

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

“REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) ”

Realizado por:

JESSICA ZULLY LEGÑA IZA

Director del proyecto:

Magíster. Emma Ivonne Carrillo Paredes

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERIA QUÍMICA INDUSTRIAL

Quito, 27 de julio del 2018

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, JESSICA ZULLY LEGÑA IZA, con cédula de identidad # 172019924- 7, 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

Jessica Zully Legña Iza
1720199247

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS A LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) ”

Realizado por:

JESSICA ZULLY LEGÑA IZA

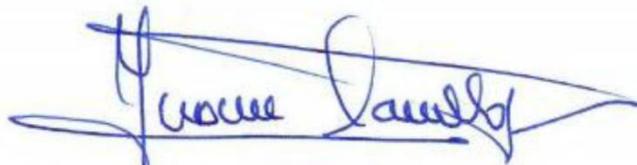
como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA QUIMICA INDUSTRIAL

ha sido dirigido por LA profesora

EMMA IVONNE CARRILLO PAREDES

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

MSc. Emma Ivonne Carrillo

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

KATTY CORAL

JOHANNA MEDRANO

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



FIRMA

MSc. Katty Verónica Coral Carrillo



FIRMA

MSc. Johanna Lucía Medrano Barboza

Quito, 27 de JULIO de 2018

DEDICATORIA

A partir de este momento se cierra un importante capítulo de mi vida y quiero expresar mi gratitud a todas las personas que colaboraron a que esto se cumpliera.

A mi Dios, porque estoy de acuerdo siempre, en que nada en este mundo se mueve sin su voluntad, gracias por la oportunidad que me da todos los días por mejorar y porque está en mis momentos más difíciles de mi vida.

A mis padres por el esfuerzo que han realizado por verme culminar la carrera. A mi papi Du-Bellay Legña, un hombre de lucha constante a pesar de las adversidades en su vida. A mi mamita Corina Iza por tu amor incondicional, tu paciencia y tu compañía eres un ejemplo de humildad y perdón en mi vida mi madre hermosa. Gracias papitos por hacer de mí una persona perseverante para alcanzar mis objetivos.

A mi tía Luz Iza, que es una mujer ejemplo de fortaleza, en el transcurso de mi vida ha estado conmigo apoyándome .Gracias mi tía hermosa

A mi esposo Omar Cabrera porque me has estado junto a mí todos estos años, por el esfuerzo que has hecho, has demostrado tú apoyo incondicional en los momentos que necesité.

Gracias cariño.

A mi hija Aisha Cabrera por soportar mi ausencia cuando debí estar a tu lado, con tus palabras inocentes y tu ternura me ha incentivado a seguir adelante

Gracias mi amor.

A mis hermanas Karina y Jazmine y Vanessa por el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida desde los días de mi infancia, con sus consejos y su ayuda he logrado superar muchos obstáculos. Gracias ñañitas

A mis sobrinitas Ayelén, Amy ,Alejandro, Aylin, Leonel, Camila, ustedes son los angelitos que Dios ha enviado a nuestras vidas para hacernos sonreír con sus ocurrencias.

A mis amigos Carmita, Gladys, Mayra gracias por su apoyo a lo largo de estos años, Leoncio, Danilo, Geovanna, Ruben, Vicky, Vivi mis compañeros y amigos hemos vencido a pesar de que al principio todo se volvió gris, somos y seremos un ejemplo de perseverancia, los llevaré siempre en mi corazón mis amigos eternos.

A mis abuelitos Darío, Juanita y mi tío Javier, que ya no están aquí pero estoy segura que desde algún lugar del universo nos acompañan.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por todo su amor y apoyo a lo largo de mi vida.

A mi directora, Msc. Ivonne Carrillo por la paciencia en la revisión del trabajo y por la enseñanza impartida en la elaboración de este proyecto.

A mis revisoras, Msc Katty Coral gracias por extenderme una mano amiga el primer momento en que ingrese aquí, y convertirse en una parte muy importante en mi vida.

y a Msc. Johanna Medrano, por sus enseñanzas a lo largo de este proceso y por la paciencia en la revisión de mi trabajo

Para ser sometido a: Revista de Ingeniería e Investigación

To be submitted to: Journal Engineering & Investigation

Remoción de cadmio de los suelos aledaños de la laguna de Limoncocha por adsorción superficial del bagazo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) ”

Removal of cadmium from the surrounding soils of the Limoncocha lagoon by superficial adsorption of sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum*)

Ivonne Carrillo Paredes¹ & Jessica Legña²

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: emma.carrillo@uisek.edu.ec

²Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: jess.l.i@hotmail.com

- Autor de correspondencia: MsC. Ivonne Carrillo, emma.carrillo@uisek.edu.ec

Titulo corto (Running title): Remoción de Cadmio de los suelos con bagazo de caña de azúcar

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

RESUMEN

En estos últimos años, la contaminación de los suelos ha aumentado en forma casi exponencial en el mundo, debido entre otras causas, a los metales pesados que se convierten en un peligro inminente para el ambiente y para los seres vivos. Uno de los problemas más importantes de los metales que se encuentran en altos porcentajes en los suelos, es la dificultad para removerlos. El cadmio (Cd) es un metal altamente contaminante y su presencia en el suelo provoca daños en los sistemas bióticos, lo que trae como consecuencia enfermedades en pulmones, riñones y huesos en las poblaciones que se encuentran en contacto con dicho metal. La presente investigación tiene como objetivo probar experimentalmente un proceso de remoción de cadmio, mediante la adsorción superficial de las fibras de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en muestras del suelo aledaños a la laguna de “Limoncocha” del Cantón Shushufindi, provincia de Sucumbios. A nivel de laboratorio se realizó el ensayo de Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) a cinco muestras de suelos y se analizó el cadmio inicial mediante espectrofotometría de absorción atómica, las muestras líquidas fueron filtradas a través del bagazo de caña de azúcar activado con tratamiento químico a distintos pesos y durante 1, 6, 12, 24, y 48 h. El resultado fue un porcentaje de remoción de 68,75%. Para determinar la validez del método se usaron las ecuaciones de isothermas de adsorción como Freundlich y Langmuir y se obtuvo una correlación aceptable; en la de Freundlich la correlación obtenida fue de $R^2=0,8549$; es decir un porcentaje de 85,49%. y la de Langmuir fue de 0,8488 lo que representa un porcentaje de 84,88%. Se pudo concluir que la adsorción está en el rango $0,6 < R^2 < 0,9$ es decir existe una buena adsorción.

PALABRAS CLAVE: Adsorción superficial, residuos orgánicos, cadmio, isothermas de Freundlich y Langmuir.

ABSTRACT

In recent years, soil pollution has increased almost exponentially in the world, due among other causes, to heavy metals that become an imminent danger to the environment and to living beings. One of the most important problems of metals that are found in high percentages in soils, is the difficulty to remove them. Cadmium (Cd) is a highly polluting metal and its presence in the soil causes damage to the biotic systems, which results in diseases in the lungs, kidneys and bones in the populations that are in contact with this metal. The objective of the present investigation is to experimentally test a cadmium removal process, by means of the superficial adsorption of the sugar cane fibers (*Saccharum officinarum*), in soil samples near the "Limoncocha" lagoon of the Shushufindi Canton, province of Sucumbios. At the laboratory level, the Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) test was performed on five soil samples and the initial cadmium was analyzed by atomic absorption spectrophotometry. The liquid samples were filtered through the bagasse of activated sugar cane with chemical treatment. different weights and during 1, 6, 12, 24, and 48 h. The result was a removal percentage of 68.75%. To determine the validity of the method, the adsorption isotherm equations were used, such as Freundlich and Langmuir. an acceptable

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

correlation, in Freundlich the correlation obtained was $R^2 = 0.8549$, that is, a percentage of 85.49%, and Langmuir's was 0.8488, which represents a percentage of 84.88%. conclude that the adsorption is in the range $0.6 < R^2 < 0.9$, that is, there is good adsorption.

KEYWORDS: Surface adsorption, organic waste, cadmium, Freundlich and Langmuir isotherms.

INTRODUCCION

El suelo es un componente esencial del ambiente, es el segmento de la superficie terrestre en la que se encuentra la vida y sobre la cual se establece la mayor parte de las actividades humanas, siendo la superficie de contacto entre la tierra, el aire y el agua. (De la Peña, 2014).

El crecimiento y desarrollo de las comunidades junto con la escasa planeación urbana, ha generado la acumulación de una variedad de compuestos tóxicos en el suelo, que se convierten en un peligro para los seres vivos (Orroño & Lavado, 2009).

