



*Reducción de la concentración de cromo en muestra de lixiviados de ladrillos
utilizando biofiltros*

Reduction of chromium concentration in brick leachate sample using biofilters

*Redução da concentração de cromo em amostra de lixiviado de tijolo usando
biofiltros*

William Estuardo Carrillo Barahona ^I
estuardo.carrillo@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1432-9638>

Miguel Ángel Osorio Rivera ^{II}
miguel.osorio@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8641-2721>

Juan Pablo Haro Altamirano ^{III}
Juanpablo.haro@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8538-3191>

Correspondencia: estuardo.carrillo@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de enero de 2023 * **Aceptado:** 12 de febrero de 2023 * **Publicado:** 04 de marzo de 2023

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

Resumen

El agua es un recurso natural importante para el desarrollo de la vida el cual es utilizado por la humanidad para uso industrial y doméstico. El tratamiento de estas aguas asegura calidad de vida. Una de las formas económicas es por biosorción, un proceso que permite captura de iones metálicos a través de materia orgánica que contiene en su interior lignina, por su afinidad a retener metales. El objetivo de este trabajo fue precisamente determinar la reducción de concentración de Cromo en muestras de agua con alto contenido en éste, utilizando biofiltros con productos comercializados para otras utilidades, como las mantas orgánicas. Se diseñó un biofiltro con manta orgánica de coco, arena y gravilla sílicea y carbón activado, como lecho filtrante para agua residual. En base a un estudio anterior, los materiales fueron colocados en una columna con los espesores proporcionados en éste. Durante el presente proyecto, se estudió el efecto del contenido de lignina en el poder reductor del biofiltro. Para ello, manteniendo los espesores del estudio previo citado, se varió la masa de biofiltro, es decir, se aumentó la densidad de estos materiales a través de compactaciones. Se realizó la caracterización del agua inicial y final para determinar la concentración y el porcentaje de reducción de cromo, anotando, además, el tiempo de retención en cada caso.

Palabras Clave: Biofiltro; biorrollo; manta orgánica de coco; agua residual; Cromo (Cr+6); porcentaje de reducción; compactación.

Abstract

Water is an important natural resource for the development of life which is used by humanity for industrial and domestic use. The treatment of these waters ensures quality of life. One of the economic ways is by biosorption, a process that allows the capture of metal ions through organic matter that contains lignin inside, due to its affinity to retain metals. The objective of this work was precisely to determine the reduction of Chromium concentration in water samples with a high Chromium content, using biofilters with products marketed for other uses, such as organic blankets. A biofilter was designed with an organic coconut blanket, siliceous sand and gravel, and activated carbon, as a filter bed for residual water. Based on a previous study, the materials were placed in a column with the thicknesses provided in it. During the present project, the effect of the lignin content on the reducing power of the biofilter was studied. To do this, maintaining the thicknesses

of the previous study cited, the biofilter mass was varied, that is, the density of these materials was increased through compaction. The characterization of the initial and final water was carried out to determine the concentration and percentage of chromium reduction, noting, in addition, the retention time in each case..

Keywords: biofilter; bioroll; organic coconut blanket; residual water; Chromium (Cr+6); percentage reduction; compaction.

Resumo

Water is an important natural resource for the development of life which is used by humanity for industrial and domestic use. The treatment of these waters ensures quality of life. One of the economic ways is by biosorption, a process that allows the capture of metal ions through organic matter that contains lignin inside, due to its affinity to retain metals. The objective of this work was precisely to determine the reduction of Chromium concentration in water samples with a high Chromium content, using biofilters with products marketed for other uses, such as organic blankets. A biofilter was designed with an organic coconut blanket, siliceous sand and gravel, and activated carbon, as a filter bed for residual water. Based on a previous study, the materials were placed in a column with the thicknesses provided in it. During the present project, the effect of the lignin content on the reducing power of the biofilter was studied. To do this, maintaining the thicknesses of the previous study cited, the biofilter mass was varied, that is, the density of these materials was increased through compaction. The characterization of the initial and final water was carried out to determine the concentration and percentage of chromium reduction, noting, in addition, the retention time in each case.

Palavras-chave: biofiltro; bioroll; cobertor de coco orgânico; água residual; Cromo (Cr+6); redução percentual; compactação.

Introducción

- **Agua**

El agua es la sustancia que más abunda en la Tierra y es la única que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso (Dominguez, Pesce and Achkar, 2005). La mayor reserva de agua está en los océanos, que contienen el 97% del agua que existe en la Tierra. Se trata de agua salada, que sólo permite la vida de la flora y fauna marina (Jara, 2018). El resto es agua dulce, pero

no toda está disponible: gran parte permanece siempre helada, formando los casquetes polares y los glaciales (FAO, 1993).

Debido al valor que tiene para el hombre y para la economía, el agua ha estado ligada a las actividades humanas desde tiempos históricos (Merkel, 2003), y constituye un recurso fundamental para nuestras vidas y para el conjunto de los ecosistemas existentes en nuestro planeta, de forma que es imprescindible trabajar para disponer de una cantidad de agua suficiente y con adecuada calidad, y que a su vez permita conseguir un buen estado de los ríos y acuíferos, gestionando a la vez los riesgos naturales derivados (Ministerio para la Transición Ecológica, 2016)

Como lo sostiene (Merkel, 2003), por diferentes razones el recurso del agua se encuentra distribuida en el mundo de una manera desigual, y la cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, y su calidad está sometida a una presión constante (Barraqué, 2003). La conservación de la calidad del agua dulce es importante para el suministro de agua de bebida, la producción de alimentos y el uso recreativo (OMS, 2015).

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km^3 , de estos el 97,5% es agua salada, el 2,5%, es decir 35 millones de km^3 , es agua dulce y de ésta casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. (Gómez-Duarte, 2018)

Los recursos hídricos se encuentran en peligro, los más importantes y estratégicos están sometidos a un alto grado de vulnerabilidad, por negligencia, falta de conciencia y desconocimiento de la población acerca de la obligación de protegerlos y la carencia de autoridades, profesionales y técnicos, a los que les corresponde cuidarlos y utilizarlos. (Reynolds, 2002)

Cerca de una tercera parte de la población del planeta vive en países que sufren una escasez de agua alta o moderada (UNECE, 2022). Unos 80 países, que representan el 40% de la población mundial, sufrían una grave escasez de agua a mediados del decenio de los noventa, y se calcula que en menos de 25 años las dos terceras partes de la población mundial estarán viviendo en países con escasez de agua. Se prevé que para el año 2020, el aprovechamiento de agua aumentará en un 40%, y que aumentará un 17% adicional para la producción alimentaria, a fin de satisfacer las necesidades de una población en crecimiento. (CEPAL, 2002)

[La Organización Mundial de la Salud](#) (OMS) considera que la cantidad adecuada de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal, limpieza del hogar) es de 50 l/hab-día. A estas cantidades debe sumarse la utilización para la agricultura, la industria y, por supuesto, la

conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y, en general, dependientes del agua dulce. Teniendo en cuenta estos parámetros, se considera una cantidad mínima de 100 l/hab-día.

El agua de consumo debe tener características organolépticas aceptables para el consumidor, dicha aceptabilidad depende de la concentración de sus componentes y además de su carácter social ambiental y cultural (OMS, 2018).

