UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Denominación del Título a obtener:

INGENIRO AMBIENTAL

TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

"PROPUESTA DE REMOCIÓN DE MANGANESO EN AGUAS DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE TIXÁN, MEDIANTE BIOSORCIÓN CON BAGAZO DE CAÑA, CÁSCARA DE CACAO Y ASERRÍN".

AUTORES:

JESSICA PAOLA LLIGUICOTA GUARQUILA

LUIS ANTONIO SIMBAINA SIMBAINA

DIRECTOR:

Dr. LUIS RAMÓN BRAVO SÁNCHEZ

PASTAZA– ECUADOR

2020

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben Lliguicota Guarquila Jessica Paola con C.I. 1400622161 y Simbaina Simbaina Luis Antonio con C.I. 0302509666, hacen constar que son los autores del Proyecto de Investigación de Integración Curricular titulado: "Propuesta de remoción de Manganeso en aguas de la Planta de Potabilización de Tixán, mediante biosorción con bagazo de caña, cascara de cacao y aserrín", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor de dicho trabajo, Dr. Luis Ramón Bravo Sánchez. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos intelectuales de otros autores se han referenciado debido en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 22 días del mes de septiembre del 2020.



Lliguicota Guarquila Jessica Paola

C.I. 14006221161



Simbaina Simbaina Luis Antonio

C.I. 0302509666

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: "**PROPUESTA DE REMOCIÓN DE MANGANESO EN AGUAS DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE TIXÁN, MEDIANTE BIOSORCIÓN CON BAGAZO DE CAÑA, CÁSCARA DE CACAO Y ASERRÍN"**



_____

Dr. Reinier Abreu

Presidente del Tribunal

_____

M.Sc. Ledesma Rubén

Miembro del Tribunal

_____

M.Sc. Peñafiel Pedro

Miembro del Tribunal

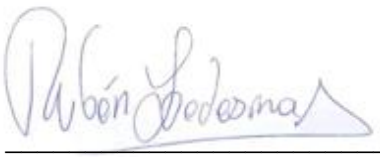
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "**PROPUESTA DE REMOCIÓN DE MANGANESO EN AGUAS DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE TIXÁN, MEDIANTE BIOSORCIÓN CON BAGAZO DE CAÑA, CÁSCARA DE CACAO Y ASERRÍN"**

_____

Dr. Reinier Abreu

Presidente del Tribunal



_____

M.Sc. Ledesma Rubén

Miembro del Tribunal

_____

M.Sc. Peñafiel Pedro

Miembro del Tribunal

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: "**PROPUESTA DE REMOCIÓN DE MANGANESO EN AGUAS DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE TIXÁN, MEDIANTE BIOSORCIÓN CON BAGAZO DE CAÑA, CÁSCARA DE CACAO Y ASERRÍN**"

Dr. Reinier Abreu

Presidente del Tribunal

M.Sc. Ledesma Rubén

Miembro del Tribunal



M.Sc. Peñafiel Pedro

Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA

ANTI PLAGIO

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Oficio No. 245-SAU-UEA-2020
Puyo, 10 de septiembre de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a los egresados LLIGUICOTA GUARQUILA JESSICA PAOLA con C.I. 14006221161 y SIMBAINA SIMBAINA LUIS ANTONIO con C.I. 0302509666, con el Tema: **"Propuesta de Remoción de Manganeso en Aguas de La Planta de Potabilización de Tixán, Mediante Biosorción con Bagazo de Caña, Cáscara de Cacao y Aserrín"**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director del proyecto Dr. Luis Ramón Bravo Sánchez PhD., ha sido revisado mediante el sistema anti plagió URKUND, reportando una similitud del 1%, Informe generado con fecha 10 de septiembre de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente.

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M .Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

AGRADECIMIENTOS

Al culminar esta etapa de mi vida quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a varias personas que contribuido en mi formación personal como profesional que han brindado su apoyo incondicional.

Quiero expresar mi infinita gratitud a Dios por ser mi motor de vida, guiarme y caminar junto a mí en todo el camino trascurrido, levantándome en cada obstáculo o dificultad, bridándome amor, sabiduría y misericordia, sobre todo llenando mi existencia de felicidad.

Agradezco a mis padres por bridarme una vida llena de amor, comprensión y valores; por el sacrificio que realizaron día a día por darme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria. A mis hermanos que aportan a mi vida alegrías, tristezas y amor incondicional.

A mi querida Universidad Estatal Amazónica, que me vio creer como persona, abriendo las puertas de aprendizaje y de la amistad verdadera. A mis queridos docentes que compartieron en las aulas sus conocimientos y experiencias, aquellos que nos decían que no debemos ser profesionales de cartón, sino de vocación y corazón. Agradezco al Dr. Luis Bravo por su paciencia, guía y dedicatoria en cada fase del trabajo de titulación.

A mis amigas y amigos, sobre todo a una persona especial a Luis Simbaina por todas las tareas, comidas y paseos que realizamos juntos, haciendo que mi vida universitaria sea más divertida y llenándome de tantos recuerdos inolvidables.

Jessica Paola Lliguicota Guarquila

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición guía mi camino y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer, a mi madre quien ha sido padre y madre a la vez donde a pesar de la perdida de mi padre ha sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez.

También quiero agradecer a la Universidad Estatal Amazónica, directivos y profesores, de igual manera a mis compañeros: Carlos Ilibay, Bryan González y Ricardo Muñoz quienes durante este proceso de estudio demostraron su gratitud, confianza y una amistad sincera.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a, Jessica Paola Lliguicota Guarquila, quien con su humildad y bondad siempre estaba allí en las buenas y malas brindándome su apoyo incondicional.

Luis Antonio Simbaina Simbaina

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres Oscar Hugo Lliguicota y Rosa Margarita Guarquila, quienes son mi motor de vida, donde me enseñado con su lucha diaria y sacrificio a no rendirme en medio de las dificultades cumpliendo cada uno de mis metas propuestas.

A mis hermanos Jaime Lliguicota y Oscar Lliguicota por apoyarme en el trascurso de mi vida, por cada clase privada y cada palabra de aliento que me brindaron fuerzas y optimismo; por aquellos momentos inolvidables que llena mi vida de dicha y felicidad.

Jessica Paola Lliguicota Guarquila

El presente trabajo investigativo le dedico principalmente a Dios, por otorgarme salud y vida y por darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi madre María Rosa Simbaina, por su apoyo, su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a usted he logrado llegar hasta aquí. Usted es mi orgullo y mi motor mi ejemplo de vida a seguir.

A mi hermana que, a pesar de su enfermedad, tubo las fuerzas para estar siempre presente, acompañándonos y por el apoyo moral, que me brindo hasta el último día de vida, y ahora que está en el cielo quiero que sepa que no le defraude he cumplido mi meta en su nombre.

A mis hermanos Eliseo Simbaina, Jhon Simbaina, Vinicio Guamán Simbaina, por sus motivaciones, apoyo y confianza depositadas en mí. han hecho que el trabajo se realice con éxito.

Luis Antonio Simbaina Simbaina

RESUMEN

Se propuso una metodología para un tratamiento no convencional de bajo costo y amigable con el ambiente, que permitirá disminuir la concentración de manganeso (II) en las aguas de la planta de potabilización de Tixán. En primer lugar, se analizó la capacidad de remoción de manganeso (II), teniendo en cuenta la mayor capacidad de adsorción de metales pesados mediante biomasa residual, concretamente: bagazo de caña de azúcar, cáscara de cacao y aserrín de zapote, de origen amazónico. Se evaluaron los factores más comunes que dificultan el proceso biosorción, como son: el tamaño de partícula de la biomasa residual, el pH del agua y la cantidad de adsorbente que se utiliza dentro de un sistema de tanque agitado. Se consideró el método discontinuo (tanque agitando) como una alternativa no convencional amigable con el ambiente, siendo altamente eficiente y eficaz, con un bajo costo de operación y mantenimiento. Se determinó que los modelos de equilibrio más estudiados en estos casos son los de Langmuir y Freundlich, y se comprendió que, mediante el modelo de Freundlich, se puede obtener la mayor eficiencia del biosorbente ya que absorbe los iones metálicos mediante multicapas. Los modelos cinéticos más frecuentemente encontrados son pseudo primer orden, pseudo segundo orden y de difusión intrapartícula; se consideró que el modelo de difusión intrapartícula es importante porque permite explicar la capacidad de absorber los iones metálicos mediante de los poros de la biomasa residual (biosorbente).

PALABRAS CLAVE: agua potable, biomasa residual, remoción de metales pesados

ABSTRACT

A low-cost and environmentally friendly non-conventional treatment technology was proposed, which will allow reducing the concentration of manganese (II) in the waters of the Tixán purification plant. In the first place, the manganese (II) removal capacity was analyzed, taking into account the greater capacity for adsorption of heavy metals through residual biomass, specifically: sugarcane bagasse, cocoa shell and sapote sawdust, of Amazonian origin. The most common factors that hinder the biosorption process were evaluated, such as: the particle size of the residual biomass, the pH of the water and the amount of adsorbent used within a stirred tank system. The discontinuous method (shaking tank) was considered as an environmentally friendly non-conventional alternative, being highly efficient and effective, with a low cost of operation and maintenance. It was determined that the most studied equilibrium models in these cases are those of Langmuir and Freundlich, and it was understood that, by means of the Freundlich model, the highest efficiency of the biosorbent can be obtained since it absorbs the metal ions through multilayers. The most frequently encountered kinetic models are pseudo first order, pseudo second order and intraparticle diffusion. The intraparticle diffusion model was considered important because it explains the ability to absorb metal ions through the pores of the residual biomass (biosorbent).

KEY WORDS: drinking water, residual biomass, heavy metal removal

TABLA DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS i

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN..... ii

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO v

AGRADECIMIENTOS vi

DEDICATORIA..... viii

ABSTRACT xi

CAPÍTULO I.....1

1. INTRODUCCIÓN.....1

1.1. Planteamiento del Problema 2

1.2. Objetivos 4

1.2.1. Objetivo General 4

1.2.2. Objetivos específicos.....4

1.3. Justificación.....4

CAPÍTULO II 6

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 6

2.1. Metales pesados 6

2.1.1. Manganeso.....6

2.2. Procesos convencionales para el tratamiento de efluentes que contienen metales pesados 7

2.3. Procesos no convencionales para el tratamiento de efluentes que contienen metales pesados 8

2.4. Biosorción.....8

2.4.1. Biosorbentes 8

2.4.2. Composición química del bagazo de *Saccharum officinarum* L. (caña de azúcar).....9

2.4.3. Composición química de la cáscara de *Theobroma cacao* L. (cacao)..... 9
2.4.4. Composición química del aserrín de *Matisia cordata* Bonpl (zapote). 10
2.5. Procesos de biosorción 11
2.5.1. Tipos de Procesos 11
2.6. Mecanismos implicados en la biosorción de metales pesados..... 12
2.7. Factores que afectan la biosorción 12
2.8. Modelo de tanque agitado..... 12
2.9. Modelo de columna de lecho fijo..... 13
2.10. Modelación de equilibrio y cinético de la biosorción 13
2.10.1. Modelos de equilibrio de biosorción 13
2.10.2. Modelos cinéticos de biosorción..... 15
2.11. Alternativas de reutilización de los desechos generados en el proceso de biosorción en columnas. 17
CAPÍTULO III 18
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 18
3.1. Localización 18
3.2. Tipo de Investigación..... 19
3.3. Métodos de investigación 19
3.3.1. Análisis de las características físicas y químicas de los residuos industriales: bagazo de caña, cáscara de cacao y aserrín como posibles biosorbentes..... 19
3.3.2. Determinación los parámetros que afectan el proceso de biosorción de la biomasa muerta. 27
3.3.3. Determinación la tecnología de tratamiento adecuada para disminuir la concentración de manganeso (Mn) en las aguas de la Planta de Potabilización de Tixán. 27
3.3.4. Modelos de equilibrio y cinéticos necesarios para determinar la eficiencia de cada biosorbente. 28
Modelo de Langmuir 28
Modelo de Freundlich..... 29
Modelo de pseudo primer orden..... 29

