

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Inmovilización en esferas de alginato de pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) para la bioadsorción de cromo en agua residual sintética

Angélica María Velásquez Español

Laboratorio de Investigación de Biología

INBIBO

Universidad El Bosque

Facultad de Ciencias

Programa de Biología

Bogotá D.C. 2022

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

**Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y
pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la bioadsorción de cromo
en agua residual sintética**

Angélica María Velásquez Español

Director: Juan Pablo Hernández M,Sc.

Codirector: Emerson Eliecer León Ávila

Laboratorio de Investigación de Biología

INBIBO

Universidad El Bosque

Facultad de Ciencias

Programa de Biología

Bogotá D.C. 2022

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

NOTA DE APROBACIÓN

MSc. JUAN PABLO HERNÁNDEZ

DIRECTOR

Dr. EMERSON ELIECER LEÓN ÁVILA

CODIRECTOR

Dr. OSKAR A. PALACIOS

JURADO

Dr. FRANCISCO CHOIX

JURADO

Dr. WILLIAM ANDRADE

JURADO

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Agradecimientos

A mi director de trabajo de grado por la confianza y acompañamiento en la investigación.

A mi codirector de trabajo de grado por el acompañamiento en la investigación.

Al docente Helbert Balaguera y mis compañeros por el acompañamiento en los datos estadísticos.

A mi Familia y a mis amigos, por su apoyo incondicional en la realización de esta investigación.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Nota de salvedad

“La Universidad el Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por el investigador en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético de este en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Dedicatoria

Dedico esta investigación a mis padres y hermano, quienes han sido un pilar esencial en mi vida y en el transcurso de mi carrera, formándome con buenos principios e ideales, dándome ánimos en cada paso de mi vida y mis metas.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN.....	11
1. Introducción.....	13
2. Marco Teórico.....	15
2.1 Adsorción	15
2.1.1 Generalidades.....	15
2.2 Tipos de adsorción.....	15
2.2.1 Adsorción física.....	15
2.2.2 Adsorción química	15
2.2.2.1 Isoterma de Langmuir.....	15
2.2.2.2 Isoterma de Freundlich.....	16
2.3 Bioadsorción.....	17
2.4 Naranja.....	17
2.4.1 Propiedades.....	17
2.4.2 Pectinas.....	18
2.4.3 Situación nacional de naranja	19
2.5 Banano.....	20
2.5.1 Propiedades.....	20
2.5.2 Situación nacional del Banano.....	20
2.5.3 Lignina.....	21
2.6 Inmovilización de microesferas.....	23
2.7 Aguas residuales	23
2.7.1 Agua residual de curtiembres.....	23
2.8 Metales pesados.....	24
2.8.1 Cromo.....	25
2.8.2 Ligando.....	25
2.9 Antecedentes	25
3 Pregunta de investigación	26
4 Justificación	26
5 Objetivos	27
6 METODOLOGÍA.....	28
6.1 Diseño experimental.....	28
6.2 Fase laboratorio.....	29
6.2.1 Tratamientos	29
6.2.1.1 Cáscara de naranja	29

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

6.2.2 Fase laboratorio.....	32
6.2.2.1 Cáscara de banano.....	32
6.2.2.2 Encapsulación.....	34
6.2.2.3 Desintegrado de las esferas de alginato	35
6.2.2.4 Montaje y medición de cromo.....	36
6.2.2.5 Análisis estadísticos	38
7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
7.1.1 Análisis químico del agua residual sintética.....	39
7.1.2 Análisis de agua residual sintética.....	39
7.1.3 Análisis de esferas en alginato de sodio.....	42
8 CONCLUSIONES.....	48
9 RECOMENDACIONES	49
10 BIBLIOGRAFÍA.....	49

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Lista de figuras y tablas

Figura 1. Esquema de fórmula de Isoterma de Langmuir. (Izquierdo, J. F., & Torres, J. F. I. 2004)

Figura 2. Esquema de fórmula de Isoterma de Freundlich. (Domènech et al., 2016)

Figura 3. Esquema de principios básicos involucrados en la eliminación/recuperación de metales de soluciones acuosas por biomasa microbiana o productos derivados. Recuperado de Gadd, 1988.

Figura 4. Esquema de partes de los frutos cítricos. Recuperado de: Salvador et al., 2012

Figura 5. Estructura egg box (Eliaz et al., 2007)

Figura 6. Esquema de la estructura química de la pectina. Recuperado de: salvador et al., 2012

Figura 7. Esquema de área, producción y rendimiento a nivel nacional recuperado de: DANE Agronet- Asohofrucol*2019*, 2020**

Proyectado

Figura 8. Esquema de área, producción y rendimiento a nivel nacional recuperado de: DANE- Agronet- FEDEPLAN*2018 proyectado

Figura 9. Estructura de la celulosa. Fuente: (Pastor et al.,2015)

Figura 10. Estructura de la hemicelulosa. Fuente: (Pastor et al.,2015)

Figura 11. Estructura de lignina. Fuente (Ysambertt et al., 2009)

Figura 12. Procedimiento de curtido

Figura 13. A. Selección de cáscara de Naranja B. Separación de residuos de fruta

Figura 14. Desmotoxilación de (*citrus sinensis*)

Figura 15. Secado de las cáscaras

Figura 16. Triturado del pulverizado

Figura 17. Pulverizado con solución de CaCl_2 (A); Filtrado del pulverizante (B); Secado del pulverizante (C)

Figura 18. Tamizado y almacenamiento del pulverizado

Figura 19. Selección y retiro de fruta en la cáscara

Figura 20. Cáscaras cortadas en pequeñas partes con hipoclorito de sodio (NaClO)

Figura 21. A Trituración de pulverizante B Pulverizante de banano

Figura 22. Autoclave de la solución

Figura 23. Encapsulamiento para la formación de esferas

Figura 24. Formación de esferas por cada tratamiento donde A. Esferas de naranja, B. Esferas de banano, C. Esferas de banano más naranja, D. Esferas de alginato de Sodio.

Figura 25. Almacenamiento de cada tratamiento en solución salina

Figura 26. Agitamiento de las esferas con bicarbonato de sodio

Figura 27. Curva de calibración

Figura 28. Cálculos para la preparación del agua residual sintética

Figura 29. Esquema de la ecuación de regresión lineal

Figura 30. Montaje del agua residual con las esferas de alginato. A Esferas banano+ naranja, B esferas de naranja, C esferas de banano, D esferas de alginato en agua residual de Cromo

Figura 31. Diagrama de flujo del método de pulverizado de naranja

Figura 32. Diagrama de flujo del método de pulverizado de banano

Figura 33. Diagrama de flujo del método de esferas de alginato de sodio

Figura 34. A) Concentración del agua residual inicial a 2000 mg/l. B) Pulverizado de 0,5 g en el Cromo de los tratamientos dentro del tiempo de 0 a 96 horas con error estándar. C) Porcentaje de adsorción de cromo en las esferas. Letras minúsculas representan las

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Letras mayúsculas representan las diferencias estadísticas significativas de todo el tratamiento a lo largo del tiempo.