Los países que tienen una gran disponibilidad de agua potable se encuentran en situación de riesgo debido a los efectos de la contaminación agrícola e industrial sobre la calidad de las aguas (Álvarez-Vázquez and Uña-Álvarez, 2019). Además, si bien varios países llevan a cabo planes de gestión de los recursos hídricos superficiales, no ocurre lo mismo con relación a las aguas subterráneas. (Roca, Oliver and Rodríguez, 2003)

- **Calidad de Agua**

La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta calidad del agua y las necesidades del usuario (Mendoza, 1996). Según su uso, se definirá en función de un conjunto de características fisicoquímicas o variables, así como de sus valores de aceptación o de rechazo es estimado de acuerdo a los indicadores de la calidad del agua (Gil-Marín, Vizcaino and Montaña-Mata, 2018). Aquellas aguas que cumplan con los estándares pre establecidos para el conjunto de variables o características consideradas serán aptas para la finalidad a la que se las destina. En caso contrario, deberán ser objeto de tratamiento o depuración previa (García, 2013).

Pueden establecerse diferentes categorías de clasificación de calidad, atendiendo a la existencia de características fisicoquímicas con valores inadmisibles o, simplemente, mejorables (Arze *et al.*, 2010). Una clasificación de los indicadores de la calidad del agua para el consumo humano, utilizada por la Agencia de Protección de Medio Ambiente de los Estados Unidos, se distingue entre indicadores primarios y secundarios (Chacón, 2016). Los primarios los componen cuatro grupos:

1. Productos químicos inorgánicos (presencia de metales y compuestos).
2. Productos químicos orgánicos (por ejemplo, pesticidas).
3. Sustancias radioactivas.
4. Microorganismos

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud (FAO, 1993).

También la calidad del agua se puede definir por su contenido de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Bhattacharya, Tuck and Chakraborty, 2012). Sobre el particular es conveniente recordar que el agua es por naturaleza, “el solvente universal” y que durante su travesía por la atmosfera y su recorrido por la cuenca recoge entre otros, trazas de gases contaminantes atmosféricos porciones de árboles y de otros tipos de vegetación, así como sedimentos y solutos del suelo. (Caballero, 1990)

La contaminación causada por efluentes domésticos e industriales, la deforestación y las malas prácticas de uso de la tierra, están reduciendo notablemente la disponibilidad de agua (Crisci *et al.*, 2021). La cuarta parte de la población mundial, que principalmente habita en los países en desarrollo, sufre escasez severa de agua limpia, lo que provoca más de diez millones de muertes al año, por enfermedades relacionadas a la contaminación hídrica (Escobar, 2002).

Muchas de las actividades humanas contribuyen a la degradación del agua, afectando su calidad y cantidad (Cuenca *et al.*, 2019). Entre las causas de mayor impacto a la calidad del agua en las cuencas hidrográficas, está el aumento y concentración de la población, actividades productivas no adecuadas, mal uso de la tierra, contaminación del recurso hídrico con aguas servidas, carencia de sistemas adecuados de saneamiento, principalmente en las zonas rurales. (Urquidi, 1997) De igual manera, la contaminación por excretas humanas representa un serio riesgo a la salud pública (OMS, 2015).

- **Aguas residuales**

A las aguas negras también se les denomina aguas servidas, aguas residuales, aguas fecales, o aguas cloacales (Mcjunkin, 1988). Son residuales, porque habiendo sido usada, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen, y cloacales porque son transportadas mediante cloacas, nombre que se le da habitualmente al colector (Altafin, 2020).

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Mara, 1976).

Según (Pettygrove and Asano, 1990) las aguas se pueden clasificar en:

- Aguas residuales domésticas: Son las aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina) y otros usos similares que en general son recolectadas por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comercial, servicios, industria). Esta agua tiene un contenido de sólidos inferior al 1%. Si bien su caudal y composición es variable, pueden tipificarse ciertos rangos para los parámetros más característicos.
- Aguas residuales industriales: Son aguas provenientes de los procesos industriales y la cantidad y composición de ellas es bastante variable, dependiente de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc.). Así estas aguas pueden variar desde aquellas con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (curtiembre, industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, mineras).
- Aguas de lluvias: La escorrentía generada por aguas de lluvias es menos contaminada que las aguas residuales domésticas e industriales, y su caudal mayor. La contaminación mayor se produce en las primeras aguas que lavan las áreas por donde escurre.

Por tanto, toda el agua utilizada en procesos industriales debería ser tratada, previo a su descarga. El mal manejo de estos efluentes causa cambios en la calidad del ambiente afectando su armonía natural y produciendo daños en la salud humana (Lobo, 2014).

- **Metales pesados**

Los metales pesados en aguas y sedimentos son importantes su determinación por su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando. La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida finamente aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos (Correa, Fuentes and Coral, 2021)

Reducción de metales pesados Sustancias tóxicas y metales pesados (cianuros, biocidas, ácidos, cobre, cromo, níquel, zinc, plomo, cadmio, mercurio, etc.) en concentraciones altas afectan a la biota y al hombre, se acumulan en el organismo y producen afecciones crónicas difíciles de reconocer. Proviene de la industria química y farmacéutica en general. (Pabón *et al.*, 2020)

Para el cálculo de porcentaje de reducción se lo realizara por la siguiente formula en cada uno de los parámetros establecidos tomado de Duque-Sarango, Patiño and López (2019).

$$\% \text{ Porcentaje de reducción} = \frac{\text{Concentracion inicial} - \text{Concentracion Final}}{\text{Concentracion Final}} * 100$$

- **Toxicidad del Cromo**

Las Normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958 recomendaron una concentración máxima admisible de cromo (hexavalente) de 0,05 mg/l, basándose en los posibles efectos perjudiciales para la salud. Este valor se mantuvo en las Normas internacionales de 1963. El cromo no se evaluó en las Normas internacionales de 1971. En la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se mantuvo el valor de referencia de 0,05 mg/l, y se especificó que se refería al cromo total debido a la dificultad de analizar únicamente la forma hexavalente. Las Guías de 1993 pusieron en duda el valor de referencia de 0,05 mg/l debido a la capacidad cancerígena del cromo hexavalente por inhalación y a su genotoxicidad, pero los datos toxicológicos disponibles no justificaban la determinación de un nuevo valor de referencia. Como medida práctica se mantuvo como valor de referencia provisional 0,05 mg/l una concentración que se considera que es poco probable que implique riesgos significativos para la salud hasta que se disponga de información nueva y el cromo pueda ser evaluado de nuevo (Lacma, Iannacone and Vera, 2007).

En aguas naturales el cromo existe en sus dos estados de oxidación estables Cr^{+3} y Cr^{+6} . La relación entre estas dos formas de cromo depende de, la transformación química fotoquímica, y de las reacciones de precipitación-disolución y de adsorción-desorción. (Campanella, 1996) encontró que bajo condiciones anoxicas o suboxicas las formas de Cr^{+3} eran predominantes, mientras que, en soluciones acuosas oxigenadas el Cr^{+3} predomino a $pH \leq 6$ y los iones CrO_4^{2-} a $pH \geq 7$. En las aguas residuales las formas de Cr tienen distinta naturaleza y comportamiento que, en las aguas naturales, dado que, las condiciones fisicoquímicas de los residuos varían de acuerdo con la fuente industrial. En estas aguas la presencia y concentración de las formas de Cr dependen principalmente del pH

y de los residuos orgánicos e inorgánicos presentes en los materiales provenientes (Rodríguez, Marchese and Ojea, 1933).

