UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA

DISEÑO DE UN SISTEMA DINÁMICO PARA LA ELIMINACIÓN DE MANGANESO EN AGUA PARA POTABILIZACIÓN MEDIANTE ADSORCIÓN SOBRE BIOMASA RESIDUAL

AUTORES

CARLOS ABELARDO VARGAS RIVERA

WILLIAM ALCIDES IZURIETA MAZA

DIRECTOR

Dr. LUIS RAMÓN BRAVO SÁNCHEZ

Puyo – Ecuador

Febrero 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, CARLOS ABELARDO VARGAS RIVERA con número de cédula: 1500932361 y WILLIAM ALCIDES IZURIETA MAZA con número de cédula: 1600839169, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría el Trabajo de Integración Curricular titulado: "Diseño de un sistema dinámico para la eliminación de manganeso en agua para potabilización mediante adsorción sobre biomasa residual", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del director de dicho trabajo: Dr. Luis Ramón Bravo Sánchez, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. La Universidad Estatal Amazónica, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

En el cantón Pastaza, a los 22 días del mes de febrero de 2021.





Carlos Abelardo Vargas Rivera

C.I.:1500932361

William Alcides Izurieta Maza

C.I.: 1600839169

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: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DINÁMICO PARA LA ELIMINACIÓN DE MANGANESO EN AGUA PARA POTABILIZACIÓN MEDIANTE ADSORCIÓN SOBRE BIOMASA RESIDUAL".**

ANGELICA MARIA TASAMBAY SALAZAR
Firmado digitalmente por ANGELICA MARIA TASAMBAY SALAZAR
Fecha: 2021.02.19 13:44:23 -05'00'

Msc. Angelica María Tasambay Salazar

Presidente del tribunal

Firmado electrónicamente por:

SANTIAGO HOMERO CUICHAN PAUCAR

Msc. Santiago Homero Cuichan Paucar

Miembro del tribunal

Firmado electrónicamente por:

SANTIAGO NICOLAS AGUIAR NOVILLO

Msc. Santiago Nicolás Aguiar Novillo

Miembro del tribunal

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Certificado No. 37-SAU-UEA-2021
Puyo, 18 de febrero de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a los estudiantes: VARGAS RIVERA CARLOS ABELARDO con C.I. : 1500932361; y IZURIETA MAZA WILLIAM ALCIDES con C.I. 1600839169, con el Tema: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DINÁMICO PARA LA ELIMINACIÓN DE MANGANESO EN AGUA PARA POTABILIZACIÓN MEDIANTE ADSORCIÓN SOBRE BIOMASA RESIDUAL.",** de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director de la investigación Dr.C.Luis Bravo, Phd., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 4%, Informe generado con fecha 18 de febrero de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:

ITALO MARCELO

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

AGRADECIMIENTOS

Al cumplir una etapa más en mi vida con un éxito rotundo que pocos tenemos la dicha de cumplirla, quiero expresar mi gratitud y agradecimientos a cada una de las autoridades; y, todo personal administrativo y docente, quienes formaron parte de nuestra formación profesional ellos también aportaron de una u otra forma para forjarnos y no dejarnos vencer por las adversidades y retos que la vida nos pone.

Quiero expresar lo agradecido que estoy con Dios por darme la sabiduría y el valor para guiarme por la vida en el camino del bien, siempre levantándome y ayudándome a superar cada obstáculo o dificultad que se me presentaba, nunca estuve solo.

Y como no agradezco a mis padres por bridarme una vida llena de valores el respeto, honradez amor por nuestro prójimo y sobre todo la humildad; gracias por el sacrificio que día tras día hacían para que no me falte nada, tener los recursos para llegar a mi universidad y cumplir un sueño tan mío, pero para ellos es un logro tan suyo ya que es el fruto del sacrificio entregado, día a día por darme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria. A mis hermanos que siempre están ahí en las buenas y malas dándome momentos de alegrías y amor incondicional.

Agradezco a mí enamorada por llegar a mi vida darme momentos de alegría y apoyarme en mis metas y sueños, pero sobre todo le agradezco por darme el mejor regalo del mundo, nuestra pequeña hija mi motor que hace que cada día me esfuerce más por salir adelante y ser el mejor.

Agradezco al Dr. Luis Bravo por su entrega, guía y dedicación en cada reunión de trabajo para realizar un excelente trabajo de titulación. Le felicito por su excelente trabajo como docente.

Carlos Abelardo Vargas Rivera

Agradezco a Dios por brindarme a unos padres excepcionales Efraín Izurieta y María Maza, quienes fueron el pilar fundamental, ya que con sus conocimientos, paciencia y apoyo incondicional me permitieron llegar a donde estoy en estos momentos; un agradecimiento especial a mi querida sobrina Joseline Izurieta, por ser un rayo de sol que llego a demostrarme que se puede ser feliz con las cosas sencillas, estoy seguro de que la vida te devolverá toda la felicidad que me has dado.

También agradezco a todas a mis profesores, compañeros, amigos y familiares que me ayudaran para el desarrollo de cada una de las actividades que me permitió hoy desarrollar mi proyecto de investigación y lograr cumplir una meta, que sin duda será el inicio de muchas más.

William Alcides Izurieta Maza

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado a las dos personas que más amo en este mundo Elvia Rivera y Abelardo Vargas mis padres, quienes día y noche siempre estuvieron apoyándome, quienes me enseñaron cada uno de los valores que rige nuestra sociedad, para así llegar lejos, nunca por encima de los demás, pero tampoco hay que bajar la mirada ante los obstáculos, por eso y más que Dios les de mucha salud y vida, gracias por su sencillez y humildad los Amo.

A mis hermanos Víctor Vargas y Kenedy Vargas quienes jugaron un rol fundamental, ya que al ser el primer hijo tenía que dar el ejemplo; y, como no estudiando y sobresaliendo para obtener el título tan anhelado, los quiero mucho.

A mi pequeña hija Lía que sepa que aquí queda grabado el esfuerzo y entrega de su padre para ser un profesional y aportar a la sociedad y a futuro ella sea mil veces mejor que su padre. Te Amo mi amor.

Carlos Abelardo Vargas Rivera

El presente trabajo lo dedico a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener una de mis metas tan anheladas.

A la memoria de mi hermano Gustavo Izurieta, por ser mi inspiración para continuar con mis estudios y brindarme nobles virtudes, enseñanzas y valores que los mantendré el resto de mi vida.

A mis padres por haber estado conmigo apoyándome en cada momento de mi vida, por todo el amor, esfuerzo y tiempo para que sea un hombre de bien. Los Amo.

Y finalmente agradezco a la futura madre de mis hijos, por estar siempre apoyándome en los buenos y malos momentos de mi vida, Dios le permita cumplir sus metas.

William Alcides Izurieta Maza

RESUMEN

Se planteó una alternativa de tratamiento no convencional mediante adsorción con biomasa residual para la eliminación de manganeso en aguas de la planta de potabilización de Tixán. La cáscara de naranja deshidratada, pirolizada o calcinada, según estudio bibliográfico realizado, demostró tener potencialidades para la remoción de metales pesados en aguas con una gran eficacia superior al 95% para el manganeso, por lo que puede ser utilizada para el tratamiento de agua potable en una planta. La recopilación de información sobre diferentes bioadsorbentes agrícolas y su capacidad de adsorción frente a diferentes metales pesados, permite demostrar que son eficaces, utilizándolos de forma correcta, para la remoción de metales pesados y particularmente manganeso; la cáscara de naranja pirolizada como bioadsorbente puede tener una capacidad de absorción por encima del 90%. Los estudios realizados en el sistema continuo de columnas proporcionan una información más fiable para conocer las capacidades de eliminación y el comportamiento hidrodinámico del sistema; algunos estudios revelan que las capacidades de eliminación de los metales pesados pueden ser diferentes cuando se opera en continuo o en discontinuo. Se propone finalmente un proceso continuo con cáscara de naranja pirolizada para eliminar el manganeso en agua puede incluir la alternativa de configurar dos columnas en serie para una mayor adsorción mejorando el rendimiento del sistema.

PALABRAS CLAVE: biomasa residual, manganeso, bioadsorción, cáscara de naranja.

ABSTRACT

A non-conventional treatment alternative was proposed by adsorption with residual biomass for the elimination of manganese in the waters of the Tixán purification plant. The dehydrated, pyrolyzed or calcined orange peel, according to a bibliographic study carried out, proved to have potential for the removal of heavy metals in water with a high efficiency greater than 95% for manganese, so it can be used for the treatment of drinking water in a plant. The compilation of information on different agricultural bioadsorbents and their adsorption capacity against different heavy metals, allows to demonstrate that they are effective, using them correctly, for the removal of heavy metals and particularly manganese; pyrolyzed orange peel as a bioadsorbent can have an absorption capacity of over 90%. The studies carried out in the continuous column system provide more reliable information to know the removal capacities and the hydrodynamic behavior of the system; Some studies reveal that the removal capacities of heavy metals may be different when operating continuously or discontinuously. Finally, a continuous process with pyrolyzed orange peel to eliminate manganese in water is proposed, which may include the alternative of configuring two columns in series for greater adsorption, improving the performance of the system.