Figura 35. A) Concentración del agua residual inicial a 2000 mg/l. B) Pulverizado de 1,5 g en el Cr (VI) de los tratamientos dentro del tiempo de 0 a 96 horas con error estándar. C) Porcentaje de adsorción de cromo en las esferas. Letras minúsculas representan las diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Letras mayúsculas representan las diferencias estadísticas significativas de todo el tratamiento a lo largo del tiempo.

Figura 36. A) Concentración del agua residual inicial a 2000 mg/l. B) Pulverizado de 2,0 g en el Cr (VI) de los tratamientos dentro del tiempo de 0 a 96 horas con error estándar. C) Porcentaje de adsorción de cromo en las esferas. Letras minúsculas representan las diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Letras mayúsculas representan las diferencias estadísticas significativas de todo el tratamiento a lo largo del tiempo.

Tabla 1. Concentraciones utilizadas en la curva de calibración

RESUMEN

Esta investigación permite analizar una posible solución a la problemática social, ecológica y económica en la recuperación de aguas contaminadas con cromo. Una de las industrias que utilizan mayor cantidad de metales pesados es la de curtiembre, este proceso convierte la piel en cuero utilizando grandes concentraciones de cromo, que posteriormente son vertidas sin tratamiento a las fuentes hídricas, en especial el sistema de alcantarillado. Debido a lo anterior se han implementado tecnologías con biomasa orgánica para el tratamiento de aguas residuales, por lo que nos planteamos el objetivo de evaluar la capacidad de bioadsorción de cromo de los pulverizante de cáscara de naranja y de cáscara de banano inmovilizados en esferas de alginato en agua residual sintética. Se realizó un diseño experimental con diferentes cantidades de pulverizado y en un tiempo de 24 a 96 horas. De cada uno de los pulverizados en esferas de alginato como resultado se observó la eficiencia del inmovilizado de los pulverizados juntos de cáscara de banano y cáscara de naranja, esto es debido a la presencia de pectina en naranja y lignina en banano, ya que estos compuestos facilitan la adsorción de metales pesados y una concentración de pulverizado más efectivo de 1,5 gramos para la remoción de cromo. Una de las soluciones propuestas para la reutilización del cromo es la reducción a cromo por la acción del ácido ascórbico (vitamina C) de la naranja para implementar de manera no tóxica a industrias o la agricultura.

Palabras claves: Biorremediación, pulverizado, inmovilizado, reutilización, cromo.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

ABSTRACT

This research allows us to analyze a possible solution to the social, ecological and economic problems in the recovery of water contaminated with chromium. One of the industries that uses the greatest amount of heavy metals is tanning, this process converts the skin into leather using large concentrations of chromium, which are later discharged without treatment into water sources, especially the sewage system. Due to the above, technologies with organic biomass have been implemented for the treatment of wastewater, for which we set ourselves the objective of evaluating the chromium bioadsorption capacity of the orange peel and banana peel pulverizers immobilized in alginate spheres, in synthetic wastewater. An experimental design was carried out with different amounts of spray and in a time of 24 to 96 hours. From each one of the pulverized in alginate spheres, as a result, the efficiency of the immobilized of the pulverized together of banana and orange was observed, this is due to the presence of pectin in orange and lignin in banana, since these compounds facilitate the adsorption of heavy metals and a most effective spray concentration of 1,5 grams for chrome removal. One of the solutions proposed for the reuse of chromium is the reduction to chromium by the action of ascorbic acid (vitamin C) from the orange to implement it in a non-toxic way to industries or agriculture.

Keywords: Bioremediation, Pulverized, Immobilized, Reuse, Chrome.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados hoy en día es el mayor problema ambiental en afluentes de agua, provenientes de distintas actividades industriales como la minería, la industria de pinturas, fabricación de baterías, procesos de curtiembres, entre otras (Wang and Chen, 2009). En Colombia se vierten cerca de 300 toneladas de derivados de cromo por año, lo que hace necesario, procesos de mitigación del impacto sobre la flora y fauna. Una de las industrias que utilizan mayor cantidad de metales pesados es la curtiembre, este es un proceso para convertir la piel en cuero y sus aguas residuales afectan las fuentes hídricas, en especial el sistema de alcantarillado sin tratamiento (Secretaria Distrital de Ambiente, 2017).

Debido a esto se han implementado tecnologías que emplean biomasa orgánica para el tratamiento de aguas residuales, Asgher y colaboradores (2010) mencionan que la adsorción con biomasa residual es una técnica novedosa, una de sus ventajas es el rápido proceso, eficaz y de menos costoso frente al tratamiento de grandes volúmenes con bajas concentraciones de metales. En Colombia se cultiva gran cantidad y variedad de banano, siendo en 2019 una producción de casi 4 millones de toneladas y para naranja, siendo una producción de casi 2 millones de toneladas para el 2020, lo que conlleva a una biomasa residual generada de materias primas, siendo una solución económica, viable y eficiente para resolver esta problemática (Noreña, 2020).

Los sistemas inmovilizados de enzimas microbianas, órganos y células se han venido utilizando por más de 20 años en aplicaciones científicas e industriales (Cassidy et al., 1996).

De acuerdo con lo anterior, la investigación se enfocará en evaluar la capacidad de la inmovilización de pulverizado de cáscara de naranja y pulverizado de cáscara de banano en la adsorción de cromo para el tratamiento de aguas residuales, debido a que la cáscara de naranja presenta una alta cantidad de pectina, siendo un adsorbente de metales debido a las secuencias en

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

cadena que se encuentran unidas de forma intermolecular a través de interacciones electrostáticas y iónicas de los grupos carboxilos (Eliaz et al., 2007) y la cáscara de banano también presenta pectina, lo que hace que sean un producto económico y abundante materia prima en Colombia.

Es importante obtener una recuperación del cromo residual en las plantas de tratamientos de curtiembres, ya que esto disminuye costos y posibilita la reutilización de concentraciones de cromo en plantas de tratamiento de curtiembres, la reutilización de agua y biomasa con ayuda de la inmovilización en esferas de alginato impidiendo que sea un contaminante más en los afluentes hídricos; También, una de las soluciones es el uso de *Acacia melanoxylon*, puesto que presenta una retención de metales pesados hasta un 91% en la cuenca del río Bogotá (CAR, 2007). Además, el estudio de Torres y colaboradores (2019) demostraron que la acumulación de cromo en la planta fue de 98%, si la concentración de cromo era de 50 mg/kg; con concentraciones más altas de 500 mg/kg y 700 mg/kg se evidenció que la planta presenta fitotoxicidad, presentando clorosis, necrosis y por último la muerte vegetal Torres y colaboradores (2019).