Modelo de pseudo segundo orden 30

Modelo de modelo difusión intrapartícula 30

CAPÍTULO IV 31

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS 31

4.1. Análisis de las características físicas y químicas de los residuos industriales: bagazo de caña, cáscara de cacao y aserrín como posibles biosorbentes. 31

4.2. Determinación de los parámetros que afectan el proceso de biosorción de la biomasa muerta. 33

4.3. Determinación de la tecnología de tratamiento adecuada para disminuir la concentración de manganeso (II) en las aguas de la Planta de Potabilización de Tixán. 34

4.4. Propuesta de los métodos o modelos de equilibrio y cinéticos necesarios para determinar la eficiencia de cada biosorbente. 35

CAPÍTULO V 37

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 37

5.2. RECOMENDACIONES 38

6. REFERENCIAS 39

ÍNDICE DE TABLAS

N° **DESCRIPCIÓN** **PÁG.**

Tabla 1: Composición química del bagazo de Saccharum officinarum L. (caña de azúcar). ... 9
Tabla 2: Composición química de la cáscara de Theobroma cacao L. (cacao) (g/kg de cáscara seca). ... 9
Tabla 3: Composición química de la madera y corteza de la especie Matisia cordata Bonpl. (Zapote) ... 10
Tabla 4: Modelos de equilibrio de biosorción ... 13
Tabla 5: Modelos cinéticos de biosorción ... 16

ÍNDICE DE FIGURAS

N° **DESCRIPCIÓN** **PÁG.**

Figura 1: Isoterma Lineal ... 13
Figura 2: Isoterma de Langmuir ... 14
Figura 3: Isoterma de Freundlich ... 14
Figura 4: Isoterma de Sips ... 15
Figura 5: Modelo de pseudo primer orden ... 16
Figura 6: Modelo de pseudo segundo orden ... 16
Figura 7: Modelo de Elovich ... 16
Figura 8: Ubicación Geográfica de la Planta de Potabilización Tixán ... 18
Figura 9: Proceso para obtener el biosorbente a partir del bagazo de caña ... 20
Figura 10: Proceso para obtener el biosorbente a partir de la cáscara de cacao ... 21
Figura 11: Proceso para obtener el biosorbente a partir del aserrín de Zapote ... 23
Figura 12: Parámetros físico-químicos a determinar ... 24
Figura 13: Prototipo de realizador por baño termoestatizado, un agitador magnético y un pH-metro ... 35

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El agua es una fuente de vital importancia para la vida de los ecosistemas terrestres y acuáticos, por esta razón que se debe conservar y preservar. Todos los seres humanos deben contar con un suministro de agua, para mejorar su calidad de vida y prolongar su existencia. La (ONU, 2015) manifiesta que existen elevadas concentraciones de metales pesados en el agua de consumo y alimentos, causando un impacto significativo a la salud de las personas, debido a su elevada toxicidad mediante exposición prolongada o bioacumulación.

En la actualidad uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial es la contaminación del agua por la presencia de metales pesados, que se ocasiona a partir de fuentes naturales o antrópicas, la cual afecta drásticamente a los ecosistemas, la seguridad alimentaria y la salud de los seres vivos, debido a su elevada toxicidad (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016).

Las actividades antropogénicas evidencian claramente que los humanos son los que originan la presencia de los metales pesados en la mayoría de cuerpos de aguas. Los sectores que más afectan los recursos hídricos son; la minería, la agricultura, las industrias en general y la urbanización. En los últimos años, en todos los países sudamericanos estas actividades crecen a pasos agigantados, donde se ha evidenciado el aumento de residuos sólidos y líquidos, haciendo que se incremente la concentración de iones metálicos en los ecosistemas terrestres y acuáticos (Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodríguez, & Sandoval, 2015).

Para la remoción de metales pesados, existen varias tecnologías modernas como: precipitación, intercambio iónico, ósmosis inversa, etc., sin embargo, existen desventajas como: altos costos de equipos e instalación, y a su vez la difícil manipulación. Actualmente, la biosorción emerge como un método alternativo, en el que se usan materiales que provienen de recursos renovables o son desechos industriales, siendo una técnica muy eficaz para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados (Cuizano & Nacarro, 2008).

La presente investigación se basa en el proyecto CEPRA “Evaluación de Tecnologías Ambientalmente Sostenibles para la Remoción de Manganeso del Agua de Captación para

Potabilización" y responde al Convenio entre la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia (CEDIA), la Universidad Estatal de Cuenca, la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca y la Universidad Estatal Amazónica, la cual tiene como uno de sus objetivos: Evaluar las tecnologías de biosorción para la remoción de manganeso con biomasa residual que se encuentre disponible dentro de la región de las universidades participantes, motivo por el cual se estudiarán biosorbentes amazónicos para solucionar un problema que surgió originalmente en la provincia del Azuay.

1.1. Planteamiento del Problema

En Ecuador el tema de la remoción de metales pesados en aguas mediante biosorción con biomasa residual es aún incipiente, debido a que el país no se cuenta con técnicas ni conocimientos suficientes sobre este tema, sin embargo, la contaminación del agua, considerada como un problema ambiental a nivel mundial, va en aumento. Es esta una de las razones por la que las autoridades locales tratan de manera constante la eliminación de la contaminación de las fuentes de agua potable que contienen ciertos metales pesados; además, los desechos agroindustriales son parte del problema principalmente de las industrias alimentarias, mineras y madereras, debido que desechan sus efluentes en cuerpos de agua, aire y suelo (Llive, 2020).
Según estadísticas que aporta la Secretaría de Agua (SENAGUA), Ecuador es de los países más ricos en RRHH de Sudamérica, ya que produce el 43500 m^3/h/año (2.5 mayor que el promedio mundial), el 7,5 de cada diez ecuatorianos tienen acceso al agua potable, donde las áreas urbanas se abastecen de fuentes superficiales mientras que las áreas rurales de fuentes subterráneas; además, se estima que el agua en más del 70% de las cuencas hidrográficas por debajo de la cota 2.800 msnm no es apta para consumo humano directo, debido a la contaminación por microorganismos patógenos por presencia de substancias tóxicas, por contaminación con desechos sólidos, por presencia de hidrocarburos, entre otras sustancias, así mismo manifiesta que el 80% de las empresas industriales, agroindustriales, de comercio y servicios, que generan aguas residuales de procesos con alta carga orgánica y muchas veces con sustancias tóxicas, no las depuran y las descargan directamente a las redes de alcantarillado público o directamente a los cauces fluviales o marítimos. (Sánchez Miño, 2014). Para (Rodríguez, Flores, Rangel, Cubillán, & Argotte, 2015).

Dentro de los metales pesados el manganeso (Mn), es usado en la producción de acero, baterías, cerámica, pesticidas, fertilizantes y como aditivo de la gasolina (tricarbonilo metilciclopentadienilo de manganeso). Este metal se puede hallar en aguas naturales como Mn (II), teniendo una forma más reducida y soluble; también se encuentra gradualmente oxidado a la forma insoluble como MnO_2 generando problemas en los ecosistemas acuíferos y terrestres; así mismo afectando la salud de la población.

Según (Rodríguez, Cascaret, Lobaina, Pérez, & La Rosa, 2019) en los últimos años se han utilizado tecnologías modernas no convencionales para eliminar o reducir los metales pesados presentes en las fuentes acuíferas, como la biosorción, la biofiltración y la biorremediación; donde la más utilizada es la biosorción, ya que muchos biosorbentes son de bajo costo en adquisición, instalación, operación y mantenimiento y han resultado ser, según estudios de laboratorio, eficientes en presencia de pequeñas cantidades de metales pesados.

El cantón Cuenca presenta actualmente un aumento de población, en un estimado de 505.585 habitantes desde el último censo del año 2010 (INEC, 2010). Por consiguiente, ha aumentado la demanda del consumo del agua potable, donde la Planta de Potabilización de Tixán abastece al 40% de la población del cantón cuenca; el agua de captación proviene del Río Yanuncay la cual posee alto contenido de manganeso debido a los continuos deslizamientos de tierra, que ocurren de forma natural, dificultando su tratamiento durante la potabilización. Por lo tanto, diferentes equipos de la planta como: filtros de arena, tuberías de conducción y redes de distribución producen problemas continuos por incrustaciones, generando una capa que se adhiere a las distintas superficies, favoreciendo la proliferación de bacterias, donde por ausencia de oxígeno provocan la reducción de sulfatos en sulfuros los que al fusionarse con el manganeso y el hierro crean compuestos olorosos contribuyendo a problemas de sabor, color oscuro y por tanto un aumento de la demanda de cloro u otros oxidantes aplicados en la desinfección. Esto hace que se requiera de paradas continuas para su limpieza, lo cual encarece el proceso, además de continuos reclamos de la población.

Para solucionar esta problemática se pretende aplicar tecnologías como la biosorción para eliminar la alta concentración de metales, colorantes, compuestos orgánicos, etc., (CEPRA, 2020).

Debido a los antecedentes planteados se plantea la siguiente pregunta problémica: ¿Es posible la remoción de manganeso de las aguas de la Planta de Potabilización de Tixán utilizando como biosorbentes bagazo de caña, cáscara de cacao y aserrín?

De esta manera se pueden aprovechar los residuos agroindustriales y al mismo tiempo disminuir la concentración del manganeso de las aguas con una alta eficiencia y un bajo costo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Proponer una tecnología de tratamiento no convencional para disminuir la concentración de manganeso presente en las aguas de la planta de potabilización de Tixán, mediante biosorción con bagazo de caña, cáscara de cacao y aserrín.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Analizar las características físicas y químicas de los residuos industriales: bagazo de caña, cáscara de cacao y aserrín como posibles biosorbentes.
2. Conocer los parámetros que afectan el proceso de biosorción de la biomasa muerta.
3. Determinar la tecnología de tratamiento adecuada, utilizando biosorción, para disminuir la concentración de manganeso (Mn) en las aguas de la Planta de Potabilización de Tixán.
4. Plantear los métodos o modelos de equilibrio y cinéticos necesarios para determinar la eficiencia de cada biosorbente.

1.3. Justificación

Los residuos de la industria de alimentos: bagazo de caña de azúcar, cáscara de cacao y de la industria forestal o maderera: aserrín de zapote, son considerados altamente contaminantes para el ambiente, ya que son arrojados en la intemperie contribuyendo a propagación de plagas y enfermedades, siendo agentes contaminantes del suelo y el agua.

Es por ello que una posible solución a la utilización de estos residuos es su empleo como biosorbentes de metales pesados en tratamientos no convencionales como la biosorción para la remediación de efluentes, debido que estos materiales naturales poseen la capacidad de atraer iones metálicos presentes en las aguas. Además, son de bajo costo y a través de ellos se puede obtener una alta eficiencia de remoción de metales pesados.

Esta investigación es de gran importancia debido que existen cantidades excesivas de manganeso en las aguas de la ETAP de Tixán, siendo la fuente de abastecimiento de agua el río

Yanuncay, el cual está destinado a proporcionar un caudal de 1.940 litros por segundo hasta el 2045, beneficiando a más de 365.313 personas actualmente (Cuenca, 2020).

Es por ello la necesidad de buscar alternativas para eliminar el manganeso y se consideró que la alternativa más factible y económica para este caso es la biosorción mediante un sistema discontinuo utilizando un tanque agitado, que ayudará a que se cumpla con los parámetros establecidos en la norma INEN 1108.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos propios de la naturaleza, con alta densidad (mayor a 4 g/cm^3) y son nocivos en concentraciones bajas (Garcia, Muñoz, & Franco, 2016). Algunos ejemplos de metales pesados son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn) (Feria, González, & Magurro, 2010).

