabla 1-2. *Métodos convencionales de Remoción de Manganeso.*

PROCESOS	**COMENTARIOS**
AIREACIÓN	proceso lento e inefectivo a pH menores a 9.0
CLORACIÓN	no efectivo para compuestos orgánicos
AJUSTE DE pH	el tratamiento con cal –soda permite remociones a pH 9.5
CATÁLISIS	iones cobre facilitan la oxidación con aire
INTERCAMBIO IÓNICO	efectivo para pequeñas cantidades manganeso
DIÓXIDO DE CLORO	oxida rápidamente el manganeso (costoso)
ADICIÓN DE PERMANGANATO DE POTASIO	costoso y requiere de filtración

Fuente: (Valencia, 2014).
Realizado por: José Morales

2.2.2.2. Tratamiento no convencional para la remoción de metales pesados en los efluentes.

Los métodos no convencionales son considerados procesos innovadores y de bajo costo para eliminación de metales que persisten en las aguas y necesitan ser removidos. En la tabla 2-2 se indican los procesos de eliminación de manganeso por métodos no convencionales que pueden emplearse (Caviedes Rubio et al., 2015)**.**

Tabla 2-2. *Métodos no convencionales de remoción de manganeso.*

PROCESOS	COMENTARIOS
ADSORCIÓN	Proceso de transferencia de masa. Método efectivo de remoción a partir de materiales naturales, agrícola e industriales
FITORREMEDIACIÓN	Amplia aplicabilidad y bajo costo, emplea plantas y microbios
BIOPOLIMEROS	Posee hidroxilos y aminas que aumentan la eficiencia de adsorción de iones metálicos
HIDROGELES	Presentan un comportamiento de adsorción de metales pesados
CENIZA VOLANTE	Subproducto industrial reutilizado como un adsorbente de bajo costo

Fuente: (Caviedes Rubio et al., 2015)**.**
Realizado por: José Morales

2.3. Adsorción

Es el proceso de transformación de una sustancia en fase líquida a la superficie de un sólido, la misma que queda retenida por fuerza física o química; por lo general este tipo de proceso ocurre sobre partículas sólidas en medios fijos, se considera un fenómeno superficial en el que se emplea un material adsorbente para capturar las partículas de importancia, por tal motivo cuanto mayor es la superficie del medio, la capacidad de acumular el material se incrementara, por lo mencionado las ventajas de este proceso para remover metales son considerables (Herrera & Dominguez, 2016).

2.3.1. Factores que influyen en el proceso de adsorción

El proceso de adsorción es uno de los métodos más usados para eliminar los metales pesados que se encuentra presentes en sustancias o solución acuosa, Las características estructurales, los grupos funcionales y las composiciones elementales se determinaron mediante análisis de microscopio electrónico de barrido (SEM) y de espectro infrarrojo de traducción de Fourier (FT-IR), respectivamente. Los resultados del estudio de isotermas de adsorción muestran que la ecuación de Langmuir puede ajustarse mejor al proceso de adsorción de Fe (II) y Mn (II) mediante el adsorbente para posteriormente obtener las cantidades máximas de remoción (Jiang et al. 2016). Estos factores son los que se deben tener en cuenta para la remoción de manganeso en condiciones de tanque agitado.

2.3.1.1. Concentración inicial

A partir de las concentraciones iniciales sobre las remociones de iones de Fe (ll) y Mn (ll) por RHA, los porcentajes de remoción disminuye exponencialmente con el aumento en la concentración inicial de Fe (ll) y Mn (ll) a medida que la concentración inicial aumenta de 5 a 40 mg/l, el porcentaje de eliminación disminuye del (96%) al (80%) y del (90%) al (55%) respectivamente esto puede deberse a la falta de sitios activos disponibles necesarios para la alta concentración inicial de Fe (ll) y Mn (ll) (Zhang et al. 2014).

2.3.1.2. Dosis de la biomasa

La dosificación de la biomasa influye de manera significativa en el proceso de adsorción, debido a este factor se puede determinar la capacidad total de adsorción del sistema, se considera que la capacidad de adsorción va hacer mayor mientras exista una mayor superficie disponible en el medio, esto se debe al incremento de disponibilidad de sitios activos, por otro lado el aumento excesivo de biomasa podría ocasionar problemas negativos llegando a ocasionar la saturación de las partículas sólidas, lo que llevaría a una depreciación en el proceso de adsorción (Freire, 2018).