1 MARCO TEÓRICO

2.1 Adsorción

2.1.1 Generalidades

El término adsorción se refiere a uno o más componentes de gas o un líquido en la superficie de un sólido. Este fenómeno se llama *sorción* y la sustancia, ya sea en el estado que se encuentre, se denomina *sorbente*.

2.2 Tipos de adsorción

2.2.1 Adsorción física

Es una integración de un soluto gaseoso el cual elimina iones del solvente que del adsorbato o el adsorbente. Este presenta un catalizador y determinación de tamaño de poros en las áreas superficiales (Domènech et al., 2016; Izquierdo et al., 2004; Findlay et al., 1979)

2.2.2 Adsorción química

Este término trata de la integración entre un adsorbato y adsorbentes estableciendo enlaces químicos haciendo que haya una pérdida de moléculas de solvente. Existen diferentes isothermas que se adquieren en la adsorción química como el de Langmuir. Este modelo determina los sitios de adsorción (lugares de la superficie del adsorbente donde se acomodan las moléculas).

2.2.2.1 Isotherma de Langmuir

Las isothermas de adsorción describe el comportamiento entre adsorbato-adsorbente para la captación del adsorbente (Figueroa et al., 2015). Una de ellas es la isoterma de Langmuir la cual es una de las teorías más conocidas y mejor fundamentadas en el cual menciona que las moléculas pueden fijarse sobre una superficie si esta se encuentra en una posición vacía, debido a que, si se encuentra ocupada, las moléculas serán rechazadas hacia la fase gaseosa. Esta fracción de posición se denomina θ ; cuando todas las posiciones son ocupadas $\theta = 1$ y la superficie está cubierta. En el equilibrio las velocidades son iguales dado que la fórmula es $K_1p(1 - \theta) = K_2\theta$ en donde el adsorbente y temperatura están influenciados por cada gas (figura 1). (Domènech et al., 2016; Izquierdo et al., 2004; Findlay et al., 1979). Este modelo describe el equilibrio entre fases sólido-líquido de los sistemas como un equilibrio químico reversible entre especies.

Figura 1. Esquema de fórmula de Isotherma de Langmuir.

$$\theta = \frac{K_1p}{K_2 + K_1p}$$

Nota: Izquierdo, J. F., & Izquierdo Torres, J. F. 2004

2.2.2.2 Isotherma de Freundlich

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Es una ecuación empírica, siendo una de las teorías que tiene en cuenta la heterogeneidad de la superficie, que se expresa en la siguiente ecuación:

Figura 2. Esquema de fórmula de Isoterma de Freundlich.

$$C_{i,s} = K_f C_{i,A}^n$$

Nota: Domènech, X., & Peral, J. 2016

En donde K_f es la constante de adsorción de Freundlich y puede tomar valores positivos o negativos siendo menores a la unidad constante; Las isotermas de Freundlich pueden reducirse teóricamente aplicando isotermas de Langmuir una distribución de energía entre sitios activos de adsorción haciendo que la adsorción disminuye logarítmicamente de la superficie. (Domènech et al, 2016)

2.3 Bioadsorción

Es un término que asocia un proceso fisicoquímico, incluyendo fenómenos de adsorción y absorción de moléculas y iones. Esta técnica incorpora una fase sólida (biomasa) y una fase líquida (agua) que contiene sustancias, en este caso metales pesados, como se observa en la figura 3, da solución a la remoción de metales pesados en aguas residuales usando como sorbente diferentes materiales de origen biológico, un ejemplo es: cáscaras de frutas, algas, hongos, productos agrícolas entre otros. La calidad de este sorbente está dada por la cantidad de sorbato que puede atrapar y contener de forma inmovilizada.

Figura 3. Esquema de principios básicos involucrados en la eliminación/recuperación de metales de soluciones acuosas por biomasa microbiana o productos derivados.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español



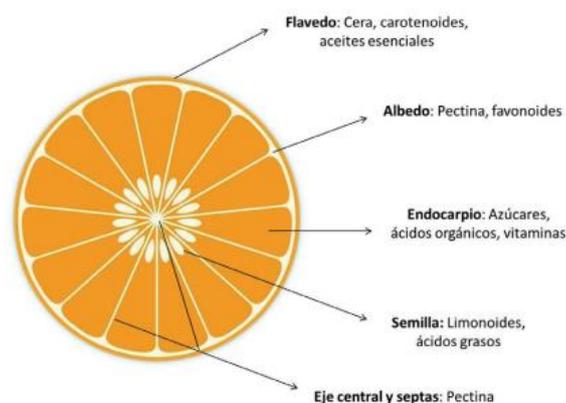
Nota: Gadd, G. M. 1988.

2.4 Naranja

2.4.1 Propiedades

La naranja es una de las frutas con mayor consumo y producción en el mundo. Las frutas cítricas son bayas que han sido modificadas llamadas hesperidios; la cáscara de naranja está formada por el exocarpo (capa externa) de color llamado flavedo y el mesocarpo (capa interna) por una coloración blanca llamada albedo (figura 4).

Figura 4. Esquema de partes de los frutos cítricos.



Nota: Salvador Perez et al., 2012

La naranja presenta gran cantidad de agua, la cual contiene niveles de proteínas altas y es bajo en grasas, presenta vitamina C (ácido ascórbico) y flavonoides, propiedades benéficas para la salud

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

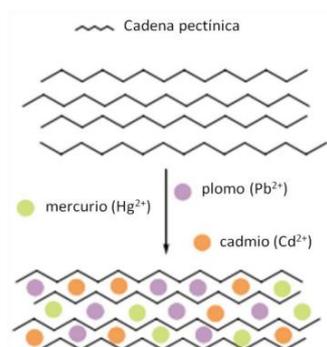
Angélica María Velásquez Español

humana. La hesperidina es un glucósido más importante de la naranja y se encuentra en la corteza y la pulpa de la naranja (*Citrus sinensis*). Las cáscaras de naranja presentan carbohidratos prebióticos conocidos como oligosacáridos como la sacarosa y polisacáridos como las pectinas (Monreal,2018). Además, presentan compuestos bioactivos, la vitamina C se encuentra en toda la fruta, los carotenoides se producen en la superficie de los tejidos y los compuestos fenólicos se encuentran en la cáscara y las semillas (Hurtado et al., 2018)