En el mundo se pierden 22.500 millones de toneladas de suelo por contaminación de metales pesados y por el uso del petróleo, se puede entender que es primordial dar importancia al factor de producción del suelo e investigar alternativas de producción más estables a través del tiempo y más competitivas desde el punto de vista económico y social (Segura, 2015).

Uno de los problemas más importantes de los metales, que se encuentran en altos porcentajes en los suelos, es su dificultad para removerlos. El cadmio (Cd) es un metal altamente contaminante y su movilidad en el suelo, en su forma soluble, provoca daños en los sistemas bióticos, lo que trae como consecuencia enfermedades en los pulmones, riñones y huesos en las poblaciones que se encuentran en contacto con dicho metal

El cadmio es un metal pesado que se encuentra en baja concentración, agrupado con minerales de zinc, como la esfalerita (ZnS), la greenockita o blenda de cadmio (CdS), la otavita ($CdCO_3$) y la monteponita (CdO) (Solano Marín, 2005), pero cuando la concentración

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

aumenta debido a las actividades humanas, se vuelve un metal dañino, alcanzando una toxicidad similar a la del plomo (Rodríguez Badiola, Carracedo, Soler, & Hoyos, 1990).

Se puede definir un metal pesado como aquel que tiene una densidad mayor a 5 g/cm^3 , entre sus características fisicoquímicas, se tiene que son dúctiles, maleables y con una conductividad eléctrica alta, la mayor parte de estos elementos de transición tienen la capacidad de formar compuestos que pueden o no sufrir actividad Redox. (Barland et al., 2011).

La contaminación por este tipo de metales puede originarse debido a erupciones volcánicas, mineralización del material parental o por actividades antropogénicas tales como la explotación de minas, incineración de basura urbana, uso de lodos urbanos en la agricultura, agroquímicos, gases provenientes de las industrias, quema de combustibles fósiles, etc. (Mite, Carrillo, & Durando, 2010).

En condiciones normales, la mayor parte de metales pesados potencialmente tóxicos se encuentran insolubles en su forma química, formándose complejos solubles por reacciones heterogéneas mediante la absorción, co-precipitación, intercambio iónico entre otros, lo que provoca que estos metales solubles se bio-acumulen en gran cantidad. (Ortiz, 2017).

Comportamiento químico del cadmio

La movilidad y biodisponibilidad del cadmio en agua y suelos está en función de la forma química que este adopte (Méndez et al., 2010). Su comportamiento químico presenta afinidad al azufre y es más móvil en ambientes ácidos. En el entorno natural, el cadmio se encuentra con valencia 2^+ , por lo que en solución forma especies químicas tales como CdCl^+ , CdOH^+ , CdHCO^{3+} , CdCl^{3-} , CdCl_4^{2-} , $\text{Cd}(\text{OH})_3$, $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$ y quelatos orgánicos. La solubilidad de las sales de cadmio

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

en agua es muy variable; los halogenuros, el sulfato y el nitrato son solubles mientras que el óxido, el hidróxido y el carbonato son prácticamente insolubles. En la (Figura 1) se puede observar la circulación de cadmio en el ambiente.

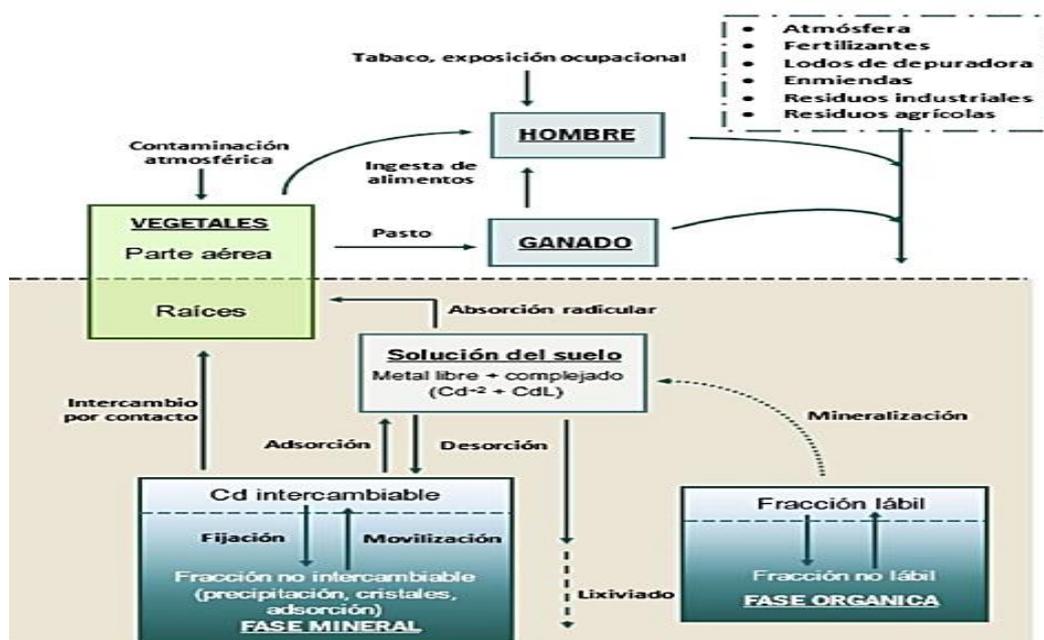


Figura 1: Movilidad del cadmio en el ambiente (Alloway, 1995)

El Cadmio permanece en el suelo con una vida media de 15 a 1100 años, (Alloway, 1995), produciendo problemas graves a nivel de salud, ya que ataca a distintos órganos y tejidos, entre ellos pulmones, testículos, hígado, riñones y huesos (Martínez, Rodríguez, Esperanza, & Leiva, 2014).

En el Ecuador en el Acuerdo Ministerial 097 A, que reforma al Libro VI Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) en el Anexo 2 Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para suelos contaminados, Tabla 2 Criterios de Calidad de Suelo , vigente desde noviembre del 2015, se

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

presenta un criterio de calidad para el suelo, que es de 0,5 mg/Kg.(WONG, 2017).

En los últimos años, se han realizado diversas investigaciones enfocadas a recuperar los suelos contaminados mediante una serie de métodos experimentales, algunas de aplicación tradicional y otras en fase empírica, creadas para destruir o reducir las sustancias contaminantes modificando su estructura a través de procesos habitualmente químicos, térmicos o biológicos (B. Ortiz & Dorado, 2007).

En el estudio realizado por Martínez y colaboradores (2014), se realizó la caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos y se obtuvieron buenos resultados, removiendo grasas, aceites (98,5%) e hidrocarburos totales (94,8%).

Magda & Elena (2017) investigaron la remoción de hidrocarburos totales en suelos contaminados con petróleo mediante residuos de cachaza y bagazo de caña de azúcar, obteniendo un porcentaje de remoción del 61% con el bagazo y un 45% con la cachaza.

Actualmente, a nivel mundial, existe la tendencia, de encontrar materia prima adsorbente, de fibras naturales como cáscara de cacao, pajas de arroz, corteza de árboles, bagazo de caña, entre otras, por su elevada capacidad de adsorción.(Armada, Barquinero, & Capote, 2008).

Adsorción

Es un proceso en el cual átomos, iones o moléculas llevados en un fluido son atrapados en la superficie de un material (adsorbente) con el que se encuentra en contacto, el proceso de adsorción como operación de separación es ampliamente aprovechado en la industria química,(Gómez, 2010).

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Isotermas de adsorción en un sistema sólido-líquido

Las isotermas de adsorción en el sistema sólido-líquido se alcanzan relacionando la cantidad de soluto adsorbido por gramo de adsorbente (q_e) versus la concentración del soluto en el equilibrio (C_e). Hay varios modelos para predecir la distribución de equilibrio; sin embargo, los más habituales son los propuestos por Langmuir y por Freundlich, éstos modelos de adsorción dan una representación del equilibrio de adsorción entre un adsorbato en solución y los sitios de superficie activa del adsorbente (Andrango & Inga, 2008)

Isoterma de Langmuir

Describe cuantitativamente la formación de una monocapa que adsorbe en la superficie externa del adsorbente y después de eso no tiene lugar ninguna adsorción adicional. Por lo tanto, la isoterma de Langmuir representa la distribución de equilibrio de iones metálicos entre las fases sólida y líquida.

$$q_e = \frac{qmC_e}{1 + bC_e} \quad \text{Ec.1-1}$$

Donde: q_m y b son los parámetros de Langmuir relacionados a la máxima capacidad de adsorción y la energía de enlace de la adsorción, respectivamente, q_e es la concentración del soluto retenido en el adsorbente en el equilibrio (mg g^{-1}); C_e es la concentración de soluto en la solución en el equilibrio (mg L^{-1}) (Paredes, 2011)

Isoterma de Freundlich

Su ecuación general viene dada por la relación entre la concentración residual de un compuesto en un líquido y la carga de un compuesto en el sorbente, generalmente, pueden obtenerse gráficos de línea recta haciendo uso de la ecuación de Freundlich, que relaciona la

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

cantidad de impurezas en la fase líquida con la cantidad adsorbida en el adsorbente usando la /expresión:

Donde:
$$Q_e = KF*(C_e)^{1/n} \quad \text{Ec.1-2}$$

Q_e es la concentración del soluto retenido en el adsorbente en el equilibrio (mg g^{-1}), C_e es la concentración de soluto en la solución en el equilibrio (mg L^{-1})

KF es la medida de la capacidad del adsorbente ($\text{mg}^{1-1/n} \text{L}^{1/n} \text{g}^{-1}$), indica la intensidad de la adsorción (Garzón, Armando, & González, 2012).