2.3.1.3. Tamaño de partículas o granulometría de la biomasa

El tamaño de partículas de la biomasa desempeña un rol fundamentan en la capacidad de adsorción como en la velocidad de la reacción, esto se debe a que la adsorción tiene un puesto fundamental en el interior de las partículas, sobre las paredes de los poros, en varios puntos específicos. Se considera una pequeña secuencia en cuanto a la proporcionalidad ya que la cantidad de soluto que puede ser absorbida es directamente proporcional al volumen y ese volumen tienen una proporcionalidad directa en cuanto al área externa y también se considera que una pequeña partícula posee mayor área superficial, esto quiere decir que posee una mayor área de la superficie interna por su cantidad de poros por unidad de masa, por lo que al reducir el tamaño de las partículas, el número de centros activos por unidad es mayor y aumenta la capacidad de adsorción (Garcés & Coavas, 2012).

2.3.1.4. pH

Es un parámetro importante en cuanto al estado en la que se encuentra la calidad del agua y está determinado por el número de iones libres de hidrogeno de una sustancia, las aguas que presentan demasiada acidez disuelven los metales empleados en la conducción como el

plomo, el cobre y el Zinc, los cuales afectan gravemente a la salud una vez que han sido consumidos. En cuanto al agua potable el pH varía entre 6,5 a 8,5 que se consideran aptas para el consumo humano, cabe considerar que los valores extremos pueden causar problemas como irritación de las mucosas, hasta procesos de ulceración (López, 2016).

2.3.1.5. Tiempo de contacto

Es la duración en la cual se lleva a cabo un proceso o el límite máximo que tiene que cumplir la adsorción de la biomasa residual para remover los metales presentes dentro del agua contaminada para que posteriormente sea apta para el consumo humano. El tiempo de reacción es un factor fundamental dentro del proceso de adsorción de metales pesados. La selección del tiempo de adsorción adecuado de metales pesados en el tratamiento de aguas contaminadas tiene algunos beneficios económicos. Se estudio el efecto del tiempo de contacto sobre la captación de iones de Mn (ll) y Fe (ll) en RHA y se determinó que el porcentaje de eliminación aumento hasta los 60 minutos después de ese tiempo no hubo un aumento considerable, después de 60 minutos la eficiencia de biosorción de Mn (ll) y Fe (ll) fue de 95 % y de 96% respectivamente y después de los 90 minutos fue del 96% y 97% respectivamente, por lo tanto el tiempo óptimo de contacto se enmarco en los 60 minutos para experimentos adicionales (Zhang, Zhao, Zhao , Shan, & Yan , 2014).

2.3.1.6. Temperatura

La temperatura es un parámetro que tiene una influencia significativa en el proceso de adsorción, ya que es capaz de variar la adsorción de un contaminante, ya que mientras existe un aumento en la temperatura la adsorción al igual adquiere un aumento significativo, la influencia de la temperatura sobre la biosorción depende del calor de adsorción. A la adsorción se lo considera como un proceso exotérmico por lo cual si el adsorbente no se encuentra saturado se produce de manera espontánea, existe una dependencia en cuanto a la acumulación del material y el equilibrio dinámico que se alcanza entre las tasas a la cual el material se absorbe y libera hacia la superficie y que van en dependencia principal de la temperatura (Loarte & Sanabria, 2015).

2.3.2. Biosorción

Es un proceso físico que incluye los fenómenos de adsorción y absorción de moléculas o iones. Este método poco convencional busca principalmente la remoción de metales pesados. El proceso de bioadsorción involucra una fase sólida (biomasa) y una fase liquida de (agua) (Tovar & Garces, 2014).

2.4. Biomasa muerta

Generalmente son residuos vegetales procedentes de proceso industriales o agrícolas y se pueden obtener gratuitamente a muy bajo costo (Campos, 2016).

2.4.1. Ceniza de cáscara de arroz

Se trata del residuo obtenido de la cascarilla del arroz una vez que se le ha realizado el proceso de combustión controlada, al mismo que se le puede dar un uso adicional que favorezca al recurso agua y al medio ambiente en general y que de igual manera se lo puede emplear en otros procesos como sustituyente parcial del cemento y como agregado fino en la fabricación de bloques no estructurales y bloques compactos (Mattey, Robayo, Díaz, Delvasto, & Monzó, 2015).

2.4.1.1. Remoción de manganeso mediante ceniza cáscara de arroz

Para la obtención de una mejor eficiencia en la eliminación de Fe (ll) y Mn (ll) a partir del desecho sólido ceniza de arroz se consideran factores importantes a tomar en cuenta como son pH, dosis del adsorbente, la concentración inicial del hierro y el tiempo de contacto para obtener la mayor eficiencia de remoción. Los resultados de la cinética de adsorción muestran que el modelo cinético de pseudo-segundo orden puede ajustarse mejor al proceso de adsorción de Fe (II) y Mn (II) (Jiang et al. 2016).

