

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL QUITOSANO COMO
REMOVEDOR DE METALES PESADOS EN LOS LIXIVIADOS DEL
RELLENO SANITARIO DEL CANTON MEJÍA, PICHINCHA, ECUADOR”**

Realizado por:

WILLIAN PAUL PALACIOS VARGAS

Director del proyecto:

MSc. Emma Ivonne Carrillo Paredes

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 02 de Marzo de 2018

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, WILLIAN PAUL PALACIOS VARGAS, con cédula de identidad # 171676892-2, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA Y CÉDULA

1716768922

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL QUITOSANO COMO
REMOVEDOR DE METALES PESADOS EN LOS LIXIVIADOS DEL
RELLENO SANITARIO DEL CANTON MEJÍA, PICHINCHA, ECUADOR”**

Realizado por:

WILLIAN PAUL PALACIOS VARGAS

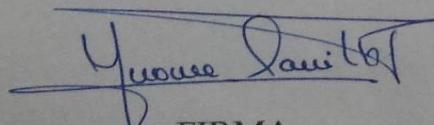
Como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

EMMA IVONNE CARRILLO PAREDES

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor


FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

KATTY CORAL

RODOLFO RUBIO

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 02 de Marzo de 2018

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi mamá quien ha sido padre y madre a la vez, y es la persona que en base al trabajo y esfuerzo ha llegado a tener éxito en la vida, siendo un ejemplo a seguir. Gracias mamá por estar siempre junto a mí apoyándome en las buenas y en las malas, y por haberme inculcado valores y principios que me han servido mucho a lo largo de mi vida.

A mi hermana Cristina, con quien he pasado la mayoría del tiempo y quien ha sido la persona que ha hecho grandes sacrificios por mi bienestar.

AGRADECIMIENTO

A la profesora Ivonne Carrillo por su acertada dirección del proyecto final de graduación. Su profesionalismo y entrega fueron determinantes a la hora de realizar este documento.

A la Universidad Internacional SEK, por su esfuerzo en formar profesionales destacados.

Para ser sometido ha: *Revista de Ingeniería e Investigación*
To be Submitted: Journal Engenering & Investigation

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL QUITOSANO COMO
REMOVEDOR DE METALES PESADOS EN LOS LIXIVIADOS DEL
RELLENO SANITARIO DEL CANTON MEJÍA, PICHINCHA, ECUADOR**

Effectiveness of Chitosan as a heavy metal remover from the leachate of the Sanitary
Landfill of Canton Mejia, Pichincha, Ecuador

Paul Palacios¹ & Ivonne Carrillo²

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales,
Quito, Ecuador. Email: palaciosvargas_22@hotmail.com

²Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales,
Quito, Ecuador. Email: emma.carrillo@uisek.edu.ec

²Autor de Correspondencia: Universidad Internacional Sek, Facultad de Ciencias
Naturales y Ambientales, Quito Ecuador. Campus Miguel de Cervantes Carcelén
Quito Ecuador ivonne.carrillo@uisek.edu.ec

Titulo Corto (Running Title): Quitosano en el Tratamiento de Lixiviados

RESUMEN

En la actualidad, la disposición final de los residuos urbanos (RSU) es un problema que afecta a la salud de las personas y al ambiente. Algunos rellenos sanitarios controlados tienen la desventaja de producir líquidos con altos grados de contaminación producto de la descomposición biológica, denominados lixiviados, por lo que es necesario la aplicación de descontaminantes amigables con el ambiente para el control de estos efluentes que se descargan a las fuentes de agua. Es así que dada la importancia de esta problemática, la presente investigación, que se realizó en la piscina del relleno sanitario del Cantón Mejía, Provincia de Pichincha, tiene como objetivo evaluar la efectividad del Quitosano como removedor de los diferentes metales pesados que contienen los lixiviados. Estos líquidos fueron previamente tratados por el método de oxidación avanzada FENTON, el mismo que se aplica combinando un agente oxidante, el Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) con un catalizador de Sulfato Ferroso heptahidratado $[Fe(SO_4)] \cdot 7H_2O$. Por otra parte, el Quitosano es un polisacárido lineal extraído y modificado a partir del exoesqueleto del camarón que tiene múltiples usos debido a la presencia de los grupos funcionales: hidroxilo (OH) y amino ($-NH_2$), entre ellos la remoción de metales pesados en lixiviados. Los grupos hidroxilo del Quitosano ejercerán la función de Agente Quelante sobre los iones de los metales pesados formando Quelatos. Para el proceso de Quelatación se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: pH, dosis de Quitosano y tiempo de agitación, y se midieron los siguientes metales pesados; Cadmio, Cromo, Hierro, Plomo y Zinc. La Quelatación con Quitosano aplicada en el lixiviado tratado con Fenton a pH 3, un gramo de Quitosano y 15 min de agitación fue efectiva para remover los siguientes metales; Cadmio, Cromo y Plomo. Los porcentajes finales de la remoción de metales pesados aplicando la Quelatación con Quitosano fueron los siguientes; Cadmio 60 %, Cromo 50 %, Plomo 9 %, **Palabras Clave:** Agente Quelante, FENTON, Lixiviado, Metales Pesados, Quelatación, Quelatos, Quitosano.

ABSTRACT

Currently, the final disposal of urban waste (RSU) is a problem that affects the health of people and the environment. Some controlled sanitary landfills have the disadvantage of producing liquids with high levels of contamination due to biological decomposition called leachates, so it is necessary to apply environmentally friendly decontaminants to control these effluents that are discharged to water sources. Thus, given the importance of this problem, the present investigation was carried out in the sanitary landfill of Cantón Mejía, Pichincha Province, with the objective of evaluating the effectiveness of Chitosan as a remover of the different heavy metals contained in the leachates. These liquids were previously treated by the FENTON advanced oxidation method, which is applied by combining an oxidizing agent, Hydrogen Peroxide (H₂O₂) with a ferrous sulfate catalyst heptahydrate [Fe (SO₄)] .7H₂O. On the other hand, Chitosan is a linear polysaccharide extracted and modified from the shrimp exoskeleton that has multiple uses due to the presence of the functional groups: hydroxyl (OH) and amino (-NH₂), among them the removal of heavy metals in leachates. The hydroxyl groups of Chitosan will exert the function of Chelating Agent on the ions of the heavy metals forming Chelates. For the chelation process, the following parameters were taken into account: pH, chitosan dose and stirring time, and the following heavy metals were measured; Cadmium, Chrome, Iron, Lead and Zinc. Chelation with Chitosan applied in the leachate treated with Fenton at pH 3, one gram of Chitosan and 15 min of agitation was effective to remove the following metals; Cadmium, Chrome and Lead. The final percentages of the removal of heavy metals applying Chelation with Chitosan were the following; Cadmium 60%, Chrome 50%, Lead 9%.

Keywords: Chelating Agent, FENTON, Leachate, Heavy Metals, Chelation, Chelates, Chitosan.

INTRODUCCIÓN

En la última década, el Ecuador ha sufrido un incremento en la generación de desechos consecuencia del aumento de la población, la deficiente gestión de los mismos han generado que se produzcan altas cantidades de líquidos contaminantes llamados lixiviados que no son debidamente tratados.

La sociedad actual y su desarrollo tecnológico han incrementado la producción de residuos tanto urbanos como industriales, estos últimos se caracterizan por, en su mayoría, contener sustancias que les atribuyen características de peligrosidad y toxicidad, que exigen un mayor y detallado análisis (Coral, 2011).

Los residuos tóxicos y peligrosos se generan de las acciones que el hombre realiza y son desechados por ser categorizados como inservibles, a pesar de contener en su estructura materiales altamente peligrosos para la salud humana y el ambiente. Si bien, la sociedad actual y especialmente, la actividad industrial generan residuos, es indispensable que estos sean manejados de la manera ambientalmente más aceptable (Coral, 2011).

Los metales pesados son uno de los principales contaminantes que afecta la salud de la población y el ambiente, estos son tratados comúnmente con productos químicos inorgánicos, de ahí la importancia de la investigación en aplicar un polisacárido con propiedades biodegradables llamado Quitosano. El presente estudio tomó como referencia el Relleno Sanitario “Romerillos” ubicado en el Cantón Mejía, Provincia de Pichincha, para lo cual fue necesario la evaluación de la efectividad del Quitosano como removedor de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario de dicho cantón.

En la mayoría de los países del mundo existe una gran preocupación por alcanzar lo que se denomina el desarrollo integral del ser humano y de todas sus actividades, siendo posible este proceso solo si se atienden las necesidades de la sociedad y el ambiente.

Una problemática ambiental en el relleno sanitario del Cantón Mejía, de gran importancia, es que los lixiviados recolectados en la piscina se los bombea a cubetos de recolección y se los recircula permanentemente. Otro problema que aqueja el relleno sanitario son los metales pesados presentes en los lixiviados producidos por el tipo de desechos que se depositan en él. Los metales pesados, han sido señalados como uno de los factores que afecta la salud de la población y el medio ambiente debido a la toxicidad de ciertos químicos peligrosos que son usados comúnmente en el hogar. La tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097, TULSMA, Libro VI, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, estipula parámetros de calidad que deben cumplir los efluentes previos a su descarga a un cuerpo de agua dulce.

La generación de desechos tóxicos y peligrosos que se presenta cada día entre los pobladores, ha ocasionado que se incremente la concentración de metales pesados en los lixiviados y el uso de productos químicos para retener metales pesados en aguas contaminadas ha generado una desventaja, ya que lo mismos no son biodegradables y dejan residuos sin tratamiento alguno, de ahí la importancia del empleo del Quitosano para, de cierta manera, mantener un control e impedir que aumente su toxicidad.

Lo metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario de Cantón Mejía se encuentran en concentraciones que sobrepasan los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana, por lo que representan un problema que debe ser estudiado, tratado y solucionado aplicando medidas que los reduzcan.

Para poder plantear una solución a esta problemática, el siguiente proyecto se llevó a cabo en el Relleno Sanitario del Cantón Mejía y en el laboratorio de la Universidad SEK partir de muestras de lixiviados recolectados, en el mencionado relleno.

Las nuevas tendencias de la infraestructura y el respeto al medio ambiente apuntan a la incorporación de estudios del Quitosano, con el objetivo de identificar, analizar y valorar la efectividad que éste genera en la remoción de metales pesados en lixiviados.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el presente proyecto buscó validar la aplicación del Quitosano como agente Quelante en los lixiviados de la piscina del relleno sanitario del Cantón Mejía, como una metodología que permite reducir las contracciones de diferentes tipos de metales pesados, además los resultados obtenidos brindarán nuevos elementos de juicio para que las autoridades como el GAD, tomen nuevas acciones en la prevención y el control de la contaminación, así como en la aplicación de la legislación ambiental.