KEY WORDS: residual biomass, manganese, bioadsorption, orange peel.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS ..... **ii**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN ..... **iii**

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND ..... **iv**

ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - … **iv**

AGRADECIMIENTOS ..... **v**

DEDICATORIA ..... **vii**

RESUMEN ..... **ix**

ABSTRACT ..... **x**

1. Introducción **1**

1.2 Objetivos **4**

Objetivo General **4**

Objetivos Específicos **4**

1.3 Justificación **4**

CAPÍTULO II **5**

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA **5**

2.1. Potabilización 5

2.1.1. Características del agua potabilizada. 5

2.1.2 Proceso de Potabilización 5

2.2. Metales pesados 6

2.2.1. Procesos convencionales para el tratamiento de efluentes que contienen metales pesados. 6

2.2.2. Procesos no convencionales para el tratamiento de efluentes que contienen metales pesados. **7**

2.2.3. Manganeso **7**

2.2.4. Distribución 8

2.2.5. Efectos en el ambiente 8

2.2.6. Efectos en la salud 8

2.2.7. Normativas 9

2.2.8. Proceso de eliminación de manganeso soluble en sistemas de filtración. **9**

2.3. Sistemas dinámicos 10
2.3.1. Consideraciones generales del diseño. 10
2.3.2. Modelos de columnas de lecho fijo 11
2.3.3. Modelo de Thomas **11**
2.3.4. Modelo de dosis-respuesta **11**
2.3.5. Modelo de Yoon-Nelson **11**
2.4. Biomasa residual 12
2.4.1. Biosorción **12**
2.4.2. Biosorbentes **12**
2.4.3. Mecanismos implicados en la biosorción de metales pesados. **13**
2.4.4. Procesamiento del material biosorbente **13**
2.4.5. Factores que afectan la biosorción 14
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN **15**
3.1. Localización **15**
3.3. Métodos de la investigación **16**
3.3.1 Características físicas y químicas de la cáscara de naranja como biomasa residual a emplear. 16
3.3.1.1. Proceso para la obtención del medio adsorbente a partir de cáscaras de naranja 16
3.3.1.2 Bioadsorbente activado 17
3.3.1.3 Bioadsorbente no activado. 17
3.3.2 17
3.3.3 Características del sistema dinámico, como tecnología de tratamiento adecuada para disminuir la concentración de manganeso (Mn) en las aguas de la Planta de Potabilización. 18
Recolección de la muestra de agua a tratar 18
3.3.2.2. Diseño del sistema continuo de columnas 19
3.3.2.3. Agregación del medio adsorbente. 19
3.3.2.4. Tiempo de residencia del bioadsorbente en el agua. 19
3.3.2.5. Análisis por adsorción atómica de manganeso 19
CAPÍTULO IV **20**
4. RESULTADOS **20**
4.1. Caracterización del agua que ingresa a la Planta de Potabilización. **20**

4.2 Porcentaje de adsorción entre manganeso y cromo con cáscara de naranja y otros bioadsorbentes. 20

4.3 Análisis de las características físicas y químicas de los residuos industriales: cáscara de naranja como biosorbente, para la remoción de manganeso. 21

4.3.1 Celulosa 21

4.3.2 Hemicelulosa 21

4.3.3 Pectina 21

4.3.4 Capacidad de intercambio catiónico de la cáscara de naranja. 22

Un sistema dinámico de este tipo sería posible proponer para solucionar la contaminación por manganeso, de las aguas de la planta potabilizadora de Tixán, para lo cual deberá realizarse el consiguiente estudio experimental que permita establecer las condiciones operacionales de dicho sistema. Incluso, sería posible colocar columnas en serie, como lo demuestra el estudio realizado por Gabaldón C. M., (2000) en el que se estudia la adsorción de Cd y Cu sobre carbón activado. 25

CONCLUSIONES 26

RECOMENDACIONES 26

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Métodos convencionales de remoción de metales pesados en efluentes.. 7

Tabla 2: Definición del metal pesado según sus propiedades 8

Tabla 3: Mecanismos de Biosorción 13

Tabla 4: Características químicas de la cáscara de naranja. 16

Tabla 5. Bioadsorbentes provenientes de residuos agrícolas 20

Tabla 6. Contenido de C, H y N de la cascara de naranja 22

Tabla 7. Capacidad de intercambio catiónico de distintos materiales adsorbentes.23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del proceso de formación de la capa de óxidos de manganeso.. 10
Figura 2: Mapa de Ubicación para Planta de Agua Potable de Tixán. 15
Figura 3. Fórmula química de la celulosa..... 21
Figura 4. Fórmula química de la hemicelulosa..... 21
Figura 5. Fórmula química de la pectina 22
Figura 6. Representación del proceso de adsorción continuo..... 24
Figura 7. Curva de ruptura típica..... 25

CAPÍTULO I

1. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

El incremento de los contaminantes tóxicos, entre estos los metales pesados provenientes de efluentes industriales en los recursos hídricos, es uno de los problemas ambientales más graves. Estas sustancias tienden a persistir por un largo periodo de tiempo en el ambiente y son consideradas como potenciales devastadores de los ecosistemas, ya que no solo comprometen el bienestar y el equilibrio de la naturaleza, sino que también perturban la salud de los habitantes de los sectores que viven junto al efluente o al punto de vertido, debido a su capacidad de acumulación en los distintos organismos (Kozinski, 2010).

Altas concentraciones de iones metálicos pueden ocasionar diversas afecciones en la salud, como erupciones cutáneas, malestar de estómago, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer, alteraciones neurológicas e, inclusive, la muerte (Krishna, 2007).

En comparación con otras tecnologías convencionales, la biosorción tiene muchas ventajas, como menor costo, alta eficacia y menor cantidad de productos químicos y lodos biológicos. Además, también ayuda a regenerar los biosorbentes y la posibilidad de recuperar metales (Alma Rosa Netzahuatl- Muñoz et al, 2010).

Desde la revolución industrial, los avances en la ciencia y la tecnología han mejorado la capacidad de los humanos para desarrollar recursos naturales; sin embargo, esto ha interferido con el ciclo biogeoquímico de los elementos. El desarrollo de las actividades humanas (principalmente actividades industriales) ha provocado un aumento de la descarga de sustancias (muchas de las cuales son contaminantes). Su descarga al ambiente obstaculiza la capacidad de autolimpieza del ecosistema receptor, lo que provoca la acumulación de niveles problemáticos y nocivos de contaminantes (Calero, 2012).

La importancia de estudiar el proceso de biosorción es reconocer cómo diferentes mecanismos, pH, temperatura, fuerza iónica, sitios de unión y la presencia de otros iones afectan el efecto de remoción, y poder predecir parámetros característicos mediante modelos matemáticos para luego aplicarlo a escala industrial (Areco, 2011).

La contaminación o la presencia de grandes cantidades de metales pesados como: hierro y manganeso, en las fuentes de abastecimiento de agua para potabilización se ha convertido en uno de los problemas ambientales en la actualidad. El manganeso se puede encontrar de forma natural

en los alimentos y es beneficioso para la salud en bajas cantidades; sin embargo, según un estudio reciente, se dice que en cantidades excesivas puede afectar al desarrollo del cerebro, la memoria y provocar problemas motores en los bebés y niños pequeños. Por tal motivo se requieren de atención inmediata en donde los niveles sobrepasan su máximo permisible para el consumo humano.

El agua es uno de los principales elementos para la vida, tanto para los ecosistemas acuáticos como para los terrestres. Las características químicas del agua la convierten en un buen disolvente para distintas sales y gases esenciales para la supervivencia de las especies, así como también para compuestos tóxicos (Areco M. d., 2011). No obstante, las grandes industrias también forman parte del problema ya que de sus fábricas salen metales pesados que van a parar a las cuencas de los ríos y acuíferos. La industrialización trae consigo ventajas indiscutibles como el aumento en la calidad de vida de las poblaciones, pero a la vez la convierte en una sociedad de consumo para la cual la industria debe ofrecer nuevos productos haciendo más complejos sus procesos, generando cada vez mayores cantidades de residuos, que la llevan a ser el blanco de muchas críticas y a adquirir una imagen de contornos no muy positivos (HASSEN, 2000).

En ocasiones, aunque estos residuos no representen un riesgo por sí mismos, su transformación en el ambiente puede generar otros productos que sí sean peligrosos (SAVAL, 2012), tal es el caso de los metales pesados, que, por acción de microorganismos pueden convertirse en compuestos organometálicos más biodisponibles y por ende más peligrosos a la salud humana. Es por esto por lo que en los años recientes se ha considerado que el diseño de las plantas de tratamiento de aguas debe incorporar tecnologías que permitan la eliminación específica de ciertos contaminantes (GALANAKIS, 2012).

Los equipos tecnológicos que se utilizan para eliminar los metales pesados presentes en las fuentes de agua dulce tienen un costo muy elevado. De todas las tecnologías disponibles y que se han descrito en la bibliografía especializada, la tecnología química de tratamiento es poco utilizada a pequeña escala por el alto costo de los reactivos, como, por ejemplo: el permanganato de potasio. Otras como: electrocoagulación, intercambio iónico y algunos tipos de adsorción son muy caras. De tal forma que el método más accesible a nivel local es la oxidación empleando aire en el agua para que una vez aireada, el agua penetre por un lecho de filtración utilizando medios filtrantes que retienen las partículas de hierro y manganeso oxidadas (Dvorak, 2007).

Respecto al objeto de estudio de este trabajo: el manganeso, es sumamente importante buscar una manera adecuada y menos costosa que permita disminuir su concentración en las aguas de la planta de potabilización de Tixán, que presenta valores inaceptables de este metal, debido a los

deslizamientos naturales de tierra en la captación de agua proveniente del río Yanuncay. La elevada concentración de manganeso y también de hierro, provoca en ocasiones la obstrucción de las tuberías, reduciendo la capacidad de la Planta de Potabilización, además de que afectan al color y sabor del agua suministrada a la población del cantón Cuenca (ROJAS, 1999).