En un estudio de carcinogénica a largo plazo en ratas a las que se suministró por vía oral no se observó ningún aumento de la incidencia de tumores. En ratas, el Cr^{+6} es cancerígeno por inhalación, pero los escasos datos disponibles no son indicativos de capacidad cancerígena por vía oral. En estudios epidemiológicos se ha determinado una asociación entre la exposición por inhalación al Cr^{+6} y el cáncer de pulmón. El centro internacional de investigaciones sobre el cáncer ha clasificado el Cr^{+6} en el Grupo 1 (cancerígeno para el ser humano) y el Cr^{+3} en el Grupo 3. Los compuestos de Cr^{+6} muestran actividad en una amplia diversidad de pruebas de genotoxicidad in vitro e in vivo, pero los compuestos de Cr^{+3} no muestran dicha actividad (Lacma, Iannacone and Vera, 2007).

Los efectos biológicos del Cr dependen de su estado de oxidación. El Cr^{+6} es considerado la forma más tóxica del metal, debido a que atraviesa fácilmente las membranas biológicas y puede ser transportado activamente al interior de las células por medio del transportador de sulfato; por su analogía química con el sulfato, el cromato es un inhibidor competitivo del transporte de aquel ion esencial. El Cr^{+6} es altamente tóxico para todas las formas de vida, siendo mutagénico y carcinogénico en el hombre y mutagénico en bacterias. Se ha propuesto que la toxicidad del Cr^{+6} se debe a que, al igual que otros metales, produce estrés oxidativo (Gutiérrez and Cervantes, 2008).

Tipo de compuesto	Usos
<i>Acido Crómico</i>	<i>Galvanoplastia</i>
<i>Dicromato sódico</i>	<i>Curtido de pieles</i>
<i>Trifluoruro de cromo</i> <i>Cloruro crómico</i>	<i>Mordiente para teñidos</i>
<i>Sulfato crómico</i>	<i>Colorante de gemas sintéticas</i>
<i>Fluoruro de cromo</i> <i>Dicromato sódico</i>	<i>Tinción de telas</i>
<i>Dicromato de sodio</i>	<i>Mordiente</i>
<i>Acetato de cromo</i>	<i>Estampados de textiles</i>
<i>Ión trivalente (Cr^{3+})</i> <i>Ión hexavalente (Cr^{6+}), (CrO_4^{2-})</i>	<i>Colorante de vidrio</i>

Tabla: Compuestos de Cr y su uso en diferentes procesos de la industria

Fuente: Figueroa

- **Biofiltro**

El biofiltro es un método que busca imitar humedades que se encuentra en la naturaleza depurando aguas residuales, los biofiltros son humedades artificiales de flujo constante, diseñados para

eliminación de contaminantes existente en este tipo de aguas pueden fluir de sentido horizontal o vertical (Water and sanitation program, 2008).

El biofiltro consiste en un conducto impermeabilizado en las paredes que contiene un lecho filtrante que puede ser de piedra volcánica, grava arena o cualquier otro material que contenga características similares dentro de los cuales se da un proceso biológico realizado por bacterias que se encuentran dentro del mismo como las raíces, cascara de frutas, fibras vegetales las cuales fijan y degradan nutrientes contenidos tanto en el agua como en el suelo (Delgado and Pérez, 2010).

Es una barrera permeable que los poros son más pequeños que la partículas que se encuentran en suspensión las cuales son separadas del fluido y retenidas en el biofiltro, los medios filtrantes los poros pueden ser más gruesos que las partículas que se van a separar a los que van a separar las cuales pueden acompañar al fluido alguna distancia a través del medio, pero son retenidas más pronto o más tarde por el medio filtrante en los finos intersticios que existen entre las partículas que lo constituyen. El medio filtrante acaba obstruyéndose por las partículas acumuladas; se debe entonces lavar con fluido claro para limpiarlo y permitir que siga la filtración (Gualteros and Chacón, 2015).

La biosorción de metales es un proceso complejo, que involucra diversos mecanismos, y que además se ve seriamente afectado por muchos factores. Posteriormente, se da la difusión del metal en el adsorbente, para que finalmente se dé el proceso de adsorción, químico o físico, donde se dan como tal las interacciones del metal en los sitios activos del adsorbente. Igualmente, es esencial para comprender como se da la unión metal-biomasa, identificar la estructura principal de los adsorbentes de origen vegetal, siendo trascendental la función de la pared celular, la cual está constituida principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. (Tejada, 2014)

La aplicación de la bioadsorción en la purificación de aguas residuales presenta un gran potencial por biomasa naturales. A través de hoja de café, que se pueden obtener en grandes cantidades y son baratas, se puede remover selectivamente Cr^{+6} de soluciones acuosas a flujo continuo. (Higuera, Arroyave and Flores, 2009)

Un ejemplo es el uso de la cabuya para la construcción de barreras reactivas permeables para la eliminación de metales pesados. Según (Blanco and Muñoz, 1991) concluye que, en el tiempo que está en contacto con los contaminantes, la cabuya tiene buena capacidad de adsorción hacia metales pesados.

La harina de cáscara de banano maduro también presenta un gran potencial para la reducción de Pb^{+3} y Cr^{+6} , debido a los grupos funcionales (hidroxilos, carboxilos y alquilo) presentes en su estructura molecular (Castro, 2015).

Por otro lado, otros materiales como arena, grava, piedra pómez han sido utilizados en muchas investigaciones con buenos resultados (Sarango Araujo y Sánchez Ramírez, 2016).

El presente estudio se deriva de una investigación anteriormente realizada para la obtención del título de Grado Ingeniero en Biotecnología Ambiental en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En ésta, se marcó como objetivo el determinar la reducción de concentración de Cr^{+6} a través de cabuya (*Furcraea andina*), en muestras de agua de la curtiembre “El Nuevo Mundo” ubicada en la parroquia la Península, de la ciudad de Ambato utilizando la cabuya *Furcraea Andina*. La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis (Carrillo, 2017)

Materiales y métodos

Para estudio es necesario dos materiales fundamentales: un biofiltro y un agua residual con alto contenido en cromo, para ver la eficiencia del biofiltro en la retención de Cr^{+6} .

- **Biofiltro**

Para la construcción del biofiltro, se adquirieron 3 biorrollos comerciales de la empresa Bonterra. Se tratan de estructuras cilíndricas compuestas de fibra orgánica, polipropileno, polipropileno multifilamentado, poliéster de alta tenacidad o nylon, de gran resistencia a la acción del agua, muy compacta, rellena de diferentes fibras orgánicas, como coco, esparto o paja. Se suelen utilizar para la protección de las orillas de los cauces, en la restauración de cárcavas y barranquera, y/o en la restauración de taludes.



Imagen: Biorrollos

Fuente: Bonterra Ibérica SL

Los biorrollos la mayor ventaja es que este producto se lo expende comercialmente por lo cual la disponibilidad es alta contiene biomasa en su interior dentro de las aplicaciones nombradas es que tiene un potencial reductor de metales pesados por lo cual tendría la facilidad de incorporarse a terrenos cercanos a las industrias contaminantes de Cr (Climate, 2017).

Para la elección del material filtrante se envió una muestra de cada tipología (fibra de coco, esparto, y fibra de coco más paja, respectivamente) al centro tecnológico “Cicap” para analizar el porcentaje de lignina por el método de Acid Detergent Lignin “ADL”. Los resultados se muestran a continuación

Biorrollo	Fibra ácido detergente (%)	Fibra neutro detergente (%)	Lignina ácido detergente (%)
Fibra de coco	77.5	92.4	29.3
Esparto	61.6	90.1	8.1
Fibra de coco + Paja	64.9	92.4	19.5

Tabla: Resultados de porcentaje de lignina

De los resultados obtenidos, se deduce que el material formado por fibra de coco presentará mayor retención de Cr⁺⁶ debido a su mayor contenido en lignina, por lo que será el material con el que se formará los biofiltros.