Los análisis realizados por los investigadores de la UISEK y el apoyo de los equipos proporcionados por la misma institución, permitieron que la investigación sea factible y económica, también, el tiempo de duración del trabajo experimental fue de corto plazo, y se caracterizaron los últimos cambios y/o modificaciones existentes en los ensayos de prueba realizados previos al presente proyecto

Objetivo General

Evaluar la efectividad de la aplicación del Quitosano mediante pruebas de Quelatación para la remoción de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario del Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

Objetivos específicos

Determinar la dosis óptima de Quitosano en los lixiviados tratados de la piscina del relleno sanitario del Cantón Mejía utilizando métodos de Quelatación para la remoción de metales pesados.

Reducir la concentración de materia orgánica (DQO) presente en los lixiviados de la piscina del relleno sanitario del Cantón Mejía, mediante la aplicación del tratamiento fisicoquímico Oxidación Avanzada FENTON.

Evaluar la calidad del Quitosano obtenido del exoesqueleto de camarón mediante los resultados de prueba de Quelatación.

Evaluar la efectividad del Quitosano en los lixiviados tratados de la piscina mediante ensayos de prueba de Quelatación para remover metales pesados.

Justificación

Diferentes estudios del tratamiento de lixiviados realizados en el relleno sanitario del Cantón Mejía, han concluido que reducen la cantidad de materia orgánica, sin embargo la concentración de metales pesados ha permanecido intacta, detectándose como fuente principal los diferentes tipos de residuos que contienen compuestos químicos tóxicos y peligrosos y que se disponen en el relleno sanitario.

Debido a que no se ha dado la importancia requerida, los metales pesados se han convertido en uno de los mayores problemas ambientales, así como las diferentes enfermedades de salud física originadas por la toxicidad de cada uno de sus componentes, han provocado una alteración en el normal comportamiento de los seres humanos.

Entre las afectaciones generales que impactan mayormente a los seres humanos, se encuentran; cáncer al pulmón, necrosis de los órganos genitales, vómitos y náuseas, hipertensión arterial, saturnismo, retraso mental, sordera, afectación del sistema nervioso central y periférico, afectación al riñón, estreñimiento, pérdida de apetito, anemia, parálisis, dolores de cabeza, neurosis, esquizofrenia y asbestosis (Coral, 2011).

Todos estos hechos influyen ante la exposición de estos contaminantes tóxicos, por tal razón es necesario efectuar estudios y evaluaciones más detalladas y exactas para poder adoptarlas, así como también implementar medidas correctivas. De allí la importancia de evaluar la efectividad del Quitosano como Agente Quelante biodegradable capaz de remover los diferentes tipos de metales pesados efectuado por el grupo de investigadores UISEK.

Esta investigación ensayó, comparó, verificó y evaluó la efectividad del tratamiento con Quitosano en los diferentes tipos de metales pesados que contienen los lixiviados del relleno sanitario del Cantón Mejía.

Antecedentes

El Cantón Mejía se encuentra, ubicado al Sur-Oriente de la provincia de Pichincha, cuenta con una superficie de 1.459km². El área urbana está consolidada entre el 20 y el 30%, teniendo una densidad poblacional entre 50 y 60 habitantes/km². Su altura con respecto al nivel del mar está entre los 600 y 4.750 m.s.n.m (Barros, D. y Ortiz, J. 2010).

El relleno sanitario del Cantón Mejía está ubicado 13km al Sur de Machachi, con una extensión de seis hectáreas de terreno, de las cuales solo el 10% ha sido ocupado en la actualidad. La cantidad de residuos sólidos que ingresan al Centro de Reciclaje y Compostaje del relleno sanitario es de 46 toneladas/día, de acuerdo con información proporcionada por el Municipio de Mejía (Zaldumbide, 2013).

El último relleno sanitario que se encuentra en funcionamiento cuenta con una piscina de recolección de lixiviados que tiene 17 metros de largo, 9 metros de ancho y una profundidad de 4,5 metros. En la base de la piscina existe una geo-membrana que separa el líquido del suelo. Esta se encuentra ubicada en la parte baja del relleno por lo que los líquidos se depositan por fuerza de gravedad.

Actualmente, la planta de tratamiento no se encuentra operativa por lo que los lixiviados recolectados, son bombeados a cubetos de recolección y recirculados indefinidamente. Esto obliga a diseñar un tratamiento eficiente para que la concentración de los componentes no afecte al ambiente. El diseñador de la planta de tratamiento de lixiviados estimó la generación diaria de estos líquidos de acuerdo a la superficie de las piscinas. Los valores promedio de generación de lixiviados se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Generación de Lixiviados en el Relleno Sanitario “Romerillos” Cantón Mejía

Cantón	Superficie (m ²)	Promedio (m ³ /día)
Mejía	15000	7,12
	30000	14,52
	45000	21,64
	60000	29,04

Elaborado por: Paul Palacios, 2018. **Fuente:** Ing. Marcelo Castillo P. 2003.

El diseño de la planta de tratamiento de lixiviados tiene una capacidad para 29,04 m³/día. La planta de tratamiento construida (no operacional) cuenta con dos estructuras separadas. La primera se encuentra a la entrada de la piscina de lixiviados y cuenta con un sistema de bombeo de líquidos y bandejas de aireación (Zaldumbide, 2013).

La segunda estructura se ubica a 100 metros de la piscina de lixiviados, esta cuenta, al igual que la primera, con un sistema de bombeo, seis bandejas de aireación, un tanque de sedimentación y un ecualizador (Zaldumbide, 2013).

Marco Teórico

El avance en las investigaciones realizadas para la remoción de metales pesados aplicando Quitosano ha sido limitado, debido a que en muchos estudios no se han podido realizar ensayos para todos los metales que contienen los lixiviados. Por lo que no se han podido adoptar métodos de Quelatación que puedan ser utilizados como una herramienta útil al momento de realizar un tratamiento a gran escala.

Cuatro estudios muestran que el Quitosano en estado líquido, gel y sólido son efectivos en diferentes estados en la remoción de los siguientes metales; Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio y Plomo.

El primer estudio realizado en la Universidad Central del Ecuador, muestra la metodología y los resultados de la aplicación del Quitosano-glutaraldehído (QGD) y Quitosano-nitrato férrico (QFe) para la remoción del Plomo en aguas contaminadas. En la etapa de Quelatación se tomó en cuenta como factores el pH, la dosificación del adsorbente, la velocidad de agitación,

temperatura y tiempo de contacto en la adsorción del plomo. Dando como resultado un 98,40 % eficiencia (Dávila & Bonilla, 2011).

El segundo estudio realizado en la Universidad de Guadalajara, muestra la aplicación del Quitosano en forma de perlas de hidrogeles de alginato– quitosano y alginato–sulfato de Quitosano, para la remoción de iones metálicos de cobre. La metodología aplicada fue medir el tamaño de las perlas, observar la morfología y la capacidad de remoción en dos valores de pH, Con esta técnica se demostró que el Quitosano en estado de hidrogeles de alginato puede eliminar más del 80 % de iones de cobre y en forma de alginato-Sulfato de Quitosano, removió todo el cobre (Balleño, Ríos, Aranda, Morales, Mendizábal & Katime, 2016).

El tercer estudio realizado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, se basó en la aplicación del Quitosano en forma de membranas en aguas residuales de industrias. Para este estudio se realizaron pruebas físico-mecánicas, espesor de las membranas, resistencia a la presión, y tensión de las membranas. Los resultados fueron obtenidos utilizando un equipo de absorción atómica para cadmio, cobre y cromo, dando como resultados de la remoción lo siguiente: 23,05% para cromo, 14,10% para cadmio y 16,09% para cobre. De esta manera la efectividad de las membranas en la remoción de metales pesados de aguas residuales no supero el 50%, por lo que se recomienda utilizar una sustancia natural o biopolímeros (Villalobos, 2011).

Finalmente, el cuarto estudio realizado en la Universidad Veracruzana, se basó en aplicar Quitosano a partir de exoesqueletos de camarón con un grado de des-acetilación del 75% en la remoción de iones de Plomo de soluciones acuosas. Las adsorciones se realizaron a concentraciones de 5, 25, 50, 70, 100 y 120 mg/L y la eliminación fue de 4, 20, 45, 60, 80 y 90 mg/L respectivamente a temperaturas de 25, 35 y 50 °C con una cantidad de Quitosano de 0.1 g para cada solución. La efectividad de la adsorción fue más eficiente a 25 °C, con una capacidad de adsorción de 107.41 mg de Pb^{2+} por gramo de Quitosano. Los porcentajes de

eficiencia de adsorción se mostraron por encima del 80%, lo que demuestra que el proceso es adecuado para la eliminación de metales en agua mediante Quitosano (Altamirano, 2015).

Actualmente, no se han aplicado nuevas metodologías para determinar la efectividad del Quitosano para la remoción de metales pesados en lixiviados de rellenos sanitarios del Ecuador., por tal razón, el grupo de investigadores de la Universidad Internacional SEK ha propuesto elaborar y establecer una metodología para remover metales pesados en lixiviados, tomando en cuenta diferentes parámetros y realizando ensayos de Quelatación hasta establecerla como una base metodológica.

Los principales parámetros que se tomaron en cuenta para el desarrollo del proyecto fueron:

- pH
- DQO
- Cadmio
- Cromo
- Hierro
- Plomo
- Zinc

Para validar los datos de la concentración de metales pesados obtenidos experimentalmente utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica de llama, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros; Volumen, pH, dosis de Quitosano en polvo, tiempo de agitación y velocidad de agitación. Con estos parámetros se pretende establecer un método de tratamientos de metales pesados en lixiviados, específicamente para los del relleno sanitario del Cantón Mejía.

Muchos de los contaminantes tienen electrolitos débiles, por lo que el proceso de adsorción depende principalmente del pH de la solución. Lo recomendable es que la solución tenga un

pH ácido ente 2 y 3, ya que los grupos aminos del Quitosano tienen mayor facilidad para la pronotación, que provoca la repulsión electrostática de los iones metálicos (Díaz, 2012).

Esto conlleva a una competencia por los sitios de adsorción entre los protones y los iones metálicos. Es por ello que el pH puede afectar a la especiación de los iones metálicos, y el cambio de la especiación del metal puede dar lugar a convertir el mecanismo de Quelatación en un mecanismo de atracción electrostática (Walco, 1997).

Conceptos

Producción de Camarón

En la actualidad, la industria camaronera en el Ecuador oscila entre las 180.000 Has de las costas del país. Las camaroneras, están distribuidas en las provincias de: Esmeraldas, Manabí, Guayas y El Oro (Loaiza, 2016).

Según las estadísticas recaudadas de la Cámara Nacional de Acuicultura las exportaciones de los dos últimos años está alrededor de las 50 mil libras mensuales (Acuicultura, 2015).