La manera más frecuente de lograr la remoción de metales pesados mediante biosorción es a través de un procedimiento de tanque agitado, de tal manera que sería factible eliminar el manganeso de esta manera mediante el uso de ceniza de cáscara de arroz. Los equipos a emplear son capaces de realizar movimientos de agitación y al mismo tiempo de mantener un ambiente controlado en la que bajo ciertas condiciones puedan desarrollarse procesos biológicos o químicos para la obtención de resultados deseados. Su función se encamina en poner en contacto el absorbente con el adsorbato en el recipiente que se someterá a agitación. Estos reactores son empleados en diferentes funciones dentro de los laboratorios, su

importancia radica en sus efectivas condiciones de agitación siempre y cuando la solución no se presente demasiado viscosa (Freire, 2018).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán se encuentra ubicada en el sector rural que lleva el mismo nombre, perteneciente a la parroquia Chiquintad, Ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay en las coordenadas WGS84: X= 723118 Y=9686744, a una altitud de 2692 m.s.n.m. (figura1-3) (Sánchez, 2020).

Su fuente de abastecimiento es el río Machángara que presenta una superficie de 1834.78 ha cuya cuenca de aporte tiene un caudal promedio anual de 2880 (l/s). El mismo que tiene su ingreso directo hacia la planta de Potabilización para su posterior tratamiento y beneficiar a los usuarios del cantón Cuenca (Piedra, 2017).



Figura 1-3. Mapa de la planta de agua potable de Tixán
Realizado por: José Morales

El análisis experimental se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Estatal Amazónica, en su sede CEIPA (Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica). ubicado en el Cantón Arosemena Tola de la Provincia de Napo, en el kilómetro 44 vía Puyo-Tena. El Centro de Investigación cuenta con una extensión de 2848,20 hectáreas,

su temperatura varía entre 15 a 25 ^{o}C al igual que su altitud entre 580 y 990 m.s.n.m. (figura 2-3).

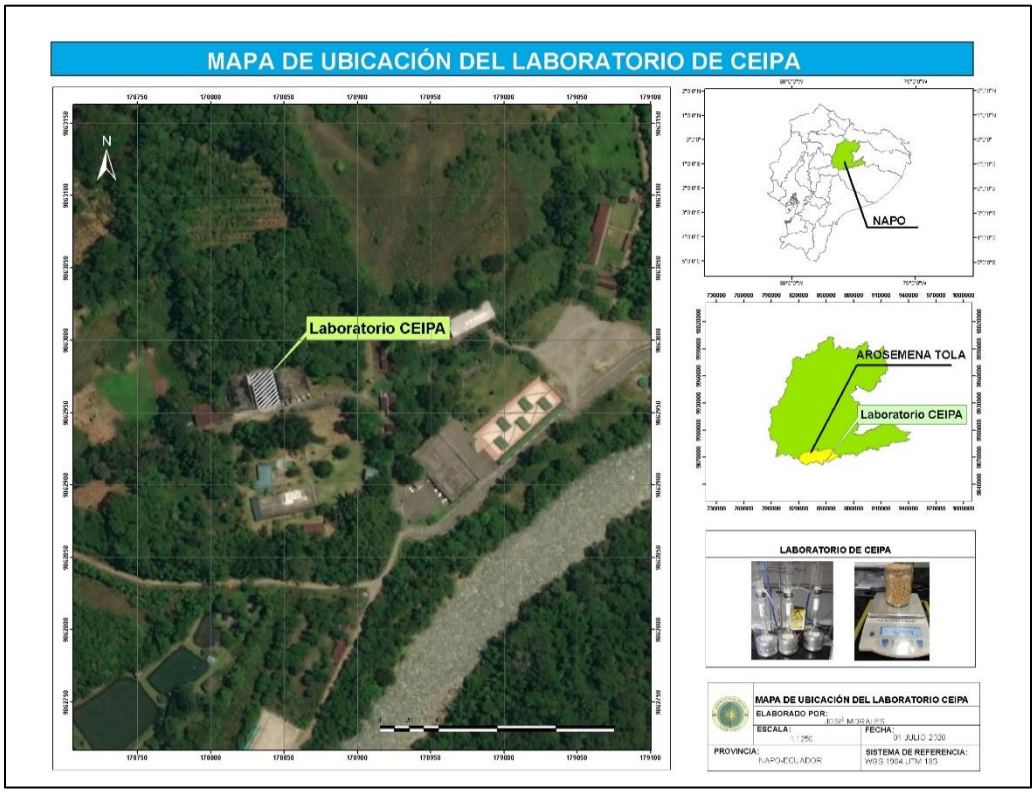


Figura 2-3. Mapa de ubicación del laboratorio de CEIPA
Realizado por: José Morales

3.2. Tipo de investigación

El tipo investigación se centró en el contexto exploratorio; en primer lugar, se realizó revisiones bibliográficas, sobre la base de la revisión documental de artículos científicos publicados en revistas de prestigio internacional, libros y repositorios de tesis. El proyecto se enfocó al método experimental con énfasis en el uso de laboratorio encaminado a lograr las condiciones más adecuadas para la remoción de manganeso del agua para potabilización utilizando ceniza de cáscara de arroz.