Recientemente, la bioadsorción ha sido propuesta como un procedimiento de tratamiento alternativo en la remoción de metales pesados en sistemas acuosos. En este sentido, las investigaciones en torno a residuos agroindustriales como puede ser la cáscara de naranja, que se obtiene como residuo en algunas provincias de la Amazonía, se han centrado en estudiar su potencial para revolver esta problemática ambiental, ya que, en su forma pirolizada o de "biochar" puede ser un excelente biosorbente de metales pesados como plomo y zinc (Cardona Gutiérrez ., 2013).

Por esta razón resulta interesante estudiar al "biochar" o biomasa vegetal pirolizada a partir de la cáscara de naranja, para su utilización como biosorbente de manganeso en el agua para potabilizar, con el propósito de reducir su concentración excesiva en las aguas de la Planta de Potabilización de Tixán.

En estudios recientes, Tejada et al. (2015a) realizaron adsorción competitiva de Ni (II) y Pb (II) sobre zuro de maíz y cáscara de naranja, encontrando que los modelos de isotermas de Freundlich y Langmuir ofrecen un buen ajuste de los datos experimentales. Ellos encontraron una capacidad máxima de adsorción de 2687 mg/g, para el plomo y 1016,9 mg/g, para el níquel, utilizando la biomasa de zuro de maíz. En el caso de la biomasa de cáscara de naranja, se determinó una adsorción de 3224,07mg/g, para el plomo y 390,59 mg/g, para el níquel, mostrando que son materiales que podrían ser usados para la remoción de estos metales, aun cuando estén en disolución binaria.

Por todo lo anterior, el problema puede formularse a través de la siguiente pregunta:

¿Sería posible disminuir la concentración de manganeso presente en el agua para potabilización, mediante adsorción sobre la biomasa residual: cáscara de naranja pirolizada o calcinada en un sistema dinámico a través de columnas de lecho fijo?

1.2 Objetivos

Objetivo General

Proponer el diseño de un sistema dinámico en columnas mediante adsorción sobre la biomasa residual cáscara de naranja pirolizada o calcinada para que contribuya a disminuir la concentración de manganeso presente en el agua para potabilización, en la Planta de Potabilización de Tixán mediante adsorción sobre biomasa residual.

Objetivos Específicos

- Estudiar en la bibliografía existente las potencialidades físicas y químicas de la cáscara de naranja sometida a pirólisis o calcinación como biomasa residual para la remoción de manganeso en agua para potabilizar.
- Comparar teóricamente la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja pirolizada o calcinada con otros bioadsorbentes de origen natural.
- Establecer desde el punto de vista teórico las características de un sistema dinámico en columnas que utilice cáscara de naranja pirolizada o calcinada, como tecnología de tratamiento adecuada para disminuir la concentración de manganeso en las aguas de la planta de potabilización de Tixán.

1.3 Justificación

- Conveniencia. Es un proyecto de carácter urgente que no se presenta solo a nivel local, sino que es un problema global y, si se puede encontrar la solución de manera más económica, eficaz y segura respecto a un equipo o tecnología costosa, sería un logro de mucha importancia para la ciencia. Este proyecto obedece a un problema real existente en la ciudad de Cuenca.
- Relevancia social. Sobre la base del cumplimiento de las normas y los límites permisibles de metales pesados para la salud humana, se puede asegurar la disminución del manganeso en las fuentes de agua que son procesadas para una potabilización y posteriormente su consumo diario en la ciudad de Cuenca. De esta manera, se puede asegurar la calidad del agua y en consecuencia la calidad de vida. Los resultados del proyecto podrán ser replicados en diferentes las ciudades del país y quizás en otras partes del mundo, como una nueva solución más rentable y económica al alcance de todos para eliminar el exceso de manganeso en las fuentes de agua dulce para consumo humano.
- Implicaciones prácticas. El exceso de manganeso se da por diferentes factores y es un problema real que afecta directamente al agua, en donde se va acumulando, ya sea por desprendimientos de tierra, erosión o fuertes lluvias que arrastran el manganeso que se encuentra de forma natural en la tierra.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Potabilización

Conjunto de operaciones y procesos físicos-químicos que se aplica al agua en los sistemas de abastecimiento con el fin de hacerle apta para el uso y consumo del ser humano (Vera , 2007).

2.1.1. Características del agua potabilizada.

El agua potable es la que puede ser consumida por los seres humanos sin restricción alguna ya que se encuentra completamente limpia de, por ejemplo, magnesio, aglomeraciones, coloides, hierro, sedimentación y organismos patógenos, entre otras cuestiones. Tal situación es consecuencia de la realización de este proceso, llevado a cabo en las plantas potabilizadoras destinadas para este fin. El pH del agua potable debe encontrarse en los rangos de 6,5 y los 8,5 (Gonzalez, 2004).

El agua potabilizada debe contener en disolución aire, cationes metálicos como Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{1+}, y Na^{1+}y aniones HCO_3, Cl, Br, I, F, los cuáles son necesarios para el buen funcionamiento del organismo humano, no obstante, debe evitarse usar fuentes de abasto de agua contaminada con nitratos, nitritos o amoniacos debido a que son altamente perjudiciales para la salud. Los ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo en con gran presencia en el agua también pueden causar severos daños a la salud de los seres vivos (Gonzalez, 2004).

Asimismo, según la Organización Mundial de la Salud – OMS, recomienda que el agua destinada para la ingesta colectiva debe estar libre de colonias de coniformes por cada 100 mililitros (Gonzalez, 2004).

2.1.2 Proceso de Potabilización

Todos los procesos de potabilización son sumamente variados y pueden oscilar desde una simple desinfección, adicionándole cloro al agua en cuestión para eliminar aquellos organismos patógenos o inclusive procesos mucho más sofisticados como son la destilación y la filtración con ozono (Gonzalez, 2004).

Una corroboración que habla de la potabilización del agua que se consume se puede conseguir a partir de la percepción de las siguientes condiciones en el agua: insípida, es decir sin sabor, incolora o sin color e inodora o sin olor. El agregado de fluoruro durante el proceso de potabilización contribuye al mejoramiento de la salud dental en la población y resulta una práctica muy común en países desarrollados o con conciencia ambiental.

Entre los métodos que tienen los seres humanos de adquirir agua potable de inmediato y en pequeñas cantidades se toman en cuenta: hervir agua de ríos o charcos para así se evitar la contaminación bacteriana que se alcance a observar y luego dejarla decantar para recuperar su volumen más limpio; hirviendo agua para que por condensación se recupere el vapor que se produce y también con pastillas potabilizadoras (Gonzalez, 2004).

2.2. Metales pesados

Los metales pesados son elementos propios de la naturaleza, se encuentran de manera natural en el ambiente que por lo general no perjudican a las diferentes formas de vida. La tabla periódica manifiesta, que los metales pesados son elementos químicos con alta densidad (mayor a 4 g/cm3), masa y peso atómico por encima de 20, y son nocivos en concentraciones bajas (Garcia, Muñoz, & Franco, 2016).

De acuerdo con 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).

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

Existen diversos métodos para el tratamiento o eliminación de metales pesados disueltos en disoluciones acuosas. En la tabla 1 se describen algunos de los llamados métodos convencionales.

Tabla 1: Métodos convencionales de remoción de metales pesados en efluentes.

Método	**Definición**
Ósmosis Inversa	Eliminación de iones metálicos por permeabilidad a través de membranas semipermeables. La ósmosis inversa es capaz de remover hasta el 99.5 % de la contaminación.
Electrodiálisis	Es un proceso de separación en el que se combina el efecto osmótico y el electrolítico para separar especies iónicas de una solución acuosa.
Ultrafiltración	Es una operación de separación que comparte características
Intercambio Iónico	Proceso por el cual ciertos iones no deseados son cambiados por otros iones, que están unidos a las partículas de una resina; normalmente los iones hidrógeno de la resina, se cambian por los cationes, y los iones hidroxilo de la resina se cambian por los aniones.
Precipitación química	Se entiende como la formación por acción de los reactivos apropiados, de compuestos insolubles con los iones metálicos indeseables contenidos en aguas residuales.

Fuente: (Lenntech, 2006)

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

En comparación con los métodos convencionales, la biosorción es más preferida debido a su alta eficiencia, facilidad de manejo, disponibilidad de varios biosorbentes, adsorción selectiva de iones metálicos, el tiempo de funcionamiento corto, y la posibilidad de regeneración de material (Khitous, 2015).

2.2.3. Manganeso

Es un elemento químico ampliamente distribuido por la corteza terrestre en rocas, suelos, sedimentos y agua (Tabla 2), su número atómico es 25, su masa atómica es de 54.938g/mol. Este metal también se le puede encontrar en algunos alimentos como; nueces, legumbres y cereales. A pesar de que el manganeso es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, en el agua se encuentra con menos frecuencia y en cantidades mucho menores que el hierro (Valencia , 2011).

