

ADSORCIÓN DE CROMO HEXVALENTE (VI) MEDIANTE LA BIOMASA ADQUIRIDA DE MATERIA ORGÁNICA A PARTIR DE CULTIVOS TROPICALES (CÁSCARAS).

ADSORPTION OF HEXAVALENT CHROMIUM (VI) BY BIOMASS ACQUIRED FROM ORGANIC MATTER FROM TROPICAL CROPS (PEELS).

Misael Araúz¹, Zuleydis Bustamante¹, Juan Osorio¹, Kathia Broce².

¹ Universidad Tecnológica de Panamá

² Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidro Técnicas (CIHH), Universidad Tecnológica de Panamá <https://orcid.org/0000-0003-2845-9350>

REGISTROS

Recibido el 30/06/2022

Aceptado el 06/09/2022

Publicado el 11/09/2022



PALABRAS CLAVE

Adsorción, biomasa, cromo hexavalente, remoción.

KEYWORDS

Adsorption, biomass, hexavalent chromium, removal.

RESUMEN

El cromo es un elemento esencial para hombres y animales, pero concentraciones elevadas del mismo (15 µg/L en agua de ríos y 0.10 mg /L en agua potable) resultan tóxicas en ellos. Se ha encontrado que la toxicidad del cromo hexavalente puede causar daños en el hígado, problemas reproductivos, cáncer, entre otros. Este metal es ampliamente utilizado en distintas actividades manufactureras, tales como: curtido de pieles, aleación de metales, fabricación de colorantes y pigmentos, entre otros.

Se realizó la revisión bibliográfica de estudios de adsorción con sustratos de cáscara de tamarindo, naranja, entre otros materiales orgánicos, con el objetivo de comparar la capacidad de adsorción de las biomásas, para remover el metal contaminante en menor tiempo. El análisis comparativo de los estudios utilizó los mismos parámetros para obtener mejores resultados. Se escogieron la cáscara de tamarindo y naranja, con los siguientes parámetros de análisis: concentración de cromo (500 mg/L), pH (1.0), biomasa (1g) y temperatura. A 28°C resulta ser más eficaz la cáscara de tamarindo con tiempo de 30 minutos de adsorción en solución acuosa; y a la temperatura de 60°C, con iguales parámetros, la remoción más eficaz fue la cáscara de naranja, en un tiempo de 10 minutos.

ABSTRACT

Chromium is an essential element for humans and animals, but high concentrations (15 µg/L in river water and 0.10 mg/L in drinking water) are toxic to them. Hexavalent chromium toxicity has been found to cause liver damage, reproductive problems, cancer, and more. This metal is widely used in different manufacturing activities, such as: leather tanning, metal alloying, dye and pigment manufacturing, among others.

A bibliographic review of adsorption studies with tamarind and orange peel substrates, among other organic materials, was carried out with the aim of comparing the adsorption capacity of biomasses, to remove the contaminating metal in less time. The comparative analysis of the studies used the same parameters to obtain better results. Tamarind and orange peel were chosen, with the following analysis parameters: chromium concentration (500 mg/L), pH (1.0), biomass (1g) and temperature. At 28°C, tamarind peel with a 30-minute adsorption time in aqueous solution turns out to be more effective; and at a temperature of 60°C, with the same parameters, the most effective removal was orange peel, in a time of 10 minutes.

INTRODUCCIÓN

El cromo es un metal que se encuentra en la naturaleza en varias combinaciones con otras sustancias. La contaminación de los recursos hídricos por metales generados por las diferentes actividades humanas es un problema que viene en crecimiento. Los efectos adversos al medio ambiente y a los seres vivos crea la necesidad de seguir en la búsqueda de métodos que permitan su control y eliminación. (Sarria-Villa, 2020)