En el Ecuador, los residuos de bagazo de caña de azúcar son abundantes, estos provienen de seis ingenios azucareros y pequeños productores, y se estima que existe una producción anual de 158.000 toneladas de bagazo de caña de azúcar (Marmol & Diaz, 2015). Este residuo agrícola tiene bajo costo y se le puede dar una valorización energética, ya que posee un poder calorífico alto, el cual puede ser aprovechado posteriormente a la adsorción en la generación de energía en calderas de vapor (Danglad, 2013).

Los escasos estudios en el Ecuador realizados sobre la adsorción de metales pesados mediante el uso de material residual de origen orgánico, como el bagazo de la caña de azúcar para metales pesados en los suelos, crea la necesidad de explorar este campo en conjunto con estrategias que sean amigables con el ambiente y que no impliquen costos elevados de implementación.

Para la ejecución de esta investigación se usó el método test TCLP 1311 de la EPA, el cual extrae el líquido lixiviado de sustancias peligrosas, agilizando de esta manera la cuantificación de un probable impacto provocado al contorno en el que se moviliza, esta

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

técnica admite una extracción efectiva en un porcentaje de 99% reduciendo así el margen de error posible comparada con otros tipos de tecnologías (Velez, 2017).

Se ha realizado el proyecto de investigación en los suelos aledaños a la laguna de Limoncocha debido a los antecedentes de metales pesados en suelos como lo indican (Cerón, 2016) y (Robalino, 2017), de esta manera se convierten en un escenario ideal para probar experimentalmente la remoción de cadmio en cinco puntos de monitoreo mediante el uso de bagazo de caña de azúcar; si bien es cierto que en su estado natural es insoluble, puede formar complejos solubles a través de una serie de reacciones heterogéneas que facilitarían la incorporación a la cadena trófica y en consecuencia, a aumentar la probabilidad de que la población pueda padecer enfermedades por el consumo de alimentos contaminados.

El presente estudio busca reducir un alto porcentaje de cadmio de los suelos aledaños a la laguna a partir del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), mediante el uso de un residuo biodegradable que constituye un subproducto de la industria azucarera, para lo cual se realizó un pretratamiento al bagazo de caña de azúcar para aumentar el porcentaje de reducción del cadmio, además se calcularon las isothermas de Langmuir y Freundlich para encontrar la factibilidad del proyecto.

MATERIALES Y METODOS

AREA DE ESTUDIO: En la Figura 2 se observan los cinco puntos de muestreo de los suelos aledaños de la Laguna de Limoncocha, cantón Shushufindi de la provincia de Sucumbíos. Los mismos se utilizaron para el análisis de Cadmio en este trabajo.

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”



Figura 2. Puntos de muestreo, parroquia Limoncocha
Fuente: Modificado de ROBALINO, (2017)

Las muestras recogidas en los cinco puntos de muestreo fueron recolectadas siguiendo la metodología detallada en normas estandarizadas de material sólido y han sido almacenadas en fundas de polietileno con cierre hermético como lo indica (Robalino,2017), para garantizar su conservación y llevar a cabo los análisis propuestos.

Las muestras de suelo de los cinco puntos de monitoreo y recolección de muestras de suelo se realizaron en puntos de mayor potencial antrópica en la Línea de Investigación “Conservación y Diversidad”, Robalino (2017). Los puntos de muestreo se detallan en la Tabla 1:

Tabla 1.- Puntos de muestreo

Punto de suelo	Coordenadas
Instituto	UTM: X: 320055 Y: 9956277
Estación científica de la Reserva	UTM: X: 319673 Y: 9954996
Pozo antiguo	UTM: X: 319303 Y: 9954281
Pozo Jivino b	UTM: X: 320055 Y: 9956277
Pozo laguna	UTM: X: 322661 Y: 9954913
Instituto	

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Metodología de laboratorio

Pre-tratamiento de las muestras

Las muestras de suelo de los cinco puntos fueron secadas a 105°C en una estufa eléctrica, durante 24 horas; con la ayuda de un mortero se pulverizaron las muestras para obtener un diámetro homogéneo de partícula.



Figura 3.Secado de las muestras de suelo

Para iniciar la metodología es necesario la extracción de los metales pesados en forma líquida, para los cinco puntos de monitoreo. Éstas muestras se trataron utilizando el ensayo: EPA 311 “**TOXICITY CHARACTERISTIC LEACHING PROCEDURE**” (TCLP) (USEPA, 1992). Los reactivos, materiales y equipos utilizados se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2: Equipos, materiales y reactivos para desarrollar el método vía residuo y el ensayo TCLP

Equipos	Materiales	Reactivos
Balanza analítica	Filtros	Agua Regia
Espectrofotómetro de	Vasos de precipitación	Ácido Clorhídrico 1N
Agitador	Erlenmeyer	Hidróxido de Potasio 1N
Agitador magnético	Embudos de Vidrio	Ácido acético glacial
Plancha de calentamiento	Vidrio Reloj	Ácido Nítrico al 10%
Multiparámetro	Pipetas Graduadas	
Refrigerador	Balón aforado a 50 mL	
Extractor de gases	Peras de succión	
Espectrofotómetro de Absorción Atómica		

Fuente: (MONTALVO, 2015)

El ensayo de TCLP se realizó siguiendo el diagrama de flujo que se muestra en la

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Figura 4. Una vez que se ha obtenido la muestra líquida del ensayo de TCLP , ésta será analizada mediante los equipos de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS), para determinar la concentración inicial de cadmio presente en la muestra (Madeddu, 2005).