Gran parte de desechos como la cabeza y el caparazón, son desechados al río y a la basura, generando malos olores, y permitiendo que estos se transformen en desechos tóxicos para la salud y ambiente.

Demanda Química de Oxígeno

Conocida como DQO, mide la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en líquidos que son susceptibles de ser oxidados químicamente. Este parámetro es fundamental para el control y tratamiento de aguas, ya que es un indicador de contaminación ambiental.

Para la DQO es necesario utilizar un reactivo químico con un alto poder oxidante como el dicromato de potasio. El DQO se mide en mg O₂/L. Previo a la medición de DQO es fundamental utilizar un digestor a una temperatura de 150 °C (Jiménez, 2012).

Lixiviados

Son líquidos que se forman producto de la descomposición de los desechos sólidos urbanos que se depositan en los rellenos sanitarios y de la percolación de las aguas lluvias que caen sobre los mismos. Las características de los lixiviados dependen del clima, temperatura, contenido de humedad, edad del relleno, régimen de precipitación pluvial, tipo de cobertura y densidad de la masa de vertido (Morales, 2007).

La composición de un lixiviado está caracterizada por cantidades elevadas de materia orgánica (biodegradable, pero también refractaria a la biodegradación), sales orgánicas e inorgánicas, nitrógeno, metales pesados y otras sustancias químicas diluidas, variando con la edad del vertedero (Steiner, 2008), las características del residuo depositado, la meteorología del lugar y modo de operación (Castrillón, 2008), (Renou, 2008).

Los lixiviados contienen todas las características para considerarlo un contaminante principal, es decir, alto contenido de materia orgánica, nitrógenos y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos (Giraldo, 2001). Los compuestos orgánicos presentes en los lixiviados son: proteínas, carbohidratos, alcoholes, y principalmente los ácidos grasos volátiles; adicionalmente, los lixiviados contienen gran cantidad de nitrógeno amoniacal. (Torres, 2005).

Estos ácidos grasos volátiles se diluyen fácilmente en el lixiviado del relleno sanitario, le bajan el pH y contribuyen a la solubilización de los metales presentes en los residuos dispuestos en el relleno (Morales, 2007).

Las concentraciones de todos los parámetros en el lixiviado joven son mucho mayores que en el lixiviado viejo. La relación DBO/DQO para un lixiviado joven es alta indicando una buena biodegradabilidad, mientras que para un lixiviado viejo es baja indicando una baja biodegradabilidad de la materia orgánica. Las concentraciones de sales disueltas y metales pesados son mucho mayores en un lixiviado joven, generando problemas de toxicidad al emplear procesos biológicos para la eliminación de DBO (Renou, 2008).

Método de Oxidación Avanzada FENTON

Este método ha sido propuesto como una alternativa en estos últimos años para la descontaminación de suelos y aguas con resultados asombrosos. Tiene una alta eficacia y bajo coste para remediar aguas contaminadas con compuestos tóxicos. El método FENTON puede degradar compuestos alifáticos, aromáticos clorados, PCBs, nitroaromáticos, colorantes, clorobenceno y fenoles, a excepción de la acetona, o el ácido acético.

El método FENTON ha sido efectivo en la reducción del DQO en aguas municipales, subterráneas, lixiviados de vertederos municipales y empresas papeleras y textiles. Este sistema funciona entre la combinación del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y hierro en soluciones ácidas, y la dosificación depende del valor de DQO del líquido a tratar.

Este proceso consiste en la adición de sales de hierro en presencia de H_2O_2 , en medio ácido, para la formación de radicales $^{\circ}OH$. Además de formarse radicales $^{\circ}OH$, se generan radicales perhidroxilo (HO_2°), los cuales inician una reacción de oxidación en cadena para eliminar la materia oxidable. Sin embargo, los radicales HO_2° presentan menor poder de oxidación que los $^{\circ}OH$ (Domenech *et al.*, 2004).

Metales pesados

Son aquellos elementos químicos metálicos que son tóxicos y venenosos a bajas concentraciones, tienen alta densidad, alto peso molecular y son peligrosos ya que se bioacumulan en el organismo. Estos no se degradan en medio naturales por lo que se aplican métodos químicos y costosos para su eliminación (Cañizares, 2000).

Cadmio

El cadmio es un metal utilizado en la industria de la galvanoplastia, resistente a la corrosión y se utiliza para su electrodeposición con el acero y el hierro. Las vías de absorción de Cadmio son inhalación e ingestión. Tras la absorción de cadmio vía ingestión, este es transportado al hígado, donde se inicia la producción de una proteína de bajo peso molecular llamada

metalotioneina. Los síntomas producidos por la ingestión de cadmio en concentraciones superiores a 15 mg Cd/L son: náuseas, vómitos, dolor abdominal y diarrea (Nordberg, 2007).

Cromo

El cromo es un metal que se aplica en gran variedad de equipos, entre ellos la fabricación de partes de vehículos y equipos eléctricos. El cromo con valencia VI tiene propiedades ácidas y oxidantes, y es el que se utiliza como compuesto en aplicaciones comerciales e industriales. El cromo es capaz de formar sales coloreadas e insolubles. Los principales compuestos de cromo con valencia VI son: el dicromato sódico, el dicromato potásico y el trióxido de cromo (Nordberg, 2007).

La ingestión o inhalación de compuestos de cromo son rápidamente absorbidas por el organismo. El cromo genera efectos irritantes y corrosivos inmediatamente después de la absorción a través de la mucosa. La principal enfermedad producida por el cromo es necrosis renal (Nordberg, 2007).

Hierro

El hierro es un metal que tiene múltiples usos, uno de ellos la fabricación de piezas, de acero y de aleaciones junto con otros metales. También es utilizado en la industria petrolera para aumentar la densidad de los líquidos que se utilizan en la perforación de pozos. La principal enfermedad que causa el hierro es el cáncer de pulmón (Nordberg, 2007).

Plomo

El Plomo es un metal pesado resistente al ácido sulfúrico y clorhídrico, pero en ácido nítrico se disuelve lentamente debido a la presencia de bases nitrogenadas. Las principales fuentes de contaminación de plomo son las industrias, petroleras y mineras. Entre los principales contaminantes están las baterías, pilas, aparatos electrónicos y pinturas, que en altas concentraciones de plomo son perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Entre

los impactos negativos al ambiente, es que pueden permanecer por largos periodos y bioacumularse en los organismos (Nordberg, 2007).

El plomo está clasificado como una sustancia tóxica ambiental persistente; una vez absorbido, pasa al torrente sanguíneo, donde más del 95% se une a los eritrocitos, causando aumento de la fragilidad y reducción de la vida útil de las células. En consecuencia, puede dañar el cerebro, riñón, hígado y el sistema reproductivo. Por otra parte, la exposición al plomo se ha correlacionado con la esterilidad, abortos, y muertes neo natales (Morales, 2007).

Zinc

El Zinc es utilizado para la protección del acero mediante galvanización, pigmento para la fabricación de pinturas, componente en la fabricación de cosméticos y en la industria farmacéutica. La ingestión del zinc solubilizado en líquidos ácidos y con presencia de hierro, genera los siguientes síntomas; fiebre, náuseas, vómitos, dolor de estómago y diarrea. Las sales de zinc que entran al organismo por la piel o por ingestión, pueden producir intoxicación. El cloruro de zinc produce úlceras cutáneas (Nordberg, 2007).

Piscina de Lixiviados

La piscina de lixiviados tienen como finalidad mantener impermeabilizados los lixiviados provenientes del relleno sanitario. Esta infraestructura permite que estos líquidos no entren en contacto con el suelo, debido a que pueden filtrarse hacia las aguas subterráneas, y contaminar el suelo sino son debidamente controlados (Árevalo, 2018).

Quitosano

El Quitosano es un polisacárido que se encuentra en el exoesqueleto (caparazón) de muchos crustáceos entre ellos el camarón, y se lo obtiene mediante hidrólisis de la quitina en medio alcalino, usualmente hidróxido de sodio o de potasio. Este polímero tiene la ventaja de ser renovable, no contamina el ambiente y no afecta al organismo que los utiliza (Lárez, 2006).

Químicamente, el Quitosano es un copolímero de N-acetilglucosamina (unidad acetilada) y glucosamina (unidad desacetilada), dichas unidades son 2-acetamido-2-desoxi-D-glucopiranososa ($C_8H_{13}O_5N$, 203.1925 g/mol) y 2-amino-2-desoxi-D-glucopiranososa ($C_6H_{11}O_4N$, 161.1558 g/mol); unidas por un enlace glucosídico del tipo β -(1 \rightarrow 4); tanto la quitina como el Quitosano están formados por cadenas lineales de monómeros de glucopiranosas, la diferencia radica en el C-2, donde la quitina posee un grupo acetamido (-COCH₃), mientras que en el Quitosano ese grupo es desacetilado para dejar libre el grupo amino (-NH₂) (Altamirano, 2015).

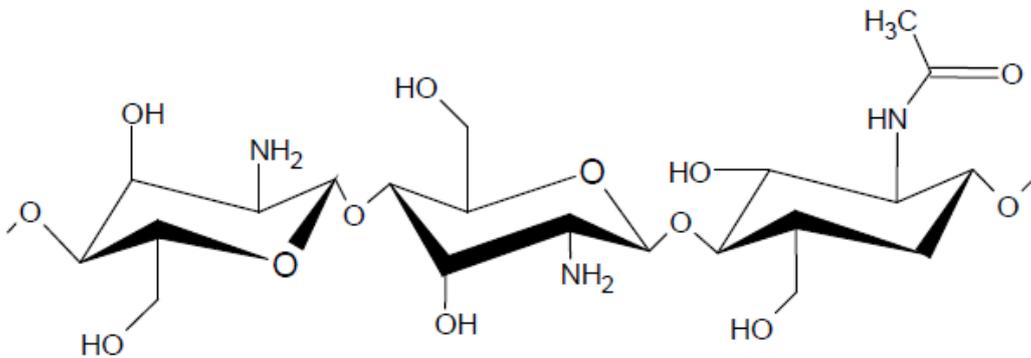


Figura 1.- Estructura molecular del Quitosano

Fuente: Altamirano, 2015

El Quitosano es un excelente absorbente por su alta hidrofiliidad, reactividad química de los grupos funcionales (-COCH₃, -NH₂ y OH), y la estructura flexible de la cadena polimérica.

Los grupos reactivos del Quitosano, en particular, el grupo -NH₂ se une selectivamente a prácticamente todos los iones metálicos de transición del grupo III, pero no se une a los iones metálicos alcalinos y alcalinotérreos de los grupos I y II (Altamirano, 2015).