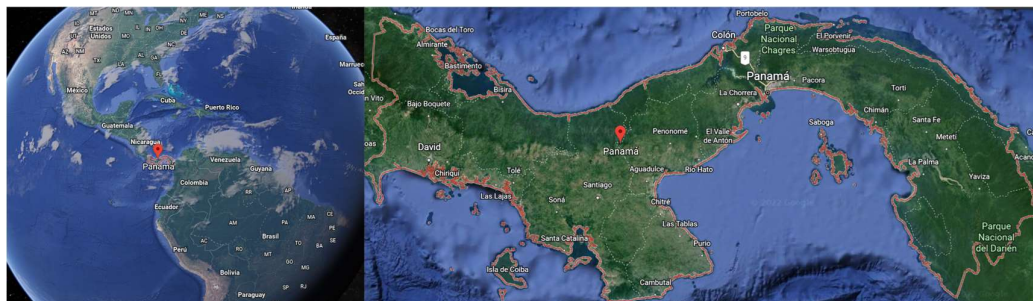
Históricamente el cromo ha sido uno de los metales más ampliamente utilizados para el revestimiento de piezas metálicas, debido a su resistencia a la corrosión (Moraetis et al, 2012). Además, el cromo forma parte de curtientes, pigmentos y conservantes textiles, aleaciones, pinturas, antiincrustantes, catalizadores, agentes anticorrosivos, lodos de perforación, baterías de alta temperatura, fungicidas, conservantes de madera, recubrimientos metálicos y electro galvanizados (Goyal et al, 2003). El Cr (VI) es considerado tóxico cuando se encuentra a concentraciones mayores a 0.05 mg/L en las aguas potables y se ha demostrado que posee propiedades mutagénicas y carcinogénicas (Jacobs & Testa, 2005). Puede causar irritaciones en la piel y daños en los riñones, el hígado y el estómago. Por lo tanto, la remoción de Cr (VI) del agua y aguas residuales es importante para la protección del medio ambiente y la salud humana (Acosta et al, 2017).

Para el tratamiento de los efluentes líquidos que contienen metales pesados existen diferentes métodos fisicoquímicos; los más empleados son los siguientes: intercambio iónico, precipitación, ósmosis inversa y adsorción (Peña & López, 2010). Los elevados costos asociados al consumo de energía y productos químicos representan una desventaja de los métodos mencionados al ser aplicados a efluentes industriales con concentraciones bajas de metales. Adicionalmente, la disposición de los lodos resultantes resulta compleja debido a que estos, por su composición, representan un gran peligro para el medio ambiente (Reyes Toriz, 2006). El área de estudio es la República de Panamá; posee durante todo el año en sus tierras bajas un clima tropical y en sus tierras altas un clima templado. A nivel del mar la temperatura media es de 29°C (Clima de Panamá, 2022).

La naranja se produce en todo el país, pero las mayores producciones se encuentran en las provincias de Chiriquí, Veraguas, Coclé, Herrera y Panamá Oeste (IMA,2021). El tamarindo también se produce en todo el país (IMA,2021), pero su mayor producción se da en las provincias de Panamá, Herrera y Los Santos (Instituto de Mercadeo Agropecuario, s.f.).

Figura 1

Ubicación Geográfica de la República de Panamá



Nota: extraído de google earth

Proceso de adsorción

La adsorción es el fenómeno de sorción en el que una sustancia A (adsorbato) presente en una fase fluida (líquido o gas) queda adherida a la superficie de una sustancia B en fase sólida (adsorbente).

Entre los tipos de adsorción encontramos: adsorción eléctrica (atracción entre el soluto y el adsorbente de tipo eléctrico); adsorción física (la molécula adsorbida no está fija sino más bien está libre de trasladarse dentro de la interfaz); adsorción química (es cuando el adsorbato sufre una interacción química con el adsorbente). Fundamentalmente la adsorción se emplea para el secado del aire, purificación del agua, eliminación de olores, color y sabor no deseados ya sea de gases, soluciones azucaradas o aceites empleados en perfumerías, tratamiento de residuales, obtención de nitrógeno entre otras (Ferrari, 2010).

Biomasa

La biomasa es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e inorgánica formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente, de las sustancias que constituyen los seres vivos, o sus restos y residuos. Existen muchos tipos de biomasa, con distintos modos de aprovechamiento, entre estas se pueden mencionar la producción térmica, producción eléctrica, transporte y procesos bioquímicos (Naturgy, 2016).