- **Elementos del filtro**
- **Arena**

Se trata de una arena silíceá lavada de río, estandarizada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) con el tamaño mínimo de 0 mm y máximo de 4mm. Las diferentes capas del filtro con esta arena van a capturar partículas suspendidas con la finalidad de dejar el agua muy clara y transparente

- **Grava**

Se trata de una grava silíceea, de tamaño 8-16 mm, usualmente utilizada para la fabricación de hormigón, y cuya misión en el biofiltro es evitar la dispersión y floculación del biorrollo. Esta se encarga de reducir la velocidad del agua y la distribuye uniformemente para ir capturando y eliminando todos gérmenes vivos y contaminantes orgánicos e inorgánicos.

- **Carbón activo**

El carbón activo es un material extremadamente poroso, que posee poros menores a 2 nanómetros y son muy eficientes en los fenómenos de adsorción. Éste es un proceso que se basa en la atracción de moléculas pesadas a una superficie sólida a medida que el agua fluye a través de un filtro de carbón activado granular. El carbón activado trabaja como tamiz extrayendo los materiales pesados que se encuentran en el agua residual (Condonchen, 2009)

- **Agua residual**

A pesar de que el diseño del biofiltro que se pretende en esta investigación busca proporcionar una solución a las industrias con aguas residuales con alto contenido en cromo, y debido a la dificultad en las localizaciones y permisos para la toma de muestra de éstas, se decidió utilizar un agua procedente de la lixiviación de material cerámico triturado. En investigaciones paralelas, se ha demostrado que los ladrillos cerámicos que se encuentran triturados en los residuos de construcción y demolición (RCD) proporcionan un alto contenido de Cromo en el agua lixiviado, y, por lo tanto, es un aspecto para tener en cuenta en su disposición en vertederos y/o en su valorización y reutilización. Es, por tanto, un buen sustituto del agua residual de fábrica, con alto contenido en cromo.



Imagen: Agua residual procedente de lixiviación de cerámico triturado

Fuente: Carrillo William, 2018

Métodos

- **Construcción de los biofiltros**

Se tomó como base el diseño del filtro utilizado en mi estudio de grado con el título “Determinar la reducción de concentración de Cr^{+6} en muestras de agua de la curtiembre el nuevo mundo en la ciudad de Ambato utilizando la cabuya como biofiltro a diferentes longitudes”. La principal diferencia fue el molde utilizado, debido a que el diámetro interior fue de 5 cm y no de 30 cm como el anterior.

El filtro contiene una capa con cada uno de los materiales descritos en el apartado 4.1, de con los espesores mostrados en la . Es importante destacar que para favorecer una mejor separación entre

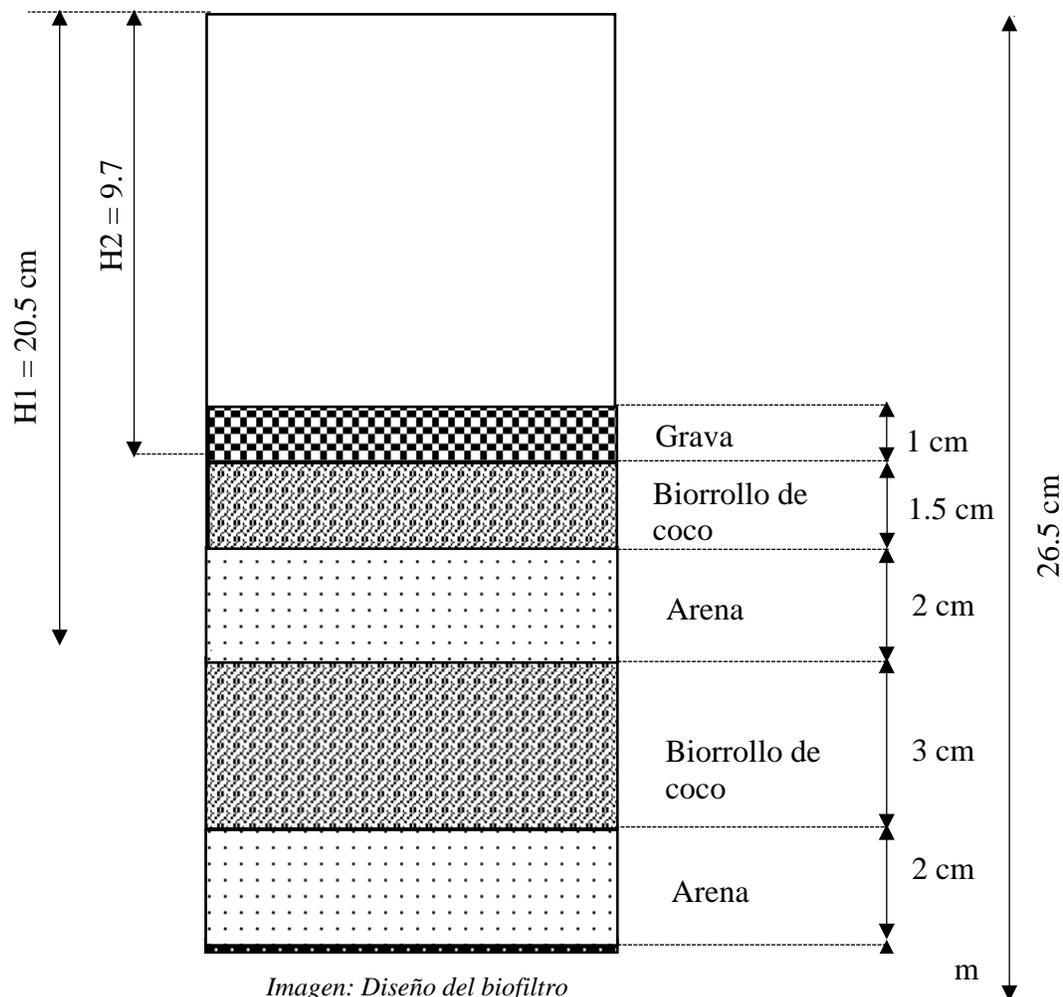
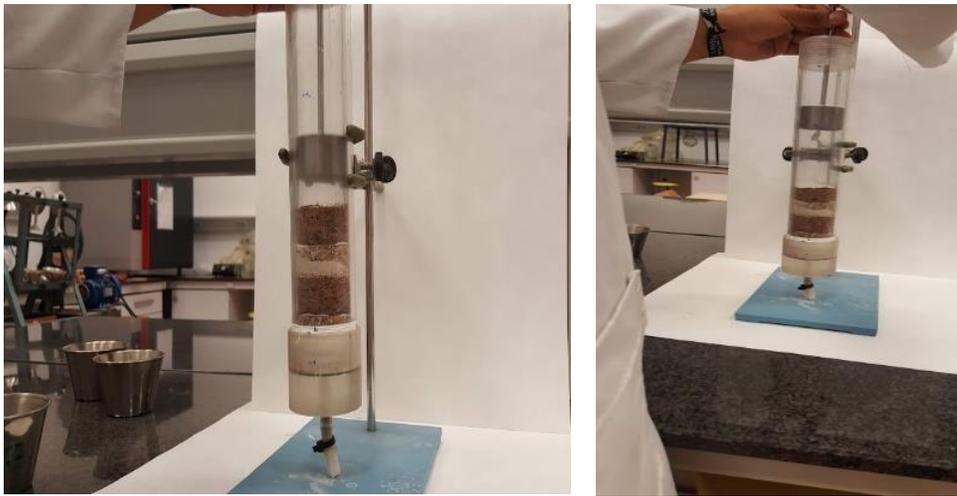


Imagen: Diseño del biofiltro

capas y evitar la saturación de poros en el biorrollo, se colocaron papel de filtro con formar circular a modo de barreras.