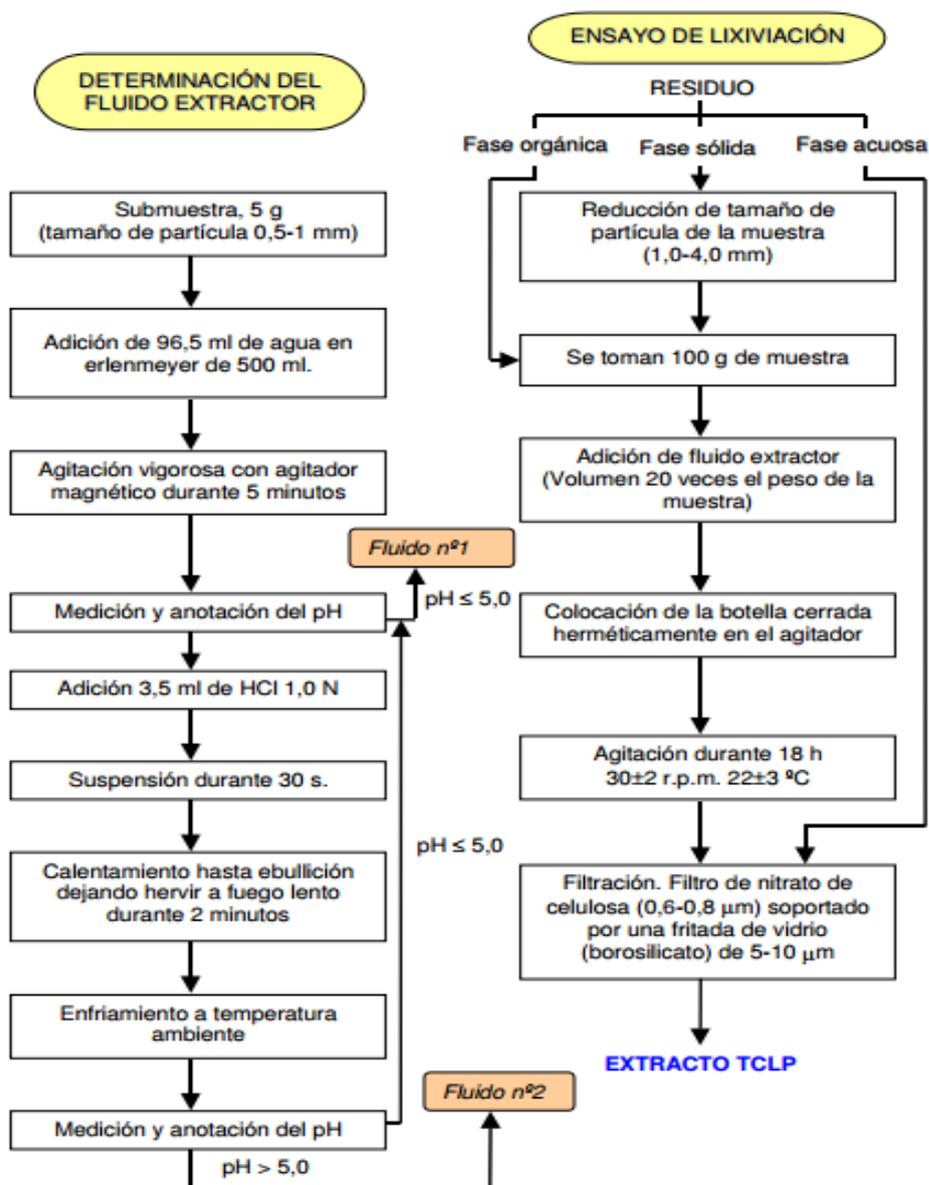


Figura 4: Proceso ensayo de lixiviación (TCLP)
Fuente: Federal Register, 1986

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Metodología de Biofiltro

Para este procedimiento se tomó como referencia la metodología usada por Muy & Tandazo (2012). Se recolectaron 1,5 kg del bagazo de caña, se cortaron en pedazos de aproximadamente 1 cm, y se lavaron para remover la concentración de azúcar, taninos, pigmentos y contaminantes.

Pretratamiento del bagazo de la caña de azúcar

La capacidad de remoción de iones metálicos del biosorbente va a depender de ciertos parámetros controlables en el proceso de adsorción como lo son el pH, el tamaño de partícula, la temperatura, y la concentración de la biomasa; sin embargo, es posible incrementar dicha capacidad de remoción mediante la modificación física o química de sus propiedades (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015). El bagazo de caña de azúcar fue tratado químicamente con ácido cítrico 1N. Se colocó 1 kg de bagazo de caña de azúcar en la solución durante 90 minutos a 90°C y 300 rpm, posteriormente se dejó secar en la estufa durante 24 horas a 105°C.

Biofiltro

Se utilizaron cinco filtros con 120, 130, 130, 135, 140 gramos, respectivamente. Se colocaron 250 mL de solución de muestra líquida obtenida del ensayo de TCLP, en un balón de 500 mL se agregó una concentración de 100 uL de estándares de Cadmio y se aforó. Se filtraron 500 mL de la muestra con concentración de cadmio conocida durante 1, 6, 12, 24 y 48 h, al terminar la prueba de filtración se midió la concentración de cadmio en las muestras.

Espectrofotometría de absorción atómica

Después de la filtración se colocaron las muestras en tubos Falcón, conservándolos en refrigeración para su posterior análisis con EAA. Los resultados de la concentración de metales en suelos se expresan en base seca (mg/kg), lo cual se determina mediante la ecuación

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

de concentración de metales pesados en suelos

$$\text{Concentración de metales en suelos } \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right) = \frac{\text{Lectura } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) * \text{Volumen de aforo mL}}{\text{peso de la muestra (g)}} \quad \text{Ec.1.4}$$



Figura 5. Almacenamiento de las muestras

RESULTADOS

MÉTODOS DE LABORATORIO

Análisis de la concentración inicial de cadmio

Según (Cerón, 2016) en el proyecto de investigación de fin de carrera en la determinación de cadmio y níquel en el agua, suelos y sedimentos de la Reserva Biológica de Limoncocha, la concentración de dichos metales varía con el tiempo y sobrepasan en la mayor parte de los análisis la concentración máxima permisible para suelos, en el estudio realizado durante 10 meses de análisis en los cinco puntos de monitoreo escogidos para la presente investigación. Debido a estos antecedentes y para mayor apreciación del equipo de absorción atómica, se colocó una concentración de 100uL de Cd en 250 mL de cada muestra y se aforó a 500 mL, en cada muestra de líquido obtenido en el ensayo de TCLP, las muestras fueron conservadas

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

en refrigeración y posteriormente analizadas. En la Tabla 3 puede observarse la concentración de cadmio inicial, final y su porcentaje de remoción; se debe considerar que se tomaron pesos distintos de bagazo de caña de azúcar.

Tabla 3. Concentraciones iniciales y finales de cadmio en los puntos de muestreo

Puntos	Bagazo de caña de azúcar (g)	Cd Inicial (ppm)	Cd final (ppm)	Porcentaje de Remoción = $\frac{C_{di}-C_{df}}{C_{di}} * 100$
Pozo laguna	130	0,19	0,07	63,16
Pozo antiguo	120	0,18	0,07	61,11
Estación	130	0,17	0,06	64,71
Instituto	135	0,16	0,05	68,75
Pozo Jivino b	140	0,16	0,05	68,75

Fuente: autor

En la Tabla 4 se puede observar el cálculo de la concentración de cadmio inicial y el porcentaje de reducción en los suelos de laguna Limoncocha.

Tabla 4. Resultados de Cadmio Laguna Limoncocha

Puntos	Cd Inicial (ppm) en 100uL	Cd inicial	Cd final (ppm)	concentrac ion adsorbida (mg/L)	Concnetrac ion en los suelos (mg/kg)	Porcentaje de Remoción
Pozo laguna	0,19	0,09	0,07	0,033	0,3316	63,16
Pozo antiguo	0,18	0,08	0,07	0,031	0,3111	61,11
Estación	0,17	0,07	0,06	0,025	0,2471	64,71
Instituto	0,16	0,06	0,05	0,019	0,1875	68,75
Pozo Jivino b	0,16	0,06	0,05	0,019	0,1875	68,75

Los cálculos que se presentan a continuación están en base a los 100 uL que se agregaron inicialmente.

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Concentración en función del tiempo

Las muestras fueron recolectadas a distintas horas 1h, 6h, 12h y 24 h, cuyas concentraciones se muestran en la Tabla 5. Se realizó además, un gráfico en el que se puede observar la concentración de salida en función al tiempo de remoción, obteniéndose la curva de filtración, en donde se puede evidenciar una disminución de la concentración mientras el lecho filtrante adsorbe superficialmente la concentración de cadmio.

Tabla 5 Resultados de Concentración en función al tiempo

Punto de muestreo	Tiempo(h)	0	1	6	12	24	48
Instituto	concentración (ppm)	0,16	0,13	0,12	0,11	0,09	0,05
Estación		0,17	0,12	0,11	0,1	0,08	0,06
Pozo laguna		0,19	0,16	0,15	0,14	0,1	0,07
Pozo Jivino		0,16	0,17	0,15	0,14	0,08	0,05
Pozo antiguo		0,18	0,17	0,15	0,14	0,05	0,07