El objetivo de este estudio es demostrar la efectividad y la capacidad de adsorción de Cr (VI) utilizando la biomasa proveniente de diversos materiales orgánicos, tomando en cuenta diversos ensayos experimentales con cáscaras de yuca, naranja, mamey, tamarindo, amaranto y sus comparaciones entre cada una.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica para recopilar la información necesaria sobre la adsorción de metales pesados (cromo) por biomasa a partir de diversos materiales orgánicos. Tomando como referencia los ensayos realizados por diferentes investigadores, destacando los siguientes: Bioadsorción de Cromo (VI) por la

Cáscara de Mamey (Acosta, 2012), Remoción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa de la Cáscara de Tamarindo (Acosta et al, 2010), Bioadsorción de Cromo (VI) por la Cáscara de Amaranto (Rodríguez et al, 2017), Remoción de Cromo (VI) en Solución por la Cáscara de Naranja (Rodríguez et al, 2012), Adsorción de Cromo (VI) utilizando Cáscara de Yuca (Acosta et al, 2017).

Es importante mencionar que es difícil comparar las propiedades adsorptivas de diversos adsorbentes, debido a considerables diferencias en la presentación de los datos y en las condiciones experimentales, materiales y metodologías, tales como concentración inicial del metal, pH, temperatura, cantidad de adsorbente y tamaño de partícula (Pabón & Patiño, 2014). Por lo que se decidió analizar las materias orgánicas que tuvieran los mismos parámetros.

Obtención de biomasa

De acuerdo con Rodríguez et al. (2012) la biomasa de la cáscara de naranja se obtuvo, cortándola en pequeñas piezas, fue lavada exhaustivamente con agua tridesionizada, en agitación constante (100 rpm) para remover polvo adherido y componentes solubles como taninos, resinas, reducir el azúcar y colorantes. Después, se secó a 60°C hasta peso constante, se molió en mortero y se conservó en frascos de vidrio color ámbar a temperatura ambiente hasta su uso.

Para la obtención de la biomasa de las cáscaras de mamey y tamarindo, dichas cáscaras se lavaron por 72 horas con agua tridesionizada en agitación constante, con cambios del agua cada 12 horas. Posteriormente, se hirvieron por 1 hora, para eliminar los restos del fruto, se secaron a 80°C, durante 12 horas en el horno (mamey) y en estufa bacteriológica (tamarindo), se molió en licuadora y se guardó en frascos ámbar hasta su uso (Acosta et al, 2010; Acosta et al, 2012).

La determinación de la concentración de Cr (VI), para las cáscaras de naranja, mamey y tamarindo, se realizó mediante el método de la difenilcarbazida (Acosta et al, 2010), (Rodríguez et al, 2012; Acosta et al, 2012).

Para el análisis de la información de los diferentes estudios de las referencias (Acosta et al, 2012), (Acosta et al, 2010), (Rodríguez et al, 2017), (Rodríguez et al, 2012), se seleccionaron las pruebas en las que parámetros como: el pH, temperatura, gramos de materia orgánica y otros, para que tuvieran un grado de similitud, para hacer comparaciones en las cantidades y en los tiempos de remoción según cada una de las cáscaras. Para así determinar la efectividad y la capacidad de adsorción del cromo (VI).

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan 4 tipos de biomasa diferentes con capacidades de remoción de cromo al 100 por ciento, con un mismo pH= 1.0 y diferentes concentraciones de cromo; se observan los tiempos en el cual se produce las máximas capacidades de remoción, observándose que la cáscara de tamarindo

tiene una capacidad de adsorción en menor cantidad de tiempo. Hay que destacar que la cáscara de mamey con el doble de concentración realiza la adsorción con 20 minutos más de diferencia que la de tamarindo; esto quiere decir que su capacidad de remoción del cromo es mayor.