2.4.2 Pectinas

Las pectinas presentan propiedades importantes en la adsorción de metales pesados, constituyendo un agente desintoxicante y su eliminación en el sistema gastrointestinal (Miceli-García, 2014), debido a las secuencias en cadena que se encuentran unidas de forma intermolecular a través de interacciones electrostáticas e iónicas de los grupos carboxilos. Los metales que tienen mayor atracción en su estructura son el mercurio, plomo y cadmio (figura 5) (Eliaz et al., 2007); La cantidad y la calidad de la pectina depende de la fruta y la especie, esto influye en las condiciones de maduración de la fruta y el manejo de esta (Bergthaller, 1978); Las frutas que utilizan mayormente para la extracción de pectinas son lima y limón, y en menor cantidad la naranja y la limonata, cabe resaltar que los cítricos contienen una alta proporción de pectina. (Eliaz et al, 2007)

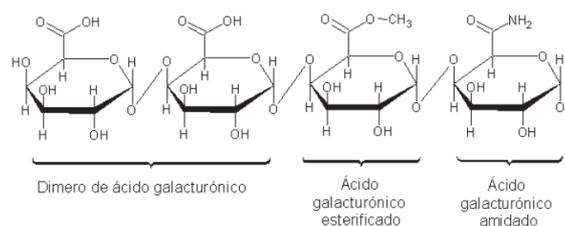
Figura 5. Estructura egg box



Nota: Eliaz et al., 2007

La pectina es un polímero de ácido galacturónico (figura 6), cada uno de los anillos presenta un grupo carboxilo (-COOH). Este grupo puede estar esterificado con un metanol producido por grupos éster metílicos (-COOCH₃) o neutralizados por una base generando una amida (-CONH₂). (Kertesz, 1951)

Figura 6. Esquema de la estructura química de la pectina.



Nota: Salvador Perez et al., 2012

2.4.3 Situación Nacional de la Naranja

En el país hay dos periodos de baja oferta de naranja, son marzo-abril y agosto-septiembre, pues la mayor producción de oferta se encuentra en los meses de mayo-julio y octubre-diciembre (Martínez et al., 2005); La naranja es la fruta de mayor cosecha en Colombia, debido a su cultivo y su volumen de producción (figura 7).

Figura 7. Esquema de área, producción y rendimiento a nivel nacional

NACIONAL	2016	2017	2018	2019*	2020**
Área Sembrada (Ha.)	90.505	93.078	96.435	98.914	97.007
Área Cosechada (Ha.)	76.272	80.073	83.239	84.045	84.147
Producción (Ton)	1.124.197	1.249.660	1.290.567	1.332.814	1.257.474
Rendimiento (Ton/Ha)	14,7	15,6	15,5	15,4	15,2

Nota: DANE Agronet- Asohofrucol*2019*, 2020** Proyectado (Noreña, 2020)

2.5 Banano

2.5.1 Propiedades

El Banano contiene proteínas, lípidos, carbohidratos y fósforo. Presenta mayormente almidón que se va transformando en azúcares como sacarosa, glucosa y fructosa.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Aurore y colaboradores (2009) se producen cambios en la composición nutricional del fruto en secado y deshidratación, aumentando los valores debido a la pérdida de agua, haciendo que se concentren todos los nutrientes.

Este fruto contiene celulosa β -celulosa se disuelve en soluciones alcalinas debido a las diferencias de longitud de la molécula y la incrustación de la hemicelulosa como la xilana. La celulosa presenta afinidad por el agua con una humedad relativa entre 8 a 9%. (Vian, 1980)

2.5.2 Situación Nacional del banano

En Colombia, el principal departamento de producción de banano es Antioquia, con 61.000 hectáreas para el año 2017 (minagricultura, 2020). El cultivo de banano se caracteriza por su textura y sabor, es reconocido en la zona tropical.

El banano es la fruta de mayor cosecha en Colombia, debido a su cultivo y su volumen de producción (figura 8).

Figura 8. Esquema de área, producción y rendimiento a nivel nacional

Variable	2015	2016	2017	2018*
Área (ha)	419.608	431.998	443.547	440.294
Producción (Ton)	3.416.951	3.908.986	4.235.478	4.316.726
Rendimiento (Ton/ha)	10,8	10,9	10,4	10,7

Nota: DANE- Agronet- FEDEPLAN*2018 proyectado (Miniagricultura, 2020)

2.5.3 Lignina

La cáscara de banano en polvo está conformada por hemicelulosa (15%), celulosa (25%) y lignina (60%); siendo polímeros de cadenas largas, ramificadas o lineales que se encuentran en la pared celular de las plantas y funcionan absorbiendo los iones metálicos (Tejada et al., 2015).

La mayoría de las características químicas orgánicas poseen grupos funcionales que logran unirse a los metales pesados en un proceso de adsorción, los cuales se explicaran a continuación:

Celulosa

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

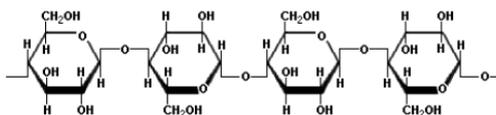
y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Es un homopolisacárido de cadenas largas que contienen β -D-glucosa; contiene grupos hidroxilos apoyando a los procesos de adsorción (Pastor et al., 2015)

Figura 9. Estructura de la celulosa.

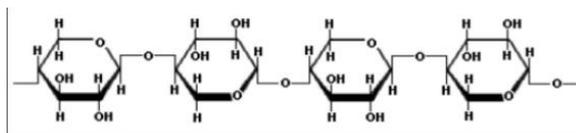


Nota: Pastor et al.,2015

Hemicelulosa

Es un heteropolisacárido formado por glucosa, xilosa, arabinosa que se encuentran en las paredes de las plantas.

Figura 10. Estructura de la hemicelulosa. Fuente: (Pastor,2015)



Nota: Pastor et al.,2015

Lignina

La lignina contiene entre el 20 y 35% de la materia seca en fibras maderables y del 10 al 25% en fibras no maderables. Presenta tres derivados fenilpropanoides: alcoholes coniferílico, cumárico y sinapílico, uniéndose a un polímero por acción de enzimas que generan radicales libres. Se ha mencionado la gran cantidad de adsorción de metales de la lignina por fenoles y otros grupos funcionales. Además, por fuerzas de atracción electrostática entre la superficie de la lignina y el ion metálico, siendo absorbidos debido al tamaño del ion entre más grande, el radio mayor será la retención de absorción porque se encuentra una fuerza de repulsión electrostática de los iones metálicos con menor radio iónico (Correa et al., 2012)

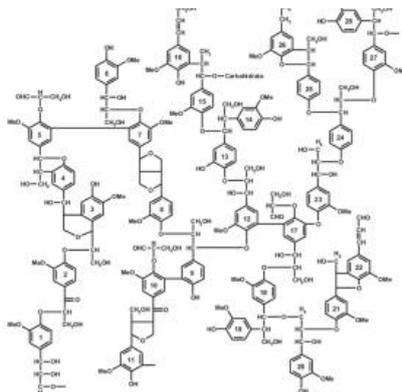
Figura 11. Estructura de lignina.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español



Nota: Ysambertt et al., 2009

2.6 Inmovilización en esferas de alginato

Las esferas de alginato se han utilizado en diferentes actividades como son medicamentos, gastronomía, inmovilización de microorganismos, entre otros. El alginato de sodio es sustancia que se han utilizado para encapsular los diferentes productos; un polisacárido proveniente de algas pardas. Este material es biodegradable, liberándose mediante degradación o por fusión de recubrimiento en la sustancia de bicarbonato de sodio. El tamaño de las esferas dependerá del sistema utilizado.