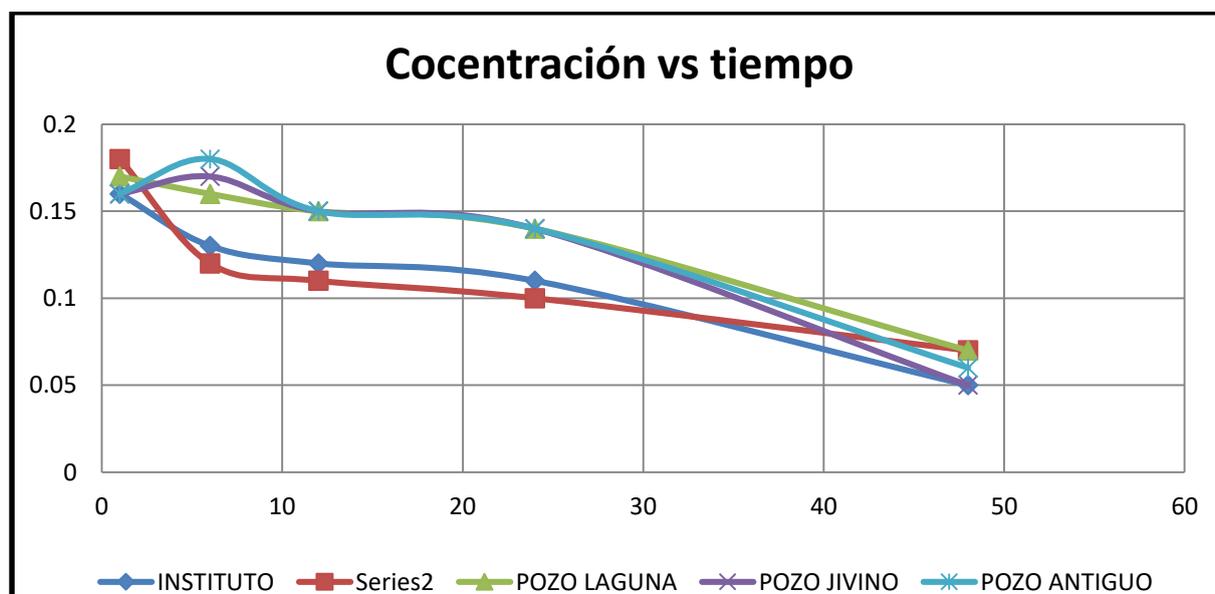


Figura 6. Concentración vs tiempo
Porcentajes de remoción de los iones de Cd en función de la masa y el tiempo

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

En la Tabla 6 se muestra el aumento del porcentaje de remoción de Cd mientras la masa de bagazo de caña de azúcar aumenta encontrándose los porcentajes más altos de remoción en el Punto Estación y Pozo Antiguo con 68,75% y el porcentaje más bajo en el Pozo Jivino B con 62,5%, respectivamente.

Tabla 6. Porcentaje de remoción en función del tiempo

Punto	Tiempo (h)	0	1	6	12	24	48
Instituto	concentración	0,1	0,13	0,12	0,11	0,09	0,05
	%	0	18,7	25,0	31,2	43,75	68,7
	masa(g)	13	135	135	135	135	135
Estación	concentración	0,17	0,12	0,11	0,10	0,08	0,06
	%	0	29,41	35,29	41,18	52,94	64,71
	masa(g)	130	130	130	130	130	130
Pozo laguna	concentración	0,19	0,16	0,15	0,14	0,1	0,06
	%	0	15,80	21,10	26,31	47,42	62,50
	masa(g)	130,0	130,0	130,0	130,0	130,0	130,0
Pozo Jivino B	concentración	0,16	0,15	0,14	0,12	0,08	0,05
	%	0	6,25	12,5	25	50	68,75
	masa(g)	140	140	140	140	140	140
Pozo antiguo	concentración	0,18	0,17	0,16	0,14	0,07	0,07
	%	0	5,56	11,11	22,22	61,11	61,11
	masa(g)	120	120	120	120	120	120

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

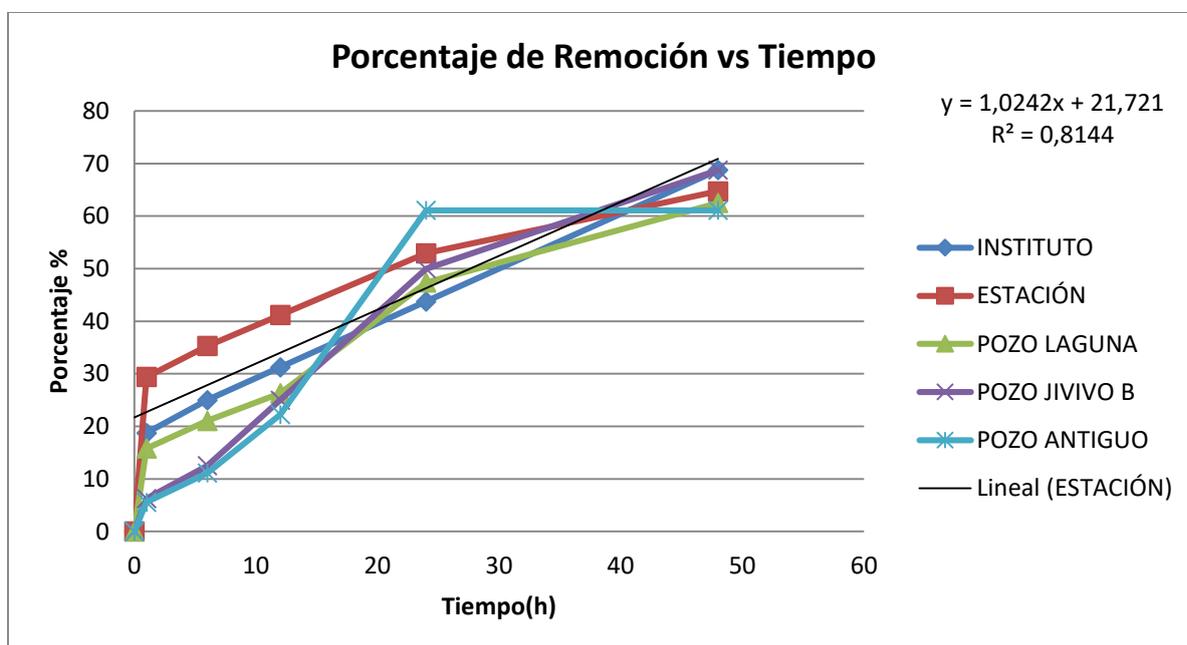


Figura 7. Porcentaje vs Tiempo 1

Porcentajes de remoción de los iones de Cd en función de la masa

Al observar la Figura 7, se puede interpretar que el modelo lineal muestra relación entre la variabilidad de Y, que representa la masa en función a la variable X, que es el porcentaje de remoción, el modelo de regresión genera un valor de $R^2 = 0,8178$ el cual se aproxima a 1, es decir representa el 81,78%, con lo que se puede afirmar que el resultado analítico es bueno. La masa óptima para la adsorción de Cadmio fue de 140 g de bioabsorbente con un 68,75% de retención del metal y la retención más baja 61,11 %, es decir con la menor masa que fue 120g de caña de azúcar, existiendo menos retención del metal.