Tabla 2: Definición del metal pesado según sus propiedades

Nombre	**Manganeso**		
Número atómico	25	Configuración electrónica	[Ar]3d54s2
Valencia	2,3,4,6,7	Potencial primero de ionización (eV)	7,46
Estado de oxidación	2	Masa atómica (g/mol)	54,938
Electronegatividad	1,5	Densidad (g/ml)	7,43
Radio covalente (Å)	1,39	Punto de ebullición (ºC)	2150
Radio iónico (Å)	0,8	Punto de fusión (ºC)	1245
Radio atómico (Å)	1,26	Descubridor	Johann Gahn en 1774

Fuente: (Lenntech, 2006)

2.2.4. Distribución

Se encuentran de manera natural en el ambiente en concentraciones, que, por lo general, no perjudican las diferentes formas de vida. Los metales pesados no pueden ser degradados o destruidos, pueden ser disueltos por agentes físicos y químicos y ser lixiviados. En algunos casos, los metales procedentes de áreas contaminadas pueden llegar al ecosistema mediante hasta incorporarse en la cadena trófica (Londoño-Franco, Londoño-Muñoz, & Muñoz- García, 2016).

2.2.5. Efectos en el ambiente

El manganeso se encuentra de forma natural en el planeta tierra, agua, suelo, rocas etc., sin embargo, el incremento en su concentración hasta llegar a niveles tóxicos se da principalmente por las actividades humanas industriales, uso de fungicidas y a través de la quema de combustible fósil. Las grandes concentraciones de este metal afectan directamente a las plantas porque están en suelos altamente tóxicos o aguas con grandes concentraciones de Mn. (Patlolla, Tchounwou, Sutton, & Yedjou, 2014).

2.2.6. Efectos en la salud

El manganeso es un elemento nutritivo esencial para la vida, por ello la ingestión diaria de una cantidad pequeña permitirá mantener buena salud. El incremento en las concentraciones de Mn en el organismo va de acuerdo con el tiempo de exposición y a la vía de entrada del mismo, causando un sin número de afectaciones en la salud, así como sus signos y síntomas en el organismo esto

según la Organización Mundial de la Salud (2015). En una exposición crónica se ha observado, neumonía, 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). Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro. Los síntomas por envenenamiento con Manganeso son alucinaciones, olvidos y daños en los nervios. El Manganeso puede causar Parkinson, embolia de los pulmones y bronquitis. Cuando los hombres se exponen al manganeso por un largo periodo de tiempo el daño puede llegar a ser importante. Un síndrome que es causado por el manganeso tiene los siguientes síntomas: esquizofrenia, depresión, debilidad de músculos, dolor de cabeza e insomnio (Lenntech, 2006). Porque el Manganeso es un elemento esencial para la salud de los humanos, la falta de este puede también causar efectos sobre la salud como: obesidad, intolerancia a la glucosa, trombosis, problemas de la piel, y síntomas neurológicos, entre otros (Lenntech, 2006).

2.2.7. Normativas

En la República del Ecuador la ley ambiental que rige y regula el recurso agua está descrita en la normativa ecuatoriana TULSMA, en el libro VI, Anexo 1 "NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA" que establece:

- Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos.
- Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.
- Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado, que son de un máximo de 0.05 mg/L (ppm) de manganeso.

El presente estudio se enfoca en la normativa que establece los límites máximos permisibles de descargas en cuerpos de agua hacia cuerpos de agua dulce, así como las normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.

2.2.8. Proceso de eliminación de manganeso soluble en sistemas de filtración.

El proceso a modelar para la eliminación de manganeso consiste en la combinación de dos procesos que se llevan a cabo en un simple sistema de filtración, se asume que se ha dado un intercambio iónico como fase inicial, donde el manganeso disuelto se fija en la superficie del lecho filtrante, la posterior oxidación del manganeso sobre la superficie del medio, la cual permite la formación de una película de óxidos (MnOx(s)) sobre el grano del material y el proceso siguiente: la eliminación del manganeso disuelto en el agua, por adsorción sobre la película de óxidos formada sobre el grano del material. La Figura 1 ilustra este proceso; la película utilizada es altamente selectiva a

los iones de manganeso Mn (II), seguida de los iones de hierro Fe (II). Oxidando el manganeso adsorbido en la superficie del grano, se regenera la capacidad de adsorción del medio, asegurando una continua eliminación de manganeso durante la filtración (FLORES, 1998).

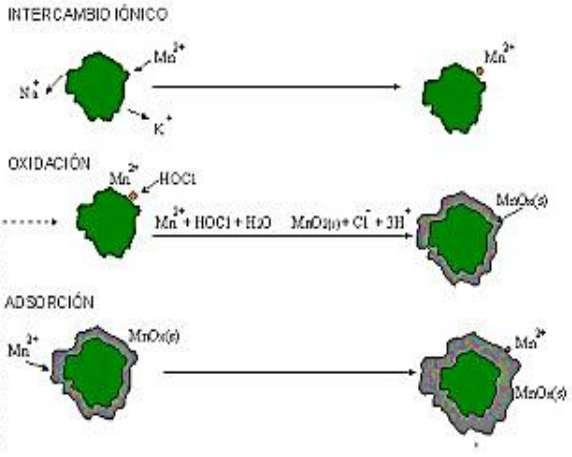

Figura 1. Etapas del proceso de formación de la capa de óxidos de manganeso.

Fuente: (FLORES, 1998)

2.3. Sistemas dinámicos

Los sistemas dinámicos, están descritos por ecuaciones que varían de acuerdo a las variables establecido en un tiempo, este tipo de sistemas siguen una serie de parámetros y reglas temporales. Para visualizar el comportamiento de las variables del sistema se emplea el grafico de una variable de estado contra el tiempo o en forma de espacio fase. Los sistemas dinámicos se clasifican en: discretos, continuos autónomos, no autónomos invariantes o variantes en el tiempo, lineales y no lineales (Martínez-Austria & Vargas-Hidalgo, 2016).

2.3.1. Consideraciones generales del diseño.

Según (Vera , 2007), las plantas de purificación de agua deben tener los controles e instrumentos indispensables, una máxima confiabilidad y flexibilidad, mínima operación y mantenimiento. Para logar lo mencionado es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Considerar el sistema de distribución para de esta forma logar agua de buena calidad.
- Emplear cada una de las especificaciones establecidos en las leyes y requerimientos oficiales aplicables al proyecto.
- Cuando no exista información suficiente sobre la calidad de la fuente, se debe recopilar información proveniente de plantas con operaciones similares.
- La construcción de la planta debe garantizar la calidad del agua

2.3.2. Modelos de columnas 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 D. , 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.

2.3.3. Modelo de Thomas

El modelo de Thomas es uno de los más generales y utilizados para describir el comportamiento del proceso de bioadsorción en columnas de lecho fijo. Este modelo se usa para conocer la máxima capacidad de adsorción de un adsorbente y obtener el rendimiento teórico de la columna. El modelo se describe mediante la siguiente expresión matemática:

$$\frac{C}{Co} = \frac{1}{1+e^{\left(\frac{K_{th}}{Q}\left(q_o * m_B - C_o * V_{ef}\right)\right)}}$$

Donde: K_{th} es la constante de velocidad (mL/min mg), q_o la capacidad de adsorción en el modelo de Thomas (mg/g), m_B la masa del bioadsorbente (g), V_{ef} el volumen del efluente (mL) y Q el caudal de alimentación (mL/min) (Bermejo D. , Brazales, Campos, Uguña, & Vera, 2018).

2.3.4. Modelo de dosis-respuesta

Durante los últimos años este modelo es normalmente utilizado en la industria farmacéutica para describir algunos tipos de procesos. En la actualidad este método está siendo empleado para determinar los procesos de biosorción en lechos de columna fija. Este modelo hace referencia de manera exacta a la curva completa y la ruptura de esta. Además, es capaz de reducir los errores del método de Thomas, especialmente los bajos y los altos durante el tiempo de remoción (Bermejo, y otros, 2017).

2.3.5. Modelo de Yoon-Nelson

Yoon y Nelson asumen en este modelo que la velocidad con la que disminuye la probabilidad de adsorción para cada molécula de adsorbato es proporcional a la probabilidad de adsorción del adsorbato y a la probabilidad de que no se adsorba; este modelo, además de ser el menos complejo, no requiere datos relativos a las características del adsorbato, el tipo de adsorbente o las propiedades físicas del lecho y se utiliza frecuentemente para predecir el comportamiento dinámico de sistemas de composición simple o binaria La ecuación, a continuación, describe el modelo (Bermejo, y otros, 2017):

$$In\left(\frac{C_o}{C}-1\right)=K_{YN}*\tau-K_{YN}*t$$

2.4. Biomasa residual

La biomasa es todo el material de origen biológico, excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización, la biomasa también es referida principalmente a la energía solar convertida por la vegetación en más vegetación o materia orgánica y posteriormente dicha materia orgánica puede ser convertida en diferentes tipos de energía, acorde al uso que se le quiera dar. El excedente generado en cualquier proceso en que se consuma biomasa es denominado biomasa residual. Las principales actividades que generan biomasa residual son: agrícolas, forestales o ganaderas, así como los residuos de origen orgánico generados en las industrias y en los núcleos urbanos (Patiño , 2017).

2.4.1. Biosorción

Para (Gavrilescu, 2004) la biosorción consiste en la absorción de iones metálicos desde soluciones 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).

El pH es uno de los parámetros más importantes que afectan el proceso de adsorción. Esta dependencia está estrechamente relacionada con las propiedades ácido-base de los grupos funcionales presentes en la superficie del adsorbente.

2.4.2. 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 microbial, 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.)

2.4.3. Mecanismos implicados en la biosorción de metales pesados.

Existe una amplia gama de mecanismos que explica la retención o secuestro del metal en diferentes partes del biosorbente, como se observa en la tabla 3.