3.3. Método de la investigación

Se emplearon métodos cuantitativos que permitieron controlar las variables independientes; se realizaron cálculos numéricos para establecer modelos de comportamiento tanto en los estudios cinéticos como de equilibrio.

3.3.1. Análisis de las características físicas y químicas del residuo industrial ceniza de cáscara de arroz.

Para cumplir con el primer objetivo, y teniendo en cuenta que se parte de un material adsorbente ya caracterizado con anterioridad y utilizado para remover contaminantes orgánicos, se procedió a recopilar información bibliográfica acerca de las características físicas y químicas que hacen a este material un buen adsorbente. Inicialmente se describirán los análisis realizados por la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM).

3.3.2. Acondicionamiento de la biomasa residual (ceniza de cáscara de arroz).

La biomasa (ceniza de cáscara de arroz) que fue utilizada para el estudio de biosorción de manganeso en columna y tanque agitado se encuentra disponible como biomasa muerta, en el laboratorio para su respectivo análisis.

3.3.3. Análisis granulométrico de ceniza cáscara de arroz

Para la obtención de la distribución de tamaño de las partículas de la ceniza a emplear, se pasaron las partículas por una serie de mallas de diferentes tamaños de abertura denominada columna de tamices. Este parámetro sirve para medir el tamaño de partícula promedio de área superficial activa a partir del cual dependerá la capacidad de adsorción.

Se utilizaron 100 g de la ceniza, previamente secados, se colocaron en el tamiz de mayor tamaño de abertura para llevar a cabo el tamizado mediante columna de tamices de alta vibración. A partir de la masa retenida en cada tamiz, se definió el porcentaje que presenta cada fracción de tamaños en relación a la masa total tamizada (Tabla 3-3).

Tabla 3-3. *Juego de tamices normalizados (Humboldt) de análisis granulométrico.*

N° Tamiz	Diámetro de abertura (mm)	N° Tamiz	Diámetro de abertura (mm)
12	1,680	40	0,40
16	1,190	50	0,300
20	0,840	100	0,149
30	0,590	200	0,074

Realizado por: José Morales

3.3.4. Determinación del punto de carga cero (pHpc0) de ceniza de cáscara de arroz

Se refiere al valor de pH de una superficie de adsorbente cambia de signo de su carga eléctrica. Este parámetro es característico de cada adsorbente y sirve para explicar el mecanismo de biosorción, es decir, si el pH fuese inferior a 7, el medio ácido favorecería la

retención del metal por un mecanismo de fuerzas de Van der Waals, y por el contrario si fuese superior a 7 favorecería la retención de tipo interacciones polares o electrostáticas.

3.3.4. Estudio del proceso de biosorción en condiciones de tanque agitado

La ceniza de cáscara de arroz fue utilizada en el proceso de biosorción en condiciones de tanque agitado con el objetivo de obtener las capacidades de adsorción y los porcentajes de remoción de manganeso evaluando la eficacia de esta biomasa para remover manganeso.

3.3.4.1. Preparación de las soluciones a partir del patrón estándar de manganeso

A partir de este patrón se preparó una concentración de 100 mg/L tomando una alícuota de 10 mL del patrón estándar y se enrasó en un matraz aforado de 100 mL. Dicho patrón se utilizó para realizar más disoluciones y preparar soluciones con concentraciones de 5 mg/L de manganeso que es la concentración inicial para las pruebas de remoción en condiciones de tanque agitado.

3.3.4.2. Condiciones para el proceso de adsorción en tanque agitado

Para todos los experimentos programados se siguieron los siguientes pasos en general, que se detalla a continuación:

1. Pesar la cantidad de biomasa requerida en un crisol.

2. Agregar la biomasa en un Erlenmeyer de 250 mL.

3. Adicionar 50 mL de solución de manganeso.

4. Colocar la muestra en el equipo agitador

5. Ajustar en el equipo, el tiempo de agitación, temperatura y velocidad de agitación posteriormente arrancar el proceso.

6. Una vez concluido el proceso de agitación, el contenido se filtró a partir de papel filtro.

7. El filtrado se recolectó en envases de vidrio para posteriormente determinar su concentración final a partir del método de absorción atómica en el laboratorio de la Universidad Estatal Amazónica en su sede CEIPA (Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica).