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

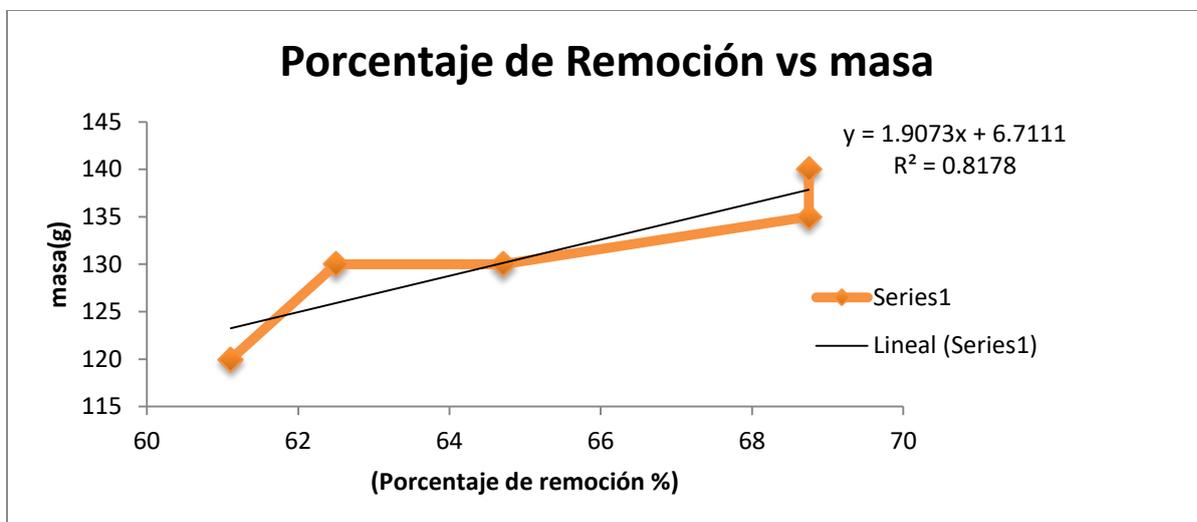


Figura 8. Masa vs Porcentaje de remoción

Turbidez y color en función del tiempo

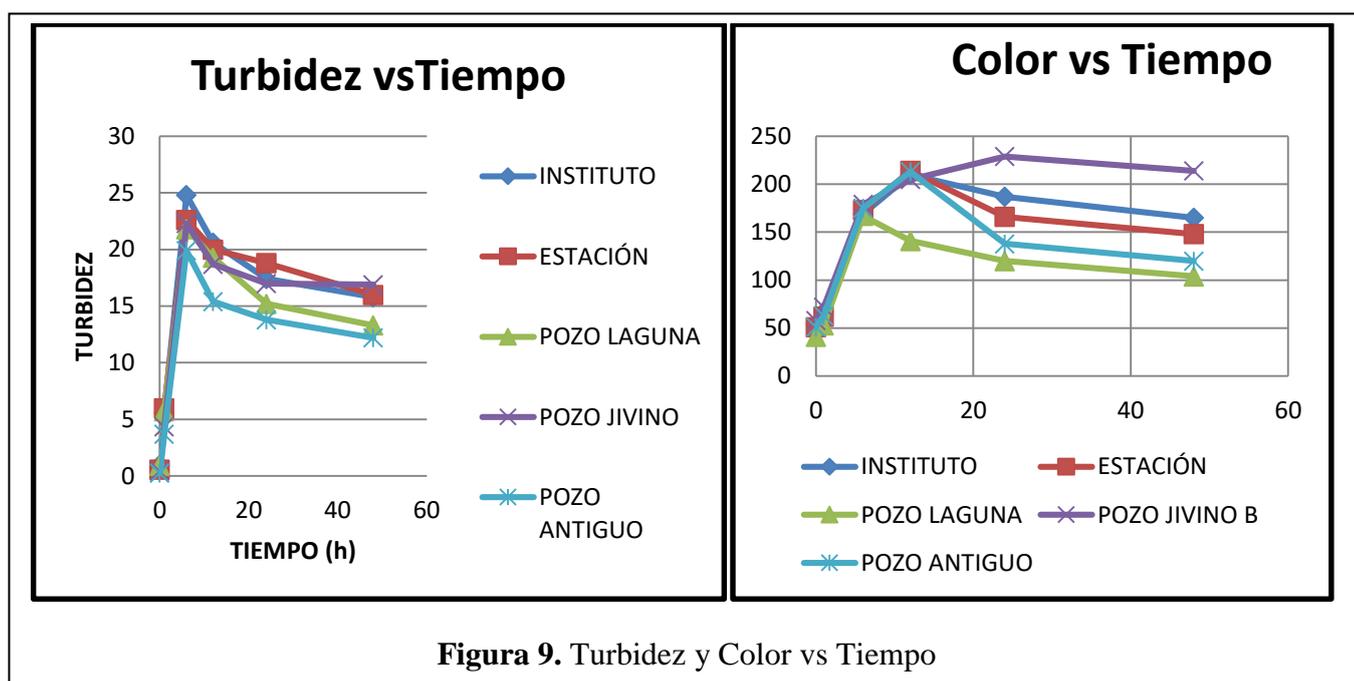
En función del tiempo se han medido los parámetros de turbidez y color que se pueden observar en la Tabla 7. Al analizar el parámetro de turbidez se puede observar una tendencia parecida en los puntos, en el caso de punto Instituto presenta 0,97 NTU al dejarlo en el lecho filtrante a las 6 h presenta 24,8 NTU; sin embargo, a las 48 h presenta una disminución llegando al valor de 15,8 a las 48 h, pero a medida que se deja en el filtro por más tiempo, este empieza a disminuir la turbidez, el fluido que se obtiene de la filtración no llega a la turbidez inicial. Lo mismo ocurre con el color que aumenta

Tabla 7. Turbidez y color en función al tiempo

Puntos	Parámetros	Tiempo (h)					
		0	1	6	12	24	48
Instituto	Turbidez	54	67	169	210	187	165
	color Pt-Co	0,97	5,57	24,8	20,6	17,4	15,8
Estación	Turbidez	51	62	173	214	166	148
	color Pt-Co	0,55	5,99	22,6	20	18,8	16
Pozo laguna	Turbidez	41	53	167	141	120	104
	color Pt-Co	0,89	5,73	21,8	19,3	15,2	13,3

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Pozo Jivino	Turbidez	58	72	179	205	229	214
	color Pt-Co	0,43	4,35	22,3	18,7	17	16,9
Pozo antiguo	Turbidez	51	63	175	213	138	120
	color Pt-Co	0,25	3,68	19,9	15,4	13,8	12,2



Adsorción superficial del bagazo de caña de azúcar

Para este proyecto de investigación se consideró el uso de dos modelos de adsorción:

Langmuir y Freundlich, los cuales se ajustaron variando la masa del adsorbente.

Cálculo de la cantidad de metal adsorbido

La cantidad de metal adsorbido en los sistemas de filtración fue calculado

mediante la ecuación de balance de masa:

$$q = \frac{V(C_i - C_f)}{m}$$

Ec.1.5

Donde:

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

q: cantidad de metal adsorbido por unidad de masa de biosorbente (mg.g^{-1} o mmol.g^{-1})

Ci y Cf: concentración de adsorbato inicial y final, respectivamente (mg.L^{-1} o mmol.L^{-1})

V: volumen de la solución (L)

m: masa del bagazo de caña de azúcar(g) (Cazón, 2012)

Al realizar el proceso de linealización de las isothermas se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla (8): Linealización para el bagazo de caña de azúcar, Isotherma de Langmuir y Freundlich

Co	Ce	m	m	q	1/q	1/Ce	RL
mg/L	mg/L	(g)	mg	(mg/g)			
0,19	0,07	130	130000	0,00046	2166,66	14,28	0,21
0,18	0,07	120	120000	0,00045	2181,81	14,28	0,42
0,17	0,06	130	130000	0,000423	2363,63	16,66	0,34
0,16	0,05	135	135000	0,000407	2454,54	20	0,56
0,16	0,05	140	140000	0,000392	2545,45	20	0,79

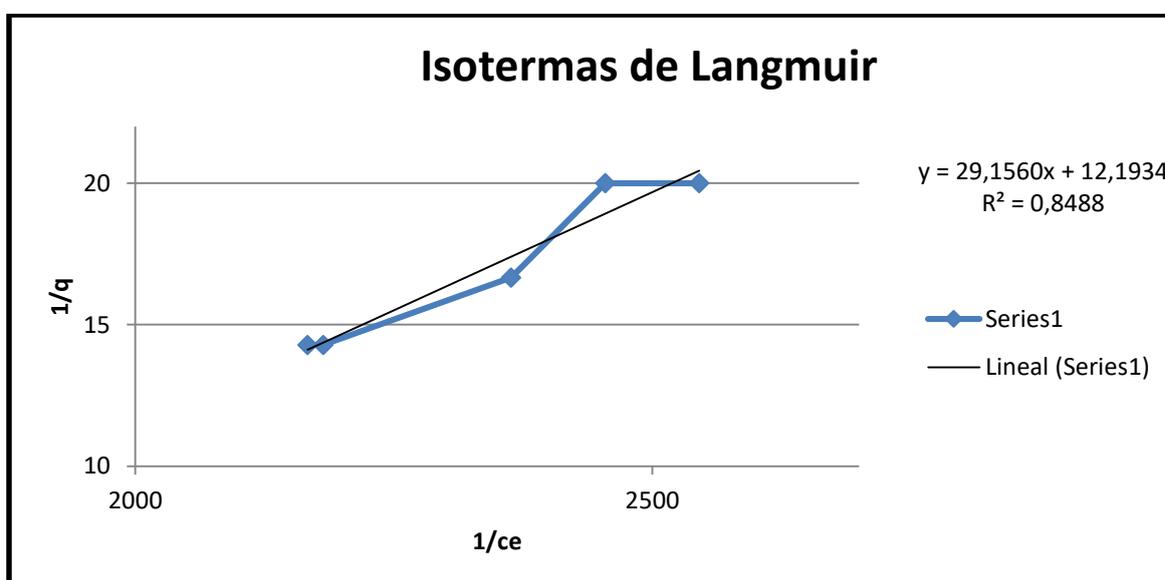


Figura 10. Isotermas de Langmuir

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Tabla 9. Isoterma de Langmuir

<i>Ecuación de la isoterma y =</i>	29,1560
<i>R2</i>	0,8488
<i>Ordenada (1/q_{max})</i>	12,1934
<i>Pendiente (1/b*q_{max})</i>	29,156
<i>Q_{max}</i>	0,0082
<i>b</i>	0,4100

Isoterma de Freundlich

Los valores obtenidos al linealizar la ecuación de Freundlich, fueron K=0,21 y n=0,64

Tabla 10. Isotermas de Freundlich

m	Q	log q	log Ce
(g)	(mg/g)		
130	0,00046	3,33	1,15
120	0,00045	3,33	1,15
130	0,00042	3,37	1,22
135	0,00040	3,38	1,30
140	0,00039	3,40	1,30