De acuerdo a una serie de investigaciones realizadas y publicadas en revistas científicas, se ha determinado que algunos de estos elementos son esenciales para diferentes formas de vida (Garcia, Muñoz, & Franco, 2016). En algunos estudios se ha descrito que su falta o exceso trae consigo afectaciones a la vida, por ejemplo, un organismo vivo requiere de ciertos elementos como: hierro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc. Algunos elementos, en cambio, no cumplen una función fisiológica conocida, sino que alteran la salud y por esta razón es conveniente evitarlos en lo posible (Karna, 2013).

2.1.1. Manganeso

El manganeso es un elemento químico, de símbolo Mn, con número atómico 25 masa atómica 54.938. Se encuentra en algunos alimentos como: las nueces, semillas, legumbres y cereales. Según la revisión de algunas bibliografías se determina que este elemento también se encuentra de manera natural en la corteza terrestre en forma de mineral (Gahn, 2010). También se describe que el Mn, es un micro mineral esencial que está distribuido en algunos vegetales y la función que cumple es la de regular mecanismos a nivel celular (Ruíz, 2010).

2.1.1.1. Efectos en el ambiente

Según (Casierra & Poveda, 2005) manifiestan que las concentraciones de partículas de Mn aumentan considerablemente debido a la actividad antropogénica, como la minería metálica, el uso de fungicidas, la quema de productos, etc. Este metal cambia de forma o se adhiere a partículas, es decir que no se puede degradar en ambiente; es por ello que se encuentra presente en el suelo, aire y agua. La contaminación por este metal tanto en el suelo como en el agua, es

por el uso frecuente de fungicidas dañando así la estructura y composición de las mismas, presentando altas concentraciones del contaminante en la agricultura. Además, provoca que la especie vegetal al desarrollarse sufra de alteraciones fisiológicas y en algunos casos que la muerte de la misma, por el alto grado de toxicidad del metal (Mn). Por otra parte, este Metal contaminante se localiza en la atmosfera, debido a las actividades industriales y a la quema de productos fósiles, formándose o adhiriéndose en partículas de polvo, donde afecta principalmente la salud humana y animal (Gómez & Sotés, 2014). Finalmente, la alta concentración del Manganeso en agua afecta negativamente a los ecosistemas acuíferos desequilibrando y dañando su estructura, así mismo la salud de plantas, animales y personas. Se puede encontrar una alta contaminación por este metal en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales (Patlolla, Tchounwou, Sutton, & Yedjou, 2014).

2.1.1.2. Efectos en la salud

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) las alteraciones en la salud, así como sus signos y síntomas en el organismo se relacionan con las cantidades de Mn que posiblemente adquirió la persona que estuvo en contacto con este metal, el tiempo de exposición y con la vía de entrada del mismo. En una exposición crónica se ha observado anemia, disfunción renal, cálculos renales, osteoporosis, osteomalacia, trastornos respiratorios, hipertensión, trastornos nerviosos (alteración del sueño, tremores, sudoración, contracciones musculares involuntarias), pérdida de peso y apetito, cáncer de próstata y pulmón (OMS, 2015).

2.2. Procesos convencionales para el tratamiento de efluentes que contienen metales pesados

Según (Gunatilake, 2015) se establecen diferentes métodos para la remoción de metales pesados en efluentes, los cuales están dentro del proceso de eliminación físico-químico como: intercambio iónico, filtración por membranas, electrodiálisis, ósmosis inversa y fotocatálisis. Estos tratamientos son en ocasiones ineficientes en pequeñas cantidades de metales pesados y además exigen mayores costos operacionales (Pinzón-Bedoya, 2008).

2.3. Procesos no convencionales para el tratamiento de efluentes que contienen metales pesados

Existen varios procesos no convencionales para eliminar los metales pesados presentes en efluentes los cuales incluyen la biosorción, biofiltración y biorremediación. La biosorción es un proceso de bajo costo operacional, además de que se puede disponer fácilmente materiales biosorbentes con alta eficacia de remoción (Gunatilake, 2015).

2.4. Biosorción

Para (Gavrilescu, 2004) la biosorción consiste en la absorción de iones metálicos desde disoluciones por biomasa viva o muerta, ofreciendo una alternativa de remediación de efluentes. De la misma manera (Plazinski, 2013) manifiesta que la biosorción es una técnica que emplea el uso de materiales de origen biológico (algas, hongos, bacterias, etc.) que inmoviliza los contaminantes, siendo una tecnología emergente eficaz, de proceso rápido y de bajo costo.

El proceso de biosorción es muy importante en el ambiente y en los procesos de biotratamientos, debido que está dirigido a eliminar o recuperar sustancias orgánicas e inorgánicas en disolución por material biológico, lo que incluye organismos vivos o muertos, incluyendo microorganismos (Fomina & Gadd, 2014).

2.4.1. Biosorbentes

Los biosorbentes son preparados a partir de biomasa natural o residual abundante, tienen una alta capacidad de absorción o adsorción, y son una fuente rentable de materia prima (Gavrilescu, 2004). Dentro de los biosorbentes se tienen dos clases:

- **Biomasa viva:** es también conocida con biomasa microbiana, la cual son; algas, bacterias, hongos, etc., que se encuentra en gran cantidad en la naturaleza.
- **Biomasa muerta:** son aquellos residuos o desechos vegetales de las industrias agrícolas (cáscara de naranja, aserrín, bagazo de caña, moringa, cáscara de cacao etc.)

Dentro de este estudio se utilizarán los biosorbentes de biomasa muerta, que consiste en residuos vegetales (bagazo de caña, cascara de cacao y el aserrín), porque es conveniente conocer la composición química y demostrar sus ventajas como biosorbente.

2.4.2. Composición química del bagazo de *Saccharum officinarum* L. (caña de azúcar).

El bagazo de caña o residuo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), es un material lignocelulósico que tiene una gran cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina, que representa el 90% del peso seco de la fibra y el 10 % está representado por cenizas (materia inorgánica) y sustancias extraíbles (H. Savastano, Santos, & Agopyan, 2014).

Tabla 1: *Composición química del bagazo de Saccharum officinarum L. (caña de azúcar).*

Composición química del bagazo de *Saccharum officinarum L. (caña de azúcar)*	
Celulosa (%)	**45-55**
Hemicelulosa (%)	20-25
Lignina (%)	18-24
Pectina (%)	0,6-0,8
Ceniza (%)	1-4
Extractos (%)	1,5-9

Autor: (H. Savastano, Santos, & Agopyan, 2014)

2.4.3. Composición química de la cáscara de *Theobroma cacao* L. (cacao).

Para (Dayane, Okiyama, Navarro, & Rodrigues, 2017), la composición química de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) es variable, depende del origen y del procesamiento al que ha sido sometida. En la tabla 2, se disponen de los resultados de varios autores que presentan en sus investigaciones, manifestando que la cáscara de cacao posee un alto valor nutricional por la presencia de gran variedad de biocompuestos.

Tabla 2: *Composición química de la cáscara de Theobroma cacao L. (cacao) (g/kg de cáscara seca).*

Fuentes bibliográficas	**(Martín-Cabrejas, Valiente, Esteban, Mollá, & Waldron, 1994)**	**(Arlorio, Coisson, Restani, & Martelli, 2001)**	**(Chung, Liyama, & Han, 2003)**	**(Lecumberri, y otros, 2007)**	**(Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009)**	**(Martínez, y otros, 2012)**	**(Terán Espinoza, 2019)**
Humedad	47 ± 1	101.2 ± 6.0		-	45	77.1 ± 1.2	4.72

Proteína	116 ±2	181.2 ± 8.1		167 ± 2	109	158.5 ± 1.7	23.17
Fibra	504 ±21	606 ± 6.4		605 ± 3	-	-	74.60
Grasa	185 ±12	68.1 ± 2.5	99	66 ± 4	15	20.2 ± 0.3	10.20
Teobromina	-	12.9 ± 1.8		-	14	-	1.55
Azúcares solubles	-	-	330	3.5 ± 0.4	-	-	-
Polifenoles	-	18.2 ±8.4	353	58 ± 3	-	-	-
Carbohidratos	-	-	334	-	71	178 ± 0.9	-
Ceniza	75 ± 1	-	93	114. 2 ± 0.4	80	73.5 ± 1.5	8.49
Ácido fítico	-	5.9 ± 0.6		-	-	-	-

Autor: (Dayane, Okiyama, Navarro, & Rodrigues, 2017).

Además (Chung, Liyama, & Han, 2003) manifiestan que, en 100 g de cáscara de cacao, existe 26,38 g de lignina, 24,24 g de celulosa y 8,72 g de hemicelulosa.

2.4.4. Composición química del aserrín de *Matisia cordata* Bonpl (zapote).

El aserrín es un residuo abundante que genera la industria de la madera y se puede adquirir a un bajo costo. Posee varios compuestos orgánicos como: celulosa, hemicelulosa y lignina (Ayqui, 2016). Existen diversos estudios que muestran que este biosorbente es eficiente para la eliminación de metales pesados en efluentes.

En la tabla 3 se observa la composición química de la madera y corteza de la especie *Matisia cordata* Bonpl. (Zapote) (AIDER, 2012).

Tabla 3: *Composición química de la madera y corteza de la especie Matisia cordata* Bonpl. *(Zapote)*

Especie	Madera (%)	Corteza (%)
Celulosa	58.18	58.18
Hemicelulosa	13.08	13.21
Lignina	30.96	34.94

Ceniza	2.22	3.28
Sílice	0.14	0.34

Autor: (AIDER, 2012)

2.5. Procesos de biosorción

La biosorción es un método de captación de iones metálicos mediante biomasa viva o muerta, utilizando adsorbentes de bajo costo para eliminar diversos contaminantes. La biosorción cuenta con dos fases: la fase sólida (biosorbente) y la fase líquida (disolución contaminada con metales pesados) (Mejía Sandoval, 2006).

2.5.1. Tipos de Procesos

2.5.1.1. Biosorción de metales pesados en sistemas discontinuos

La biosorción de metales pesados en sistema discontinuo, otorga un estudio de medidas con eficiencias favorables de absorción para la remoción de metales específicos, de esta manera eleva la capacidad total de absorción. Dichos estudios determinan la colocación de la cantidad exacta del absorbente en la disolución que contiene el elemento, que se requiere eliminar. Teniendo en cuenta el tiempo de suspensión durante la agitación para alcanzar el balance adecuado para la remoción (Valencia Rio & Castellar Ortega, 2013).

Las investigaciones realizadas en temas ambientales con la aplicación de sistemas discontinuos evidencian claramente, las condiciones óptimas de acción del (pH, pretratamiento, tamaño de partícula, tiempo de contacto, etc.) y de esta manera dar a conocer los aspectos primordiales de marcha, así como los mecanismos que envuelven durante el proceso de biosorción. El sistema discontinuo más utilizado es el tanque agitador (Boada Sánchez, 2015).

2.5.1.2. Biosorción de metales pesados en sistemas continuos

Según (Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina, 2014) manifiestan que los sistemas continuos más estudiados son: columna de lecho fijo, columna de lecho fluidizado y el reactor de mezcla completa; donde el sistema más utilizado y efectivo para remover metales pesados es de columna de lecho fijo. Además, se dice que estos sistemas no funcionan bajo equilibrio, ya que continuamente ingresa a la columna una disolución de alimentación, estableciendo un proceso de transferencia de masa permanente entre una fase móvil que contiene el absorbible y la fase solida del lecho adsorbente (Valencia Rio & Castellar Ortega, 2013).