2.7 Aguas residuales

2.7.1 Aguas residuales de curtiembres

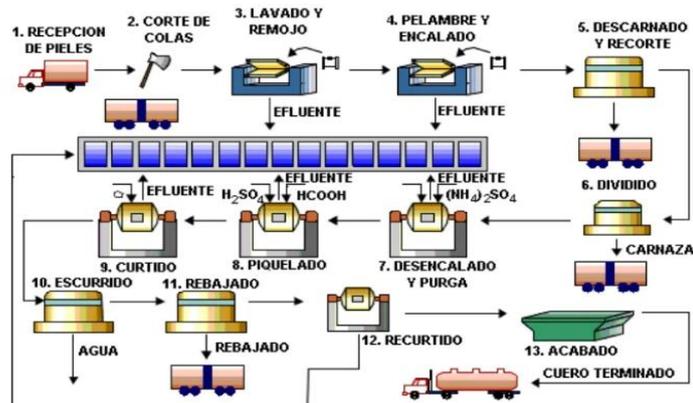
Las industrias de curtiembres se basan en tratamientos químicos de pieles, para el lavado del cuero se utilizan alrededor de 25-60 m³ de agua por tonelada de pieles. Cabe resaltar que dependiendo del proceso puede llegar a emplear aproximadamente 440 kilogramos de químicos (Méndez et al., 2007). Durante muchos años esta materia prima se ha utilizado para la elaboración de vestimenta, calzado y productos de uso cotidiano. (Elabbas et al., 2016). Sin embargo, algunos productos químicos que se manejan en la producción de cuero curtido son ácidos, hidróxido de calcio, sulfuro de sodio, ácido fórmico, ácido sulfúrico, sulfato de cromo (III), dicromato de potasio (VI), entre otros (Borba et al., 2018). Además, se desechan gran cantidad de desechos sólidos, siendo la piel defectuosa, no procesada, cueros procesados y productos químicos (El-sabbagh et al., 2011)

En la industria la problemática que existe es el uso de concentraciones altas de cromo en los desechos de curtiente que no se filtran, y permanece en los reflujos y los lodos de purificación, lo cual impide el manejo de los metales pesados (Valencia, 2009). Una de las industrias de aguas residuales industriales se encuentra en el barrio San Benito del río Tunjuelito y desechan cromo III de 2000 a 8000 mg/l (Ortiz et al., 2015). Actualmente las empresas no requieren un permiso de vertimientos para operar de manera legal, deben reportarse frente a EAAB. Los vertimientos de Villapinzón en Cundinamarca generar el 80% de contaminación en la cuenca alta del río. (CAR, 2015)

En el tratamiento de aguas residuales existen varios métodos para disminuir la concentración de metales pesados, los cuales son: oxidación, coagulación, tratamientos biológicos con microorganismos.

En el proceso de curtido, (figura 12) la piel es sometida a distintos procedimientos y productos químicos. Los procesos de recurtido (cuero obtenido de los procesos) y acabado no generan grandes impactos ambientales; sin embargo, los procesos de pelambre (eliminación del pelo o lana en elevadas concentraciones de sulfuro de sodio para la preparación de los siguientes procesos) y curtido (transformación de cualquier piel en cuero utilizando diferentes tipos de sales de cromo trivalente Cr+3) aportan mayor cantidad de contaminantes tóxicos en los efluentes hídricos.

Figura 12. Procedimiento de curtido



Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

2.8 Metales pesados

2.8.1 Cromo

El cromo (Cr) es un elemento químico que se puede encontrar en rocas, animales, plantas y en el suelo. Principalmente, existen tres tipos de cromo: Cr (0), Cr (III), Cr (VI), el último cromo se produce especialmente por procesos industriales formando parte de compuestos manufacturados, presente en los cromatos, dicromatos y el ácido crómico. (Hong et al., 2001). El cromo es utilizado en las industrias como aleaciones con Hierro, Níquel o Cobalto, generando dureza y resistencia. Se aplica en acabados de vehículo y varios utensilios. El cromo hexavalente se utiliza en placas de circuitos, industrias de pintura, manufacturas, pigmentos y curtiembres; En estas industrias de agua residual las emisiones se pueden encontrar de 0,5 a 270 mg/L; Además, se usa en la producción de acero inoxidable, el curtido de cueros y los conservantes de madera; El cromo es utilizado en procesos de curtidos como antes ya mencionado para evitar la descomposición de la piel, evitando microorganismos.

Para la determinación de cromo en forma hexavalente o trivalente en muestras de agua existe varios métodos tales como: cromatografía iónica, espectrofotometría de absorción atómica, colorimetría y espectrofotometría de plasma Inductivamente Acoplado (ICP). (López, 2015)

Es utilizado en este experimento para generar inmovilizados de pulverizados con el fin de tener una absorbancia de la concentración de cromo, disminuyendo la problemática ambiental en afluentes hídricos.

2.8.2 Ligando

Es un compuesto orgánico de coordinación capaz de enlazarse con el centro metálico en uno o varios átomos, el nitrógeno y el oxígeno. Los iones metálicos que presentan pérdida de electrones para convertirse en cationes con carga positiva. Los ligandos son aniones presentando una atracción alta en la carga del catión forzando a que la molécula se acerque. Los ligandos pueden presentar

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

geometrías según el tamaño y el estado de oxidación de los metales de transición como el cromo.

(Contreras et al., 2018)

2.9 Antecedentes

Se han realizado diferentes estudios en los cuales se ha determinado la remoción de metales pesados en tratamientos de aguas residuales a partir de biomasa orgánica. Según Tejada y colaboradores (2016) para la eliminación de Pb (II) utilizaron materia orgánica de cáscara de naranja siendo un porcentaje de remoción entre el 99 y el 98% y suero de maíz siendo un porcentaje de remoción entre el 94 y el 61%, mencionan en este estudio que estas dos biomásas presentan alta capacidad de adsorción en comparación a otros residuos agroindustriales. Por otro lado, Pehlivian y colaboradores (2008) mencionan la bioadsorción de cromo (VI) utilizando cáscara de nuez, avellana y almendra, dando como resultado una adsorción entre 2,0 y 3,5. Además, otro estudio, el cual menciona Memon y colaboradores (2009), utilizó cáscara de banano en donde la máxima remoción encontrada fue de 131.56 mg/g concluyendo que esta biomasa es eficaz absorbente para eliminar iones de cromo en aguas residuales industriales.