3.3.4.3. Estudio de dosificación de biomasa

Se realizó un estudio de dosificación de biomasa para determinar la cantidad necesaria de adsorbente a utilizar para la remoción del manganeso en función de la capacidad de adsorción.

3.3.4.4. Determinación del pH de máxima adsorción de manganeso en agua sobre ceniza de cáscara de arroz

Como es conocido, valores de pH básicos conducen a formar hidróxidos insolubles de manganeso, lo cual no resulta conveniente porque habría que introducir una operación de filtración adicional y la remoción no se lograría a través de un proceso de biosorción. Por otra parte, si se tuviera que alcalinizar el medio se necesitaría posteriormente una etapa de neutralización del agua para potabilización. Este proceso químico sería muy parecido al que se está utilizando actualmente en la planta potabilizadora de Tixán con el permanganato de potasio, a través del cual se generan óxidos insolubles que después sería necesario filtrar.

Para cumplir con este objetivo se ajustará el pH del agua en valores desde 2 hasta máximo 9 y se determinará la capacidad de adsorción de manganeso para cantidades prefijadas de ceniza de cáscara de arroz y volumen de disolución, en dependencia del valor de pH, en condiciones estáticas de tanque agitado, por un tiempo preestablecido. Todas las muestras fueron posteriormente analizadas a partir de la lectura por absorción atómica.

Para determinar la influencia de estos parámetros en el proceso de adsorción se calculó la capacidad de adsorción (q_e) que tiene la biomasa sobre el Mn (ll) y el porcentaje de remoción que se alcanza (%R). Para cada estudio.

Para la capacidad de adsorción se calculó con la siguiente ecuación (Ouyang et al., 2019):

$$\boldsymbol{q_e} = \frac{(C_{0-C_e})V}{m}$$

Donde:

C_o = es la concentración inicial del manganeso (mg/L).

Ce = es la concentración de manganeso (ll) en el equilibrio o luego del proceso de adsorción (mg/L).

V = es el volumen de la solución utilizado (m/L).

m = cantidad de biomasa (g).

Para el cálculo del porcentaje de remoción se utilizó la siguiente ecuación (Ouyang et al., 2019):

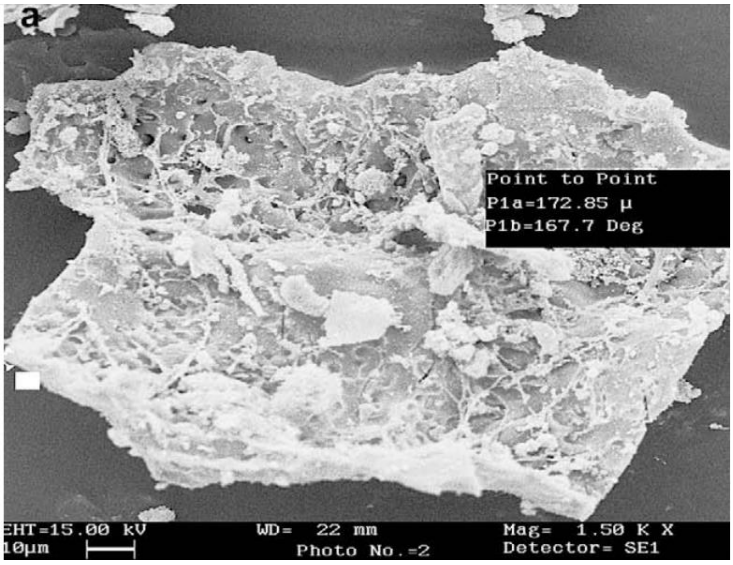
$$\%\mathbf{R} = \frac{C_{0-c_e}}{C_0} * 100$$

CAPÍTULO IV

4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis de las características físicas y químicas del residuo industrial ceniza de cáscara de arroz.

Mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM), se ha logrado observar la textura superficial y porosidad que presenta la ceniza cáscara de arroz como se muestra en la figura 3-4.



Figuran 3-4. Micrografía (SEM) de ceniza de cáscara de arroz
Fuente: (Lakshmi et al., 2009)

La ceniza de cáscara de arroz está compuesta en su mayor porcentaje de sílice lo que le confiere propiedades de buen absorbente y se obtiene a partir de la quema de la cáscara de arroz en la industria arrocera. Existen estudios donde se ha caracterizado la ceniza de cáscara de arroz en cuanto a sus propiedades químicas, en la tabla 4-4 se muestran algunas propiedades evaluadas.