2.6. Mecanismos implicados en la biosorción de metales pesados

Los mecanismos que se involucran en el proceso de biosorción contienen: quimio sorción, acomplejamiento, adsorción- acomplejamiento en superficie y poros, intercambio iónico, micro precipitación, condensación de hidruros metálico y adsorción superficial, donde cada mecanismo funciona de forma independiente, contribuyendo a la captación de los metales (Javanbakht, Amir, & Zilouei, 2014).

Para (Nilanjana, Vimala, & Karthika, 2008), el mecanismo de bioadsorción es un proceso complicado, donde el estado de la biomasa (viva o muerta), tipo de biomateriales, propiedades del metal y condiciones ambientales como el pH, influyen en proceso de biosorción del metal.

2.7. Factores que afectan la biosorción

Según (Bermejo Campos, 2016) los procesos que afecta la biosorción se dividen en tres factores: el biosorbente, la disolución y la operación. Dentro de las propiedades del biosorbente se encuentran: el tipo de material biosorbente, el punto de carga cero, la superficie específica y la porosidad. Mientras que en las propiedades de la disolución influye el pH, la presencia de otros solutos y el tipo de metal. Finalmente, en el proceso de operación afecta el tiempo de contacto, la temperatura, el sistema de contacto y el caudal de la disolución.

Según (Nilanjana, Vimala, & Karthika, 2008) los principales factores que afectan el proceso de biosorción son: concentración inicial de iones metálicos, temperatura, pH y la concentración de biomasa en contacto con la disolución, donde manifiesta que la temperatura en el intervalo de 20°C a 35°C no influye en el proceso de biosorción. Por otra parte, manifiesta que el tamaño de las partículas, el tiempo de contacto, la porosidad y el tipo de material influye en la biosorción.

2.8. Modelo de tanque agitado

El proceso de un tanque agitado, consta de un envase o un recipiente, siendo un sistema capaz de permanecer en movimiento y mantener un ambiente vigilado, donde se desarrollan procesos químicos y biológicos para la remoción de metales y de esta manera revelar los mejores resultados en cuanto a la eliminación. Esto consiste en añadir el absorbente con el adsorbato en fase líquida dentro del tanque con agitación, y de esta manera llevar a cabo el proceso de biosorción, para eliminar los contaminantes de disoluciones acuosas, mediante la aplicación de residuos de biomasa (Freire Moncayo, 2018).

2.9. Modelo de columna de lecho fijo

Según (Karna, 2013), una columna de lecho fijo permite que el biosorbente particulado se deposite en la parte inferior de la columna como un lecho, permitiendo que esta no se mueva. De esta manera el líquido puede atravesar la columna de manera ascendente o descendente.

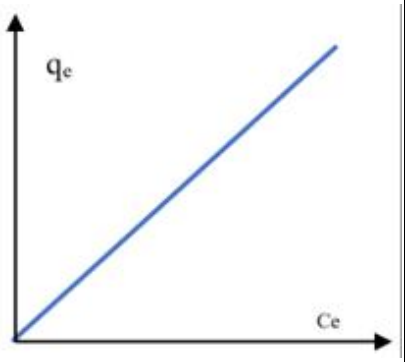
Según (Bermejo, Brazales, Campos, Uguña, & Vera, 2018), el modelo más utilizado para describir la absorción de los contaminantes es mediante el uso de la columna de lecho fijo para la eliminación de los metales en función del volumen de efluente.

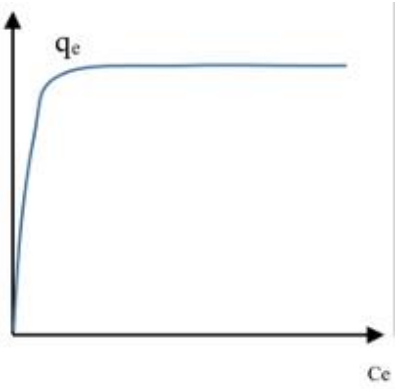
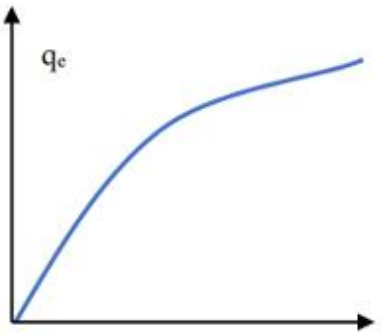
2.10. Modelación de equilibrio y cinético de la biosorción

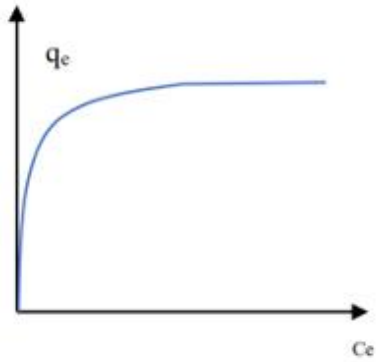
2.10.1. Modelos de equilibrio de biosorción

En la tabla 4 se ofrecen ejemplos de algunos de los modelos que permiten explicar el comportamiento del equilibrio termodinámico durante la biosorción.

Tabla 4: *Modelos de equilibrio de biosorción*

Modelo de equilibrio	Características
Isoterma de Henry  **Figura 1:** Isoterma Lineal	Este modelo es útil para sistemas con bajas concentraciones. Se basa en la ley de Henry, esta describe adecuadamente la variación de la capacidad de adsorción para valores bajos de concentración de equilibrio. **Ecuación modelo de Henry**: $\mathbf{qe = K * Ce}$ Donde: K: constante lineal de adsorción, dm3 /g biosorbente.

Isoterma de Langmuir  **Figura 2:** Isoterma de Langmuir	Langmuir fue el primero en proponer una teoría coherente de adsorción sobre una superficie plana desde un punto de vista cinético, explicando el fenómeno como un continuo "bombardeo" de moléculas adsorbiéndose sobre la superficie mientras otras se desorden a la misma velocidad. Las suposiciones básicas de la teoría de Langmuir son las siguientes: a) La superficie del sólido es uniforme, por lo que la energía de adsorción es constante en todos los centros. b) La adsorción sobre la superficie se produce únicamente sobre los centros activos. c) Cada centro activo puede acumular solamente una molécula de adsorbato. **Ecuación modelo de Langmuir:** $$\boldsymbol{qe} = \frac{qmax * b * Ce}{1 + b * Ce}$$
Isoterma de Freundlich  **Figura 3:** Isoterma de Freundlich	La isoterma de Freundlich describe una adsorción reversible, no ideal y no restringida a la formación de una sola capa. Este modelo puede ser aplicado a una adsorción multicapa como le explica Adamson y Gast (1997), donde la distribución del calor de adsorción y la afinidad por el adsorbato no es uniforme. La isoterma de Freundlich es aplicada a sistemas heterogéneos. Es un modelo empírico que se usa para sistemas de adsorción heterogénea. **Ecuación modelo de Freundlich:** $$\boldsymbol{qe} = kF * Ce^{\frac{1}{n}}$$

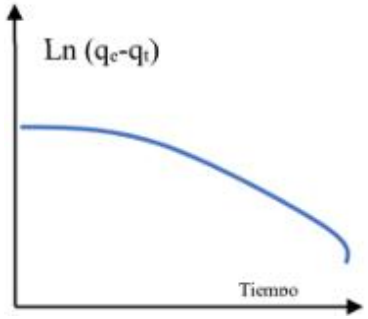
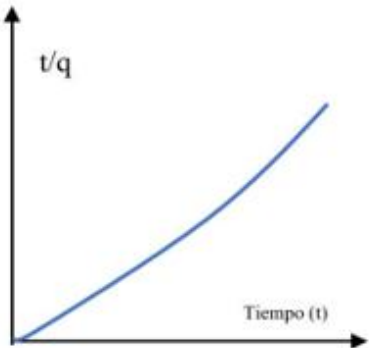
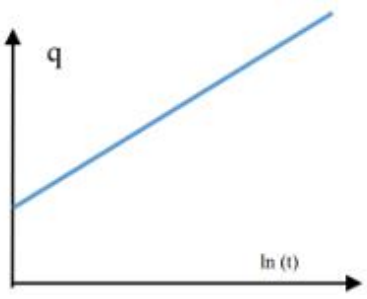
Isoterma de Sips (Langmuir-Freundlich)  **Figura 4:** Isoterma de Sips	Este modelo dota al modelo de Freundlich de un límite finito cuando la concentración fuese lo suficientemente alta. La diferencia con el modelo de Langmuir es un parámetro adicional n; cuando n=1 se simplifica a la isoterma de Langmuir. Por tanto, puede definirse n como un parámetro de la heterogeneidad de la superficie: esta heterogeneidad puede ser debida tanto a la superficie del adsorbente, como al adsorbato o a ambos. Este parámetro n suele ser mayor que la unidad, y cuanto mayor es, mayor es la heterogeneidad del sistema. Comparte con la ecuación de Freundlich el no cumplir la ley de Henry a bajas presiones. **Ecuación modelo de Sips:** $\boldsymbol{qe} = \frac{qmax(b * Ce)1}{n1 + (b * Ce)\,1/n}$

Autor: (Boada Sánchez, 2015).

2.10.2. Modelos cinéticos de biosorción

En la tabla 5 se pueden observar algunos de los modelos cinéticos de comportamiento que se cumplen durante un proceso de biosorción.

Tabla 5: *Modelos cinéticos de biosorción*

Modelo de pseudo primer orden (ecuación de Lagergren)  **Figura 5**: Modelo de pseudo primer orden	Este modelo determina que la fuerza impulsora es la diferencia entre la concentración del soluto adsorbido en el equilibrio y la concentración del soluto adsorbido a un tiempo determinado. $qt = qe * (1 - e^{-k1*t})$ **Modelo lineal** *ln(qe-qt)=ln(qe)-K1t*
Modelo de pseudo segundo orden  **Figura 6:** Modelo de pseudo segundo orden	Este método dice que la velocidad total de adsorción en el modelo cinético de pseudo segundo orden es proporcional a la fuerza impulsora, pero en este caso, al cuadrado de la misma. $$qt = \frac{t}{\frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{t}{qe}}$$ **Modelo lineal** $$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{1}{qe}\ t$$
Modelo de Elovich  **Figura 7:** Modelo de Elovich	Se utiliza generalmente para determinar cinéticas de Quimi sorción de gases sobre sólidos, aunque también es adecuado para describir la cinética de adsorción de contaminantes en disoluciones acuosas. $\boldsymbol{qt} = \boldsymbol{\alpha} + \boldsymbol{\beta}\ \boldsymbol{ln}(\boldsymbol{t})$ Donde: α: velocidad de sorción inicial (mg/g–min). B: constante de desorción (g/mg); t, tiempo en min.

Modelo de Weber y Morris	También conocida como el modelo de difusión intrapartícula, está basado en la difusión del adsorbato hasta introducirse al adsorbente. **Ecuación:** $qt = k * \sqrt{t}$

Autor: (Boada Sánchez, 2015)

2.11. Alternativas de reutilización de los desechos generados en el proceso de biosorción en columnas.

Existen alternativas para tratar los desechos generados en el proceso de biosorción, uno de ellos es la desorción y regeneración de la biomasa, que consiste en regenerar la carga del biosorbente con disoluciones de ácidos o de bases, permitiendo el reciclaje tanto del biosorbente con del adsorbato, ayudando a minimizar la cantidad de desechos generados y al mismo tiempo reduciendo los costos del proceso. Otra alternativa que se tiene es la incineración de los residuos generados, este proceso encapsula los metales y evita que se liberen, así mismo reduce la cantidad y la masa del residuo. En ocasiones se confinan los adsorbentes contaminados como aditivo en materiales de construcción (Bermejo Campos, 2016).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La Planta de Potabilización de Agua Tixán se encuentra ubicada en la parroquia Chiquintad, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay, se encuentra al margen izquierdo del canal de riego Yanuncay a 2690 msnm. La fuente de abastecimiento de la ETAP es el río Yanuncay, que posee un cuenca de 208 km^2. Está situada a una latitud de -2.832701 ° y una longitud de -78.992747° (Figura 8).