Pastor (2015), menciona que el pulverizado de banano tiene la capacidad de purificar las aguas contaminadas con metales pesados de una forma eficaz y económica al ser biomasa orgánica de fácil acceso.

3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la concentración óptima de los pulverizados de cáscara de naranja y cáscara de banano inmovilizado para la bioadsorción de cromo en el agua residual sintética?

4 JUSTIFICACIÓN

Se han realizado gran número de trabajos de investigaciones sobre la eliminación de metales pesados en aguas residuales sintéticas. En el presente trabajo se utilizó como modelo el sistema de inmovilizado de pulverizado en materia orgánica de banano (*Musa paradisiaca*) y naranja (*Citrus sinensis*) siendo uno de los tratamientos eficientes en el agua residual sintética de Cromo, debido a que la cáscara de naranja presenta alta cantidad de pectinas, siendo un absorbente de metales pesados debido a la secuencia en cadenas de los grupos carboxilos (Eliaz et al., 2007) y aunque se han realizado estudios con los dos pulverizados mencionados anteriormente para la eliminación de cromo en aguas residuales sintéticas, no existen investigaciones donde se estudie la inmovilización con esferas de alginato con esta biomasa orgánica, siendo importante para limitar la adsorción del ion metálico con los pulverizados y una liberación controlada en el tiempo con cantidades de pulverizado específicas para mayor rendimiento. Además, es importante obtener una recuperación del cromo en agua residual sintética para después aplicar este proceso en las plantas de tratamientos de curtiembres, ya que esto disminuye grandes costos y posibilita la reutilización de concentraciones de cromo en plantas de tratamiento de curtiembres, la reutilización de agua y biomasa con ayuda de la inmovilización de alginato de sodio esferificadas, impidiendo que sea un contaminante más en los afluentes hídricos. Una propuesta para el desecho de estas esferas es reducir el cromo, saturando con cantidades altas de pulverizado de naranja ya que el ácido ascórbico reduce el cromo y puede ser empelado para la agricultura.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la capacidad de bioadsorción de los pulverizado de cáscara de naranja y cáscara de banano inmovilizados en esferas de alginato para la remoción de cromo en el tratamiento de aguas residuales sintéticas.

Objetivos Específicos

- I. Determinar la concentración de pulverizado de cáscara más efectivo inmovilizado en esferas de alginato para la eliminación de cromo de agua residual sintética.
- II. Determinar cuál es la concentración de cromo que es absorbido con los pulverizados

6 METODOLOGÍA

6.1 Fase laboratorio

6.1.1 Tratamientos

6.1.1.1 Cáscara de naranja

Selección: El material orgánico se recolectó en la Universidad El Bosque, teniendo en cuenta la mejor biomasa para evitar su descomposición y garantizar el secado óptimo. Se retiran los residuos de fruta en las cáscaras y se cortan en pequeños trozos.

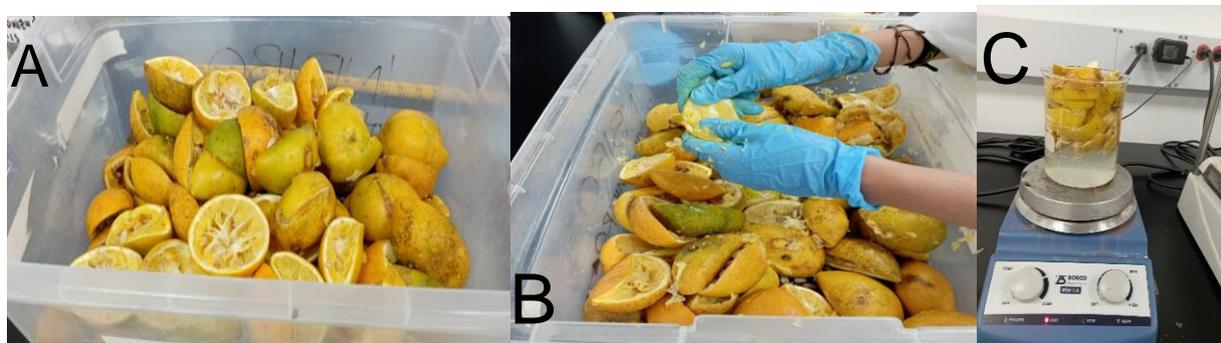
Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Figura 13. A. Selección de cáscara de Naranja B. Separación de residuos de fruta C. Lavado de cáscaras



Limpieza: Se colocan las cáscaras en un vaso precipitado con agua a una temperatura de 60 °C aproximadamente por 20 minutos para eliminar compuestos indeseables. Luego se lavan en agua desionizada por 20 minutos. Después se lava la cáscara con etanol al 96% durante 30 minutos, para eliminar cualquier sustancia que interfiera en el proceso; Por último, se desmetoxilan (se induce al rompimiento intramolecular entre enlaces de hidrógeno de la celulosa generando una inflamación de los enlaces intramoleculares que ensamblan los xilanos de la hemicelulosa y otros componentes) (figura 14). (Aguilar, 2018); Adicionando NaOH al 0,1 N en agitación lenta durante 2 horas y creándose una solución viscosa.

Figura 14. Desmetilación de (*citrus sinensis*)



Secado: Se secaron las cáscaras a 105 °C durante 15 horas para eliminar aceites esenciales que pueden interferir en el proceso.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Figura 15. Secado de las cáscaras



Pulverizado: Se lleva el material orgánico a un molino de granos (figura 16); después se le agrega la solución de CaCl_2 permitiendo reticular la cáscara, entrecruzando el polímero formando mallas tridimensionales en la parte interna, generando una estabilidad; se preparó al 0,2 M a un pH de 5 según (Muñoz, 2007), HCl al 37% agregando 6 gotas para que el pH quedara a 5.

Figura 16. Triturado del pulverizado



Después de las 24 horas de agitación, se procedió al filtrado con la ayuda de bomba de vacío y se llevó al horno a una temperatura de 105 °C hasta eliminar el exceso de agua (figura 20).

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Figura 17. *Pulverizado con solución de CaCl₂ (A); Filtrado del pulverizaste (B); Secado del pulverizante (C)*



Para el procedimiento se usó 1 kg de cáscara de naranja y después del procedimiento el rendimiento del pulverizado fue de 0,472 kg, se tamizó el material con una malla de 300 μm de diámetro de poro y se guardó en frascos de vidrio. (figura 18).