Tabla 1: Mecanismos de Biosorción

Mecanismos	Definición
Complejación	El metal se une a los centros activos de la pared celular mediante enlaces químicos formando determinados complejos.
Adsorción física	La unión entre la superficie del sorbente y el metal se produce por fuerzas de atracción electrostática o de Van der Waals. En este caso la biosorción es rápida y reversible.
Intercambio iónico	Propio de los iones metálicos divalentes que se intercambian con iones propios de los polisacáridos ya que gran parte de los sorbentes contienen sales de Na^{+}, K^{+}, Ca^{+2} y Mg^{+2} en sus estructuras.
Quimiosorción	La unión entre el sorbente y el metal se produce por enlaces químicos mediante el intercambio de electrones.
Precipitación	Se asocia a un mecanismo de defensa de algunos microorganismos, los cuales pueden producir sustancias que precipitan los elementos tóxicos acumulados en su interior o en el medio que los rodea.

Fuente: (Kumar Karna, 2013)

2.4.4. Procesamiento del material biosorbente

La cáscara de naranja tiene muchas propiedades absorbentes muy favorables para eliminar metales pesados, contiene: pectina en su celulosa, pigmentos de clorofila y otros de baja masa molar, estos componentes contienen diversos grupos funcionales tales como carboxilo e hidroxilo que hacen su cáscara potencial para la eliminación de iones metálicos a partir de disoluciones acuosas. Las cáscaras pueden ser sometidas a dos tipos de tratamiento.

Tratamiento 1: Se corta en fracciones de aproximadamente 5 cm cada cáscara, y posteriormente lavadas con abundante agua para eliminar la presencia de compuestos indeseables como azúcares, suciedad y elementos solubles en agua. Posteriormente se seca durante 24 horas en un horno de laboratorio a 60°C, con el fin de eliminar la humedad. Las cáscaras ya secas se trituran y se hacen pasar con un tamiz formado por una malla #40 (0.4 mm de diámetro de poro) en la parte superior y una malla #18 (1 mm de diámetro de poro) en la parte inferior.

Tratamiento 2: Se realiza el proceso de dexmetoxilación, para este fin se mezclan 30 gramos de la biomasa (cáscara de naranja) en 500 ml de una disolución de NaOH 0.2 M, esta mezcla se somete

a agitación constante durante dos horas, seguidas de un período de reposo. A continuación, se procede a filtrarla haciendo lavados sucesivos con agua desionizada para eliminar el exceso de NaOH. Posteriormente se lleva a un secado en una estufa a una temperatura de 40°C durante dos horas (Cardona Gutiérrez ., 2013).

Reticulación de la cáscara: A 20 gramos de cáscara desmetoxilada se le agregara 500 ml de una disolución de $CaCl_2$ 0.2 M, ajustándolo a un pH 5 (HCl 0.1M). La mezcla se mantendrá en agitación constante a 200 rpm por 24 horas usando para ello un agitador magnético. Este proceso permitirá entrecruzar el polímero, y de esta manera se producirá o formará la malla tridimensional en la parte interna para así aumentar la estabilidad mecánica del material. Después de la agitación, la mezcla se lavará varias veces con agua desionizada con el fin de eliminar el exceso de calcio, consiguiente se filtrará y secará en una estufa a 60°C durante 6 horas. En la parte final, el material resultante se llevará a un proceso de cribado de la misma forma que el material del tratamiento 1 (Cardona Gutiérrez ., 2013).

2.4.5. Factores que afectan la biosorción

Según (Bermejo, 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.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La Planta de Potabilización de Agua de Tixán se encuentra ubicada en la parroquia Chiquintad, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay, en margen izquierdo del canal de riego Machángara a una a elevación de 2690 msnm. La fuente de abastecimiento de la Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) es el río Machángara, el cual posee un caudal de 208 km^2. La ETAP está situada en las coordenadas UTM, WGS84: 17M 723273; 9686667 (Aguilera, 2017).

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



Figura 2: Mapa de Ubicación para Planta de Agua Potable de Tixán.

Fuente: (google.earth, 2021)

3.2. Tipo o diseño de la investigación

Este proyecto se enfocará al diseño cualitativo; se realizarán estudios exploratorios analíticos, teóricos e históricos para, sobre la base de una revisión documental, proponer el diseño de un sistema dinámico para la eliminación de manganeso en agua para potabilización mediante adsorción en la cáscara de naranja pirolizada. Para ello se revisarán datos como estadísticas, informes, expedientes, etc., asegurándose siempre de la fidelidad de la información y estudiándola

a profundidad y a la vez utilizando varias fuentes de diferente origen que serán cotejadas cuidadosamente (Rosello, 2017).

3.3. Métodos de la investigación

3.3.1 Características físicas y químicas de la cáscara de naranja como biomasa residual a emplear.

En cuanto a las características físicas de la cáscara de naranja puede decirse que proviene de un fruto globoso y achatado, con una anchura de 6,5 a 9,5 cm y un diámetro de 6 a 10 centímetros. El epicarpio exterior (la llamada cáscara) es de color amarillo o naranja cuando el fruto está maduro, dicha cáscara es delgada y flexible; posee un sabor amargo al contacto con la lengua y un olor cítrico aroma frutal. El epicarpio exterior es impermeable y poco adsorbente (Romero, 2014).

La caracterización química de la cáscara de naranja que permite evaluar su uso como material biosorbente se presenta en la tabla 4.

Tabla 2: Características químicas de la cáscara de naranja.

Grupos funcionales	**Contenido**	**Porcentaje de contenido**	**Componentes**	**%**
Amino	Carbono	44,43%	azúcares solubles	16,9
carboxílico	Hidrógeno	6,10%	celulosa	9,21
hidroxilo	Nitrógeno	0,89%	hemicelulosa	10,5
fosfato y tiol	cenizas	4,90%	Pectina	42,25

Fuente: (Cano, 2013).

Su poder calorífico es de 15,910 kJ/Kg y la capacidad de intercambio iónico que posee el material es de 8,04 meq/100g (miliequivalente/gramos) (Cano, 2013).

3.3.1.1. Proceso para la obtención del medio adsorbente a partir de cáscaras de naranja

1. Recolección: manualmente se debe recoger las cáscaras de naranja para utilizarlas.
2. Pedaceo: se corta en fracciones de aproximadamente 5 cm cada cáscara.
3. Lavado: posteriormente deben ser lavadas con abundante agua desionizada para eliminar la presencia de suciedad adherida y eliminar compuestos indeseables como azúcares, suciedad y elementos solubles en agua desionizada para eliminar la suciedad adherida y posteriormente trituradas.
4. Secado: Posteriormente se seca durante 24 horas en un horno de laboratorio a 60°C, con el fin de eliminar la humedad.
5. Triturado: Las cáscaras ya secas se procederá a triturarlas con un mortero.

6. Tamizado: Se tamizará con una malla #40 (0.4 mm de diámetro de poro) en la parte superior y una malla #18 (1 mm de diámetro de poro) en la parte inferior (Cano, 2013).

3.3.1.2 Bioadsorbente activado

- Después de lavar la cáscara de la naranja, se debe secar en una estufa a 70 ºC por tres días.
- Luego de secarla se acondiciona la cáscara con ácido fosfórico a 1,0 M.
- Se calcina en una mufla a una temperatura de 500ºC por 24 horas.
- Se tritura la cáscara de naranja ya calcinada.
- Se tamiza para obtener una granulometría uniforme.
- Se preparan cuatro dosis del bioadsorbente activado, de 1,5 gramos, de 3,0 gramos, de 5,0 gramos y d e10 gramos (Cano, 2013).

3.3.1.3 Bioadsorbente no activado.

- Después de lavar la cáscara de la naranja, se debe secar en una estufa a 70 ºC por tres días.
- Se tritura en un mortero la cáscara de naranja deshidratada.
- Se tamiza para obtener una granulometría uniforme.
- Se preparan tres dosis del bioadsorbente activado, la primera de 3,0 gramos, la segunda de 5,0 gramos y la tercera de 10 gramos (Cano, 2013).

3.3.2 Comparación la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja pirolizada o calcinada con otros bioadsorbentes de origen natural.

Un gran número de residuos agrícolas de bajo costo son utilizados como adsorbentes para la eliminación de metales pesados, incluyendo el aserrín, la cáscara de coco, mandarina, la fibra de coco, la cáscara de banano, las cenizas volantes provenientes del bagazo, cáscara de naranja, el musgo y las cáscaras de nueces (Annadurai, 2002).

La mayoría de estos adsorbentes tiene una buena capacidad de adsorción en comparación al carbón activado, pero su uso es limitado ya que se libera materia orgánica en las soluciones acuosas a tratar (sustentavel, 2014).

A continuación, se detalla la capacidad de adsorción de algunas materias orgánicas utilizadas como bioadsorbentes de metales pesados como cromo (Cr) manganeso (Mn), cadmio (Cd), plomo (Pb), níquel (Ni), etc.

3.3.2.1 Cáscara de banano.

La cáscara de banano es un compuesto lignocelulósico compuesto de: celulosa, hemicelulosa y lignina, pero su composición varía con el origen del material. La cáscara de banano maduro

es el material lignocelulósico, que representa alrededor del 40 % del peso total de la fruta (Monsalve, 2006). Su capacidad de bioadsorción es de: 80% para manganeso y para cromo es de 51,2% (Pastor, 2015).

3.3.2.2 Cáscara de tamarindo.

En esta investigación, la elección del biosorbente en estudio, se llevó a cabo bajo investigación de factibilidad considerando que fuera abundante en la naturaleza, que su costo fuera mínimo y que se encontrara de manera abundante. Por lo tanto, se eligió como biosorbente la cáscara de tamarindo (LÓPEZ, 2014). Su capacidad de bioadsorción para Cromo es de 94.65% (Acosta I. L., 2010).