Elaborado: Carrillo William,2018



Para estudiar la influencia de la masa de biorrollo, y, por tanto, del contenido de lignina en el filtrado, se construyeron en columnas 6 biofiltros diferentes con diferentes densidades de biorrollo. Para ello, se utilizó una masa metálica de 450 g gramos de peso, que se dejaba caer libremente sobre el material, a una altura de caída de 20.5 cm para la primera capa y 9.7 cm para la segunda repetitivamente, para proporcionar aproximadamente $0,01 \text{ J/cm}^3 \cdot \text{golpe}$.

Material	Altura (cm)	Masa (g)					
		Sin compactar	4 golpes	8 golpes	12 golpes	16 golpes	20 golpes
Gravilla	1,5	52	52	52	52	52	52
Biorrollo	1,5	2	2,7	3	3,1	3,2	3,3
Arena	2	63	63	63	63	63	63
Biorrollo	3	4	5,4	6	6,2	6,4	6,6
Arena	2	63	63	63	63	63	63
Carbón activo	1	52	15	15	15	15	15

Tabla: Datos de Compactación

Elaborado por: Carrillo William, 2018

- **Obtención del agua residual**

Tal y como se ha comentado en el apartado 4.2, Córdoba no posee industrias destacables que proporcionen agua residual con alto contenido en cromo como pueden ser las de acabado de textiles, preparación, curtido y acabado del cuero, fabricación de explosivos y artículos pirotécnicos, fabricación de azulejos y baldosas de cerámica, fabricación de maquinaria para la industria metalúrgica, fabricación de material ferroviario, fabricación hornos y quemadores...etc (AMBISAT, 2004). En todo caso, las empr

esas son bastantes reacias y el acceso para las tomas de muestras en industrias nos fue bastante limitado.

Por esta razón, se tomó la decisión de estudiar la retención de Cr del agua lixiviada de partículas cerámicas, y para ello, en primer lugar, se trituró ladrillo cerámico hasta un tamaño inferior a 4 mm mediante machacadora de mandíbulas.

Posteriormente, se preparó un precipitado siguiendo el método descrito en la norma UNE-EN 14457-3. Para ello, se colocó nuestra muestra de ladrillo triturado en un bote plástico de 1 de volumen, se añadió agua desionizada, en una concentración L/S (líquido sólido) igual a 2 y se mantuvo agitando durante 24 horas.

Una vez transcurrido este tiempo, se deja decantar unos minutos y se procede a su filtrado al vacío mediante filtro de 7-9 micras de diámetro de poro, para eliminar las partículas no disueltas.

Se toma una muestra del material obtenido (de aquí en adelante denominado “lixiviado”) y se filtra con ayuda de una jeringuilla, por un filtro de tamaño 0.45 micras de poro, para su incorporación en el aparato que determinará el contenido de cromo (apartado 5.4). El material restante es almacenado en frigorífico a 5 °C hasta la realización del ensayo.



Imagen: Filtración al vacío

Elaborado: Carrillo William, 2018

- **Filtrado**

Una vez fabricadas las 6 columnas correspondientes a los 6 biofiltros descritos en el apartado 5.1, se procede a saturar el biofiltro con agua destilada.

Posteriormente, se vierte una cantidad total de 2 litros de lixiviado sobre dichas columnas, anotando el tiempo utilizado en el filtrado de esta cantidad y se extrae una muestra del agua filtrada, que será preparada, como en el caso anterior, para su posterior análisis.

La cantidad total de 2 litros a verter, proceden del cálculo proporcional a los 80 litros utilizados en el filtro del anterior estudio, de 30 cm de diámetro.



Imagen: Biofiltro

Elaborado: Carrillo William, 2018

De forma similar, se procede a repetir el proceso con el agua restante dos veces más, esto es, se trata de recircular un total de 2 litros en 3 ciclos de lavado-filtrado.

El cálculo de porcentaje de reducción se realizará mediante la siguiente fórmula siguiente (Sarango & Sánchez, 2016):

$$\% \text{ Porcentaje de reducción} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{concentración final}}{\text{Concentración final}} * 100$$

- **Determinación del contenido en cromo**

Las muestras tomadas tanto en el lixiviado, como en cada uno de los ciclos de cada una de las columnas son llevadas al SCAI (Servicio central de apoyo a la Investigación) de la Universidad de Córdoba, donde son analizadas mediante espectrofotómetro ICP-masas (Perkin Elmer NexionX), mediante un análisis cuantitativo.

- **6. Resultados y análisis**

Los valores medios obtenidos en el ensayo cuantitativo se muestran, junto con los tiempos utilizados en el filtrado de cada uno de los ciclos.

		Contenido (ppb)	Cr (mg/l)	Tiempo filtrado (min)
Lixiviado		925.53	0.463	-
Sin compactar	1 ciclo	899.45	0.450	14.50
	2 ciclos	886.25	0.443	13.33
	3 ciclos	881.59	0.441	12.75
4 golpes	1 ciclo	867.55	0.434	18.00
	2 ciclos	845.43	0.423	16.33
	3 ciclos	832.90	0.416	13.77
8 golpes	1 ciclo	806.10	0.403	25.33
	2 ciclos	796.00	0.398	20.67
	3 ciclos	779.41	0.390	18.17
12 golpes	1 ciclo	798.89	0.399	18.00
	2 ciclos	783.51	0.392	20.00
	3 ciclos	750.14	0.375	23.00
16 golpes	1 ciclo	808.53	0.404	25.20
	2 ciclos	793.13	0.397	30.23
	3 ciclos	781.62	0.391	25.20
20 golpes	1 ciclo	798.29	0.399	20.80
	2 ciclos	800.71	0.400	30.25
	3 ciclos	781.21	0.391	22.37

Tabla: Resultados del análisis cuantitativo

Elaborado: Carrillo William, 2018

En todos los casos, los valores medios de Cr obtenidos tras el filtrado son inferiores, por el Texto unificado legislación secundaria, medio ambiente del Ecuador (TULSMA), para su descarga en el alcantarillado público (aunque el valor de partida ya lo cumplía inicialmente).

En cuanto a la compactación del biorrollo, se observa un descenso del contenido de cromo conforme aumenta el número de golpes y el número de ciclos. Sin embargo, a partir de una densidad

de biorrollo conseguida con 12 golpes, los valores medios obtenidos se mantienen prácticamente similares.