Figura 18. *Tamizado y almacenamiento del pulverizado*



6.2.2 Fase laboratorio

6.2.2.1 Cáscara de banano

Selección: El material bioadsorbente, se recolectó en la Universidad El Bosque, teniendo en cuenta la mejor biomasa para evitar su descomposición y garantizar el secado óptimo. Se retiran los residuos de fruta en las cáscaras.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Figura 19. Selección y retiro de fruta en la cáscara



Limpieza: Se sumergió por 5 minutos la cáscara de banano en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 2%. Después de los 5 minutos se secaron las cáscaras con toallas para eliminar el exceso de la solución; se limpiaron con ayuda de un cuchillo, retirando resto de fruta y otros compuestos indeseables como el pedúnculo, partes de fruta restantes en los tubos vasculares, por último, se cortaron en pequeños trozos para que el secado sea más rápido (Figura 20).

Figura 20. Cáscaras cortadas en pequeñas partes con hipoclorito de sodio (NaClO)



Secado:

El secado se realizó en un horno a 105 °C por 6 horas aproximadamente, debido a que a mayor humedad mayor tiempo de secado.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Pulverizado: Para el procedimiento se usó 1 kg de cáscara de banano y después del procedimiento el rendimiento del pulverizado 0,13179 kg. Se lleva el material orgánico a un molino de granos para generar el pulverizado.

Figura 21. A Trituración de pulverizante B Pulverizante de banano



Alginato de sodio

En un Erlenmeyer se agregó 100 ml de agua destilada y se mezcló cada uno de los tratamientos con 1.4 g de alginato de sodio. El pulverizado de cáscara de naranja se realizó desde 2 gramos debido a que con mayor cantidad de gramos se gelificaba con el alginato, la mezcla se esterilizó en autoclave para eliminar cualquier contaminante presente en la solución.

Figura 22. Autoclave de la solución



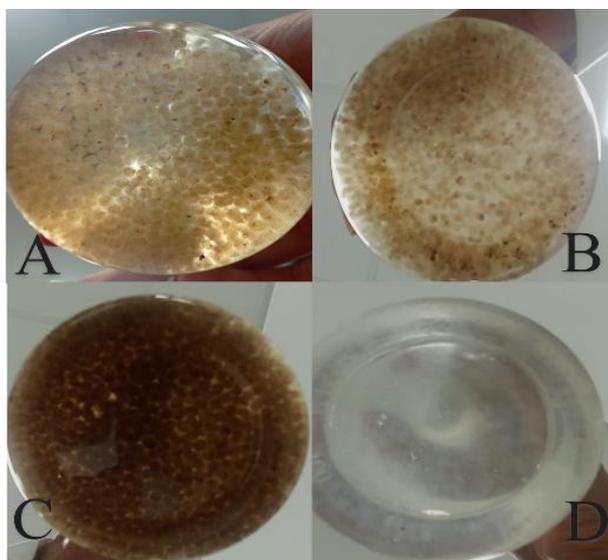
6.2.2.2 Encapsulación

Se prepararon 100 ml de CaCl_2 al 2% en un vaso precipitado de 250 ml; la mezcla de pulverizado y alginato se agregó gota a gota usando una jeringa hipodérmica de 20 ml. (figura 23 y 24). Una vez formadas las esferas, se lavan con solución salina y se refrigeran hasta su uso. (figura 25).

Figura 23. Encapsulamiento para la formación de esferas



Figura 24. Formación de esferas por cada tratamiento donde **A.** Esferas de naranja, **B.** Esferas de banano, **C.** Esferas de banano más naranja, **D.** Esferas de alginato de Sodio.



Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Figura 25. Almacenamiento de cada tratamiento en solución salina.



6.2.2.3 Adsorción de Cromo en los pulverizados

Para determinar la cantidad de cromo que se encontraba en las esferas, estas se disolvieron en 4% NaHCO_3 en agua destilada; luego en tubos falcón de 15 ml se agregaron 3 ml de NaHCO_3 y 3 esferas cada día de cada uno de los tratamientos (figura 26)

Figura 26. Agitación de las esferas con bicarbonato de sodio.



6.2.2.4 Montaje y medición de cromo

La concentración establecida para preparar el agua residual sintética se tuvo en cuenta 2000 ppm de cromo (figura 28) con algunas impurezas el cual se realizó un barrido espectral y nos dio el máximo de absorbancia en la longitud de onda de 472nm.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Para la curva de calibración se usó concentraciones desde 50 aumentando cada 100 hasta llegar a 2000 ppm. Estas concentraciones fueron preparadas en balones aforados de 10 ml.

Figura 27. Curva de calibración

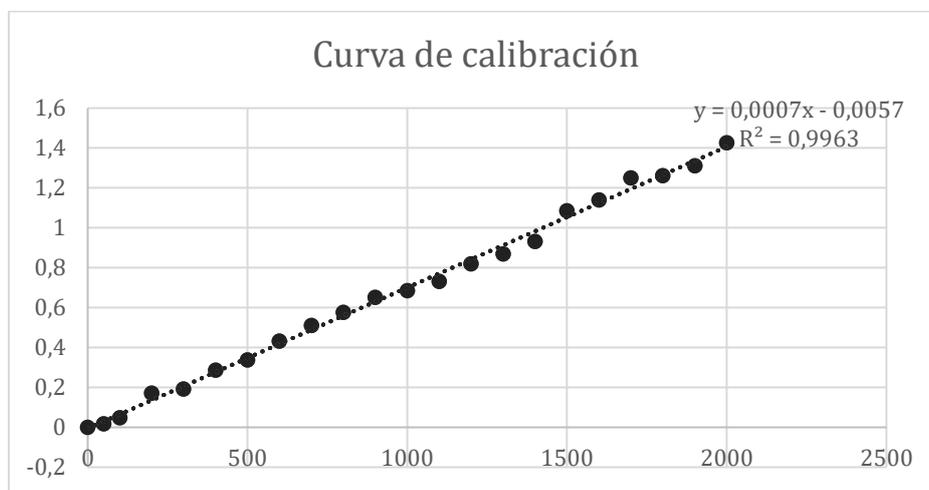


Tabla 1. Concentraciones utilizadas en la curva de calibración

Concentración	Promedio
0	0
50	0,018
100	0,047
200	0,172
300	0,192
400	0,287
500	0,338
600	0,433
700	0,511
800	0,576
900	0,652
1000	0,685
1100	0,732
1200	0,820
1300	0,869
1400	0,931
1500	1,086
1600	1,140
1700	1,250
1800	1,261
1900	1,311
2000	1,427