Tabla 1

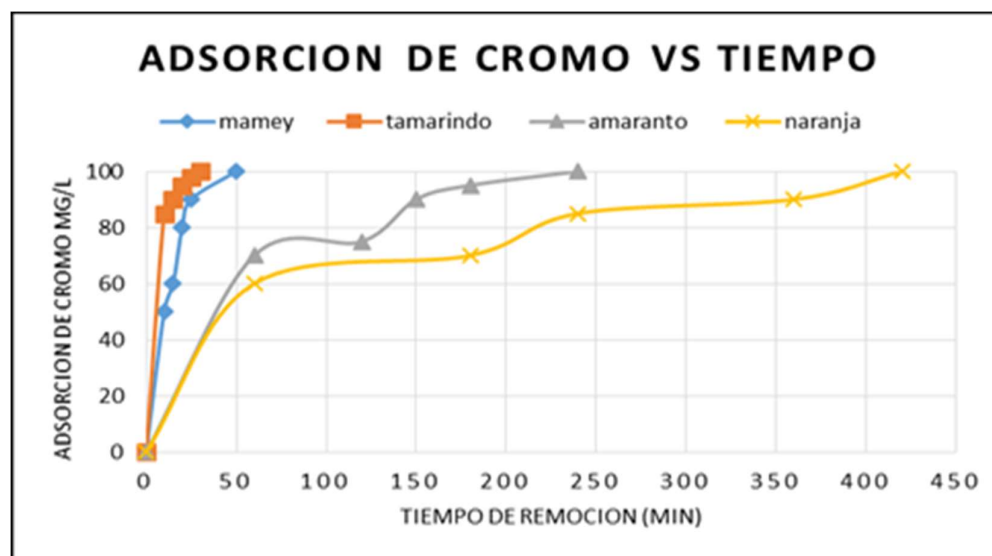
Compendio de biomásas de diferentes materiales orgánicos analizados en distintos documentos tomando como parámetro el pH: 1.

| Materia orgánica (cáscaras) | Biomasa (g) | Conc. Cromo (g/L) | pH | Temp (°C) | Remoción de Cromo (VI) | Tiempo (minutos) | Referencias |
|--------------------------------|-------------|----------------------|----|-----------|---------------------------|---------------------|-------------------------|
| Mamey | 1 | 100 | 1 | 20 | 100 g/L | 50 | (Acosta et al, 2012) |
| Tamarindo | 1 | 50 | 1 | 28 | 50 g/L | 30 | (Acosta et al, 2010) |
| Amaranto | 5 | 0.1 | 1 | 28 | 0.1 g/L | 240 | (Rodríguez et al, 2017) |
| Naranja | 1 | 50 | 1 | 28 | 50 g/L | 420 | (Rodríguez et al, 2012) |

Nota: Elaboración propia

Figura 2

Efecto del tiempo, sobre la remoción de Cromo (VI) por las Cáscaras analizadas con (1 y 5) g de biomasa, (50 y 100) mg/L Cr (VI), 28°C y pH:1).



Nota: Elaboración propia

En la tabla 2 se puede apreciar que a mayor temperatura las capacidades de remoción son más rápidas para la biomasa de naranja y mamey, y más lento para tamarindo y amaranto. Se puede observar que la biomasa de mamey adsorbe una mayor concentración de cromo en solución acuosa, con una capacidad de adsorción

más rápida en comparación con la de la naranja que adsorbió la mitad en concentración de cromo, teniendo solo 2 minutos de diferencia, por lo que se puede decir que la cáscara de mamey funciona mejor como adsorbente.