3.32.3 Cáscara de Mamey.

La cáscara de la semilla de mamey es capaz de eliminar Cr(VI) de disoluciones acuosas mediante dos mecanismos: reducción del Cr(VI) a Cr(III) y biosorción. La cáscara de mamey es muy eficiente a la hora de adsorber diferentes metales pesados; en un análisis hecho por (Acosta I. S., 2012) se indica que su capacidad de adsorción de cromo es del 95%, una cantidad muy por encima de las expectativas.

Realizando un análisis comparativo entre estos bioadsorbentes, se tiene que la cáscara de naranja con un porcentaje del 99.5% para manganeso y para cromo solo del 64.6%, es muy eficiente para la adsorción de manganeso, pero para cromo es muy bajo, si se necesitara eliminar cromo la cáscara de tamarindo es el más eficiente a la hora de adsorber este metal con un 95% según (Acosta I. S., 2012).

3.3.3 Características del sistema dinámico, como tecnología de tratamiento adecuada para disminuir la concentración de manganeso (Mn) en las aguas de la Planta de Potabilización.

3.3.3.1 Proceso de adsorción de manganeso en columnas de flujo continuo con de lecho fijo sobre los residuos de cáscara de naranja.

Recolección de la muestra de agua a tratar

- Se debe tomar una muestra de agua del lugar para analizar, en este caso en la zona de descarga de la planta de agua potable Tixán.
- Se debe usar un recipiente de muestreo cuyo volumen mínimo sea un litro de agua del cuerpo hídrico que se muestrea (para analizar por el método de absorción atómica).
- La toma de muestras se realizará sumergiendo el envase de forma contraria al flujo para evitar el ingreso de aire.
- Tomar una muestra para línea base.

- Se debe tomar 1 litro de muestra para determinar la concentración inicial de la presencia del manganeso existente en la planta de tratamiento de agua potable Tixán (Pinzón-Bedoya, 2008)

3.3.2.2. Diseño del sistema continuo de columnas

Para el estudio de la biosorción manganeso en aguas destinadas a la potabilización, se tomará en consideración los modelos cinéticos de Yoon-Nelson, Thomas y Dosis-respuesta que pueden describir el comportamiento del sistema a partir del ajuste de los resultados experimentales a los modelos mediante un análisis de regresión lineal. Cada uno de los modelos sirven como base para estimar los parámetros característicos del proceso de biosorción para de esta forma diseñar una unidad efectiva de lecho fijo con cáscaras de naranja como biosorbente sólido (Bermejo D. , Brazales, Campos, Uguña, & Vera, 2018).

3.3.2.3. Agregación del medio adsorbente.

Realizar cuatro lechos fijos, con diferentes cantidades de material bioadsorbente (1,5g, 3g, 5g, y 10g), obtenido de cáscaras de naranja, que serán colocados en columnas con flujo continuo de agua. Para el estudio se empleará 1 litro de agua para cada concentración de bioadsorbente. Se debe identificar los recipientes con su respectiva concentración, es decir se usará 1 litro de agua para obtener cada concentración (Bermejo D. , Brazales, Campos, Uguña, & Vera, 2018).

3.3.2.4. Tiempo de residencia del bioadsorbente en el agua.

El tiempo de residencia del bioadsorbente en el agua debe ser de 10 horas, este tiempo considerado por investigaciones antecedentes en las cuales se menciona el tiempo de residencia óptimo es de 10 horas en todo el sistema de columnas establecidas, ya que a medida que la disolución siga ingresando a la columna las capas subsiguientes se irán saturando con el soluto, hasta que la adsorción del contaminante por parte del lecho fijo formado por la concentración de cáscaras de naranja sea nula (Bermejo, 2016).

3.3.2.5. Análisis por adsorción atómica de manganeso

A partir de los resultados de los análisis en el laboratorio se podrá conocer la concentración de manganeso en el agua y comparar bajo qué condiciones se obtiene mayor bioadsorción de manganeso (Bermejo D. , Brazales, Campos, Uguña, & Vera, 2018).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización del agua que ingresa a la Planta de Potabilización.

Se debe realizar un muestreo del agua al ingreso de Planta de Potabilización de Tixán, con el objetivo de conocer la cantidad de manganeso que se encuentra presente en cada mt^3 de agua y valorar si su concentración ya rebasó los límites permisibles del TULSMA. Para que los objetivos planteados se cumplan a cabalidad, se realizó un análisis e investigación exhaustiva sobre el manganeso y el poder de adsorción de la cáscara de naranja frente a este metal en el agua.

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 compuestos coloidales posteriormente a la oxidación.

4.2 Porcentaje de adsorción entre manganeso y cromo con cáscara de naranja y otros bioadsorbentes.

Los derivados de residuos agrícolas son baratos y fáciles de obtener, y para ellos se ha demostrado un elevado potencial de biosorción (Tabla 5). Sobre la base de la recopilación de información que se realizó con respecto a los bioadsorbentes, se analiza la capacidad de adsorción con diferentes porcentajes según la biomasa y el metal a ser adsorbido por el mismo, llegando a la conclusión que utilizando dicha biomasa de manera inteligente y procesándola de manera eficaz pueden cumplir la función de eliminar hasta el 90% de un metal o metales pesados que se encuentren en el agua.

Tabla 5. Bioadsorbentes provenientes de residuos agrícolas

Bioadsorbente	Adsorción Mg	Adsorción Cr
Cáscaras de naranja	99.5% (Cardona, 2013)	64,6% (Cardona P.-B. y., 2010)
Cáscara del banano	80% (Pastor, 2015)	51,2% (Pastor, 2015)
Cáscara de tamarindo	-	94.65% (Acosta, 2010)
Cáscara del mamey	-	95% (Acosta I. S., 2012)

Fuente: (VERGARA, 2017)

4.3 Análisis de las características físicas y químicas de los residuos industriales: cáscara de naranja como biosorbente, para la remoción de manganeso.

4.3.1 Celulosa

Se trata de un polímero con cadenas largas sin ramificaciones de β-D-Glucosa y se distingue del almidón por tener grupos -CH_2OH alternando por arriba y por debajo del plano de la molécula. La ausencia de cadenas laterales permite a las moléculas de celulosa acercarse unas a otras para formar estructuras rígidas.

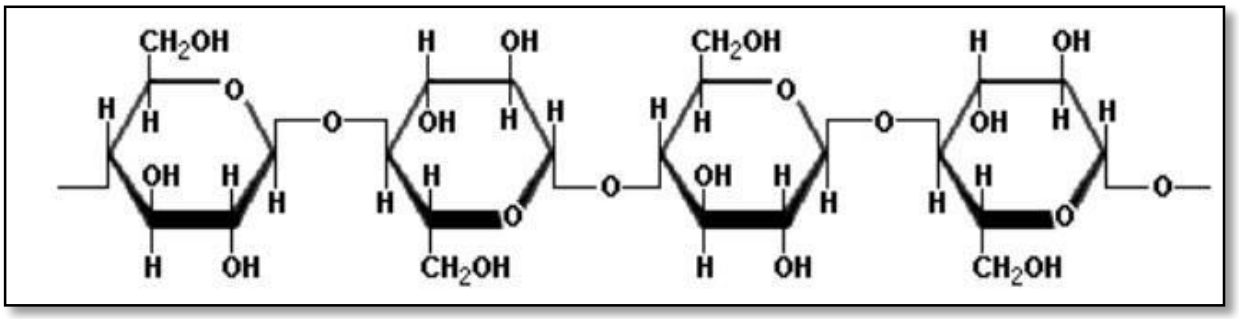

Figura 3. Fórmula química de la celulosa

Fuente: (Mendez, 2008)

4.3.2 Hemicelulosa

Las hemicelulosas son polisacáridos que, excluyendo la celulosa, constituyen las paredes celulares de las plantas y se pueden extraer con soluciones alcalinas diluidas. Las hemicelulosas forman aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos en las partes maderosas de las plantas. La estructura química de las hemicelulosas consiste en cadenas largas con una gran variedad de pentosas, hexosas, y sus correspondientes ácidos uránicos.

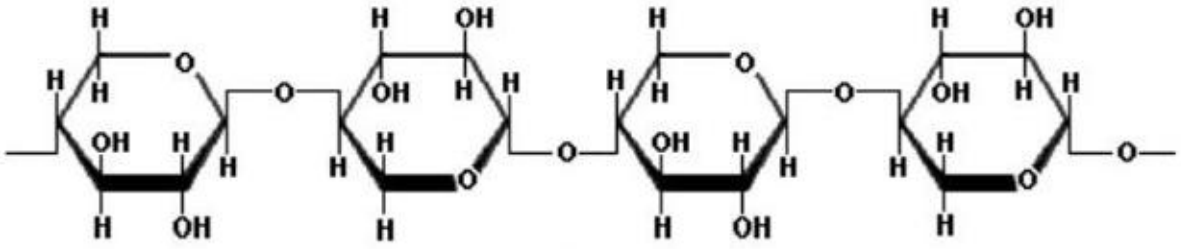

Figura 4. Fórmula química de la hemicelulosa

Fuente: (Mendez, 2008)

4.3.3 Pectina

Las pectinas son una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Constituyen el 30 % del peso seco de la pared celular primaria de células vegetales. Determinan la porosidad de la pared, y por tanto el grado de disponibilidad de los sustratos de las enzimas implicadas

en las modificaciones de esta. Las pectinas también proporcionan superficies cargadas que regulan el pH y el balance iónico.