Tabla 4-4. *Composición química de la ceniza de cáscara de arroz.*

Ceniza de cáscara de arroz	
Componente	**%**
Ceniza de Sílice (SiO_2)	94,1
Óxido de calcio (CaO)	0,55
Óxido de Magnesio (MgO)	0,95
Óxido de Potasio(K_2O)	2,10
Óxido de Sodio (Na_2O)	0,11
Sulfato	0,06

Cloro	0,05
Óxido de Titanio (TiO_2)	0,05
Óxido de Aluminio (Al_2O_3)	0,12
Otros componentes ($P_2P_5F_2O_3$)	1,82
Total	100

Fuente: (Varón, 2005)
Realizado por: José Morales

4.2. Estudio de distribución del tamaño de partícula

En la tabla 5-4 se observan los resultados obtenidos luego del tamizado de la ceniza de cáscara de arroz.

Tabla 5-4. *Tamizado de las cenizas de cáscara de arroz.*

Tamiz	Diámetro abertura (mm)	Peso retenido (g)
12	1,680	1,56
16	1,190	5,70
20	0,840	5,84
30	0,590	7,81
40	0,420	8,47
50	0,300	14,28
100	0,149	29,86
200	0,074	14,59
Base		7,70

Realizado por: José Morales

La distribución del tamaño de partícula se acerca a un comportamiento normal, lo cual garantiza una uniformidad del adsorbente (Figura 4-4).

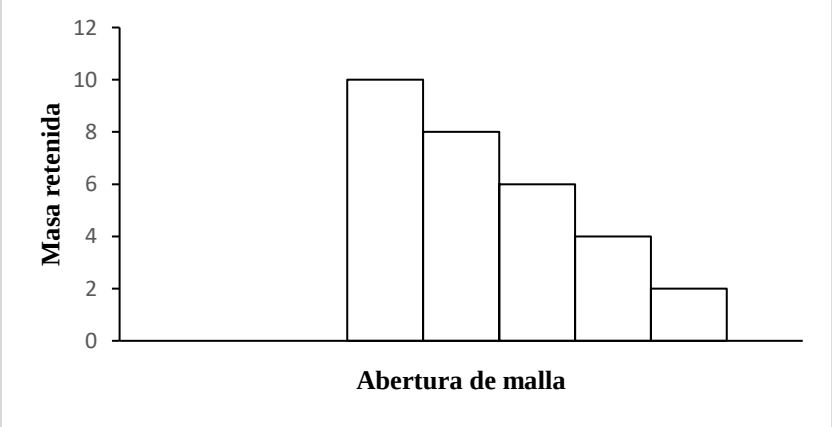


Figura 4-4. Histograma de frecuencia que muestra la distribución del tamaño de partículas de las cenizas empleadas en el estudio.
Realizado por: José Morales

De las características físicas más importantes que se obtienen en cuenta como punto de partida para optimizar la remoción es el tamaño de partículas promedio y la distribución del

tamaño de partículas por esto se procedió inicialmente hacer el estudio del tamizado. La mayor cantidad de adsorbente corresponde a polvo fino, lo cual garantiza una mayor superficie de contacto.

4.3. Determinación del pH de máxima adsorción de manganeso en agua sobre ceniza de cáscara de arroz

Esta determinación es sumamente importante para valorar el tipo de interacción que ocurre entre el adsorbato y el adsorbente. En la tabla 6-4 se observan los resultados numéricos.

Tabla 6-4. *Resultados de la determinación del punto de carga cero de las cenizas de cáscara de arroz.*

pH Inicial	pH Final	pH Final – pH Inicial
4	7,79	3,79
5	8,03	3,03
6	8,11	2,11
7	8,07	1,07
8	7,99	-0,01
9	8,08	-0,92
10	8,21	-1,79
11	8,54	-2,46