El Quitosano presenta un comportamiento catiónico, por lo que el grupo -NH₂ se puede protonar mediante intercambio iónico. La presencia de grupos -NH₂ en la estructura de la molécula de Quitosano, convierte a este polímero en un polielectrolito catiónico natural con un

pKa (fuerza para disociarse) de 6.2 a 7.0, dependiendo del grado de desacetilación del polímero (Altamirano, 2015).

Las propiedades fundamentales del Quitosano son; solubilidad, viscosidad, tamaño de partícula, peso molecular, y grado de des acetilación. La capacidad del Quitosano para quelatar iones metálicos, depende del grado de desacetilación, ya que éste determinará la fracción de grupos -NH₂ que estarán disponibles para interactuar con los iones metálicos (Altamirano, 2015).

Agente Quelante

Un agente Quelante es una sustancia que forma fuertes complejos con iones metálicos formando enlaces no covalentes. Estos pueden ser inorgánicos y orgánicos, y entre los más utilizados son el EDTA, ácido cítrico, sales de citrato de di y triamonio (Walco, 1997).

Solo los metales con una valencia igual o superior a +2 forman quelatos en presencia de ligandos. Los iones metálicos con valencia +1 no forman quelatos sino sales con el ligando como anión o sea un complejo monodentado sin estructura de anillo (Walco, 1997).

Los agentes Quelantes se suelen emplear para impedir una o más de las reacciones ordinarias de un ion metálico sin retirarlo realmente de la solución. Por ejemplo, con frecuencia un ion metálico que interfiere con un análisis químico se puede convertir en un complejo y eliminar de esta manera su interferencia. En cierto sentido, el agente Quelante oculta el ion metálico. Por esta razón, los científicos se refieren a veces a estos ligandos como agentes secuestrantes. (Walco, 1997).

Quelatos

Quelato significa “pinza”, es decir que el anillo que se forma entre el Quelante y el metal es similar a los brazos de un cangrejo, el ion metálico es atrapado con dos pinzas (Walco, 1997).

Los ligandos mono dentados son aquellos que tienen un solo átomo entre ellos el NH₃ y Cl⁻. Estos pueden ocupar un solo sitio de una esfera de coordinación. Ciertos ligandos tienen dos o más átomos donadores que se pueden coordinar simultáneamente a un ion metálico, por lo que

ocupan dos o más sitios de coordinación. Los ligandos polidentados (ligandos “con muchos dientes”). Debido a que parecen sujetar el metal entre dos o más átomos donadores, los ligandos polidentados también se conocen como agentes quelantes (de la palabra griega chele, “garra”). Un ligando de este tipo es la etilendiamina (Walco, 1997).

Quelatación

Se define como la formación de complejos solubles de Iones metálicos en presencia de agentes químicos que normalmente producirían precipitados en soluciones acuosas. (Labnews, 1997).

La Quelatación también se puede definir como la habilidad de un compuesto químico para formar un anillo con un ion metálico, dando un compuesto con características diferentes a la del metal original. De esta manera el metal detiene sus reacciones químicas normales (Walco, 1997).

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de las muestras se realizó en la piscina de lixiviados del relleno sanitario “Romerillos” del Cantón Mejía, provincia de Pichincha, y en el cual se midieron los siguientes parámetros in situ: pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura. **Ver Foto 1.**



Foto 1.- Piscina de lixiviados de relleno sanitario

Fuente: William Palacios, 2018.

El desarrollo de este proyecto se realizó en cuatro fases metodológicas que se describen a continuación:

Fase I. Producción de Quitosano

El Quitosano en polvo es producido utilizando métodos químicos a partir de los caparzones de camarón (*Penaeus vannamei*) suministrados como materia prima por restaurantes de mariscos. Las etapas de preparación del Quitosano se describen a continuación:

Tratamiento de los exoesqueletos

Los exoesqueletos fueron lavados tenazmente con abundante agua hasta eliminar los restos orgánicos del camarón, luego secados a 70 °C en una estufa durante 8 horas, posteriormente fueron triturados, molidos y tamizados. El proceso inició con 200 g de exoesqueleto de camarón en polvo. El tamaño de partícula obtenido fue de 75 µm, ya que las partículas pequeñas aumentan la superficie disponible, lo que permite que exista una alta capacidad de adsorción de metales y eficiencia de remoción.

Desproteización

La desproteización se realizó utilizando NaOH al 5% con agitación constante a 200 rpm y 100 °C durante tres horas considerando una relación 1:10 sólido-líquido (p/v), el producto obtenido fue lavado con abundante agua destilada hasta igualar a pH 7. Finalmente, el exoesqueleto se secó en la estufa a 70 °C durante 7 horas.

Desmineralización

La desmineralización se realizó utilizando HCl 2 N con agitación constante a 200 rpm y temperatura ambiente durante tres horas, en una relación 1:10 sólido-líquido (p/v), el producto obtenido fue lavado con abundante agua destilada hasta igualar a pH 7. Finalmente, el exoesqueleto se secó en la estufa a 70 °C durante 7 horas.

Purificación

La purificación se realizó utilizando NaOH 3% con agitación constante a 200 rpm y a una temperatura de 100 °C durante dos horas, en una relación 1:10 sólido-líquido (p/v), el producto

obtenido fue lavado con abundante agua destilada hasta igualar a pH 7 y fue secado en la estufa a 70 °C durante 7 horas.

Desacetilación

En esta etapa la quitina obtenida se trató utilizando NaOH al 50% con agitación constante a 200 rpm y una temperatura de 100°C durante dos horas, en una relación 1:10 sólido-líquido (p/v), el producto obtenido final (Quitosano) fue lavado con abundante agua destilada hasta igualar a pH 7. Finalmente, el Quitosano se secó en la estufa a 70 °C durante 7 horas.

Fase II. Tratamiento de lixiviados con FENTON

El lixiviado de la piscina fue tratado con el método de Oxidación Avanzada FENTON para remover la materia orgánica y su aplicación depende directamente del valor de DQO que presente el lixiviado. De la muestra de lixiviado recolectado en la piscina del relleno sanitario del Cantón Mejía, se extrajeron 700 mL en un vaso de precipitación y se midieron los siguientes parámetros; pH y DQO. El pH obtenido fue de 8,5 y el valor del DQO fue de 9790 (mgO₂/L). Posteriormente, la muestra se ajustó a pH 3 con Ácido Sulfúrico y se añadieron 33,48 mL H₂O₂ y 6,99 g de Sulfato Ferroso siendo estas las dosis óptimas para una relación de 1:19. Este proceso se lo realizó en un equipo de agitación múltiple durante una hora a 100 rpm, luego se filtró y se neutralizó a pH 7 con Hidróxido de Sodio al 5 %. Finalmente, se realizó un último filtrado para obtener el producto final y se ajustó a pH 3 con Ácido Nítrico para ser utilizados en las pruebas de Quelatación. A continuación se muestran las fórmulas para la obtención de las dosis óptimas de H₂O₂ y FeSO₄.

Fórmula 1. Determinación de la Dosis Óptima de Peróxido de Hidrógeno (Anrango, 2018)

$$H_2O_2 = k \cdot DQO \cdot Volumen \quad (\text{Ec.1})$$

$$H_2O_2 = \underline{2,12} * 9790 \text{ mg/L} * 0,7 \text{ L}$$

$$R1 = 14562,6 \text{ mg O}_2$$

$$\text{H}_2\text{O}_2 = \frac{\text{R1}}{(1000 * \text{Densidad})} \quad (\text{Ec.2})$$

$$\text{H}_2 \text{O}_2 = \frac{14562,525 \text{ mg O}_2}{(1000 * 1,45 \text{ g/cm}^3)}$$

$$\text{R2} = 10,04 \text{ mL}$$

$$\text{H}_2\text{O}_2 = \frac{(\text{R2} * 100)}{\text{Pureza H}_2\text{O}_2} \quad (\text{Ec.3})$$

$$\text{H}_2\text{O}_2 = \frac{(10,04 \text{ mL} * 100)}{30}$$

$$\mathbf{H}_2\text{O}_2 = \mathbf{33,48 \text{ mL}}$$

Donde:

Constante (k) = 2,12

Elaborado por: William Palacios, 2018.

Fórmula 2. Determinación de la Dosis Óptima de Sulfato Ferroso (Anrango, 2018)

$$\text{Fe}_2 \text{SO}_4 = \frac{(\text{R1} * \text{Peso Molecular FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O} * \text{Relación 1})}{(\text{Peso Molecular H}_2\text{O}_2 * \text{Relación 2})} \quad (\text{Ec.4})$$

$$\text{Fe SO}_4 = \frac{(14, 562525 \text{ g O}_2 * 277, 55 \text{ g/mol} * 1)}{(34 \text{ g/mol} * 17)}$$

$$\mathbf{Fe SO}_4 = \mathbf{6, 99 \text{ g}}$$

Donde:

Peso Molecular FeSO₄ · 7 H₂O = 277, 55 g/mol

Peso Molecular H₂O₂ = 34 g/mol

Relación 1 = 1

Relación 2 = 17

Elaborado por: William Palacios, 2018.

Fase III. Quelatación

La muestra del lixiviado crudo antes de ser tratado se muestra en la **Foto 2**, y la muestra de lixiviado tratado con FENTON se muestra en la **Foto 3**. Los ensayos de Quelatación se realizaron en el lixiviado tratado con FENTON que tiene un DQO de 1015 mg/l.



Foto 2.- Lixiviado Crudo de la piscina del relleno

Fuente: William Palacios, 2018.



Foto 3.- Lixiviado Tratado con FENTON

Fuente: William Palacios, 2018.

Las condiciones y valores para llevar a cabo la efectividad del Quitosano en la remoción de metales pesados en lixiviados se encuentran en la **Tabla 2**:

Tabla 2.- Parámetros para la Quelatación

No	Condiciones	Valor
1	Volumen de muestra (mL)	100
2	Dosis de Quitosano (g)	1
3	pH de la muestra	3
4	Tiempo de contacto (min)	15
5	Velocidad de Agitación (rpm)	100
6	Temperatura (°C)	20

Elaborado por: William Palacios, 2018.

Los metales que se analizarán en el lixiviado tratado con FENTON se muestran en la **Tabla 3**:

Tabla 3.- Valores Máximos Permisibles de Metales Pesados

No	Metales Pesados	Tabla 9, Acuerdo Ministerial 097 A, TULSMA, Libro VI (mg/L)
1	Cadmio (Cd)	0,02
2	Cromo (Cr)	0,5
3	Hierro (Fe)	10,0
4	Plomo (Pb)	0,2
5	Zinc (Zn)	5,0

Elaborado por: William Palacios, 2018.

Inicialmente, se prepararon 100 mL de muestra de lixiviado tratado con FENTON a pH 3, luego se añadió un gramo de Quitosano en polvo de 75 μm a temperatura ambiente, y se mantuvo en agitación a 100 rpm en un equipo de agitación múltiple durante 15 min.