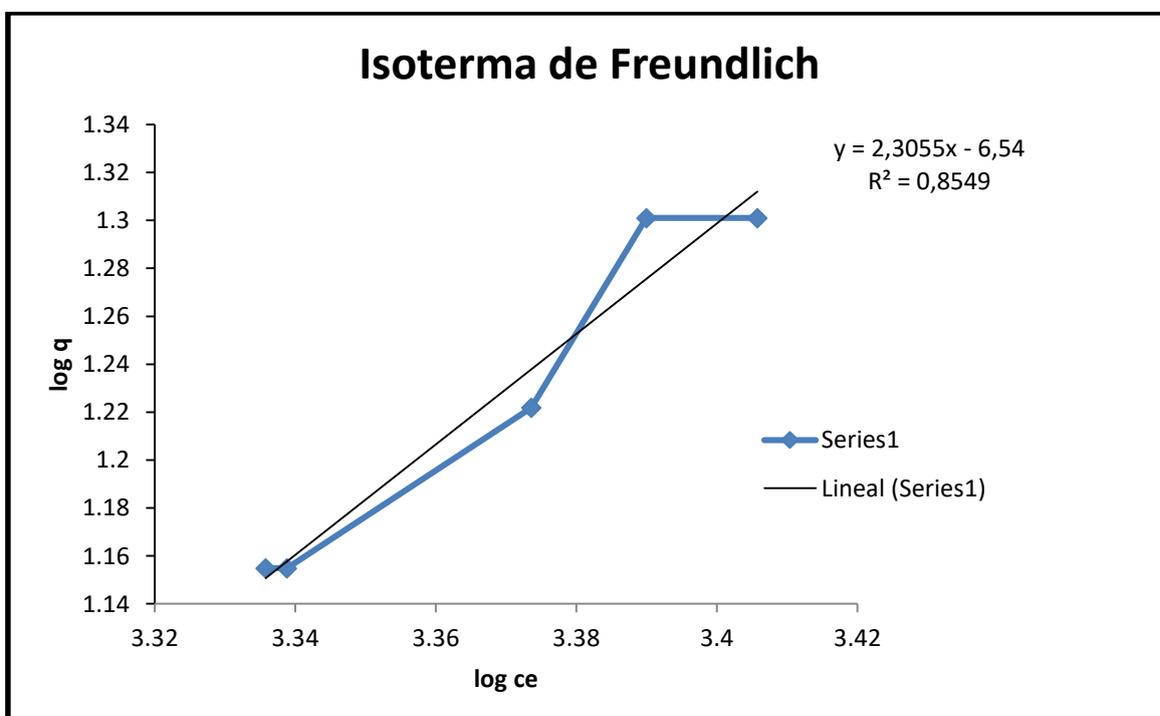


Figura 11.- Isoterma de Freundlich

Tabla 11 Isoterma de Freundlich

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

<i>Ecuación de la isoterma</i>	$Log q = 2,3055 Log Ce - 6,54$
R^2	0,8549
<i>Ordenada (log K)</i>	-3,9486
<i>Pendiente (1/n)</i>	1,54
K	0,21
N	0,64

Los resultados experimentales indicaron que la isoterma de Langmuir, alcanzó un coeficiente de correlación $R^2 = 0,848$ y para la isoterma de Freundlich, $R^2 = 0,854$.

Tabla 12. Niveles de correlación para el estudio del modelo.

Rango	Característica del modelo
$0 < R^2 < 0,6$	el modelo es pobre
$0,6 < R^2 < 0,9$	el modelo es bueno
$0,9 < R^2 < 1$	el modelo es muy bueno

Fuente:(Villanueva, 2007)

Discusión

Los puntos de monitoreo tienen valores de concentración de cadmio en ppm (mg/kg) que sobrepasaron los límites referenciales de la Normativa Ecuatoriana, encontrándose valores en Pozo Laguna de 0,9 mg/kg, Pozo Antinguo 0,8 mg/kg, Estación 0,7 mg/kg y Pozo Jivino B 0,6 .Al realizar la metodología de biofiltro y pasar las muestras obtenidas del ensayo TCLP se obtuvieron datos de concentración en función del tiempo con intervalos de 1h, 6h, 12h y 24h obteniéndose concentraciones menores de cadmio 0,33 mg/kg; 0,31 mg/kg/ 0,24 mg/kg; 0,18 mg/kg ; 0,18 mg/kg respectivamente con los puntos antes mencionados.

La remoción de iones de Cd en función a la masa de bagazo de caña de azúcar arrojaron porcentajes de remoción para Pozo Jivino B e Instituto de 68,75% con un masa de de bagazo de 140g y 135g respectivamente, en Estación 64,71 % con una masa de 130 g ,

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Pozo Laguna 62,5% usando una masa de 130 g, Pozo Antiguo con un porcentaje de remoción de 61,11 % con una masa de 61,11 g. Al realizar la gráfica del porcentaje de remoción de cadmio en función del tiempo se obtuvo un valor en el modelo de regresión lineal con un coeficiente $R^2=0,8178$, lo que representa un 81,78% de correlación.

Al mismo tiempo se tomaron datos de turbidez y color encontrándose en el punto de monitoreo Instituto una turbidez de 54 NTU y 0,97 Pt/Co de color; a las doce horas de estar en contacto el bagazo de caña de azúcar con la solución de cadmio, se puede observar que aumenta la turbidez mostrándose un valor de 169 NTU y 24,8 Un. Pt/Co de color. Al tomar los datos a las 24 horas se presentó una disminución de la turbidez de 165 NTU y color 15,8 Un. Pt/Co. Los demás valores tomados a las distintas horas 1h; 6h, 12h, 24h y 48 h, presentan el mismo comportamiento.

Del cálculo de las isothermas de adsorción, se constató que la isoterma de Langmuir presenta una $R^2 = 0,8488$, una q_{max} de 0,008. Con la isoterma de Freundlich se obtiene un valor de $K=0,09$; $n=0,64$ y un $R^2 = 0,8549$

Conclusiones y recomendaciones.

- ✓ Se cumplió con el objetivo de remoción de los iones de cadmio de los suelos aledaños de la laguna de Limoncocha, con resultados del 68,75%, es por eso que se puede afirmar que es un método efectivo y que no implica muchos costos para la remoción del metal en estudio.
- ✓ Para cumplir con el objetivo planteado fue necesario optimizar el bagazo de caña de azúcar mediante el pre tratamiento indicado por (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015) con ácido cítrico y se trabajó con un pH de 2, lo que ayudó a que la

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

superficie de la caña de azúcar pudiera modificar sus poros y lograr retener la mayor parte del metal en la superficie, demostrando ser efectiva para la eliminación de iones de metal pesado

- ✓ El porcentaje de remoción obtenido logró bajar los niveles de concentración de cadmio presentes en los suelos aledaños de la Laguna Limoncocha, consiguiendo que todos los puntos ingresen en el límite permisible de 0,5 mg/kg establecidos en el Acuerdo Ministerial 097, anexo 2 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.
- ✓ Los parámetros que se utilizaron en esta investigación, concentración y tiempo, son relevantes para que exista mayor remoción. A mayor cantidad de adsorbente, la cantidad de adsorbato va a reducir notablemente. Lo que se corrobora al presentar una correlación de 0,8178, es decir que el porcentaje de correlación es 81,78 %, próximo al 100 %.
- ✓ La turbidez y el color medidos a lo largo del proyecto aumentan al ingresar a la superficie del bagazo de la caña de azúcar presentando valores bajos, mientras pasa el tiempo, a las 12 h, los valores de dichos parámetros empiezan a subir, en tanto que a las 48 horas los datos vuelven a bajar, esto se debe a las fuerzas de Van der Walls, ya que la energía almacenada por estos enlaces, sumada a la red molecular de todo el conjunto de moléculas que forman la sustancia, provocan que con el paso del tiempo, el sorbato empiece a estabilizarse y a precipitar es por ello que los parámetros descienden.

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

- ✓ Las ecuaciones de isothermas de adsorción como Freundlich y Langmuir se aplicaron para verificar la viabilidad del proceso de adsorción. Sobre la base de los valores del coeficiente de correlación, se concluye que el mecanismo de adsorción superficial de la caña de bagazo vs los iones Cd se ajustaron bien al modelo de Freundlich ya que en la representación gráfica se puede observar la correlación del soluto adsorbido entre las fases líquidas y sólida (bagazo de caña de azúcar) dando como resultados para Langmuir, una q_{max} de 0,008 g Cd/g bagazo de caña de azúcar y un $R^2 = 0,8488$; al realizar la isoterma de Freundlich se obtiene un valor de $K=0,21$ y $n=0,64$ y un $R^2=0,8549$, es decir que la correlación que presenta mayor porcentaje es el de 85,49 de Freundlich. Se puede concluir que la adsorción está en el rango $0,6 < R^2 < 0,9$ es decir existe una buena adsorción como se puede apreciar en la tabla 13 de niveles de correlación de las isothermas.