Esta ETAP cuenta con un área de 13.424 hectáreas, destinada a beneficiar a 550.00 usuarios del cantón Cuenca. Además, posee estándares de tecnológica, equipamiento y producción de agua potable de calidad, respetando a las normas ISO 9001 (El Mercurio , 2019).



Figura 8: *Ubicación Geográfica de la Planta de Potabilización Tixán*

Elaborado por: Autores

3.2. Tipo de Investigación

El proyecto se enmarcó al diseño exploratorio y al diseño descriptivo; el diseño exploratorio se realizó mediante el método cualitativo, se utilizaron diseños específicos como: Revisión documental, estudios de casos e investigación-acción, donde se utilizó la observación no estructurada, debido que existía poca información sobre el problema a estudiar. Mientras que el diseño descriptivo abarcó el diseño específico comparativo, donde se realizaron estudios longitudinales y trasversales; detallando y comprando las propiedades y características de las variables a estudiar, así mismo se realizó el análisis cualitativo y la interpretación de las variables.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Análisis de las características físicas y químicas de los residuos industriales: bagazo de caña, cáscara de cacao y aserrín como posibles biosorbentes.

Se aplicó el método exploratorio y descriptivo (cualitativo), donde se analizó la información recopilada, mediante la revisión documental, revisión bibliográfica y estudios de caso realizadas a documentos de dentro y fuera del país. Para ello fue necesario conocer los lugares de donde se puede obtener cada material (Residuo Industrial) a utilizar como biosorbente, para la remoción de Mn (II) y se analizaron, sobre la base de la bibliografía consultada, las propiedades físico-químicas de los mismos.

Obtención del bagazo de caña

Independientemente de que el proyecto al cual tributa esta investigación pretende que se prueben materiales de origen amazónico, el bagazo caña, abundante en esta región, también puede ser recolectado del Valle de Yunguilla, Cantón Santa Isabel, donde se realizan las moliendas, en las cuales se elaboran el guarapo, el aguardiente y otros derivados de la caña de azúcar; las moliendas se sitúan a 62 km de la ciudad de Cuenca, provincia de Azuay, donde este residuo se obtiene a un bajo costo, debido que son desechados diariamente a gran escala, al mismo tiempo que se reduce el impacto ambiental que provoca. De esta manera, se acercaría la solución del problema al sitio donde este se ha originado.

Para obtener el biosorbente es necesario que el bagazo de caña pase por diferentes procesos, los cuales se describen a continuación:

Preparación del biosorbente (bagazo de caña)

Según (Bermejo Campos, 2016) y (Vera, Uguña, García, Flores, & Vázquez, 2015), el proceso más eficiente para obtener un buen biosorbente mediante el bagazo de caña de azúcar, se presentan en el siguiente diagrama de flujo (figura 9):

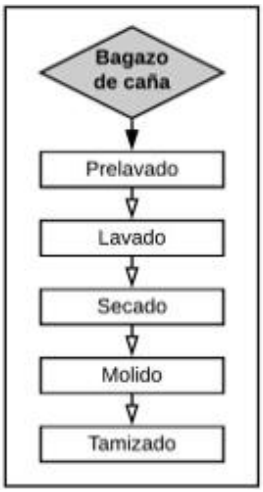


Figura 9: *Proceso para obtener el biosorbente a partir del bagazo de caña*

Elaborado por: Autores

A continuación, se describen cada uno de los procesos propuestos por los autores manifestados anteriormente:

- **Proceso de Prelavado**

Se debe seleccionar el bagazo apto para el proceso, el cual debe ser detenidamente lavado para evitar que queden partículas de tierra o material fungoso.

- **Proceso Lavado**

Posteriormente se debe separar la pulpa de la cáscara de la caña, y pasar al proceso de lavado con agua destilada, el cual se debe repetir varias veces ya que de esa manera la biomasa quedará limpia, sin presencia de glucosa, pigmentos, etc. y quedará apta para el proceso de biosorción.

- **Proceso de Secado**

Loa autores manifiestan que este proceso se debe realizar en dos fases:

1.- Secado Natural: se secará al sol, para disminuir la mayor cantidad posible de humedad.

2.- Secado artificial: se realizará mediante una estufa entre 60 °C por 8 horas, donde se eliminará por completo la humedad**.**

- **Proceso de Molido**

Se recomienda usar un molino manual, que ayudará a disminuir el tamaño de partículas del bagazo de caña.

- **Proceso de Tamizado**

Para el tamizado del bagazo, es necesario utilizar un tamiz No. 020 y el 040, en donde se pueden obtener los siguientes diámetros que están entre > 0.42 mm; < 0,84 mm, finalmente se almacena la biomasa.

Obtención del biosorbente de la cáscara de cacao

La cáscara de cacao, que es abundante en la región amazónica, también es posible obtenerla de la finca de "Juan Eljuri" que se encuentran en la Unión Base, del cantón Santa Isabel, Provincia de Azuay, a muy bajo costo ya que en la finca esta biomasa es desechada en los cultivos de la misma.

Preparación del biosorbente (cáscara de cacao)

Para llevar a cabo este procedimiento se recomienda basarse en la investigación realizada por Bermejo (2016) y Sánchez (2016) para obtener un buen biosorbente. El proceso de obtención del biosorbente se debe realizar a través de los siguientes pasos (figura 10):

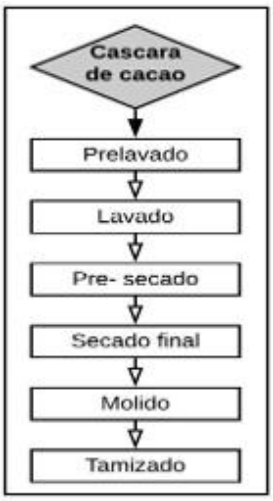


Figura 10: *Proceso para obtener el biosorbente a partir de la cáscara de cacao*

Elaborado por: Autores

A continuación, se describe cada uno de los procesos propuestos por los autores manifestados anteriormente:

- **Prelavado**

El lavado inicial es primordial, por lo que la cáscara de cacao es muy dura y es necesario de poner en remojo para proceder a la eliminación de toda la suciedad y de las partículas que están adheridas en la misma.

- **Lavado**

Loa autores manifiestan que se debe lavar con agua destilada al menos cinco veces para eliminar los compuestos mucilaginosos, provocados por la cantidad excesiva de la viscosidad, que puede impedir el proceso de biosorción.

- **Pre- Secado**

Se debe dejar secar la cáscara de cacao en una marquesina, durante 10 días, para reducir la mayor cantidad de humedad.

- **Secado final**

Este proceso se debe realizar en la estufa a 60 °C durante 8 horas, al finalizar el secado se colocará en un desecador.

- **Molido**

Este procedimiento se recomienda realizar con un molino manual

- **Tamizado**

Para el tamizado, al igual que para el bagazo, es necesario utilizar un tamiz No. 020 y el 040, en donde se pueden obtener los siguientes diámetros que están entre > 0.42 mm; < 0,84mm. Finalmente se almacena la biomasa.

Finalmente, se estudió el procedimiento del aserrín del zapote para obtener un buen material biosorbente, la cual se explica a continuación:

Obtención del biosorbente a partir de aserrín de Zapote

Este residuo se puede adquirir de la Industria Maderera Buenaño, la cual se ubica en la ciudad de Cuenca de la provincia de Azuay. El aserrín que se puede recolectar es específicamente de madera amazónica (Zapote), lo cual es un buen biosorbente para remover metales pesados, además disminuirá su carga contaminante presente en el ambiente. Este residuo puede ser obtenido a un bajo costo y en gran cantidad, ya que es desechado diariamente.

Preparación del biosorbente (aserrín de Zapote)

Para (Ayqui, 2016) la manera más adecuada para obtener un buen biosorbente mediante el aserrín es la siguiente ver (figura 11)

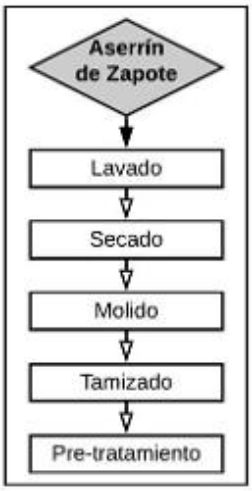


Figura 11: *Proceso para obtener el biosorbente a partir del aserrín de Zapote*

Elaborado por: Autor

A continuación, se describe cada uno de los procesos propuestos por los autores manifestados anteriormente:

- **Lavado**

Se debe realizar el lavado cinco veces con agua destilada, con la finalidad de disminuir las impurezas.

- **Secado**

Este proceso se realiza en una estufa a 70°C durante 2 días.

- **Tamizado**

Se debe moler el aserrín (molino manual) y para el tamizado es necesario utilizar un tamiz No. 020 y el 040, en donde se pueden obtener los siguientes diámetros que están entre > 0.42 mm; < 0,84mm.

- **Pre tratamiento**

Se debe lavar con HCl 0.5 N para excluir sustancias de color o contaminantes presentes; y con agua destilada hasta pH neutro, posteriormente se seca en la estufa a 70°C durante 24 horas. Finalmente se almacena la biomasa.

Este proceso es fundamental para determinar las características físico-químicas de cada material biosorbente propuesto debido a su fácil manipulación en el laboratorio.

Caracterización físico-química de los tres biosorbentes (bagazo de caña, cáscara de cacao y aserrín de Zapote)

Para determinar las características físico-químicas de los biosorbentes se apoyó en deferentes estudios propuestos por: (Nodal, Rodríguez, Esperanza, & Leiva, 2014), (Sánchez, 2016) y (Bermejo Campos, 2016), los cuales determinan: humedad, densidad aparente, porosidad, flotabilidad y textura de la partícula (figura 12).

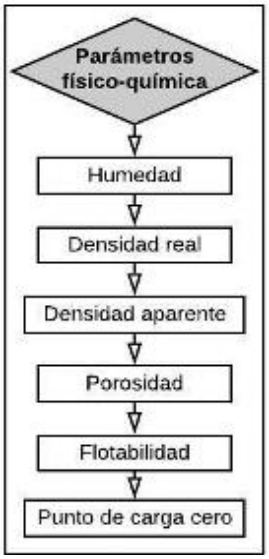


***Figura 12**: Parámetros físico-químicos a determinar*

Elaborado por: Autores

A continuación, se describen cada uno de los procesos propuestos por los autores manifestados anteriormente. Además, dan a conocer cómo se puede obtener el valor numérico de cada uno de los parámetros físico-químicas utilizando el tamaño de biomasa de < 0,84 mm.

- **Humedad**

Para determinar la humedad se debe utilizar una balanza de humedad a 105 °C.

➢ Se debe poner 1 a 1.5 g de cada biomasa en un crisol y se colocará en la estufa manteniendo a 105 °C durante 4 horas.

➢ Posteriormente del tiempo propuesto se traslada el crisol al desecado durante unos 20 minutos y pesar en una balanza analítica.

➢ Finalmente se debe colocar la muestra en la estufa por 30 minutos manteniendo la misma temperatura, después del tiempo fijado se debe sacar, enfriar y pesar la muestra.

Para determinar la humedad es necesario utilizar la siguiente fórmula:

$$\%\boldsymbol{humedad} = \frac{(M1 - M2) * 100}{M1}$$

Donde:

M1= Peso de la muestra húmeda

M2=Peso de la muestra seca

- **Densidad Real**

Este parámetro se debe realizar mediante el método del picnómetro, a continuación, se explica detalladamente cada proceso:

➢ Se pesa 0.25 gramos de cada biomasa en una balanza analítica y se ubica en el picnómetro tipo Weld de 50 mL.