La muestra se filtró para separar el Quitosano de la solución utilizando un embudo Buchner adaptado a una bomba de vacío. De esta manera finalizó el proceso de Quelatación.

Posteriormente, la muestra fue digerida con ácido nítrico para eliminar las impregnaciones de materia orgánica en los metales, y finalmente, se procedió a colocar la muestra en el espectrofotómetro de absorción atómica de llama y se midieron los siguientes metales; cadmio, cromo, hierro, plomo y zinc.

Fase IV. Medición de Metales Pesados

La digestión tiene como objetivo principal la descomposición total de la muestra para obtener una solución que contenga todos los elementos de interés. Las sustancias inorgánicas deben transformarse por completo en componentes solubles y las orgánicas mineralizarse por completo (Cahuasqui, 2011).

Previo a la medición de metales pesados en el espectrómetro de absorción atómica de llama, las muestras fueron preservadas y digeridas aplicando el método “Standar Methods” que se especifican en las **Tabla 4, 5 & 6**.

Tabla 4.- Muestras a digerir

No	Muestras a digerir
1	Lixiviado tratado con FENTON
2	Lixiviado FENTON tratado con Quitosano

Elaborado por: William Palacios, 2018.

Tabla 5.- Preservación de Muestras aplicando el Método Estándar

Preservación de Muestras
<ul style="list-style-type: none">• Lavar los vasos de precipitación de las muestras con agua y jabón, posteriormente lavarlos con agua destilada y limpiarlos cuidadosamente.• Las tres muestras deben ser almacenadas en envases de Vidrio.• Acidular las muestras con HNO₃ hasta un pH=2.• Refrigerar las muestras aciduladas a 4 °C.• La preservación de las muestras para análisis de metales pesados dura 6 meses.

Elaborado por: William Palacios, 2018. Fuente: Estándar Métodos, 2005.

Tabla 6.- Preservación y Digestión de Muestras aplicando el Método Estándar

Digestión de Muestras tomado del SMWW, edición 21, 2005
<ul style="list-style-type: none">• Preparar un volumen de 100 mL para cada muestra en un Erlenmeyer y añadir 5 mL de HNO₃.• Colocar las tres muestras en la plancha de calentamiento y evaporarlas hasta 1/5 del volumen inicial (20 mL).• No permitir que las muestras se sequen durante la digestión.• Dejar enfriar las muestras a temperatura ambiente.• Añadir agua destilada en las muestras que tengas residuos y filtrarlas.• Aforar la solución con agua destilada a 100 mL o volumen inicial.• Analizar las muestras en el espectrofotómetro.

Elaborado por: William Palacios, 2018. Fuente: Estándar Métodos, 2005.

RESULTADOS

Producción de Quitosano

Tabla 7.- Obtención de Quitosano

Obtención del Quitosano	
Proceso	Cantidad (g)
Cascara Seca en polvo	200
Desproteínezación	123,8
Desmineralización	72,9
Purificación	58,8
Desacetilización (Quitosano)	40,6

Elaborado por: William Palacios, 2018.

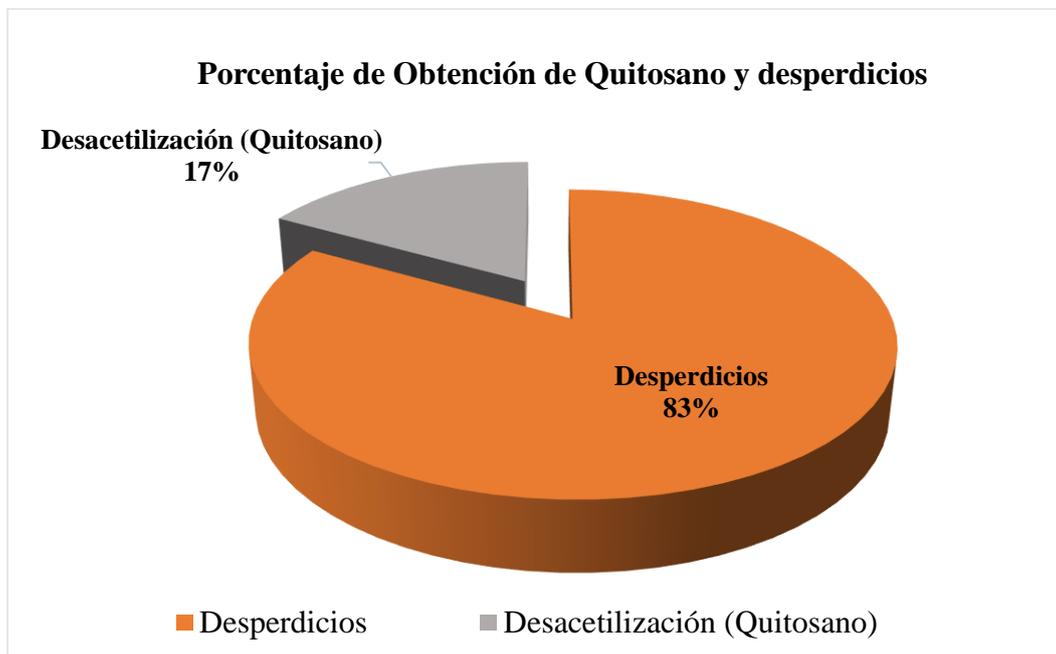


Gráfico 1.- Porcentaje de Obtención de Quitosano y desperdicios

Elaborado por: William Palacios, 2018.

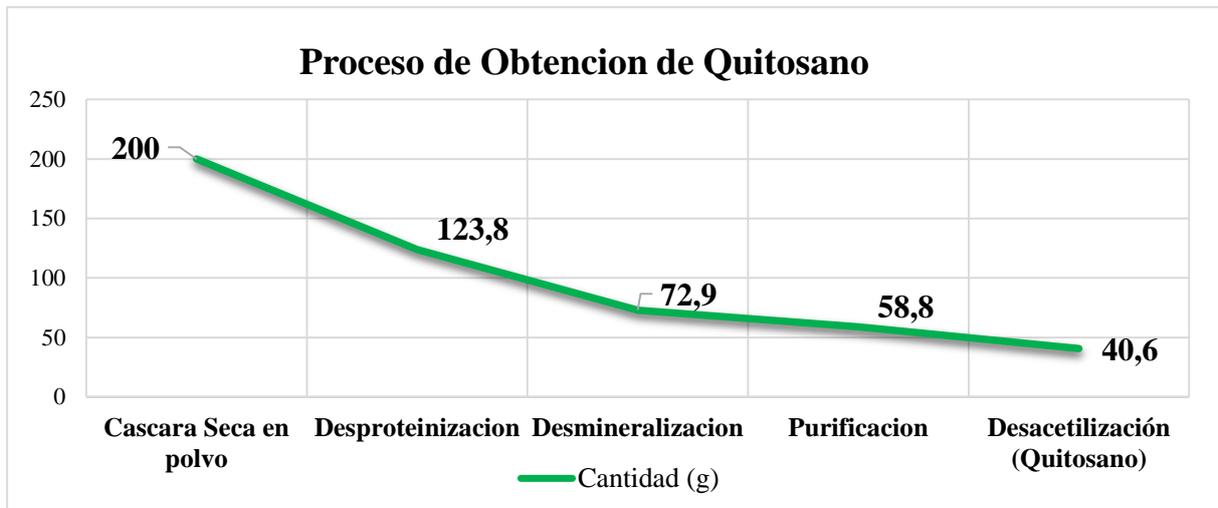


Gráfico 2.- Proceso de Obtención de Quitosano

Elaborado por: William Palacios, 2018.

Para obtener Quitosano se utilizaron 200 g de cáscara de camarón, sin embargo en cada proceso se tuvo pérdidas como se puede observar en el Gráfico 2, la desproteización se obtuvo 123,8 g de producto, la desmineralización 72,9 g, la purificación 58,8 g, y finalmente la desacetilación 40,6 g de Quitosano, es decir que solo el 17 % de la muestra sirve y el 83 % es pérdida.

Método Fenton

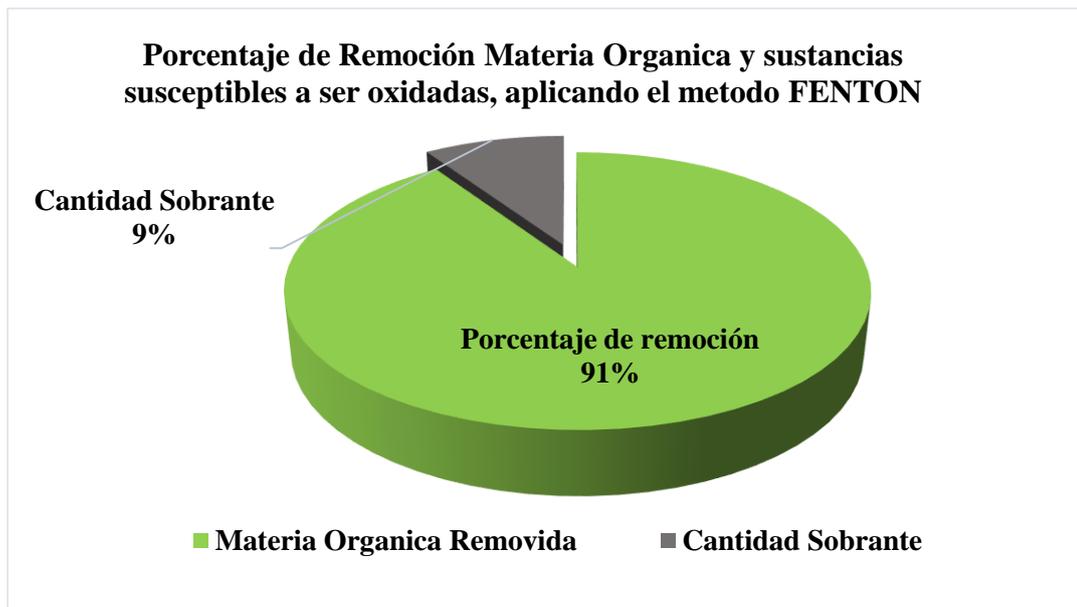


Gráfico 3.- Porcentaje de Remoción de Materia Orgánica y sustancias inorgánicas susceptibles a ser oxidadas, aplicando el método FENTON

Elaborado por: William Palacios, 2018.