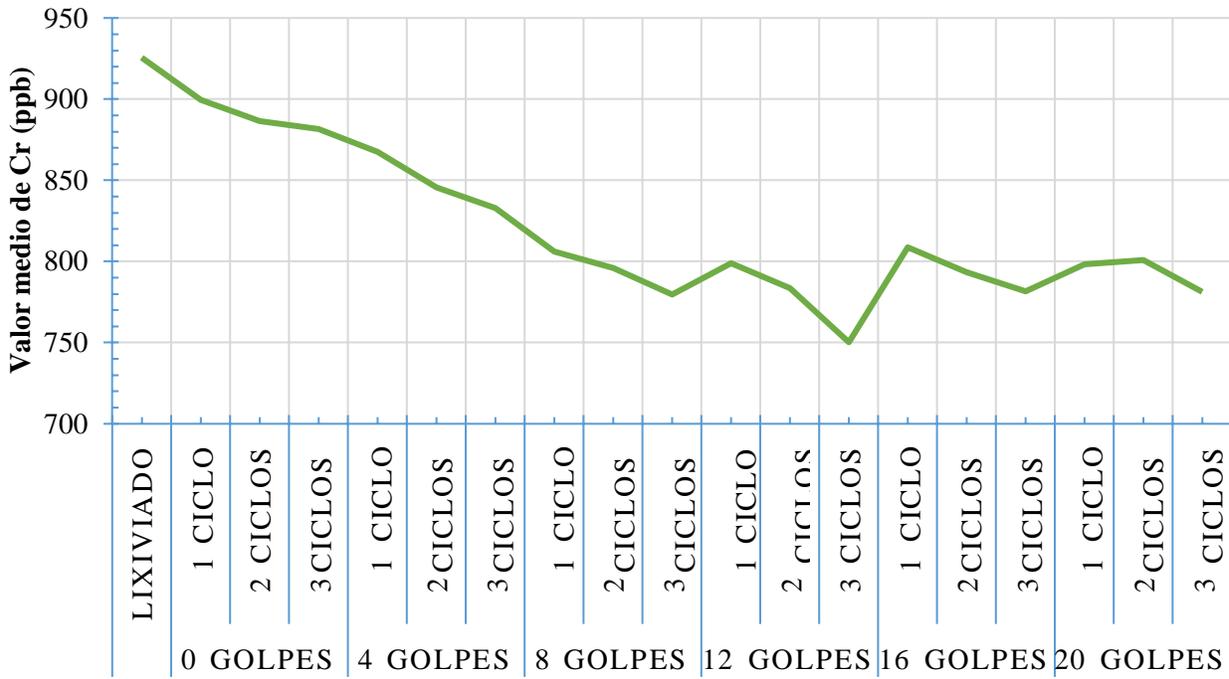


Imagen: Valores medios del contenido de Cr

Elaborado: Carrillo William, 2018

En cuanto al tiempo de contacto, se observa menos tiempo de contacto conforme aumenta el número de ciclos. Esto puede deberse a en el primer paso queda retenido los sólidos en suspensión por lo cual en el segundo paso disminuye el paso del biofiltro.

Por otro lado, se observa una tendencia clara del tiempo total de contacto (tiempo utilizado en el filtrado durante los tres ciclos completos) de forma ascendente conforme aumenta el número de golpes, es decir, conforme aumenta la densidad. Por tanto, se puede afirmar que conforme aumenta la masa de biofiltro (e indirectamente, el contenido de lignina) aumenta el tiempo total de contacto del lixiviado con el biofiltro.

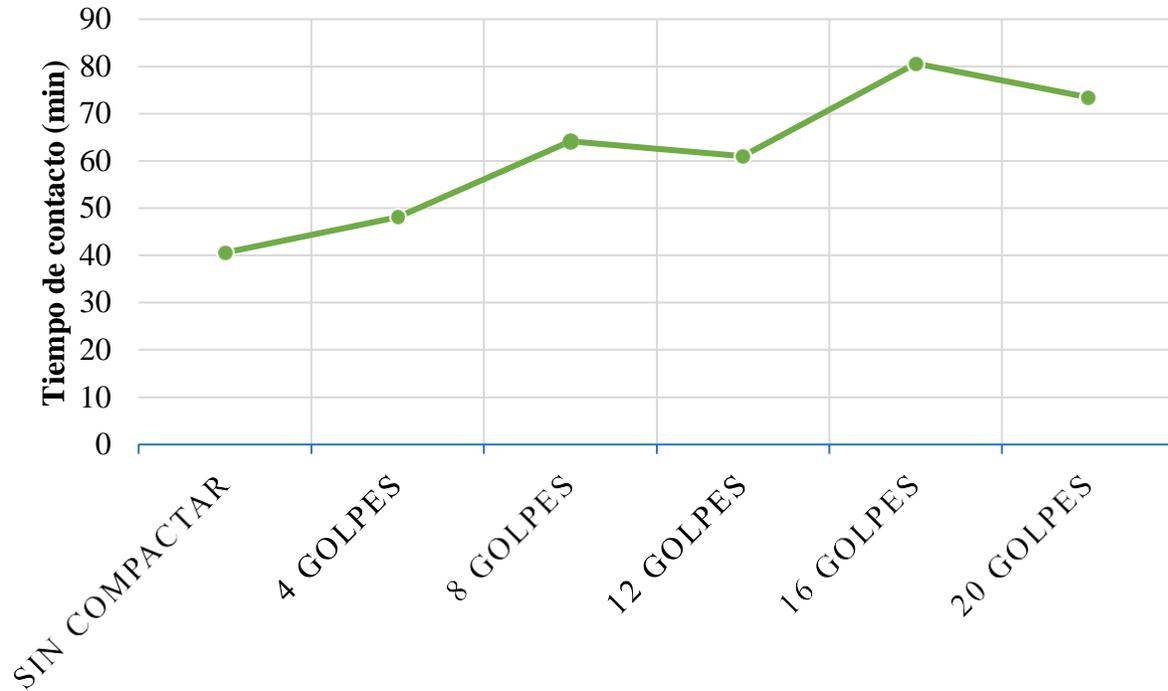


Imagen: Tiempo total de contacto lixiviado-biofiltro

Elaborado: Carrillo William, 2018

Sin embargo, un mayor tiempo de contacto no tuvo como consecuencia un mayor filtrado del ión Cr. Se observa que los biofiltros construidos con 16 y 20 golpes presentaron un filtrado similar al obtenido con 8 golpes, e inferiores al elaborado con 12 golpes. Esto puede ser debido a que, con alta compactación, no se produzca un correcto funcionamiento como filtro de todas las partículas del biorrollo al presentarse, por ejemplo, circuitos diferenciales.