Realizado por: José Morales

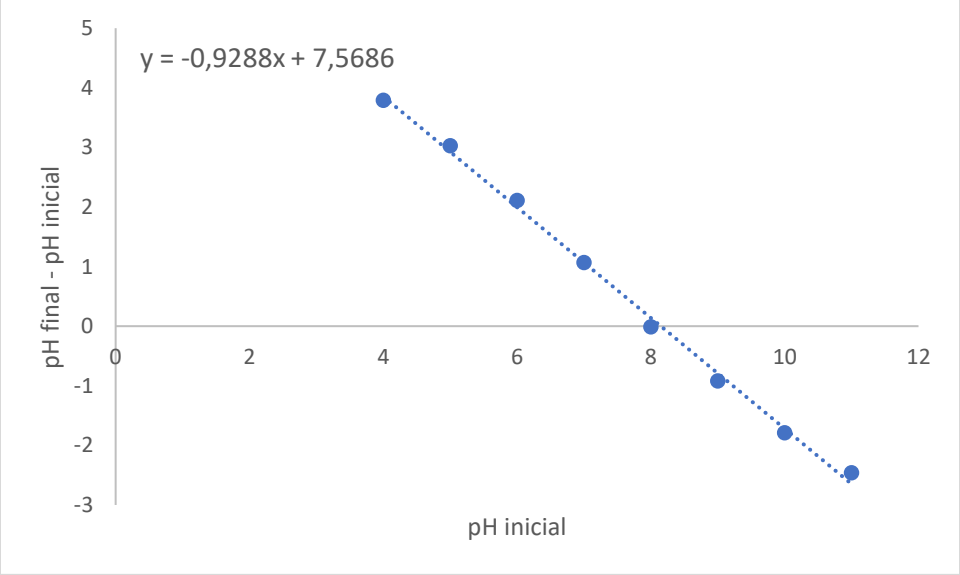


Figura 5-4. Determinación del pH de carga cero de la ceniza de cáscara de arroz
Realizado por: José Morales

El valor de pH de carga cero de la ceniza, teniendo en cuenta la ecuación del modelo matemático es 8,15, lo cual indica que la remoción estaría más favorecida a valores

superiores, siempre y cuando el manganeso esté en su forma de Mn^{2+}, pues la ceniza estará cargada negativamente y habrá una fuerte interacción electrostática.

4.4. Resultados de los estudios de adsorción en condiciones de tanque agitado

4.4.1. Efecto de la dosificación de biomasa

En la tabla 7-4 se muestran los resultados numéricos de la dosis de adsorbente, en relación a la concentración de manganeso, partiendo de 50 mL de disolución de 5 mg/L.

Tabla 7-4. *Estudio de la dosis de adsorbente para manganeso.*

Dosis adsorbente (g)	Concentración final ($mg.L^{-1}$)	Remoción (%)
0,025	0,59	88,2
0,05	0,79	84,2
0,25	0,95	81,0
0,5	1,24	75,2
0,75	1,32	73,6

Realizado por: José Morales

Como se puede observar en la tabla 3-5, con muy pequeña masa de ceniza de cáscara de arroz, dada la elevada capacidad de adsorción que presenta, se pueden obtener valores de remoción cercanos al 90%

4.4.2. Efecto del pH

El efecto pH fue investigado sobre la adsorción de Mn (ll) en ceniza de cáscara de arroz en un intervalo de pH de 2-10 durante 60 min. En la tabla 8-4 se muestran los resultados numéricos.

Tabla 8-4. *Comportamiento de adsorción en función del pH de la disolución de manganeso.*

pH Inicial	Concentración Final ($mg.L^{-1}$)	Remoción (%)
2	4,36	12,8
5	3,85	23,0
6	1,34	73,2
8	0,78	84,4
10	0,25	95,0

Realizado por: José Morales

Como se puede observar, a medida que aumenta el pH de la disolución, se encontró que el porcentaje de remoción se incrementó. La razón principal se debe a las actividades de repulsión y atracción electrostáticas entre las cargas positivas del Mn^{2+} y los grupos funcionales de la superficie de ceniza de cáscara de arroz, los cuales dependen fuertemente del pH. A pesar de que a pH 10 se obtuvieron los mejores resultados, es preferible trabajar a pH 8 para no tener que alcalinizar la muestra y que luego se tenga que incurrir en más gastos a la hora de neutralizar las aguas.

CONCLUSIONES

La ceniza de cáscara de arroz presenta excelentes características como adsorbente por tener una superficie porosa con gran desarrollo superficial y estar formada básicamente por sílice; la distribución del tamaño de partícula está fundamentalmente por debajo de los 0,300 mm lo que contribuye de manera significativa a la superficie de contacto y por ende a la capacidad de adsorción, por lo que posee un elevado potencial de utilización para la remoción de manganeso.

El pH de carga cero de la ceniza resultó ser 8,15; a pesar de que el valor de pH de máxima adsorción de manganeso en agua sobre ceniza de cáscara de arroz resultó ser 10, es recomendable utilizar un valor cercano a 8 por razones de factibilidad económica.

Las condiciones óptimas de operación en tanque agitado fueron: pH 8, tamaño de partículas de ceniza de cáscara de arroz <0.300 mm, cantidad de biomasa 0,25 g (5 g de ceniza de cáscara de arroz por cada litro de disolución de manganeso de concentración 5 mg/L) por un tiempo no superior a una hora.

RECOMENDACIONES

Utilizar la ceniza de cáscara de arroz como un adsorbente para la remoción de manganeso en la planta potabilizadora de Tixán y valorar el empleo alternativo de columnas de lecho fijo en lugar de tanque agitado, lo cual pudiera dar resultados satisfactorios, dada la capacidad de adsorción de manganeso que posee dicha biomasa.