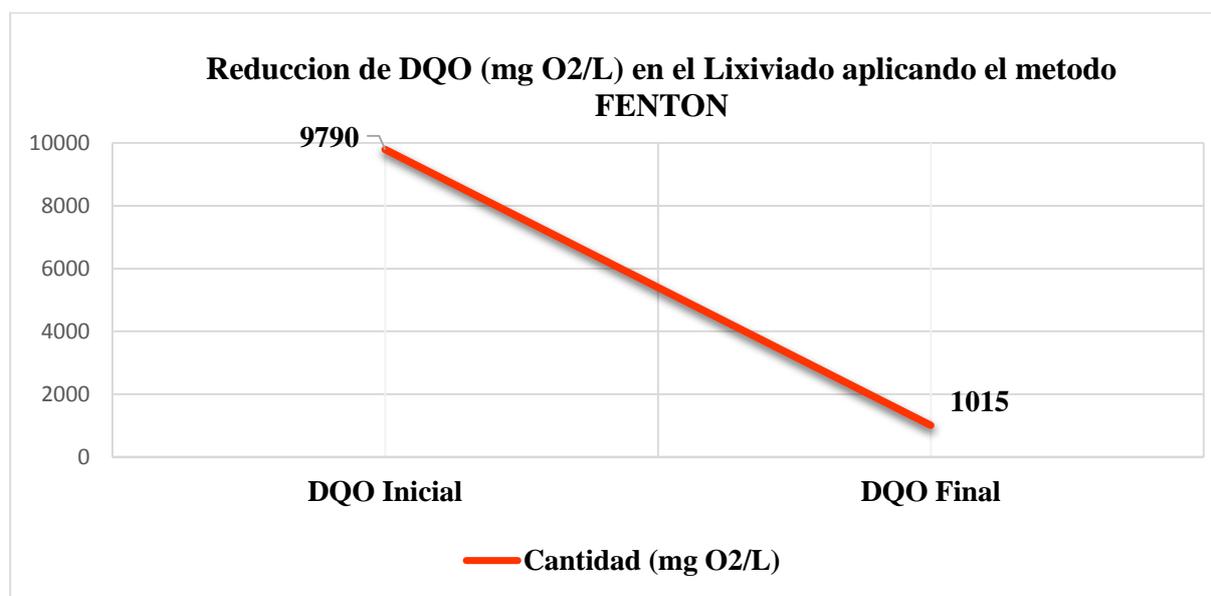


Gráfico 4.- Reducción del DQO (mg O₂/L) en el lixiviado aplicando el método FENTON

Elaborado por: William Palacios, 2018.

El lixiviado de la piscina del relleno sanitario tiene un DQO de 9790 mg/L. Mediante el tratamiento de Oxidación Avanzada FENTON se redujo el DQO a 1015 mg/L, es decir un 91% de materia orgánica e inorgánica, fue eliminado.

Quelatación

Tabla 8.- Concentración de Metales Pesados de cada Muestra

Metal	Muestra Fenton (mg/L)	Muestra Quitosano (mg/L)
Cadmio	0,025	0,010
Cromo	0,030	0,015
Hierro	17,16	17,16
Plomo	0,174	0,159
Zinc	0,425	0,425

Elaborado por: William Palacios, 2018.

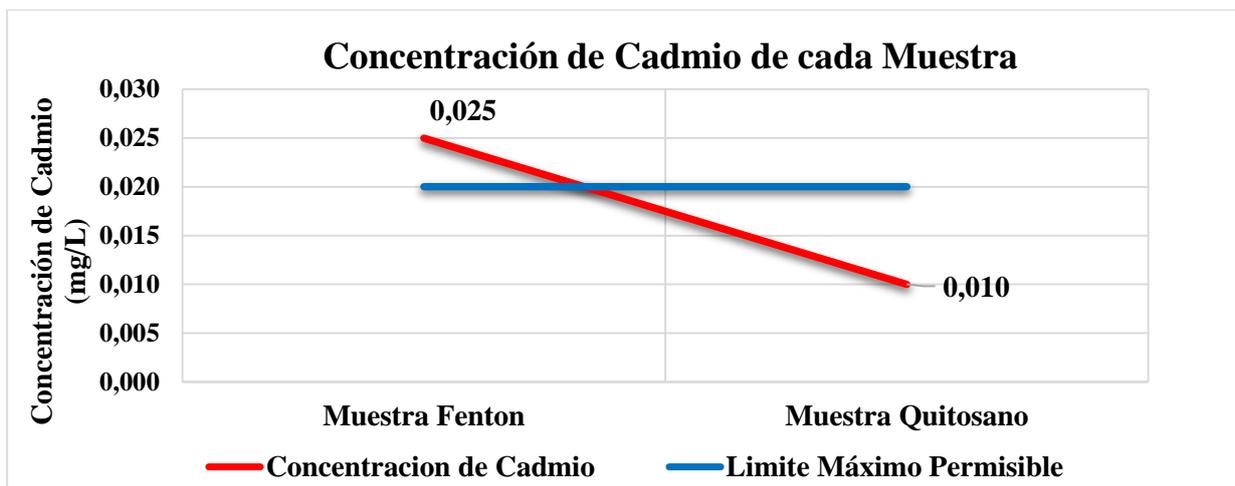


Gráfico 5.- Concentración de Cadmio de cada Muestra

Elaborado por: William Palacios, 2018.

La muestra de lixiviado tratada con FENTON tuvo una concentración inicial de 0,025 mg/L. Posteriormente, aplicando el proceso de Quelatación la concentración de Cadmio fue de 0,010 mg/L. La muestra inicial sobrepasa el límite máximo permisible establecido para cadmio que es 0,02 mg/L de la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097, TULSMA, Libro VI, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, mientras que la muestra tratada con Quitosano está por debajo de este valor.

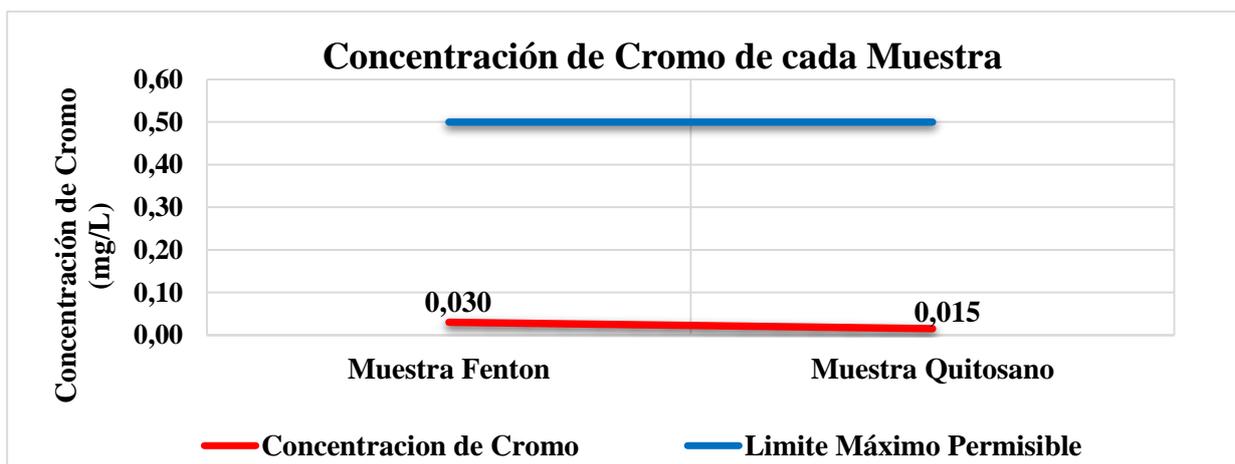


Gráfico 6.- Concentración de Cromo de cada Muestra

Elaborado por: William Palacios, 2018.

La muestra de lixiviado tratada con FENTON tuvo una concentración inicial de 0,030 mg/L. Posteriormente, aplicando el proceso de Quelatación la concentración de Cromo fue de 0,015

mg/L. Ambas muestras cumplen con el límite máximo permisible para cromo que es 0,5 mg/L de la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097, TULSMA, Libro VI, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

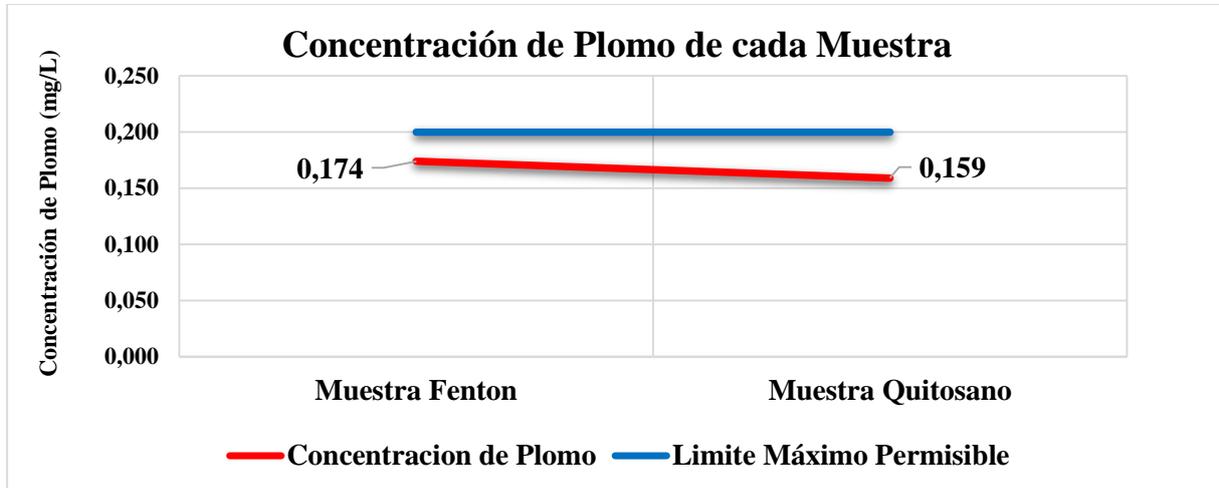


Gráfico 7.- Concentración de Plomo de cada Muestra

Elaborado por: William Palacios, 2018.