Tabla 2

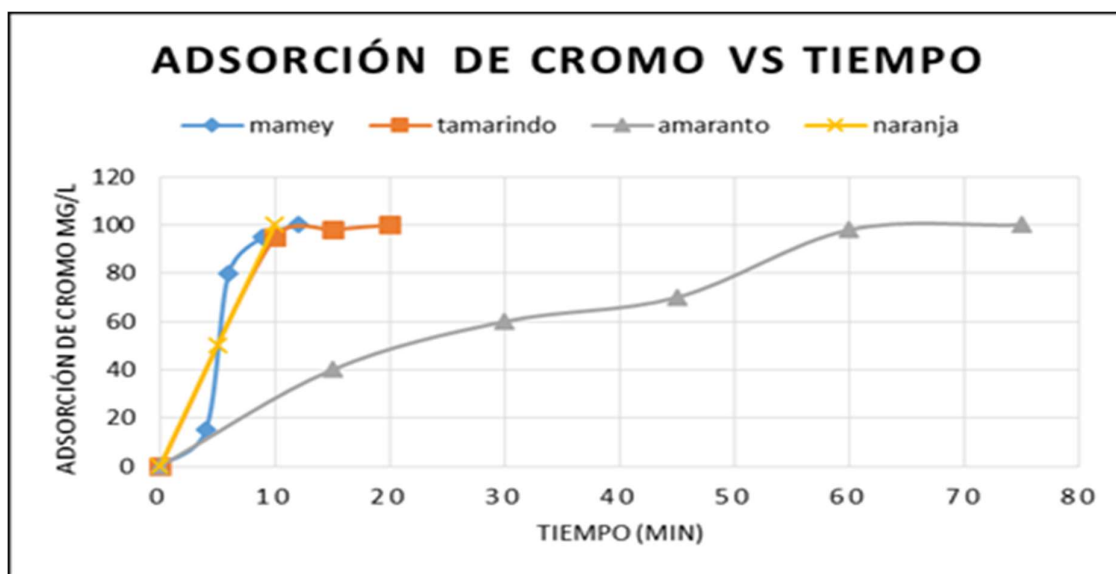
Compendio de biomazas de diferentes materiales orgánicos analizados en diferentes documentos tomando como parámetro el pH: 1 y temperatura 60 °C.

| Materia orgánica (cáscaras) | Biomasa (g) | Conc. Cromo (g/L) | pH | Temp. (°C) | Remoción de Cromo | Tiempo (minutos) | Referencias |
|--------------------------------|-------------|----------------------|----|------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| Mamey | 1 | 100 | 1 | 60 | 100 g/L | 12 | (Acosta et al, 2012) |
| Tamarindo | 1 | 50 | 1 | 60 | 50 g/L | 20 | (Acosta et al, 2010) |
| Amaranto | 5 | 0.1 | 1 | 60 | 0.1 g/L | 75 | (Rodríguez et al, 2017) |
| Naranja | 1 | 50 | 1 | 60 | 50 g/L | 10 | (Rodríguez et al, 2012) |

Nota: elaboración propia

Figura 3

Efecto del tiempo, sobre la remoción de Cromo (VI) por la Cáscara de analizadas con (1 y 5) g de biomasa, (50 y 100) mg/L Cr (VI), 60°C y pH: 1).



Nota: Elaboración propia

En la tabla 3 se puede observar que a temperatura 28°C, la concentración inicial de cromo (50mg/L), pH: 1 y un 1g de biomasa, la biomasa más eficiente en remoción es la de tamarindo con un tiempo de 30 minutos y puede realizar el proceso 14 veces en el tiempo que tarda la cáscara de naranja en la remoción del cromo una sola vez.

Tabla 3

Biomosas que presentan los mismos parámetros de análisis a temperatura de 28°C.

| Materia orgánica (cáscaras) | Biomasa (g) | Conc. Cromo (mg/L) | pH | Temp. (°C) | Remoción de Cromo | Tiempo (minutos) | Referencias |
|-----------------------------|-------------|--------------------|----|------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| Tamarindo | 1 | 50 | 1 | 28 | 50 g/L | 30 | (Acosta et al, 2010) |
| Naranja | 1 | 50 | 1 | 28 | 50 g/L | 420 | (Rodríguez et al, 2012) |

Nota: Elaboración propia

En la tabla 4 se puede observar que a medida que la temperatura aumenta la capacidad de adsorción del tamarindo tiende a necesitar más tiempo para la remoción del metal, mientras que la cáscara de naranja muestra una eficiencia 7 veces mayor con un tiempo de remoción total de 10 minutos. A 60°C la cáscara de naranja mejora considerablemente su eficiencia en comparación a la temperatura de 28°C, en cuanto al tamarindo su eficiencia baja con respecto a la temperatura de 28°C.