➢ Se pesa en picnómetro vació y con la muestra.

➢ Posteriormente se agrega al picnómetro agua destilada, hasta el enrase del mismo.

➢ Por último, se pesa el picnómetro agregada la muestra con el agua destilada, así mismo se pesa el picnómetro lleno de agua destilada.

La densidad real se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{\rho Real} = \frac{Mo * \ \rho Líquido}{Po \ + Mo - Pm}$$

- **Densidad Aparente**

Para determinar este parámetro se utilizó la técnica de la probeta, que consiste manipular la masa en una probeta seca y limpia a un volumen determinado. A continuación, se presenta el siguiente procedimiento:

➢ Se pesa 2,4,6 y 8 gramos de cada biomasa de un tamaño < 0,84mm, en una balanza analítica.

➢ Se coloca las muestras en probetas de 40 mL.

➢ Dar golpes suaves y nivelar las probetas.

- Se debe medir el volumen que ocupa cada una de las muestras.
- Finalmente se calcula las densidades realizando un promedio de ellas.
- Se calcula con la siguiente formula:

$$\boldsymbol{\rho Aparente} = \frac{Masa\ de\ la\ materia}{volumen\ de\ la\ materia + volumen\ de\ aire\ en\ huecos}$$

- **Porosidad**

Se determina mediante la relación de la densidad real con la densidad aparente. Se debe realizar para cada biomasa (bagazo de caña, cáscara de cacao y aserrín de zapote), mediante la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{e} = \frac{\rho Real - \rho Aparente}{\rho Real}$$

- **Punto de carga cero**

Se determina mediante el método de la derivada del pH, donde se evaluará el intervalo de pH. Donde se dibujará en la gráfica del pH inicial vs. pH Final una recta que permitirá determinar el punto donde corta la curva, siendo el valor del pH cero. A continuación, el procedimiento de este método.

- Agregar 250 mL de agua destilada en seis matraces tipo Erlenmeyer
- Ajustar los valores del pH de cada Erlenmeyer con HCl 0.1M o NaOH 0.1M, y se obtendrán valores de 3, 4, 5, 6 y 7 de pH
- Añadir 0.5 gramos de la muestra (Bagazo de caña, cáscara de cacao y aserrín)
- Colocar las muestras en agitación continua a150 rpm por 48 horas a temperatura ambiente.
- Filtrar las muestras y recoger la disolución en un vaso de precipitación
- Medir el pH de las muestras.

3.3.2. Determinación los parámetros que afectan el proceso de biosorción de la biomasa muerta.

Mediante el método exploratorio y descriptivo (cualitativo), se determinaron los diferentes parámetros que afectan el proceso de biosorción de la biomasa muerta, mediante la revisión exhaustiva tanto documental como bibliográfica. Según (Vera, Uguña, García, Flores, & Vázquez, 2015) y (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015) manifiestan que los factores que más afectan el proceso de biosorción son los siguientes:

- **Tamaño de la partícula**

Para (Olu-owolabi, Oputu, Adebowale, Ogunsolu, & Olujimi, 2012) el tamaño de ser entre > 0.42 mm; < 0,84mm, para que exista bastante superficie de contacto con el contaminante, si el tamaño es muy pequeño este se apelmaza y se tapa los filtros.

- **pH**

EL pH es muy importante para biosorción, debido que afecta la carga superficial del material biosorbente, el grado de ionización y al adsorbato. Se pretenderá conocer el pH óptimo para maximizar la absorción del Manganeso.

- **Tiempo de equilibrio**

Es el tiempo en el cual el biosorbente se satura y no aumenta la remoción del metal. Para lo cual se debe realizar un estudio del efecto del tiempo de contacto para llegar a determinar el tiempo de equilibrio y complementar con un estudio cinético para conocer la naturaleza del proceso.

3.3.3. Determinación la tecnología de tratamiento adecuada para disminuir la concentración de manganeso (Mn) en las aguas de la Planta de Potabilización de Tixán.

Para cumplir con este objetivo se aplicó el método descriptivo, donde dentro de la revisión bibliográfica y documental se llegó a comparar, analizar y seleccionar la tecnología no convencional adecuada que funcionará para eliminar la concentración de manganeso (II) presente en el agua de la planta de potabilización de Tixán. Para ello (Vasco & Betancur, 2014) recomiendan que se realice una prueba piloto en la fase de laboratorio mediante un agitador mecánico para evaluar el efecto de los parámetros junto con el biosorbente; y así aplicar el método discontinuo, dentro de ello se encuentra la técnica del tanque agitado.

Según (Rivas, 2006) el tanque agitado es un proceso que se realiza por medio de la agitación constante, manteniendo un ambiente controlado, en un recipiente dentro del cual ocurren procesos biológicos o químicos, y que en este caso se puede utilizar con el objetivo de obtener la remoción total de un metal en contacto con un adsorbente. Para efectuar este proceso se debe poner en contacto el adsorbente con el adsorbato presente en la fase líquida dentro del taque para su agitación, lo cual permitirá cumplir con el proceso de biosorción y de esta manera eliminará el contaminante en una disolución acuosa, mediante la aplicación del biosorbente. Este tipo de biosorbente genera una ventaja efectiva y muy eficiente por su bajo costo de operación, la cual no requiere de técnicos especializados, por lo que se puede tener un control automático en su proceso, garantizando una óptima eficiencia en la agitación, para ello la disolución no debe ser viscosa. Esto para que en la base del tanque se produzca una mezcla óptima para la remoción del contaminante.

3.4. Modelos de equilibrio y cinéticos necesarios para determinar la eficiencia de cada biosorbente.

Así mismo, mediante la revisión bibliográfica y documental se basó en la investigación propuesta por (Nodal, Rodríguez, Esperanza, & Leiva, 2014) y (Escobedo, 2018) donde se propone que los modelos de equilibrios más eficientes para la biosorción de metales pesados son: *Langmuir* y *Freundlich*, los cuales se describen a continuación:

Modelo de Langmuir

Las fuerzas físicas que describe el principio de la isoterma de Langmuir son las mismas que tienen lugar cuando hay atracción entre las moléculas y la superficie del adsorbente, tomando en cuenta varios hechos, 1) la adsorción tiene lugar en una monocapa, 2) el proceso de la adsorción ocurre en lugares con activos idénticos de la superficie del adsorbente, y de esta manera se realiza la adsorción con energías uniformes, teniendo en cuenta que cuando un soluto ocupa un lugar en la zona del adsorbente no puede existir otra adsorción en el mismo. Para ello las moléculas que se adsorben en lugares específicos tienen que mantener una distancia para evitar que se produzca una interacción entre las moléculas adsorbidas en las zonas adyacentes. Se utiliza la siguiente ecuación***:***

$$\boldsymbol{qe} = \frac{qmax * b * Ce}{1 + b * Ce}$$

Donde:

q_{max} = cantidad máxima del metal / peso de la biomasa

***b* =** afinidad de los sitios de unión

***Ce*=** concentración del metal

Modelo de Freundlich

El modelo de adsorción de Freundlich es conocido por adsorber en multicapas, estableciendo que el área del adsorbente es energéticamente heterogénea y que los lugares de adsorción poseen diferentes afinidades, teniendo en cuenta en primer lugar los enfoques de mayor afinidad y consecutivamente se va ocupando el resto. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{qe} = kF * Ce^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

kf = indicador de la capacidad de absorción

n = intensidad de absorción

Ce = concentración del metal

Mientras que para los modelos cinéticos se seleccionaron los siguientes: *pseudo primer orden*, *pseudo segundo orden* y por último el modelo *difusión intrapartícula* propuesto por (Tejada Tovar, Villabona Ortiz, & Ruiz Patemina, 2015), (Escobedo, 2018) *y* (Sánchez, 2016). Los cuales se describen a continuación:

Modelo de pseudo primer orden

El modelo Pseudo primer orden, asimila el proceso de adsorción como una reacción química de primer orden, para el cual la constante de velocidad es independiente de la concentración, pero es importante tener en cuenta que la constante de la velocidad debe ser disminuida conforme aumenta la concentración, por esta razón hay modificaciones para este modelo en donde se resuelven dificultades de representación cinética. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{qt} = qe\ (1 - e^{-\mathrm{k1}*\mathrm{t}})$$

Ecuación de modelo lineal:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t$$

Donde:

qe = capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g)

qt = capacidad de adsorción en cualquier tiempo (mg/g)

k1 = constante de velocidad de pseudo primer orden (min^{-1})

t = tiempo de contacto (min)

Modelo de pseudo segundo orden

Para este modelo la capacidad de la adsorción del adsorbato es ajustada a la cantidad de sitios activos que tenga el adsorbente, según la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{qt} = \frac{t}{\frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{t}{qe}}$$

Donde:

k_2= constante de velocidad de segundo orden (g. mg^{-1}. min^{-1})

qe= capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g)

t = tiempo de contacto (min)

Modelo de modelo difusión intrapartícula

Este modelo consiste en trasportar el soluto a través de la contextura interna de los poros de la partícula del adsorbente, siendo el adsorbente una estructura porosa uniforme.

$$qt = k * \sqrt{t}$$

Donde:

k= es la constante de velocidad de difusión intrapartícula (mg. g^{-1}. $min^{-1/2}$)

t = tiempo

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para cumplir con los objetivos establecidos, se realizó un estudio profundo sobre la manera en la que se retiene con mayor facilidad el Manganeso (II). El manganeso puede ser tratado con compuestos orgánicos o materia orgánica, si el proceso de peroxidación / sedimentación / filtración no puede remover este elemento. Dentro del grupo carboxilo (-COOH), presente en los ácidos de naturaleza orgánica, el hidrógeno se disocia rápidamente para dar iones H^+ y el hidrógeno activo se intercambia por iones como: Ca, Mg, Na, Fe, Mn y Ni. Este es uno de los mecanismos más frecuentes de remoción, independientemente de que se han descrito otros mecanismos que compiten durante del proceso de adsorción.

El manganeso, si está formando parte de un compuesto orgánico, es más fácil de oxidar usando cloro o $KMnO_4$, utilizando la dosis apropiada, el pH y el tiempo de retención. Además, pueden persistir los coloidales posteriormente de la oxidación, debido a que manganeso no es completamente un compuesto orgánico.

4.1. Análisis de las características físico-químicos de los residuos industriales: bagazo de caña, cáscara de cacao y aserrín como posibles biosorbentes.

Sánchez (2016) sugiere determinar los parámetros físicos y químicos para conocer la eficiencia de retención del biosorbente, la cuales son: la humedad, densidad real, densidad aparente, la porosidad y el punto de carga cero; lo mismo fue empleado por Martínez, et al (2013) para la caracterización y evaluación del bagazo de caña como biosorbente y por Bermejo (2016) para la remoción de Plomo y Cadmio utilizando bagazo de caña y cáscara de cacao.

- **Humedad**

Vera et al., (2015) para eliminar los metales pesados utilizando bagazo de caña como biosorbente determinó más del 87% de humedad la cual se obtuvo a 105°C por 4 horas; los mismos datos se fue utilizado en el estudio realizado por Bermejo (2016) y Sánchez (2016) obteniendo más el 80% de humedad.

- **Densidad Real**

Bermejo (2016) obtiene una densidad real para el bagazo de caña de 1.043 g/mL y 1.127 g/mL para la cáscara de cacao, mediante el método del picnómetro; así mismo el valor obtenido del bagazo de caña es similar al estudio realizado por Vera et al (2015) con 1.08 g/ml. Donde se puede obtener valores similares para los biosorbentes propuestos en el presente trabajo.