La muestra de lixiviado tratada con FENTON tuvo una concentración inicial de 0,174 mg/L. Posteriormente, aplicando el proceso de Quelatación la concentración de Plomo fue de 0,159 mg/L. Ambas muestras cumplen con el límite máximo permisible para Plomo que es 0,2 mg/L de la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097, TULSMA, Libro VI, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

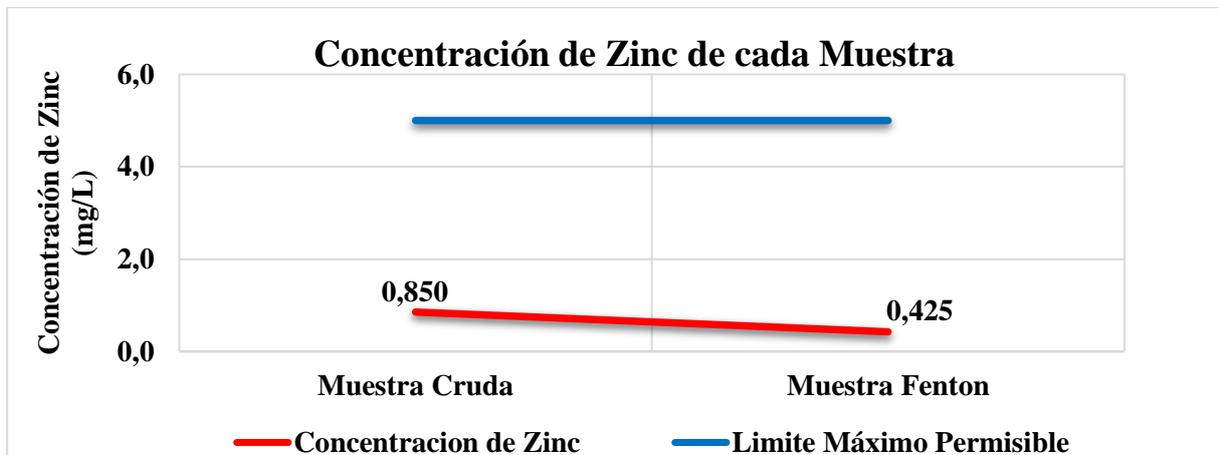


Gráfico 8.- Concentración de Zinc de cada Muestra

Elaborado por: William Palacios, 2018.

La muestra de lixiviado tratada con FENTON tuvo una concentración inicial de 0,425 mg/L. Posteriormente, aplicando el proceso de Quelatación la concentración de Zinc fue la misma 0,425 mg/L. Ambas muestras cumplen con el límite máximo permisible para Zinc que es 5,0 mg/L de la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097, TULSMA, Libro VI, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

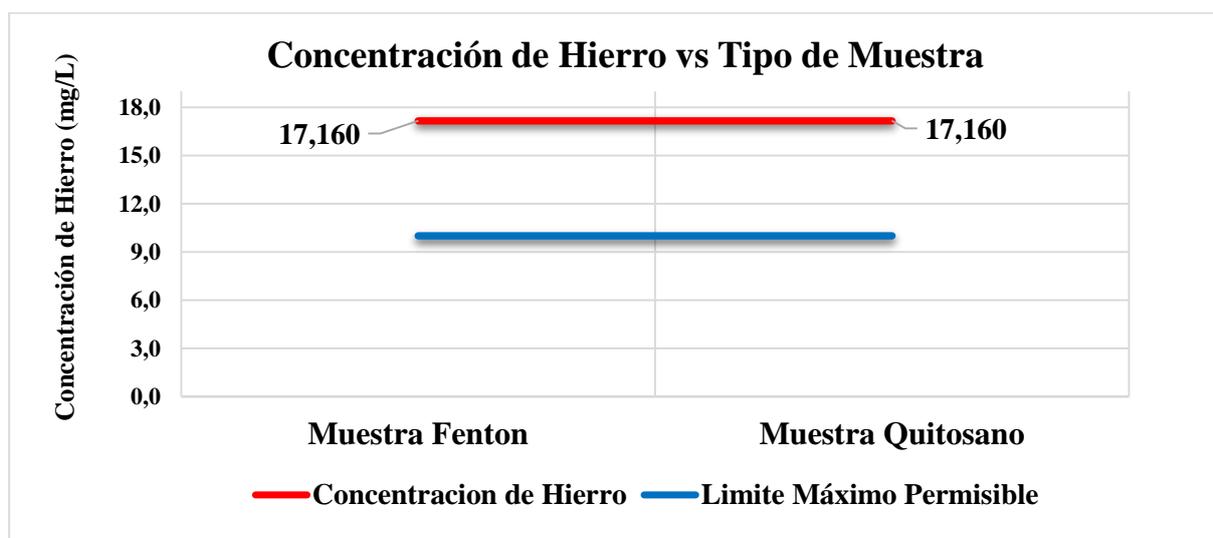


Gráfico 9.- Concentración de Hierro de cada Muestra

Elaborado por: William Palacios, 2018.

La muestra de lixiviado tratada con FENTON tuvo una concentración inicial de 17,16 mg/L. Posteriormente, aplicando el proceso de Quelatación la concentración de Hierro fue la misma 17,16 mg/L. Ambas muestras sobrepasan el límite máximo permisible establecido para Hierro que es 10,0 mg/L de la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097, TULSMA, Libro VI, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

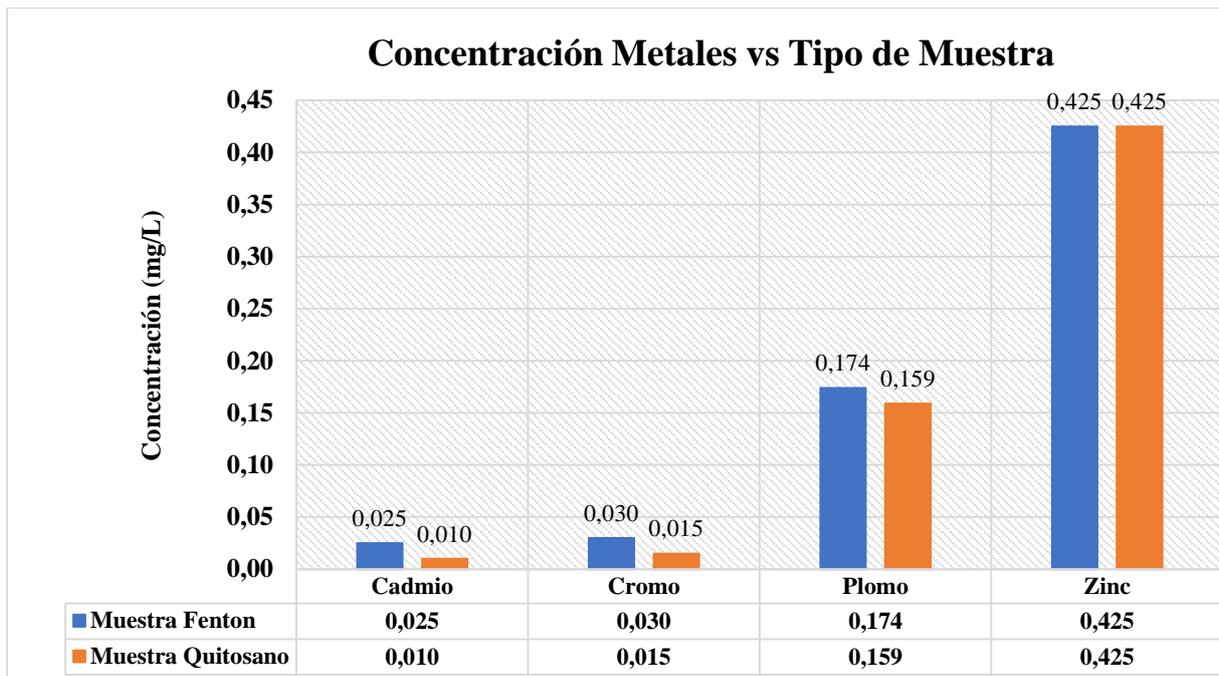


Gráfico 10.- Relación de la Concentración de Metales de cada Muestra

Elaborado por: William Palacios, 2018.

El valor más bajo de la muestra de lixiviado tratado con Fenton es de 0,025 mg/L correspondiente al Cadmio mientras que el valor más alto es de 0,425 mg/L perteneciente al Zinc. El tratamiento con Qitosano fue efectivo en los siguientes metales: Cadmio 0,010 mg/L, Cromo 0,015 mg/L y Plomo 0,159 mg/L. El Zinc presenta el mismo valor.

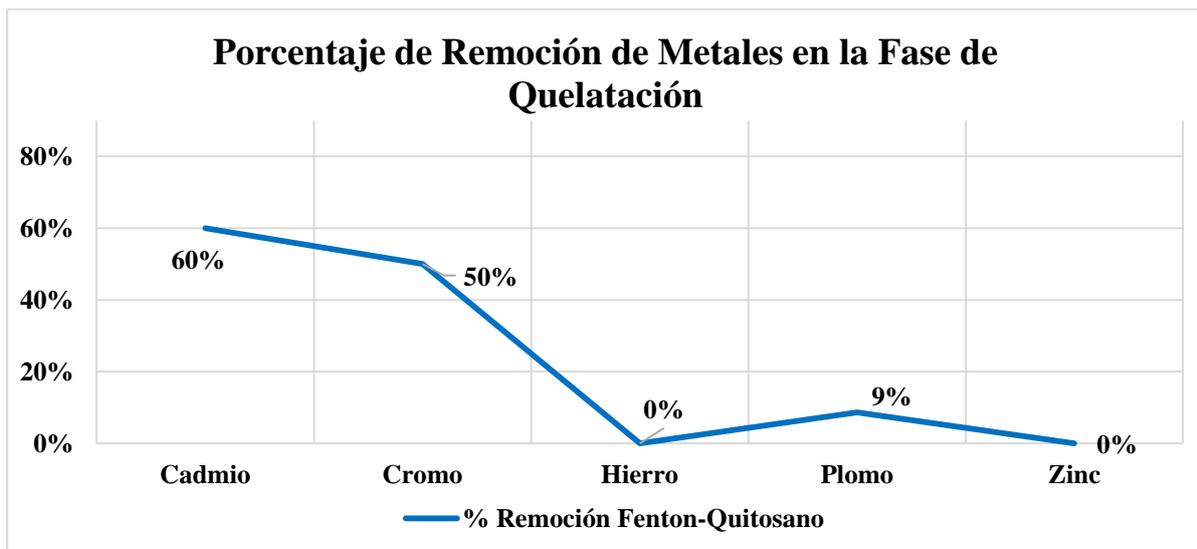


Gráfico 11.- Porcentaje de Remoción de Metales

Elaborado por: William Palacios, 2018.

Los porcentajes finales de remoción de metales pesados aplicando Quitosano en el Lixiviado tratado con FENTON son: Cadmio 60 %, Cromo 40 % y Plomo 9%. El Hierro y el Zinc conservaron los mismos valores.

DISCUSIÓN

El lixiviado recolectado de la piscina del relleno sanitario tiene un pH de 8,5, lo que indica que se trata de un líquido alcalino. Este lixiviado recolectado, al ser joven, contiene una alta carga de materia orgánica así como de metales pesados. El valor del DQO medido fue alto con un valor de 9790 mg O₂/L y superó los límites permisibles en más del 100 %. Aplicando un tratamiento conocido como FENTON se logró bajar la concentración de materia orgánica y sustancias susceptibles a ser oxidadas, a 1015 mg O₂/L es decir un 91 % de remoción, sin embargo aún se encuentra fuera de la norma. La norma establece que los lixiviados para ser descargados a cuerpos de agua dulce, deben tener un valor máximo de DQO de 200 mg O₂/L. La producción de Quitosano, para su función como Agente Quelante, fue determinante para la ejecución del proyecto. Para este proyecto se produjeron 40,6 g de Quitosano a partir de 200 g de cascaras de camarón, lo que representa el 17 % de Quitosano. La cantidad fue suficiente para el proceso de Quelatación en Lixiviados.