Tabla 4

Biomosas que presentan los mismos parámetros de análisis a temperatura de 60°C.

| Materia orgánica (cáscaras) | Biomasa (g) | Conc. Cromo (mg/L) | pH | Temp. (°C) | Remoción de Cromo | Tiempo (minutos) | Referencias |
|-----------------------------|-------------|--------------------|----|------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| Tamarindo | 1 | 50 | 1 | 60 | 50 g/L | 70 | (Acosta et al, 2010) |
| Naranja | 1 | 50 | 1 | 60 | 50 g/L | 10 | (Rodríguez et al, 2012) |

Nota: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Según diversas investigaciones y experimentos realizados en laboratorios especializados (Acosta et al, 2010; Rodríguez et al, 2012), la adsorción es una técnica que brinda muchas ventajas, comparada con otras técnicas de separación, para extraer metales pesados de aguas contaminadas, dichas ventajas son: alta eficiencia, bajo coste y fácil manejo.

Con respecto al bajo costo se da debido a que muchos de los recursos utilizados son producto de materia orgánica obtenida de diferentes actividades agrícolas o industriales que se desarrollan en el país.

Figura 4

Mapa de Provincias productoras de naranja (●) y tamarindo (◐)



A lo largo del territorio panameño se producen la naranja y el tamarindo y en mayor cantidad en las zonas demarcadas en la figura 4, por lo tanto, se hace viable la implementación de uso de estas biomasas por su accesibilidad.

Otros resultados de pruebas de adsorción con cáscaras de yuca muestran que ofrece una ventaja competitiva como material adsorbente, ya que disminuye el tiempo de contacto necesario para lograr la remoción del Cromo (IV) (Acosta et al, 2017). La información de las pruebas de adsorción de cromo con cáscaras de yuca no se analizó en conjunto con las pruebas de las cáscaras presentadas debido a que los parámetros de temperatura y concentración inicial no eran comparables.

CONCLUSIONES

Como objeto de estudio se realizó un análisis de eficiencia comparando parámetros representativos en las diferentes cáscaras, comprobando que la temperatura es un factor importante en el proceso de adsorción:

- Se concluye que la cáscara de tamarindo trabaja mejor a temperatura de 28°C, para remover el total de cromo en solución acuosa en solo 30 minutos.
- La cáscara de naranja trabaja mejor a una temperatura de 60°C y necesita un tiempo menor que la cáscara de tamarindo para la remoción total del cromo.

La eficiencia de la cáscara de tamarindo radica en la menor inversión energética, esto debido a las temperaturas ambientales promedio presentadas en la República de Panamá. La cáscara de naranja acelera los tiempos de adsorción

considerablemente (20 minutos menos), con respecto a la biomasa de tamarindo, pero aumentando el coste energético.

Las condiciones tropicales de Panamá favorecen la producción de estos cultivos, facilitando su recolección, y pudiéndose emplear en la elaboración de biomásas, para la remoción del cromo hexavalente en las curtiembres y distintas actividades que impacten con las descargas de este contaminante al medio ambiente.

El cromo removido puede ser reutilizado en el proceso de curtiembre con los que se disminuye los costos de fabricación mejorando los sistemas de descontaminación y tratamiento ambiental.