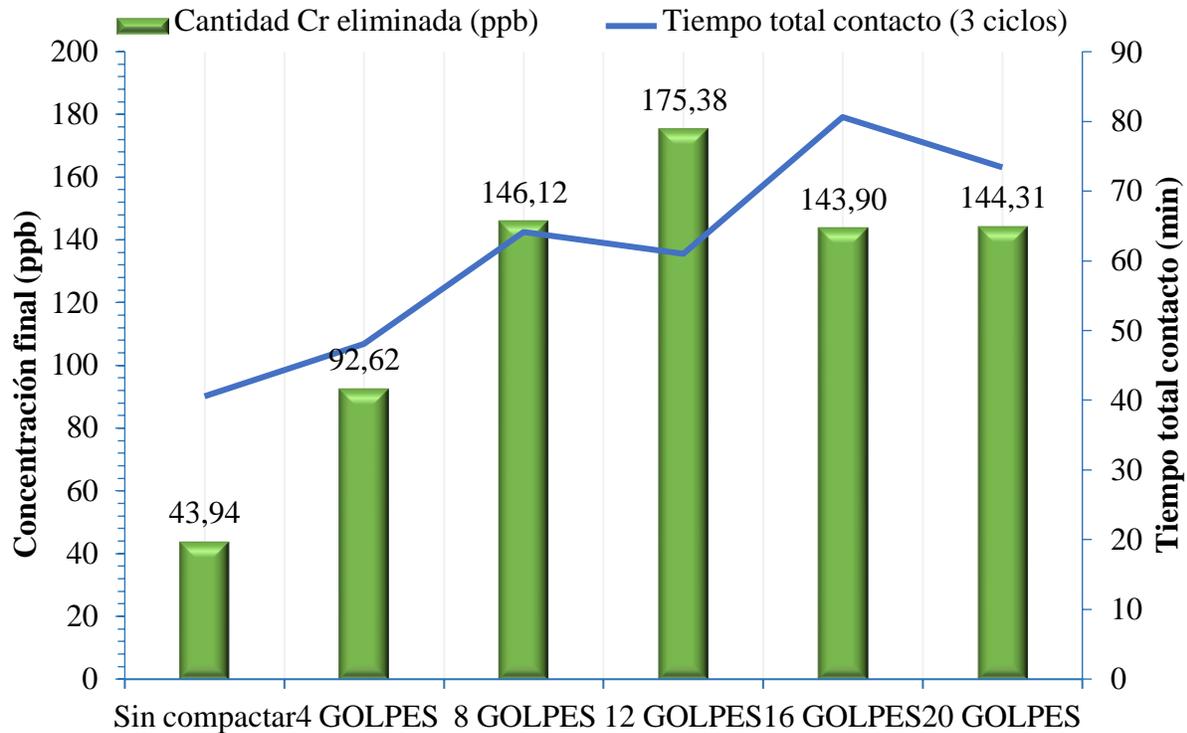


Imagen: Valores medios de Cr eliminados en el filtrado frente al tiempo total en contacto

Elaborado: Carrillo William, 2018

Si comparamos los resultados obtenidos con aquellos de mi Trabajo Fin de Grado de El Ecuador, se observa que el dato de partida fue bastante superior en este último (1.23 mg de Cr^{+6}/l), donde el agua residual tomada fue directamente de una empresa de curtiembre. En la investigación presente se parte, de un valor inicial de 0.925 mg/l, correspondiente al obtenido en el lixiviado de partículas cerámicas.

Muestra	Cr⁺⁶ (mg/l)
M1	1.23
M2	1.2
M3	1.3
A1	0.1
A2	0.61
A3	0.52
B1	0.72
B2	0.84
B3	0.56

Tabla: Datos Del Trabajo Final De Grado

Elaborado: Carrillo William, 2017

Descripción

M1: Muestra de la curtiembre antes de tratamiento

M2: Muestra de la curtiembre antes del tratamiento segunda toma

M3: Muestra de la curtiembre antes del tratamiento tercera toma

A1: Tratamiento con cabuya tipo aserrín

A2: Tratamiento con cabuya tipo aserrín

A3: Tratamiento con cabuya tipo aserrín

B1: Tratamiento con cabuya longitud de 0,10 m

B2: Tratamiento con cabuya longitud de 0,10 m

B3: Tratamiento con cabuya longitud de 0,10 m

El componente principal del biofiltro anterior era la cabuya (*Furcraea andina*) con un porcentaje de lignina de 20%. Sin embargo, a pesar de que el biorrollo de coco del actual estudio tiene un porcentaje superior de ésta (29.3%), en los resultados finales obtuvo menor reducción de Cr (aproximadamente el 18%, frente al 50% de reducción en el estudio anterior).

Si representamos la eficiencia de la lignina (expresado en porcentaje de reducción de Cr) , se observa una buena correlación (valor de R² cercano a la unidad) entre el contenido total de lignina, expresado en gramos, y la cantidad total de Cr eliminado (en el total de los 3 ciclos de lavado).

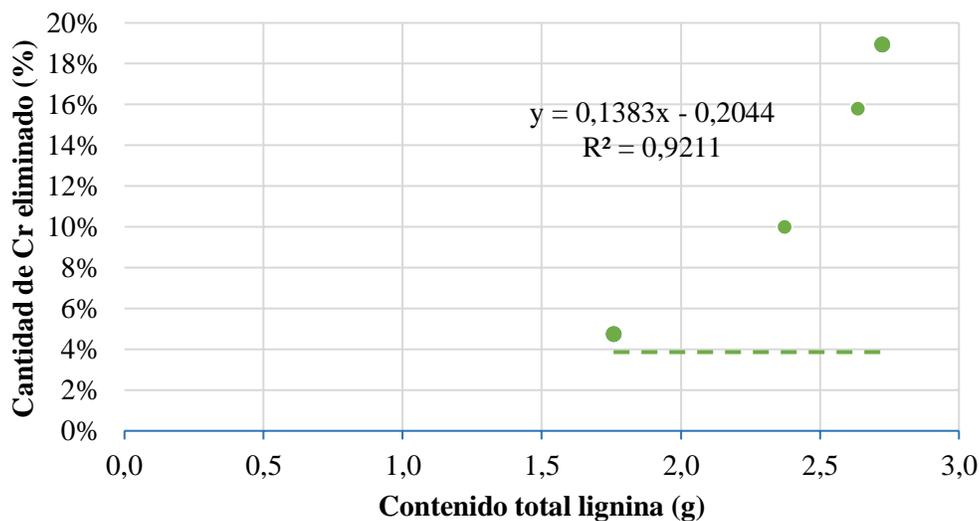


Imagen: Eficiencia de la lignina en la reducción de Cr

Elaborado: Carrillo William, 2018

De esta forma, se podría interpolar y obtener el contenido de lignina necesario, y como consecuencia, la cantidad de biorrollo, a partir del porcentaje de cromo que debe reducir. Una vez conocido la cantidad de biorrollo necesario, habría que probar las diferentes combinaciones de aumentar la masa total de éste: aumentar la densidad, aumentar el volumen...etc.

Conclusiones

- El lixiviado de las cerámicas contenía un valor alto en cromo, los biorrollos estudiados, comúnmente comercializados en España, la fibra de coco es que el presentó mayor contenido de lignina.
- Se construyeron, por tanto, varios filtros duales con biorrollo de coco con diferentes densidades como medios filtrantes, se utilizó arena, piedra pómez y carbón activo para mejorar la retención del metal, se realizó una mayor compactación (mayor número de golpes), se observó una mayor reducción del contenido de Cr. Sin embargo, a partir de los 12 golpes ($0,01 \text{ J/cm}^3 \cdot \text{golpe}$) el contenido de éste permanece casi constante.
- los contenidos de cromo presentaron valores inferiores a los establecidos por el TULSMA para su vertido en alcantarillado. La calidad del agua inicial del lixiviado mejoró

notablemente después de ser tratada en los biofiltros, en los que se redujo la cantidad de Cr^{+6} hasta un 18,9 % para el mejor tratamiento que es el que tiene 12 golpes.

La cantidad de Cromo a reducir mediante este sistema de filtrado, puede calcularse el contenido óptimo de lignina que debe contener el biofiltro, y como consecuencia, la masa total de éste, mediante la expresión: $y = 0,1383x - 0,2044$ (siendo “x” el contenido de lignina e “y” el porcentaje final que debe reducirse para cumplir con la normativa competente).