- **Densidad aparente**

Martínez, et al (2013) recomienda utilizar el método de la probeta para determinar la densidad aparente, para obtener valores reales, la misma que fue empleada por Bermejo (2016) y Sánchez (2016). Bermejo (2016) obtiene 0.141 g/ml de densidad aparente del bagazo de caña y 0,36 g/ml de la cáscara de cacao, la cual es similar a los valores obtenidos por (Burgos & Jaramillo, 2015), además obtenido 0,4 g/ml del carbón activo de la cáscara de cacao, mientras que Nodal et al., (2014) reporta valores de 0,07 g/ml para el bagazo de caña y Sánchez (2016) reporta un valor de 0,36 g/ml de la cáscara de cacao. En el cual se puede obtener valores similares para los biosorbentes propuestos en el presente trabajo.

Mencionan (Burgos & Jaramillo, 2015) en su estudio que, a mayor densidad aparente, mayor capacidad para eliminar un adsorbato por unidad de volumen de adsorbente, debido que las características físicas de la cáscara de cacao, posee propiedades semejantes para la adsorción de metales que el bagazo de caña.

- **Porosidad**

Sánchez (2016) obtuvo 0,6805 de porosidad de la cáscara de cacao mediante la relación de la densidad real con la densidad aparente; mientras que Bermejo (2016) presenta resultados de porosidad de 0.8760 en el bagazo de caña y 0.6806 de porosidad en la cáscara de cacao, la cual el resultado del bagazo de caña es similar a los valores obtenidos por (Nodal et al., 2014; Vera et al., 2015), 0,6 mg mL-1 y 0,8607 g mL-1, mientras que para la cáscara de cacao no existen estudios.

Bermejo (2016) manifiesta que el bagazo de caña posee mayor porosidad que la cáscara de cacao, lo que podría contribuir a que tenga una mayor afinidad por la adsorción de metales pesados.

Es importante conocer que se puede obtener valores semejantes de los estudios propuestos anteriormente.

- **Punto de carga cero**

Vera et al., (2015) recomienda utilizar el método de la deriva del pH para calcular el punto de carga cero, donde el punto de carga cero para el bagazo alcanza a pH 6.11, lo que indica el carácter acido del biosorbente; la cual es similar a los resultados obtenidos por Bermejo (2016) donde evidencia que para el bagazo de caña es 6.08 y para la cáscara de cacao 7, la cual el resultado obtenido de la cáscara de cacao es igual al valor obtenido por Sánchez (2016), que posee un punto de carga cero de 7 para la cáscara de cacao.

Una vez, al conocer los resultados de diferentes autores se puede obtener valores semejantes para determinar los parámetros físicos y químicos de los biosorbentes propuestos para remover el manganeso (II).

4.2. Determinación de los parámetros que afectan el proceso de biosorción de la biomasa muerta.

- **Tamaño de partículas**

Pinzón et al., (2008) y Vera et al., (2009) recomienda trabajar con diámetro de partícula de 0,42 mm en la biosorción de Cr^{+3} en cáscara de naranja; el mismo tamaño de partículas que fue empleado por Olu-owolabi et al. (2012) en la biosorción de Pb^{+2} y Cd^{+2} en cáscara de cacao; así mismo Sánchez (2016) utilizó un tamaño de 0,42 mm y mayores a 0,78 en biosorción de Cd^{+2} y Pb^{+2} con cáscara de cacao. En cambio, Rivas (2006) utilizó un tamaño de partícula mayor a los mencionados anteriormente de 1mm en experimentos de biosorción de Cr^{+3} con hueso de aceituna. Todos ellos obtuvieron porcentajes mayores del 90 % de remoción de metal.

Sánchez (2016) en la investigación realizada manifiesta que el diámetro de partícula menor existe una mayor superficie de contacto y permite una mayor remoción del metal. Teniendo en cuenta todos estos resultados de los diferentes autores hemos determinado que para proyecto de

remoción de manganeso (II) se puede utilizar el diámetro de la partícula de las biomasas propuestas de 0,42 mm, la cual removerá un porcentaje mayor del 90% del metal.

- **El pH**

Sánchez (2016) manifiesta que con el valor de pH 5 y 6 se puede obtener más del 90 % de remoción para Cd^{+2} y para Pb^{+2} en un pH de entre 4 y 5 eliminando más del 70 %, así mismo en el estudio propuesto por Bermejo (2016) recomienda utilizar el programa HDRA y MEDUSA para obtener un valor real, la cual obtuvo un valor de pH 5 para el bagazo de caña, en la remoción de Pb o Cd, mientras que para la cáscara de cacao, el pH se mantiene con un valor similar a 7 en la remoción de Pb o Cd, ya sea en sistemas mono-componente o bi-componente.

Según (Vásquez, 2010) encontró en estudios de biosorción en aserrín y alginato la máxima remoción de Pb^{+2} y Cd^{+2} en un pH de 8 y 7 es el resultado de la precipitación de los iones metálicos quedando retenidos en la superficie del adsorbente presentando altos porcentajes de remoción.

- **Tiempo de equilibrio**

Estudios hechos por Sánchez (2016) se encontró que el tiempo el efecto del tiempo de contacto en la biosorción de Pb+2 en la cáscara de cacao, que 10 minutos son suficientes para remover el 90% del metal, estos resultados son similares a al estudio hecho por Olu-Owolabi et al., (2012) de biosorción de Pb+2 y Cd+2 en cáscara de cacao, manifestaron que el efecto del tiempo de contacto en la biosorción de Cd+2 , 15 minutos era suficiente para eliminar 96 %.

Al momento de conocer los resultados de diferentes autores, se pueden establecer valores semejantes que puedan influir en la biosorción del manganeso (II) utilizando los biosorbentes propuestos.

4.3. Determinación de la tecnología de tratamiento adecuada para disminuir la concentración de manganeso (II) en las aguas de la Planta de Potabilización de Tixán.

Rivas (2006) propone que se realice la fase del laboratorio de la biosorción en discontinuo mediante una instalación que consiste en un baño termostatizado, un agitador magnético, un

reactor encaminado de 150 L de capacidad y un pH-metro conectado tal como se muestra en la figura 13.

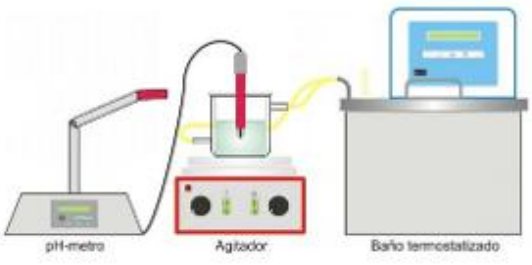


***Figura 13**: Prototipo de realizador por baño termo estatizado, un agitador magnético y un pH-metro*

Autor: Rivas (2006)

El agitador trabaja a 150 rpm por 48 horas a temperatura ambiente y dará a conocer los siguientes factores: pH, tamaño de partícula y tiempo de contacto, utilizado para la remoción de metales pesados. Los mismos datos fueron utilizados por Vera et al., (2015) en la evaluación del bagazo de caña como biosorbente de metales pesados de las aguas residuales mineras.

Rivas (2006) comenta que el método discontinuo (tanque agitado) constituye una alternativa no convencional amigable con el ambiente, eficaz y de bajo costo en cuanto a materias primas operación y mantenimiento; además tiene como objetivo de obtener la remoción total de un metal. Así mismo (Wang & Chen, 2009) expone que la biosorción mediante el método discontinuo se ha convertido en una de las técnicas alternativas de tratamiento para la remoción de metales pesados, la cual permite la eliminación de metales pesados, debido a su buen rendimiento, coste bajo y sobre todo se puede obtener biomasa residual fácilmente y grandes cantidades disponibles.

4.4. Propuesta de los métodos o modelos de equilibrio y cinéticos necesarios para determinar la eficiencia de cada biosorbente.

Los modelos más utilizados son Langmuir y Freundlich donde manifiesta que el modelo de Freundlich obtiene la mayor eficiencia de biosorbente ya que absorbe los iones metálicos mediante multicapas (Martínez, Domínguez, Rodriguéz, & Leivamas, 2017). Así mismo en las

investigaciones realizadas por (Sanchez, González, Cantún, & Sáesz, 2008) obtienen como resultado que la biomasa utilizada obtuvo una mayor afinidad por los iones de Zn, dentro del modelo de Freundlich, debido que se ajustó mejor a los datos experimentales obteniendo así una mayor capacidad de adsorción del biosorbente por los iones metálicos.

Los modelos cinéticos más utilizados son pseudo primer orden, pseudo segundo orden y intrapartícula, donde Vera et al., (2015) presenta en sus estudios realizados para la eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente, que el modelo que se sujeta al estudio cinético es el Pseudo Segundo orden; lo mismo lo hace saber (Ayquisucto, 2019) para la adsorción de Pb (II) mediante aserrín xantado que el segundo orden tiene una mayor capacidad de adsorción que la de Pseudo primer orden y de intrapartícula; esto se debe a la capacidad de la biosorción del material del adsorbente de predecir el comportamiento del proceso en un amplio rango de condiciones de operación.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Mediante la revisión exhaustiva bibliográfica se comprendió que, para determinar los parámetros físico químicos, es necesario realizar primero la preparación de la biomasa residual a biosorbente, y a continuación se podrán conocer los valores reales de la humedad, densidad real, densidad aparente, porosidad y el punto de carga cero, importantes para el proceso de adsorción de contaminantes metálicos en las aguas.

- Los resultados obtenidos de la revisión minuciosa de la bibliografía indican que los factores más comunes que dificultan el proceso de biosorción son el tamaño de partícula de la biomasa residual, la influencia de pH y el tiempo de equilibrio. Se pudo tomar en consideración trabajar con un diámetro de partícula de 0,42 mm, un pH de 5 a 6 y con un el tiempo de equilibro de 10 a 15 min en la biosorción para obtener porcentajes mayores del 90 % de remoción de metal.

- A través de la revisión bibliográfica, se constató que es importante implementar un prototipo en la fase de laboratorio para conocer la efectividad y la capacidad de absorción del material biosorbente, el cual permitiría determinar que el método discontinuo (tanque agitando) constituye una alternativa no convencional amigable con el ambiente, siendo altamente eficaz y de bajo costo en cuanto a materias primas, operación y mantenimiento.

- Mediante los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica se ha comprendido que el modelo de equilibro más eficiente es el de Freundlich, debido que se adapta mejor y se logra obtener una mayor eficiencia de biosorbente ya que absorbe los iones metálicos mediante multicapas, siendo así el mejor modelo matemático de las isotermas. Por otro lado, el método cinético más eficiente es el de pseudo segundo orden, debido a que es posible predecir el comportamiento del proceso en un amplio intervalo de condiciones de operación, y obtener una mayor eficiencia en la eliminación de manganeso de las aguas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es importante tomar en cuenta el tamaño de las partículas del biosorbente entre 0.42 y 0.84 mm, para que exista suficiente superficie de contacto con el contaminante, sin que el material se apelmace.

- El agua debe tener un pH de 6 a 7 ya que esto beneficia a la carga superficial del material biosorbente, el grado de ionización y al adsorbato.

- Realizar más investigaciones con estos biosorbentes con otros metales pesados.

- Realizar un prototipo del tanque agitado para remover la concentración de Manganeso (II), presentes en las Agua de la Planta de Potabilización de Tixán.

6. REFERENCIAS

AIDER, A. p. (2012). *Estudio de la composición química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales.* Lima. Obtenido de http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Estudio%20de%20composici%C3%B3n%20qu%C3%ADmica.pdf

Arlorio, M., Coisson, J., Restani, P., & Martelli, A. (2001). Characterization of Pectins and Some Secondary Compounds from Theobroma cacao Hulls. *Journal of food science, 66*(5), 653-656. doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb04616.x

Ayqui, E. (2016). *Adsorción de Pb (II) mediante aserrín xantado.* Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12625/Ayqui_Sucto_Edgar_Henry.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ayquisucto, E. (2019). *Adsorción de pb (ii) mediante aserrín xantado de las aguas del río Jatun ayllu ocuviri-puno.* Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12625/Ayqui_Sucto_Edgar_Henry.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2aSjxXI5PmD3zg5UwVjlzCCco2bl-npY-IhVfF5c4ELTi0JO0dLmJyHyk

Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (Cuarta ed.). Garching , Alemania . doi:10.1007/978-3-540-69934-7_22

Bermejo Campos, D. F. (2016). *Remoción de Plomo y Cadmio presente en aguas residuales mineras mediante biosorción en columnas con bagazo de caña y cascara de cacao.* Cuenca.