REFERENCIAS

Arredondo García, J., Méndez Herrera, A., Medina Cortina, H., & Pimentel Hernández, C. (2017). Agua: la importancia de una ingesta adecuada en pediatría. *Acta Pediátrica de México*, *38*(2), 116–124. https://doi.org/10.18233/apm38no2pp116-1241363

Campos, D. B. (2016). *"Remoción de plomo y cadmio presente en aguas.* universidad de cuenca, facultada de ciencias quimicas, cuenca. Obtenido de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25710/1/Tesis.pdf

Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval Rojas, I. J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región*, *13*(1), 73–90. https://doi.org/10.25054/22161325.710

Chávez, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 35(2)*, 304-308.

Chica, E., & Chimborazo, S. (2020). *Control de calidad Física Química y Microbiológica del agua potable de la Comunidad Rural Sisid Anejo , Parroquia Ingapirca , Provincia del Cañar*.

Cuizano, N., & Navarro, A. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Real Sociedad Española de Química*, *104*(2), 120–125.

Escalona, L., Espitia, M., & García, L. (2009). Descripción y caracterización del sector agua potable en Venezuela. *Cayapa. Revista Venezolana de Economía Social, 9(18)*, 9-31.

FACSA. (2017). *Ciclo integral del agua.* Obtenido de https://www.facsa.com/metales-pesados/

Freire, P. S. (2018). *Remoción de paracetamol por Biosorción en tanque agitado usando cáscara de cacao y bagazo de caña de azúcar*.

Garcés, L. E., & Coavas, S. C. (2012). *evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara*

de naranja (Citrus sinensis) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales luz (Issue Noviembre).

Guadarrama, R., Kido, J., Roldan, G., & Salas, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, *2*(5), 1–10.

Herrera, M., & Dominguez, I. (2016). Remoción de Arsénico del Agua para Consumo Humano en Latinoamérica. In *Tecnologías convencionales* (Issue junio, pp. 1–61).

Higdon, J. (2001). *Oregon State University*. Obtenido de https://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/manganeso

Instituto Ecuatoriano de Normalización, N. T. E. (2006). Agua potable. requisistos. *Nte Inen 1 108:2006-03*, 10.

Jiang, Z., Cao, B., Su, G., Lu, Y., Zhao, J., Shan, D., . . . Zhang, Y. (2016). Comparison on the Surface Structure Properties along with Fe(II) and Mn(II) Removal Characteristics of Rice Husk Ash, Inactive Saccharomyces cerevisiae Powder, and Rice Husk. *BioMed Research International*, 1-9.

Loarte, A. D., & Sanabria, V. R. (2015). *¨Efecto Del pH y tipo de adsorbente en la remoción de manganeso de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros ¨*.

López, E. P. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 3-14.

Martínez Valdés, Y., & Villalejo García, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos The integrated water resources management: a nowadays need. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, *XXXIX*(1), 58–72.

Mattey, P., Robayo, R., Díaz, J., Delvasto, S., & Monzó, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 35(2)*, 285-294.

Milatovic, D., & Gupta, R. (2018). Manganese. *Veterinary Toxicology*, 445-454.

Ningning, L., Jiaying, Z., Zhao, J., Bo, C., Lu, Y., Shan, D., & Zhang, Y. (2016). Continuous manganese (II) ions removal from aqueous solutions using rice husk ash-packed column reactor. *Desalination and Water Treatment, 57(46),* 21916-21924.

OMS. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano.* Ginebra: Who Graphics, Suiza.

Ouyang, D., Zhuo, Y., Hu, L., Zeng, Q., Hu, Y., & He, Z. (2019). Research on the adsorption behavior of heavy metal ions by porous material prepared with silicate tailings. *Minerals*, *9*(5), 1–16. https://doi.org/10.3390/min9050291

Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, *14*(27), 9–18.

Piedra, A. (2017). *Estudio Ambiental (ExPost) del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para la ciudad de Cuenca en su etapa de Operación y Manteniiento*.

Sánchez, C. (2020). *Estudio de la remoción de manganeso y hierro en el módulo II de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán*.

Tovar, T., & Garces, A. V. (26 de octubre de 2014). adsorcion de metales pesados en agua usando materiales de origen biologico. *tecnologicas*, 112. Obtenido de file:///C:/Users/toshiba/Downloads/Dialnet-AdsorcionDeMetalesPesadosEnAguasResidualesUsandoMa-5062883.pdf

Valencia, C. E. (2014). quimica de hierro y manganeso en el agua, metodos de remoción. 27. Obtenido de https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/754/1/ti881.pdf

Zhang, Y., Zhao, J., Zhao , J., Shan, D., & Yan , L. (2014). Biosorption of Fe(II) and Mn(II) Ions from Aqueous Solution by Rice Husk Ash. *BioMed Research International*, 1-10.