RECOMENDACIONES

- ✓ En base a esta investigación se recomienda que se realice un pre tratamiento del bagazo de caña de azúcar modificando con diferentes agentes como HCl, NaOH, Na_2SO_4 , para analizar la capacidad de remoción metálica en la superficie del bagazo.
- ✓ Se puede probar con otro tipo de metales pesados ajustando el pH para distintas concentraciones y de esta manera analizar si aumenta el porcentaje de adsorción de la caña de azúcar.
- ✓ Aplicar el proceso a residuos líquidos tales como efluentes industriales con carga de metales para probar su funcionamiento.

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

- ✓ Trabajar con variaciones de temperatura para analizar el efecto del mismo sobre la eficiencia que produce el proceso.
- ✓ Los residuos de caña provenientes del tratamiento puede ser utilizado para la generación de energía, en diferentes procesos. Esta acción permite reducir el consumo de combustible fósil, tomando en cuenta que las cenizas deben ser inertizadas y enviadas a un gestor calificado.

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

ANEXOS



Fig1.-Muestras de los cinco puntos de muestreo



Fig2.-Ensayo TCLP



Fig3.-Filtración de las muestras



Fig4.- Extracto TCLP sobre la que se efectúa la caracterización de Cd Inicial



Fig 4.-Pretratamiento del bagazo



Fig 5.Biofiltro

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Bibliografía

- Alloway, B. J. (1995). Heavy Metals in Soils. Chapman & Hall, London. *Soil and Water Res.*, 1(4), 3. <https://doi.org/10.17221/6517-SWR>
- Andrango, D., & Inga, P. (2008). Estudio isotérmico de biosorción de plomo en aguas utilizando residuos vegetales. *La Granja*, 8(2), 3–8.
- Armada, A., Barquinero, E., & Capote, E. (2008). Empleo del bagazo como material absorbente en derrames de petróleo. *Instituto Cubano de Investigaciones de Los Derivados de La Caña de Azúcar Cuba Armada*, 95–98.
- Badillo. (1985). *Curso básico de toxicología ambiental*. P. . Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Metepec; ECO.
- Barland, E., Huamán, B., Ender, E., Tejada, L., Alex, E., & Rojas, R. (2011). Efecto de la amteria orgánica en la absorción de cadmio por el seulo en la localidad de Supte.
- Cazón, J. (2012). Remoción de metales pesados empleando algas marinas. *Universidad De La Plata, Facultad de Ciencias Exactas.*, 158.
- Cerón, M. (2016). Evaluación de la concentración de Cadmio y Níquel en agua, suelos y sedimentos de la Reserva Biológica de Limoncocha para establecer la línea base, 2015-2016, 1–78.
- Danglad, J. (2013). Partículas hidrofobadas de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de hidrocarburos en agua. *DANGLAD FLORES et Al. Vermiculita*, 25(February), 97–103.
- De la Peña, V. (2014). Evaluación De La Concentración De Plomo Y Cadmio En Suelo Superficial De Parques Y Plazas Públicas, En Tres Municipios Del Área Metropolitana De Monterrey, Nuevo León, México., 160. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/4119/1/1080253816.pdf>

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Garzón, S., Armando, J., & González, L. (2012). *Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja*. Retrieved from <http://190.25.234.130:8080/jspui/handle/11227/68>

Gómez, M. (2010). Un Equipo De Adsorción Gas-.

Madeddu, R. B. G. (2005). Estudio de la influencia del cadmio sobre el medio ambiente y el organismo humano: perspectivas experimentales , epidemiológicas y morfofuncionales en el hombre y en los animales de experimentación, 128. Retrieved from <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/728/1/15518231.pdf>

Magda, R., & Elena, G. (2017). Remoción de hidrocarburos totales en suelos contaminados con petróleo mediante residuos de Cachaza y Bagazo de caña de azúcar. *UCV*, (Scientia 9(1),), 59–66.

Martínez, P., Rodríguez, I., Esperanza, G., & Leiva, J. (2014). Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos. *Afinidad LXXI*, 565(53), 57–62. Retrieved from <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/276504>

Méndez, R., Pietrogiovanna, J., Santos, B., Sauri, R., Giacomán, G., & Castillos, E. (2010). *Determinación de la dosis óptima de reactivo fenton en un tratamiento de lixiviados por fenton-adsorción*. *Rev. Int. Contam. Ambie.*

Mite, F., Carrillo, M., & Durando, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas de ecuador. *Xii Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 17–19.

Montalvo, P. (2015). Determinación de la concentración de metales pesados de las cenizas obtenidas en el proceso de incineración de los residuos sólidos urbanos de la reserva biológica limoncocha, vía residuo y vía lixiviado.

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

Muy, R., & Tandazo, L. (2012). *Universidad de cuenca. El Escorial.*

Orroño, D., & Lavado, R. (2009). Heavy metal accumulation in *Pelargonium hortorum* : Effects on growth and development Acumulación de metales pesados en *Pelargonium hortorum* : *Phyton (Buenos Aires)*, 78, 75–82.

Ortiz, B., & Dorado, M. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. ... *Universidad de Alcalá. Dirección General de ...*, 109. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar>

Paredes, A. (2011). Estudio de la adsorción de compuestos aromáticos mediante carbón activado preparado a partir de la cáscara de castaña. *Test*, 1–118.

ROBALINO, R. R. (2017). “*determinación de cd, co, ni, zn en agua, suelo y sedimento de la rbl en el período 2015-2017 para establecer la línea base con fines de conservación.*” Retrieved from [http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2638/1/Tesis Rodney Robalino.pdf](http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2638/1/Tesis%20Rodney%20Robalino.pdf)

Rodriguez Badiola, E., Carracedo, J. C., Soler, V., & Hoyos, M. (1990). Diferenciación de metales pesados procedentes de la actividad humana en suelos volcánicos de la isla de Tenerife. *Reunion Nacional de Geología Ambiental y Ordenación Del Territorio, IV*(May 2014), 500–516.

Segura, L. G. (2015). Estudio De Una Alternativa Para La Remediación De Cargas Contaminantes En Suelos, Por Actividades Agrícolas. *Study of an Alternative for Loads Remediation Contaminants in Soils , From Agricultural Activities.* Retrieved from [http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6434/1/evaluacion de una alternativa para la remediación de suelos contaminados.pdf](http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6434/1/evaluacion%20de%20una%20alternativa%20para%20la%20remediacion%20de%20suelos%20contaminados.pdf)

Solano Marín, A. M. (2005). Movilización de metales pesados en residuos y suelos

REMOCIÓN DE CADMIO DE LOS SUELOS ALEDAÑOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA POR ADSORCIÓN SUPERFICIAL DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)”

industriales afectados por la hidrometalurgia del cinc. *TDR (Tesis Doctorales En Red)*, 370.

Retrieved from

<http://www.tdx.cat/handle/10803/11036%5Cnhttps://digitum.um.es/xmlui/handle/10201/190>

Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109–123.

<https://doi.org/ISSN:0123-7799>

USEPA. (1992). Method 1311 toxicity characteristic leaching procedur, (july 1992), 1–35.

Velez, L. (2017). Determinación de la característica de toxicidad por lixiviación (tclp) del principio activo carbosulfan del plaguicida de uso comercial en un suelo de cultivo de papa de villa pinzón, cundinamarca.

Villanueva, C. (2007). Biosorción De Cobre (Ii) Por Biomasa Pretratada De Cáscara De Citrus Sinensis (Naranja), Citrus Limonium(Limón) Y Opuntia Ficus(Palmeta De Nopal), (Ii), 74. Retrieved from <http://www.slideshare.net/franknow/biosorcion-de-cobre-ii-por-biomasa-pretratada-de-cascara-de-naranja>

WONG, A. (2017). Determinación de cadmio (Cd) en suelo de cultivo para cacao mediante análisis de espectroscopía de absorción atómica, 1–4.

Xiong, J. (2015). Recuperación y rehabilitación de suelos contaminados con elementos traza mediante la aplicación de enmiendas y el establecimiento de una cubierta vegetal natural o de una planta de crecimiento rápido (*Paulownia fortunei*), 180.