Bermejo, D., Brazales, D., Campos, D., Uguña, F., & Vera, L. (2018). *Modelado en columna de lecho fijo para la bioadsorción de Cd2+ Y Pb2+ con cascara de cacao.* Obtenido de https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31804/1/documento.pdf

Boada Sánchez, P. J. (2015). *Estudio del proceso de biosorción de contaminantes en efluentes acuosos mediante cilantro (Coriandrum sativum).* Quito. Obtenido de http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3780/1/T-UCE-0017-110.pdf

Burgos, G., & Jaramillo, J. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón milagro, provincia del Guayas.* Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8941/1/BCIEQ-T-0114%20Burgos%20Campuzano%20Gabriela%20Elizabeth%3B%20%20Jaramillo%20Quiroz%20Jomayra%20Lorena.pdf

Casierra, F., & Poveda, J. (2005). La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (Fragaria sp. cv. Camarosa). *23*(2), 284-289. Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v23n2/v23n2a13.pdf

Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., & Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región*, 73-90. Obtenido de https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/710/1359

CEPRA. (2020). *ación de Tecnologías Ambientalmente Sostenibles para la Remoción de Manganeso del Agua de Captación para Potabilización.* Cuenca.

Chung, B. Y., Liyama, K., & Han, K. W. (2003). Compositional Characterization Of Cacao (Theobroma Cacao L.) Hull. *Food Science*, *46*(1), 12-16. Obtenido de http://210.101.116.28/kiss2/preview.asp

Cuizano, N., & Nacarro, A. (2008). tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados. *Real Sociedad Española de Química* , 120-125.

Dayane, C., Okiyama, S. L., Navarro, C., & Rodrigues, E. (2017). Cocoa shell and its compounds: Applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 103-112. doi:https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.007

El Mercurio . (29 de Enero de 2019). Obtenido de El Mercurio : https://ww2.elmercurio.com.ec/2019/01/29/hoy-se-inaugura-ampliacion-de-la-planta-de-potabilizacion-de-tixan/

Escobedo, E. (2018). *"Biosorción de aluminio y manganeso total, presentes en soluciones acuosas, con cascara de Palta (Persea americana mill) tratada con formoldehido.* Arequipa. Obtenido de http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6329/IMDespae.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Feria, J. J., González, H., & Magurro, J. (2010). *Metales pesados en el río Sinú, departamento de Córdoba, Colombia, Sudamerica.* Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43019328004

Fomina, M., & Gadd, G. (May de 2014). Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. *Bioresource Tecnology, 160*, 3-14. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102

Freire Moncayo, P. S. (2018). *Remoción de paracetamol por biosorción en tanque agitado.* Cuenca. Obtenido de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29294/1/Trabajo%20de%20Titulaci%c3%b3n.pdf

Gahn, J. (2010). Propiedades químicas del Manganeso-Efectos del Manganeso sobre la salud-Efectos ambientales del Manganeso. *LENNTECH*. Obtenido de https://www.lenntech.es/periodica/elementos/mn.htm

Garcia, F., Muñoz, P., & Franco, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Cielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf

Gavrilescu, M. (2 de June de 2004). Removal of Heavy Metals from the Environment by Biosorption. *Engineering in Life Sciences, 4*(3), 219-230 . doi:https://doi.org/10.1002/elsc.200420026

Gómez, M., & Sotés, V. (2014). *El Manganeso y la Viticultura: Una revisión.* Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente Secretaría General Técnica. Obtenido de

https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/publicaciones/MANGANESO%20Y%20VITICULTURA_tcm30-89512.pdf

Gunatilake, S. (November de 2015). Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS), 1*. Obtenido de https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:gSh7P_yPAmgJ:scholar.google.com/++Conventional+methods+of+removing+heavy+metals+in+effluents&hl=es&as_sdt=0,5&as_vis=1

H. Savastano, J., Santos, S. f., & Agopyan, V. (27 de March de 2014). Sustainability of vegetable fibres in construction. *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*, 55-81. doi:https://doi.org/10.1533/9781845695842.55

INEC, I. N. (2010). *Fasciculo provincial Azuay*. Cuenca. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/azuay.pdf

Javanbakht, V., Amir, S., & Zilouei, H. (2014). Mechanisms of heavy metal removal using microorganismsas biosorbent. *Water Science & Technology*, 1775-1784. doi:doi: 10.2166/wst.2013.718

Karna, N. (2013). *Facultad de Química-Farmacia Departamento de Ingeniería Química.* Obtenido de https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2176/NABINKUMAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo-Pulido, M., Rupérez, P., Goya, L., & Bravo, L. (2007). Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (Theobroma cacao L.). *Food Chemistry, 104*(3), 948-954. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.054

Llive, P. (1 de Marzo de 2020). *Chávezsolutions Laboratorio Ambiental y Consultoría*. Obtenido de Chávezsolutions Laboratorio Ambiental y Consultoría:

https://chavezsolutions.com/noticias-ambientales/aguas-servidas-un-riesgo-para-los-rios-del-pais/

Martín-Cabrejas, M., Valiente, C., Esteban, R., Mollá, E., & Waldron, K. (Noviembre de 1994). Cocoa hull: A potential source of dietary fibre. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 66*(3), 308-309. doi:https://doi.org/10.1002/jsfa.2740660307

Martínez, P. d., Domínguez, E., Rodriguéz, I., & Leivamas, J. (2017). Caracterización físico química del bagazo de caña natural utilizado como biosorbente en la remoción de hidrocarburos en agua. *ICIDCA*, 35-39. Obtenido de redalyc.org/pdf/2231/223154251006.pdf

Martínez, R., Torres, P., Meneses, M., Figueroa, J., Pérez - Álvarez, J., & Viuda- Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (Theobroma cacao L.) co-products. *Food Research International*, 39-45. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.005

Mejía Sandoval, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 77-99. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428096010.pdf

Nilanjana, D., Vimala, R., & Karthika, P. (April de 2008). Biosortion of heavy metals- An overview. *Indian Journal of Biotechnology, 7*, 160. Obtenido de http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/1822/1/IJBT%207(2)%20159-169.pdf

Nodal, M., Rodríguez, I., Esperanza, G., & Leiva, J. (2014). Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos. *AFINIDAD LXXI*, 57-62.

Olu-owolabi, B., Oputu, O., Adebowale, K., Ogunsolu, O., & Olujimi, O. (2012). Biosorption of Cd2+ and Pb2+ ions onto mango stone and cocoa pod waste: Kinetic and equilibrium studies. *Scientific Research and Essays*, 1614-1629. Obtenido de http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1003.6426&rep=rep1&type=pdf

OMS. (2015). Amenazas a la Salud Mundial. Obtenido de https://www.who.int/features/2018/10-threats-global-heath/es/

ONU, O. d. (2015). *Departamento de Asustos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU- DAES)*. Obtenido de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/

Patlolla, A., Tchounwou, P., Sutton, D., & Yedjou, C. (2014). Heavy Metals Toxicity and the Environment. *HHS Public Access*. Obtenido de https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4144270/#:~:text=Introduction,level%20of%20exposure%20%5B2%5D

Pinzón-Bedoya, M. L. (2008). Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente.". *Revista Bistua, 6*(1), 28-37. Obtenido de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/publicaciones/bistua_revista_ciencias_basica/2008_1/15042010/art_03.pdf

Plazinski, W. (8 de February de 2013). Equilibrium and kinetic modeling of metal ion biosorption: on the ways of model generalization for the case of multicomponent systems. *SpringerLink*. doi:DOI 10.1007/s10450-013-9489-4

Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 66-77.

Rivas, G. (2006). *Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna.* Granada: Universidad de Granada. Obtenido de https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/1350/16476736.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2OrPn6_-4JLY1VUK6FuM_pcRjq34lfi_Bvx9qnt11AmvtfFXGkzuMKGaQ

Rodríguez, J., Cascaret, D., Lobaina, C., Pérez, R., & La Rosa, K. (2019). Evaluación de la capacidad de adsorción de MN2+ por biomasa residual de caña de azúcar (Saccharum officinarum). *Cubana de Química*, 209-223. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000200209&lng=es&nrm=iso&tlng=es&fbclid=IwAR0Uly6X7B3UY10eYOaXbbhGacEpOO0NpbVCpugSZi4Hoi7Z7K-NQFbDhQ4

Rodríguez, M., Flores, S., Rangel, M., Cubillán, L., & Argotte, A. (2015). Un estudio de la remoción de manganeso (II) a partir de sistemas acuosos usando cápsulas de moringa oleifera como bioadsorbente. *CENIC, 46,* 424-433. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/1812/181259521016.pdf

Ruíz, A. (2010). Salud y Bienestar. *Revista de salud y Bienestar*. Obtenido de https://www.webconsultas.com/dieta-y-nutricion/dieta-equilibrada/micronutrientes/minerales/manganeso-1837

Sánchez Miño, A. (21 de Octubre de 2014). *Secretaria del Agua (SENAGUA)*. Obtenido de Secretaria del Agua (SENAGUA): https://es.slideshare.net/CCIFEC/20-gestin-de-aguas-residuales-en-ecuador-senagua

Sanchez, E., González, M., Cantún, V., & Sáesz, C. &. (2008). Estudio cinético e isotermas de adsorción de Ni(II) y Zn(II) utilizando biomasa de alga Chrella sp. *Ciencia UANL*, *11*, 168-176.

Sánchez, N. (2016). *Biosorción en tanque agitado de* Cd^{+2} *y* Pb^{+2} *con cáscara de cacao.* Cuenca .

Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, A., & Ruiz Patemina, E. (2015). Cinética de adsorción de Cr (VI) usando biomasas residuales modificadas químicamente en sistemas por lotes y continuo. *Programa de Ingeniería Química*, 29-41.

Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas,* 109-123.

Terán Espinoza, F. J. (2019). *Aprovechamiento de la cascarilla de cacao (Theobroma cacao L.) para la elaboracion de un producto agrpindustrial.* Quito. Obtenido de http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10599/1/UDLA-EC-TIAG-2019-14.pdf

Valencia Rio, J., & Castellar Ortega, G. (2013). Predicción de las curvas de ruptura para la remoción de plomo (II) en disolución acuosa sobre carbón activado en una columna empacada. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 141-158. Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n66/n66a12.pdf

Vasco, A., & Betancur, M. (2014). Estudio de la cinética de adsorción de índigo carmín en piezas abrasivas. *Investigaciones Aplicadas*, 131-139.

Vásquez, A. (2010). *Biosorcion de plomo y cadmio mediante aserrín alginato.* Mexico: Universidad michoacana de san nicolas de hidalgo.

Vera, L., Uguña, M., García, N., Flores, M., & Vázquez, V. (2015). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *AFINIDAD LXXIII*, 43-49.

Vizcaíno Mendoza, L., & Fuentes Molina, N. (2014). BIOSORCIÓN DE Cd, Pb y Zn POR BIOMASA PRETRATADA DE ALGAS ROJAS, CÁSCARA DE NARANJA Y TUNA. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 25*(1), 43-60. Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a04.pdf

Wang, J., & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances, 27*, 195-226. Obtenido de file:///C:/Users/LUIS%20ANTONIO/Downloads/Dialnet-TratamientosParaLaRemocionDeMetalesPesadosComunmen-5432290.pdf