REFERENCIAS

- Acosta Arguello, H. A., Barraza Yance, C. A., & Albis Arrieta, A. R. (2017). Adsorción de cromo (VI) utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) como biosorbente: Estudio cinético. *ingeniería y desarrollo*, 35(1), 58-76.
- Acosta, I., Sandoval, P., Bautista, D., Hernández, N., Cárdenas, J. F., & Martínez, V. M. (2012). Bioadsorción de cromo (VI) por la cáscara de Mamey (*Mammea americana* L.). *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(2), 1-9. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627686001.pdf>
- Acosta; V. López; E. Coronado; J. Cárdenas; V. Martínez (2010). "Remoción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa de la Cáscara de Tamarindo" (*Tamarindus indica*). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Laboratorio de Micología Experimental, Laboratorio de Micología Experimental. Instituto de Ciencias Agropecuarias. México. *Biotecnología*, Vol. 14 No. 3. Recuperado de: <https://docplayer.es/30136247-Remocion-de-cromo-vi-en-solucion-acuosa-por-la-biomasa-de-la-cascara-de-tamarindo-tamarindus-indica.html>
- Clima de Panamá (2022). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Panam%C3%A1
- Cruz, G. E., & DULCINEA, S. R. (2012). Eliminación de cadmio (II) en agua mediante el uso de biomasa de pomelo (*Citrus paradisi* L.) en estado natural y protonado: Isotermas y cinética de adsorción. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3192/tfm167.pdf?sequence=1>
- Ferrari, L., Kaufmann, J., Winnefeld, F. y Plank, J. (2010). Interaction of cement model systems with superplasticizers investigated by atomic force microscopy, zeta potential, and adsorption measurements». *Journal of Colloid and Interface Science*, 347 (1), 15-24.
- Goyal, N., Jain, SC y Banerjee, UC (2003). Comparative studies on the microbial adsorption of heavy metals. *Adv. Environ. Res.* 2003, 7 (2), 311-319.
- IMA, 2021. Catálogo de Rubros Cultivados en Panamá Recuperado de: https://web.ima.gob.pa/wp-content/uploads/2021/04/CATALOGO-RUBROS-2021_28_04.pdf

- Instituto de Mercadeo Agropecuario, s.f. Calendario de cosechas Recuperado de: <https://web.ima.gob.pa/wp-content/uploads/2021/09/calendario-de-cosechas-2.pdf>
- Jacobs, JA y Testa, SM (2005). Descripción general del cromo (VI) en el medio ambiente: antecedentes e historia. Manual de cromo (VI) , 1-21.
- Moraetis, D., Nikolaidis, NP, Karatzas, GP, Dokou, Z., Kalogerakis, N., Winkel, LHE y Palaioianni-Bellou, A. (2012). Origin and mobility of hexavalent chromium in North-Eastern Attica, Greece. Appl. Geochem. 2012. Article in Press, 27 (6), 1170-1178.
- Naturgy. (2016, Mar). "Qué es la Biomasa: Características y aplicaciones." Biomasa. [En línea]. Dirección: <https://www.empresaeficiente.com/blog/que-es-la-biomasa-caracteristicas-y-aplicaciones/>
- Pabon Patiño, J. C., & Rosas Arevalo, W. A. (2016). Determinación de la eficiencia de adsorción de la cáscara de café y cáscara de papa en la remoción de Cr (VI) presente en aguas residuales provenientes de una curtiembre de Pandiaco. Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/18067>
- Peña, D., & López, A. (2010). Evaluación de la remoción de cromo proveniente de las aguas residuales de las curtiembres por el proceso de adsorción a partir del zuro de maíz como material adsorbente. Bogotá DC: Fundación Universidad América, 45-70.
- Qué es y cómo funciona la biomasa. (2016, febrero 4). Implica-T Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <https://www.implica-t.com/que-es-y-como-funciona-la-biomasa/>
- Reyes Toriz, E. D., Cerino Córdova, F. D. J., & Suárez Herrera, M. A. (2006). Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. Ingenierías, 9(31), 59-64.
- Rodríguez, A., Pacheco, N. C., Cárdenas, J. F., Tovar, J., Martínez, V. M., & Acosta, I. (2017). Bioadsorción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de Amaranto (*Amaranthus caudatus*). Avances En Ciencias e Ingeniería, 8(2), 11-20.
- Rodríguez, I. A., Sánchez, H. M. G., Zárate, M. D. G. M., González, J. F. C., & Juárez, V. M. M. (2012). Remoción de cromo (VI) en solución por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* Osbeck). Tlatemoani: revista académica de investigación, (9), 3. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7323200>
- Sarria-Villa, R. A., Gallo-Corredor, J. A., & Benitez-Benitez, R. (2020). Tecnologías para remover metales pesados presentes en aguas. Caso Cromo y Mercurio. Journal de Ciencia e Ingeniería, 12(1), 94-109.