El proceso de Quelatación disminuyó la concentración de tres metales pesados presentando los siguientes porcentajes de remoción; Cadmio 60 %, Cromo 50 % y Plomo 9%. El Hierro y el Zinc tienen un 0% de remoción.

El Quitosano fue efectivo en la remoción de tres de los cinco metales analizados, de los cuales el Cadmio inicialmente no cumplía con la norma ambiental, sin embargo, con la aplicación del Quitosano, el valor de este metal se encuentra dentro de los límites máximos permisibles. Por otra parte, el tratamiento con el método Fenton fue efectivo un 91 % en la reducción del DQO lo que potencializó la efectividad del Quitosano en este lixiviado.

El Quitosano como agente Quelante orgánico fue efectivo y económico, redujo las concentraciones de metales pesados con un grado de eficiencia de hasta el 60%, asistido de un pre tratamiento llamado FENTON. El metal que alcanzó la máxima remoción fue el cromo con un 60 % y el metal que tuvo una mínima remoción fue el Plomo con un 9%.

Los parámetros establecidos para la Quelatación y la pureza del Quitosano fueron determinantes en el cumplimiento del objetivo de este estudio. Tanto, el pH, la cantidad de Quitosano y el tiempo de agitación utilizados en este estudio, pueden modificarse para aumentar la efectividad de la remoción de metales pesados que presentan altas concentraciones. Estos resultados pueden utilizarse como una referencia para futuros ensayos puesto que este proyecto probó que el Quitosano si funciona como removedor de metales pesados.

CONCLUSIONES

La remoción de metales pesados del lixiviado de la piscina del relleno sanitario del Cantón Mejía aplicando Quitosano fue efectivo en el Cadmio, Cromo y Plomo. El Zinc y Hierro no se removieron por su alta concentración. En decir que el Quitosano funciona en metales con bajas concentraciones.

De acuerdo con los porcentajes de efectividad del Quitosano en la remoción de metales pesados, el Cadmio es el metal que mejor se ajusta a los resultados ambicionados por presentar una baja concentración en el lixiviado tratado con Fenton. Esto significa que utilizar Quitosano para remover Cadmio es confiable cuando su concentración sea baja.

Los procesos de Desproteínización, Desmineralización, Purificación y Desacetilación, tuvieron pérdidas notables en la obtención de Quitosano, obteniéndose solo un 17 % de Quitosano puro. Así mismo, el Quitosano obtenido del exoesqueleto de camarón tuvo un grado de desacetilación del 75%, y demostró ser eficiente en la eliminación de iones de Cadmio, Cromo y Plomo a bajas concentraciones.

Por otra parte, el tratamiento del lixiviado crudo aplicando el método de Oxidación Avanzando FENTON logró eliminar el 91 % de materia orgánica. Cabe mencionar, que el lixiviado tratado con FENTON fue el que se utilizó para los ensayos de Quelatación con Quitosano.

Las concentraciones de metales pesados en el lixiviado tratado con FENTON son:

Cadmio 0,025 mg/L, Cromo 0,03 mg/L, Hierro 17,16 mg/L, Plomo 0,174 mg/L, Zinc 0,425 mg/L. El Cromo, Plomo y Zinc cumplen con la normativa ambiental vigente.

Posteriormente, la Quelatación con Quitosano fue efectivo en la remoción de los siguientes metales. Cadmio 0,01 mg/L, Cromo 0,015 mg/L, Plomo 0,159 mg/L. En este proceso cuatro metales cumplen con los valores máximos permisibles de la normativa ambiental vigente, estos son: Cadmio, Cromo, Plomo y Zinc. A pesar de que el Quitosano no tuvo efecto alguno en el Zinc por su alta concentración, éste estaba dentro de los límites permisibles. Por su parte, el Hierro no cumple con los límites máximos de la normativa ambiental vigente y tampoco hubo reacción alguna con el Quitosano debido a la interferencia existente del sulfato ferroso en el tratamiento del Lixiviado con Fenton.

La Quelatación con Quitosano como agente Quelante fue efectivo en metales pesados con bajas concentraciones (Cadmio, Cromo y Plomo), y fue nulo en metales con altas concentraciones (Hierro y Zinc).

Los porcentajes de efectividad del Quitosano en la Quelatación de metales pesados en el lixiviado tratado con FENTON son los siguientes; Cadmio 60 %, Cromo 40 % y Plomo 9%. Lo que demuestra que hubo mayor efectividad en el Cadmio y una mínima en el Plomo. El Quitosano removió el 60 % del total de los metales pesados analizados, especialmente los que presentaron bajas concentraciones.

En lixiviados maduros que presentan una menor concentración de metales pesados es recomendable utilizar directamente el Quitosano en solución con ácido acético para una mayor efectividad. En el caso de los lixiviados jóvenes, se recomienda aplicar el Quitosano en polvo

después del método de Oxidación Avanzada FENTON para potencializar su efectividad en la remoción de metales pesados. Adicionalmente, para tratar metales pesados con altas concentraciones en lixiviados jóvenes, se recomienda modificar los parámetros de Quelatación, realizando ensayos a diferente pH, tiempo de agitación y aumentando la cantidad de Quitosano, utilizando como base los resultados obtenidos en este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

- El autor agradece a la administración del Relleno Sanitario “Romerillos” del Cantón Mejía”, en la proporción de las muestras de Lixiviados.
- El autor agradece a la Universidad Internacional SEK por los equipos, materiales y reactivos proporcionados para el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS CITADAS

- Altamirano, M. (2015). *“Remoción de Pb²⁺ por medio de Adsorción en Quitosano”*. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana.
- Anrango, M. (2018). *“Métodos Alternativos para el Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario del Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador”*. Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Universidad Internacional Sek.
- APHA AWWA WEF. (2005). *“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”*. 21st edition. Metals part 3000. 3010A pag. 3-1
- Arévalo, C. (2018). *“Evaluación del comportamiento hidráulico de los lixiviados de la fase norte I del relleno sanitario de Cuenca”*.
- ATSDR, (2004). *“Resumen de Salud Pública, Cobalto”*.
- Balleño, A., Ríos, N., Aranda, F., Morales, J., Mendizábal, E & Katime, K. (2016). *“Hidrogeles de Alginato–Quitosano y Alginato–Sulfato de Quitosano para la Remoción*

de Iones Cobre". Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. México.

- Blanco, J. (2009). "*Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton*". Universidad Politécnica de Catalunya.
- Cahuasqui, S. (2011). "*Determinación de metales pesados (plomo, cadmio y níquel) en el cilantro (Coriandrum sativum L) en Aloag, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha por espectrofotometría de absorción atómica de llama*". Pontificia Universidad Católica del Ecuador Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Escuela de Ciencias Químicas.
- Cañizares, R. (200). "*Biosorción de Metales Pesados mediante el uso de Biomasa Microbiana*".
- Coral, K. (2011). "*Tratamiento de Residuos Sólidos*". UISEK.
- Dávila, G & Bonilla, P. (2011). "*Optimización del Proceso de Adsorción de Plomo con Quitosano*". Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador.
- Diaz, F. (2012). "*Remoción de Cromo Hexavalente de Aguas Contaminadas usando Quitosano obtenido de Exoesqueleto de Camarón*".
- Eróstegui, C. (2009). "*Contaminación por Metales Pesados*". Volumen 12. Neurofisiología Editor.
- Escobar, D., Ossa, C., Quintana, M., & Ospina, W. (2013). "*Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos*". Scientia Et Technica, vol. 18, pp. 260-266 Universidad Tecnológica de Pereira.
- García, J. (2014). "*Procesos fenton y foto-fenton para el tratamiento de aguas residuales de laboratorio microbiológico empleando Fe₂O₃*". Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.

- Giraldo, E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. *Revista de ingeniería*, (14), 44-55.
- Hernández, H. (2009). “*Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón*”. Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla Avenida San Claudio.
- Jiménez, D. (2000). “*Evaluación de los parámetros de un Biodigestor Anaerobio tipo continuo*”. Facultad de ingeniería mecánica eléctrica.
- Knoch, J., & Stegmann, R. (1993). Tratamiento de lixiviados. In *Tratamiento de lixiviados*. CAPRE/ANDESAPA.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Mejía. (s.f.). Pichincha, Ecuador: Gobierno Municipal Mejía.
- Pellon, A., Matilde, L., & Espinosa, M. d. (2009). Tecnología para el Tratamiento de Lixiviados Provenientes de Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos. *Tecnología Química* , 113-121.
- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (s/f). Anexo Planta de Tratamiento de lixiviados. Chile: Ilustre Municipalidad de Castro.
- Lárez, C. (2008). “*Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica*”. Laboratorio de Polímeros, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes. Mérida 5101, Venezuela. E-mail: clarez@ula.ve
- Lozada, P. T., Rodríguez, J. A., Barba, L. E., Morán, A., & Narváez, J. (2005). Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB. *Ingeniería y desarrollo*, (18).
- Martínez, O. (2009). *Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada*. Universidad de Cantabria.

- Nájera, H., Castañón, J., Figueroa, J., & Rojas-Valencia, M. (2009). Caracterización y tratamiento fisicoquímico de lixiviados maduros producidos en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez. *Chiapas, México*, 9.
- Nordberg, G. (2007). “*Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad*”.
- Rosales, J. (2008). “*Tratamiento de lixiviado producido en el relleno sanitario del Inga mediante procesos de coagulación floculación y tratamiento anaerobio a escala laboratorio*”. Universidad Internacional SEK.
- Rubio, A. (2014). “*Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico*”. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. ** Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Salas, G. (2010). “*Tratamiento por Oxidación Avanzada (reacción Fenton) de aguas residuales de la industria textil*”. vol. 13 n.0 1, 2010. págs. 30-38.
- Velasco, J. (2002). “*Tecnologías de remediación para Suelos*”. Instituto Nacional de Ecología.
- Villalobos, W. (2011). “*Eliminación de Metales Pesados de Aguas Residuales con Membranas de Quitosano*”, Escuela de Química. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Zulay, M. (2011). “*Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones*”. Revista Tecnocientífica URU Universidad Rafael Urdaneta Facultad de Ingeniería.
- Zaldumbide, L. (2012). “*Caracterización Física de Residuos Sólidos Urbanos, Caracterización Química de Lixiviados y Propuesta de Tratamiento para Lixiviados del Relleno Sanitario del Cantón Mejía*”. Universidad Internacional SEK Facultad de Ciencias Ambientales.