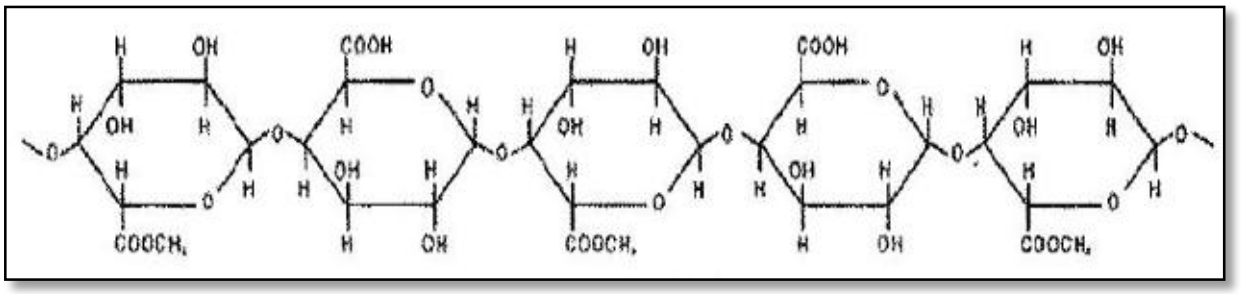

Figura 5. Fórmula química de la pectina

Fuente: (Tapia, 2003)

En la Tabla 6, se presenta la composición elemental de la cáscara de naranja utilizada para el proceso de adsorción de metales pesados como el cromo hexavalente, en aguas residuales industriales (Pinzón-Bedoya, 2008).

Tabla 6. Contenido de C, H y N de la cascara de naranja

Elemento	**%**
Carbono	44,33
Hidrógeno	6,41
Nitrógeno	0,89

Fuente: (Pinzón-Bedoya, 2008)

Según estudios realizados se determinó que la cáscara de naranja sometida a dexmetoxilación, presenta un gran potencial para la remoción de metales pesados, debido a los grupos funcionales (hidroxilos, carboxilos y alquilo) en su estructura molecular; gracias a la presencia de estos grupos funcionales se contribuye a enlazar los metales pesados en la biomasa (Junxiong Cai, 2009).

4.3.4 Capacidad de intercambio catiónico de la cáscara de naranja.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una medida de la suma total de cationes intercambiables que tiene un material adsorbente. Los resultados obtenidos en la determinación por triplicado de este parámetro indicaron un valor promedio del mismo de 8,04 (meq/100g muestra). Este valor se puede comparar con los valores obtenidos para otros tipos de materiales utilizados como adsorbente, aunque comparativamente corresponde a un valor intermedio con

relación a los otros materiales reportados, tal y como lo demuestran los datos de la Tabla 7.

Tabla 7. Capacidad de intercambio catiónico de distintos materiales adsorbentes.

Material vegetal	**C.I.C (meq/100g)**
Sepiolita (Vallecas)	5,2
Cáscara de naranja	8,04
Sepiolita (orera)	9,1
Caolín	14,8
Posidonia oceánica	24,31
Turba carbonizada	25
Lignito carbonizado	45
Bentonita	89
Turba molida fundida	150
Cenizas de turba molida	200

Fuente: (Brown, 2001).

4.4 Sistema dinámico en columnas con cáscara de naranja pirolizada, como tecnología de tratamiento para la remoción de manganeso en las aguas de la planta de potabilización de Tixán.

El sistema dinámico continuo más estudiado es el de columna de lecho fijo, ya que su implementación a escala industrial es más factible (Viraraghavan, 2001) (Khoramzadeh E., 2013). El funcionamiento y la eficiencia de las columnas de lecho fijo se describen mediante el concepto de curva de ruptura, que resulta al graficar la concentración normalizada (C/ Co) en función del tiempo o del volumen tratado, siendo este el menos utilizado en investigaciones recientes. El tiempo de operación y la curva de ruptura son características muy importantes para determinar la respuesta de una columna de bioadsorción y extrapolar los datos a escala industrial (Minocha, 2010) (Rodríguez, Kumar, & Alomá, 2014).

Se distingue por la presencia de una fase sólida que se encuentra estática en el sistema y contiene una sección formada por partículas sólidas dispuestas de tal forma que permiten el paso de un fluido sin separarse unas de otras, manteniendo su posición dentro del sistema (Moron, 2018).

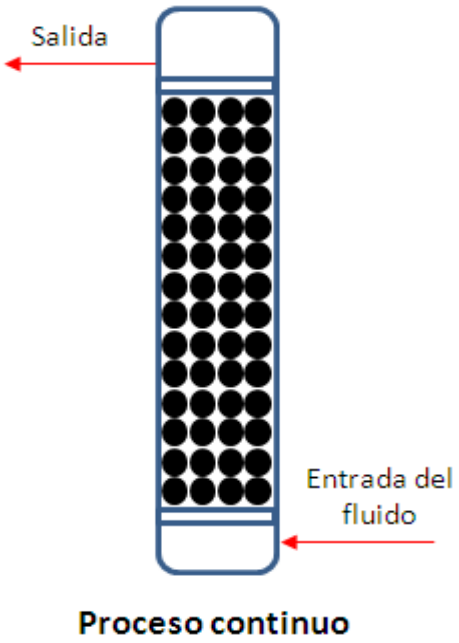

Figura 6. Representación del proceso de adsorción continuo.

Fuente: (Moron, 2018)

En una columna de adsorción, la disolución entra y sale constantemente de modo que el equilibrio entre el adsorbato y el adsorbente en cualquier etapa nunca se establece. El equilibrio se produce continuamente debido a la entrada de alimentación fresca a la columna, por lo que las concentraciones son ajustadas en todo momento.

4.4.1 Curva de ruptura

A partir del punto de ruptura la concentración del soluto no deja de aumentar con el tiempo, hasta igualar el valor que tiene a la entrada del sistema. Si se grafica el perfil de las concentraciones con respecto al tiempo se trazará una curva en forma de S, conocida como curva de ruptura, y es la forma experimental de poder observar el comportamiento de los adsorbentes en sistemas continuos, y poder predecir cuando ocurre la saturación (Moron, 2018).

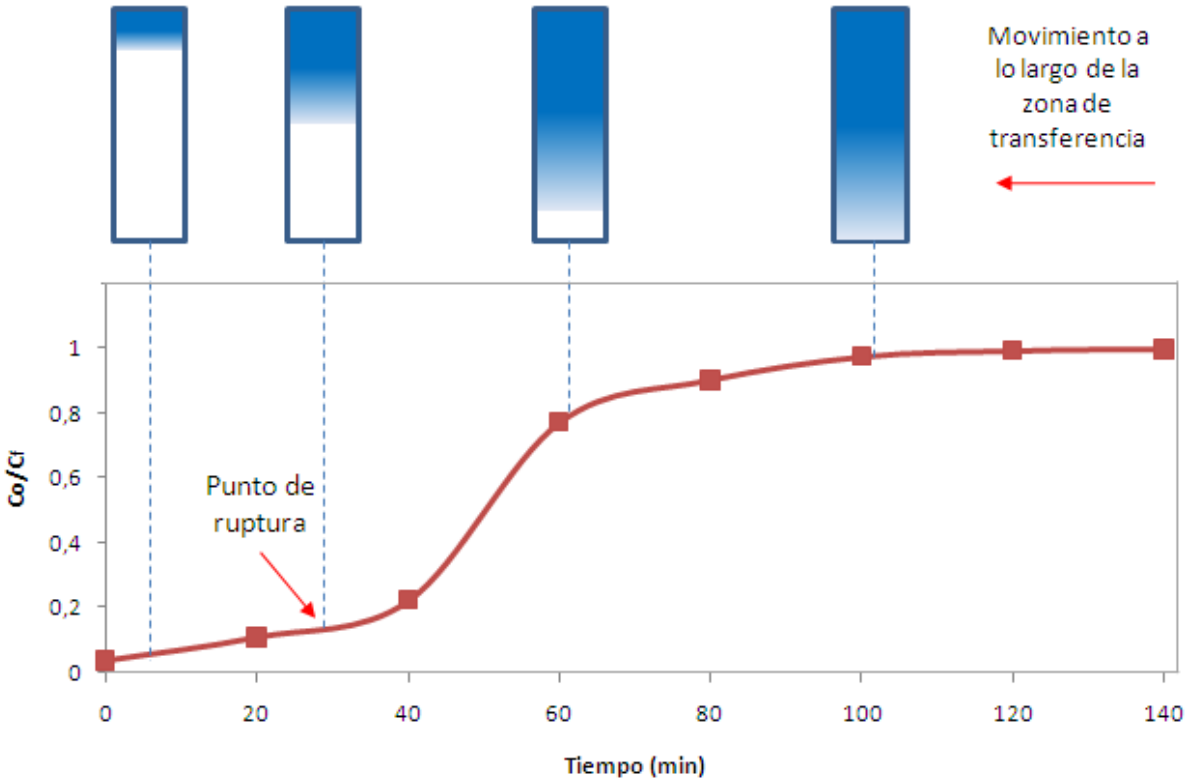

Figura 7. Curva de ruptura típica

Fuente: (Moron, 2018)

Un sistema dinámico de este tipo sería posible proponer para solucionar la contaminación por manganeso, de las aguas de la planta potabilizadora de Tixán, para lo cual deberá realizarse el consiguiente estudio experimental que permita establecer las condiciones operacionales de dicho sistema. Incluso, sería posible colocar columnas en serie, como lo demuestra el estudio realizado por Gabaldón C. M., (2000) en el que se estudia la adsorción de Cd y Cu sobre carbón activado.