Referencias

1. Altafin, I. (2020) ‘Innovaciones en el desarrollo e implementación de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica y El Caribe’, Banco Interamericano de Desarrollo, pp. 6–11. doi: doi.org/10.18235/0002341.
2. Álvarez-Vázquez, M. and Uña-Álvarez, E. de (2019) ‘Perspectivas del agua : investigación, gestión y valores del agua en el mundo actual’, Torrossa. doi: doi.org/10.2307/j.ctv102bkpf.
3. Arze, C. et al. (2010) ‘Contaminación del agua’, 4 (2). Available at: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8146%0Ahttp://biblioteca.ribei.org/299/>.
4. Barraqué, B. (2003) ‘Las políticas del agua en Europa a partir de la directiva marco del agua’, Ingeniería del agua, 10(3), p. 281. doi: 10.4995/ia.2003.2586.
5. Bhattacharya, T., Tuck, N. and Chakraborty, S. (2012) ‘Análisis fisicoquímico de la calidad de las aguas subterráneas del distrito de Anand’, Int. ISCA Res. J. Medio Ambiente. Ciencia , 1 (1), 33., 1(1), p. 33.
6. Blanco, L. and Muñoz, R. (1991) ‘Pulpeo de Cbuya (Furcaea cabuya)’, Editorial de la Universidad de Costa Rica. doi: 10.15517/ring.v1i1.7566.
7. Caballero, M. (1990) El bosque como sistema de producción de agua. Simposio Nacional sobre el Agua, en el Manejo Forestal (Chapingo, México). Universidad Autónoma de Chapingo.
8. Carrillo, W. (2017) Determinar la reducción de concentración de Cr^{+6} en muestras de agua de la curtiembre el nuevo mundo en la ciudad de Ambato utilizando la cabuya como biofiltro a diferentes longitudes. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba-Ecuador.

9. Castro, B. (2015) Uso de la cáscara de banano (*musa paradisiaca*) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas. Universidad de Guayaquil. Guayaquil - Ecuador.
10. Chacón, M. (2016) Análisis físico y químico de la calidad del agua. USTA, ediciones USTA. USTA. Edited by U. S. Tomás. Bogotá, Colombia: Xpress Estudio Gráfico y Digital. Available at: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/11511/Paginaspreliminares.2016Chaconmyriam.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
11. Climate, C. C. (2017) 'Prácticas de conservación agrícola para la reducción de riesgos climáticos Leyenda : Calidad y disponibilidad del agua Energía Pesca y vida silvestre'. doi: 10.32747/2017.6949549.ch.
12. Correa, O., Fuentes, F. and Coral, R. (2021) 'Contaminación Por Metales Pesados De La Microcuenca Agropecuaria Del Río Huancaray– Perú', *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), pp. 26–38. doi: 10.37761/rsqp.v87i1.320.
13. Crisci, C. et al. (2021) 'Monitoreo de calidad de agua y predicción de coliformes fecales en playas de Montevideo mediante algoritmos de aprendizaje automático', *Innotec*, 22(22), pp. 1–27. doi: 10.26461/22.07.
14. Cuenca, M. et al. (2019) 'Aguas residuales mineras en la inocuidad de la naranja cultivada a cercanías del río amarillo', *mktDESCUBRE*, pp. 31–41. doi: 10.36779/mktdescubre.v14.340.
15. Delgado, H. and Pérez, W. (2010) 'Filtros biológicos para la reducción de nutrientes de aguas grises', *IDEASS*.
16. Dominguez, A., Pesce, F. and Achkar, M. (2005) 'LA DEFENSA DEL AGUA COMO RECURSO PÚBLICO EN URUGUAY: EL CASO DE LA COMISIÓN NACIONAL EN DEFENSA DEL AGUA Y LA VIDA Y EL PLEBISCITO POR EL AGUA', pp. 37–50. doi: 10.36311/1519-0110.2005.v6n1/2.402.
17. Duque-Sarango, P., Patiño, D. and López, X. (2019) 'Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical', *Información tecnológica*, 30(6), pp. 351–362. doi: 10.4067/s0718-07642019000600351.

18. Escobar, J. (2002) La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar, Serie recursos naturales e infraestructura.
19. FAO (1993) 'Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines', Informes sobre temas hídricos.
20. García, C. (2013) 'Parámetros fisicoquímicos del agua', Pv Albeitar, p. 4.
21. Gil-Marín, J., Vizcaino, C. and Montaña-Mata, N. (2018) 'Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela', Anales Científicos, 79(1), p. 111. doi: 10.21704/ac.v79i1.1146.
22. Gómez-Duarte, O. (2018) 'Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública', Revista Facultad de Medicina, 66(1), pp. 7–8. doi: 10.15446/revfacmed.v66n1.70775.
23. Gualteros, L. and Chacón, M. (2015) Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilización de agua proveniente de la quebrada la despensa en el municipio guaduas Cundinamarca vereda la Yerbabuena. Universidad La Salle, Bogota – Colombia.
24. Higuera, O., Arroyave, J. and Flores, L. (2009) 'Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros', Revista Scielo.
25. Jara, P. (2018) 'Efectos del cambio de la cobertura vegetal y del uso de la tierra sobre la cantidad y calidad de materia orgánica del suelo en Ecosistemas Alto-Andinos de Ecuador', p. 450. doi: 10.14201/gredos.140319.
26. Lacma, J., Iannacone, J. and Vera, G. (2007) 'TOXICIDAD DEL CROMO EN SEDIMENTO USANDO *Donax obesulus* Reeve 1854 (PELECYPODA: DONACIDAE)', Ecología Aplicada, 6(1–2), p. 93. doi: 10.21704/rea.v6i1-2.345.
27. Lobo, C. (2014) Tratamiento biológico de aguas residuales industriales. doi: 10.35537/10915/35493.
28. Mara (1976) 'Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales Tratamiento de efluentes, caracterización, generalidades, definición y origen.'
29. Mcjunkin, F. E. (1988) 'F. Eugene McJunkin', Agua y salud humana, II, p. 230.
30. Mendoza, M. (1996) Impacto del uso de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca río Sábalo.

31. Merkel, W. (2003) 'El futuro de la industria de agua en el mundo', *Ingeniería del agua*, 10(3), p. 337. doi: 10.4995/ia.2003.2589.
32. OMS (2015) 'AGUA'.
33. Pabón, S. et al. (2020) 'Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión 1 Water contamination by heavy metals, analysis methods and removal technologies. A review', *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), pp. 9–18. doi: 10.31908/19098367.1734.
34. Pettygrove, S. and Asano, T. (1990) *Manual Practico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada*.
35. Reynolds, K. (2002) 'Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica'.
36. Roca, P., Oliver, J. and Rodríguez, A. (2003) *Bioquímica, técnicas y métodos*, Book of Chemical Information. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
37. Rodriguez, A., Marchese, M. and Ojea, N. (1933) Efecto del cromo en *Eisenia fetida* (Savigny, 1826)(Oligochaeta): toxicidad y bioacumulación. doi: 10.14409/natura.v1i33.3791.
38. Tejada, C. (2014) 'Remoción de Pb (II), Ni (II) y Cr (VI) en soluciones acuosas usando matrices modificadas químicamente', *Revista Prospect*, p. 20.
39. UNECE, U. N. E. C. for E. (2022) 'Preguntas frecuentes sobre el Convenio del Agua de 1992 junto con la hoja de ruta para facilitar los procesos de adhesión , pp 22-27', UN-ilibrary. doi: 10.18356/9789210051286c006.
40. Urquidi, V. (1997) 'La futura escasez de agua y el incremento demográfico', pp. 3–5.

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).