CONCLUSIONES

- La cáscara de naranja deshidratada, pirolizada o calcinada, según estudio bibliográfico realizado, ha demostrado tener potencialidades para la remoción de metales pesados en aguas, sobre todo se ha demostrado una gran eficacia, superior al 95%, para el manganeso, por lo que puede ser utilizada para tratar el agua para potabilizar de la planta de Tixán.
- La recopilación de información sobre diferentes bioadsorbentes agrícolas y su capacidad de adsorción frente a diferentes metales pesados, permite demostrar que son eficaces, utilizándolos de forma correcta, para la remoción de metales pesados y particularmente manganeso; la cáscara de naranja pirolizada como bioadsorbente puede tener una capacidad de absorción por encima del 90%.
- Las investigaciones en el campo de la bioadsorción en columnas de lecho fijo se han centrado tradicionalmente en la realización de estudios en discontinuo. Sin embargo, desde el punto de vista de la aplicación industrial, los estudios realizados en continuo proporcionan una información más fiable para conocer las capacidades de eliminación y el comportamiento hidrodinámico del sistema, de hecho, existen algunos estudios que revelan que las capacidades de eliminación de los metales pesados pueden ser diferentes cuando se opera en continuo o en discontinuo.
- Un proceso continuo con cáscara de naranja pirolizada para eliminar el manganeso en agua puede incluir la alternativa de configurar dos columnas en serie para una mayor adsorción mejorando el rendimiento del sistema.

RECOMENDACIONES

➢ Refinar la cáscara de naranja rallada y secarla al sol para evitar la desnaturalización de los grupos funcionales (carboxilo, carbonilo, sulfhidrilo, fosfato e hidroxilo), que tienen propiedades de adsorción de metales pesados.

➢ Se debe trabajar con un pH inferior a 3,5, ya que a este pH la biomasa se protona y capturará más contaminantes, por lo que se pueden utilizar ácidos orgánicos para modificar la biomasa utilizada en la biosorción de metales pesados.

➢ Buscar otras fuentes biomásicas de Pectinas: Limón, Toronja, Mandarina, etc., para comparar los resultados y continuar con el estudio de los diferentes procesos de eliminación de metales pesados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, I. L. (2010). Remoción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa de la Cáscara de Tamarindo (Tamarindus indica). *BIO TECNOLOGÍA*, 11-23.

Acosta, I. S. (2012). Bioadsorción de cromo (VI) por la cáscara de mamey (Mammea americana L.). . *Avances en la ciencia e ingenieria.*, 3 (1-9).

Aguilera, A. P. (2017). *ESTUDIO AMBIENTAL (ExPost) DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE CUENCA EN SU ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.* CUENCA- ECUADOR: ETAPA-EP.

Alma Rosa Netzahuatl- Muñoz et al, E. A.-G.-U.-H. (2010). *Researchgate.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/233835919_Removal_of_hexavalent_and_total_chromium_from_aqueous_solutions_by_Schinus_molle_Bark

Annadurai, J. &. (2002). Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels. Water Sci. Technol. Obtenido de https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Infomusa__La_revista_internacional_sobre_bananos_y_platanos_1380_ES.pdf

Areco. (2011). *semanticscholar.* Obtenido de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n4811_Areco.pdf

Areco, M. d. (2011). Metodos alternativos para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados. En U. d. Aires.

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

Bermejo, D. (2016). *REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES MINERAS MEDIANTE BIOSORCIÓN EN COLUMNAS CON BAGAZO DE CAÑA Y CÁSCARA 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

Bermejo, D., Brazales, D., Garcia, N., Flores, M., Uñiga, F., & Vera, L. (2017). *Biosorción de Cd(ll) y Pb (ll) en Columna lecho fijo con cáscara de cacao.* Obtenido de https://pdfs.semanticscholar.org/7b95/5a7be30f76c982ec0567d4acb8e7e09c6f9a.pdf?_ga=2.135765619.39180761.1592936158-2010821398.1592936158

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

Calero, B. H.-L. (2012). Obtenido de https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/268451

Cardona Gutiérrez A. F., C. V. (2013). *Revista Académica de la FI-UADY*, 1-9.

Cardona, A. C. (2013). Evaluacion del poder de cascara de naranja para la eliminacion de metales pesados. *Revista academica d ela facultad d eingenieria, Universidad de Yucatán*, 17 (1-9).

Cardona, P.-B. y. (2010). Influencia del el pH en la adsorcion de cromo(III) sobre cascara de naranja. *Facultad de Ciencia Básicas*.

Chacon, M. (s.f.). *books.google.com.* Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=0hJ_DwAAQBAJ&pg=PT81&dq=Cu%C3%A1l+es+la+importancia+de+eliminar+el+manganeso+del+agua&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiw7fr8nvTrAhUvxVkKHSr5DbIQuwUwAXoECAAQBw#v=onepage&q=Cu%C3%A1l%20es%20la%20importancia%20de%20eliminar%20el%20

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

Dvorak, B. I. (2007). Drinking Water: Iron and manganese. En *Institute of Agriculture and Natural Resources.*

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/

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

FLORES, O. L. (1998). "Manual de evaluación de plantas potabilizadoras". *IMTA, CNA, Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua, Subcoordinación de Potabilización.*

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

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

GALANAKIS, C. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging. En *Trends in Food Science & Technology.* (págs. 68-87).

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

Gonzalez, M. G. (2004). Potabilizacion: Definición, Etapas del Proceso e Importancia. *Fibras y Normas de Colombia S.A.S.*

google.earth. (s.f.). Obtenido de https://www.google.com/intl/es/earth/

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

HASSEN, H. (2000). Producción Limpia, Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. En *Revista Escuela de administración de negocios.* (págs. 56-72).

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

Junxiong Cai, L. C. (2009). Bioadsorción.

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

Khitous, M. M. (2015). Desalination and Water Treatment. *Biosorption of Cd(II) by Pleurotus mutilus biomass in fixed-bed column: experimental and breakthrough curves analysis.*, 1-12.

Kozinski, F. &. (julio de 2010). *Science Direct.* Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410003019

Krishna, D. &. (julio de 2007). *Pubmed.gov.* Obtenido de https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17175098/

Kumar Karna, N. (2013). Modelación matemática del proceso de biosorción. *Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.*

Lenntech. (s.f.). Lenntech Tratamiento de agua & purificación. Obtenido de https://www.lenntech.es/periodica/elementos/mn.htm#:~:text=Elemento%20qu%C3%ADmico%2C%20s%C3%ADmbolo%20Mn%2C%20de,en%20com%C3%BAn%20con%20ambos%20metales.

Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz- García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humano y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 14*(2), 145-153.

Lopez, G. (s.f.). *repositorio unap.* Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5062/Lopez_Rosello_Gabriel_Andre%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LÓPEZ, J. H. (08 de 2014). *inis.iaea.org*. Obtenido de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/116/46116530.pdf

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-Austria, P. F., & Vargas-Hidalgo, A. (2016). Modelo dinámico adaptativo para la gestión del agua en el medio urbano. *Tecnología y Ciencias del Agua, 7*(4), 139-154.

Mendez, K. (2008). Adsorción del cromo (VI) usando citrus sinensis como biomasa residual. . En *Biotechnology and Bioengineering* (págs. 1045-1054).

Monsalve, J. M. (2006). Produccion de etanol a partir de cascara de banano.

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

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

Pastor, D. B. (2015). *rio.ug.edu.ec*. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8641/1/Uso%20de%20cascara%20de%20banano_Dr.%20Castro.pdf

Patiño , P. (2017). Biomasa residual vegetal: tecnologias de transformacion y estado actual. *Innovaciencia, 2*(1), 45-52.

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

ROJAS, R. (1999). *"Calidad del agua*. Colombia,: Editorial Alfa - omega.

Romero, A. E. (2014). Obtenido de BIOADSORCIÓN DE Pb Y Cr MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE CÁSCARA DE NARANJA (Citrus sinensis) MOLIDA, MACHALA : http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1897/1/CD00308.pdf

Romero, L. (s.f.). *cidetep.repositorio.* Obtenido de https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/345/1/Preparaci%C3%B3n%20y%20uso%20de%20c%C3%A1scaras%20de%20naranja%20como%20biosorbente%20para%20la%20remoci%C3%B3n%20de%20compuestos%20org%C3%A1nicos.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

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.

SAVAL, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. En *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería* (págs. 14-46). México .

sustentavel, P. (2014). Obtenido de https://www.planetasustentavel.org/

Tapia, N. (2003). Biosorbente de Pb (II) por cáscara de naranja, citrus sinensis, modificada. *Revista de quimica* , 48-59.

Valencia , C. E. (2011). *Química del hiero y manganesio en agua, metodos de remoción.* . Cuenca: Universidad de Cuenca. Fcultad de ingeniera .

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

Vera , N. (2007). *Alternativas de potabilizacion para el agua que abastecera a la ampleacion para el aeropuerto internacional de la ciudad de México* . México DF: Instituto Politecnico Nacional .

VERGARA, J. F. (2017). *BIOADSORCIÓN DE IONES DE PLOMO Y CROMO PROCEDENTES DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO LA CÁSCARA DE LA MANDARINA (CITRUS RETICUATA*. Obtenido de dspace.ups.edu.ec: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14249/1/UPS-CT007003.pdf

Volesky, B. (2003). Biosorption process simulation tools. En *Hydrometallurgy,* (págs. 179-190).

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