Figura 28. Cálculos para la preparación del agua residual sintética

$$ppm = \frac{g\text{ soluto}}{ml\text{ solución}} \times 10000000$$

$$ppm = \frac{4,0\text{ g}}{2000ml} \times 10000000$$

$$ppm = 2000\text{ ppm de solución}$$

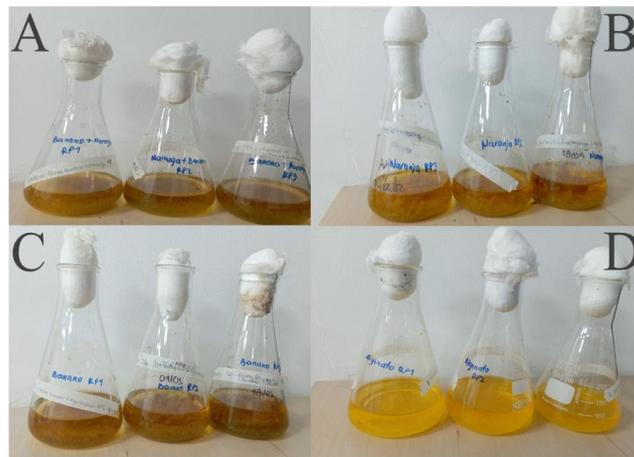
Para el cálculo de la concentración de Cromo a partir de la absorbancia se utilizó la fórmula de la regresión lineal de la curva de calibración, en donde el valor “a” es la altura a la que la recta corta en el eje, siendo 0,0057 y, el valor “b” es la inclinación de la recta siendo 0,0007 y por último el coeficiente de determinación 0,9963 siendo un modelo con estimación en donde se ajustan a la variable real. Teniendo en cuenta esto, se reemplaza en la ecuación (figura 29), siendo “y” el valor de las absorbancias de cada una de los tratamientos propuestos y el valor “x” será la concentración de cromo a encontrar, expresándose en miligramos de cromo por litro de agua.

Figura 29. Esquema de la ecuación de regresión lineal

$$x = \frac{Y-a}{b}$$

Para el montaje del experimento, se usaron 20 gramos de esferas por cada tratamiento en 100 ml de agua residual sintética y se procedió a medir la concentración inicial, y mediciones posteriores cada 24 horas hasta un máximo de 4 días.

Figura 30. Montaje del agua residual sintético con las esferas de alginato. A Esferas banano+naranja, B esferas de naranja, C esferas de banano, D esferas de alginato en agua residual sintética de Cromo



6.3 Diseño experimental

La investigación se realizó en el Laboratorio de investigación INBIBO, del Programa de Biología, ubicado en la sede de la Universidad El Bosque de Bogotá, Colombia. Para evaluar cada uno de los tratamientos se puede observar en los diagramas a continuación:

Figura 31. Diagrama de flujo del método de pulverizado de cáscara de naranja



Figura 32. Diagrama de flujo del método de pulverizado de cáscara de banano.

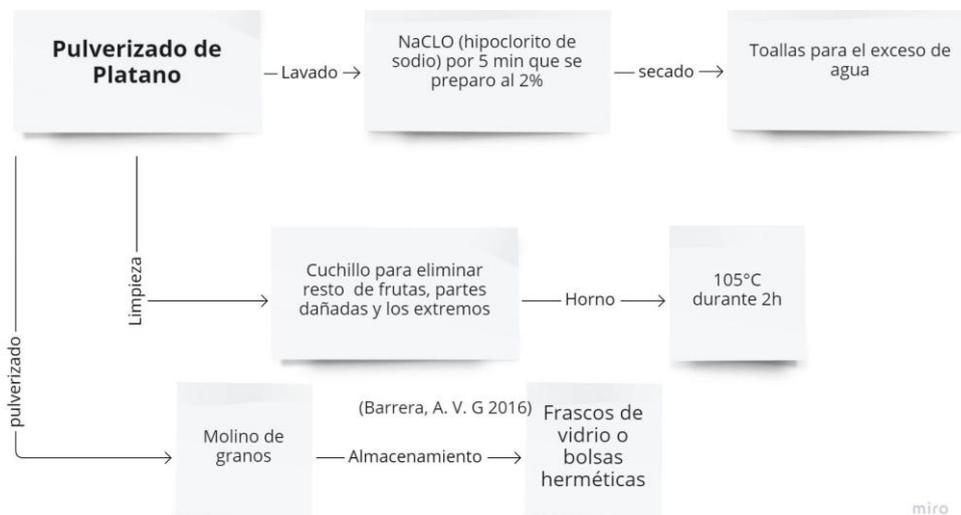
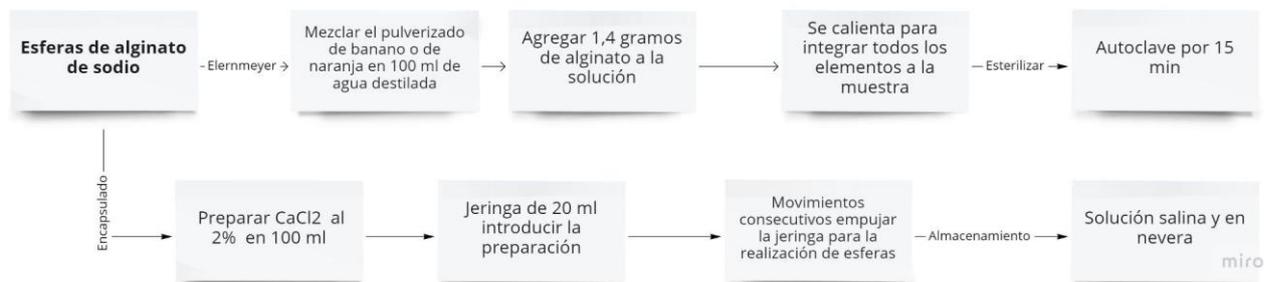


Figura 33. Diagrama de flujo del método de esferas de alginato de sodio.



El diseño de la investigación se tuvo en cuenta tres tratamientos y el control con tres réplicas cada uno, los cuales está enmarcado en:

1. Tratamiento de esferas de banano con agua residual sintética (B)
2. Tratamiento de esferas de naranja con agua residual sintética (N)
3. Tratamiento de esferas de naranja más banano con agua residual sintética (B+N)
4. Esferas de alginato con agua residual sintética (control)

Para el control se realizó sin ningún pulverizado dentro de la esfera. Además, para cada uno de estos tratamientos se realizó diferentes concentraciones de pulverizado, siendo 0,5 g, 1,5 g y 2,0 g

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

por cuatro días; cabe aclarar que anteriormente se realizó por diez días para determinar a cuánto tiempo era más efectiva la adsorción de cromo inmovilizado, siendo más efectivo las 96 horas debido a que en este tiempo de diez días permanecía constante los datos es decir no aumentaba ni disminuía la concentración de cromo en el agua residual sintética.

Análisis estadísticos

Para la cuantificación de concentración de cromo se realizó un arreglo factorial debido a que el diseño experimental tenía más de dos factores, es decir, una interacción entre los tratamientos en una acción combinada entre ellos. Se realizó un análisis de prueba de normalidad, prueba de homogeneidad y de ANOVA con prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$, para observar si hay diferencias significativas en los tratamientos. Los resultados se analizaron con el software IBM SPSS, mientras que para la realización de las gráficas se utilizó el programa Excel. Todos los resultados se presentan con error estándar.

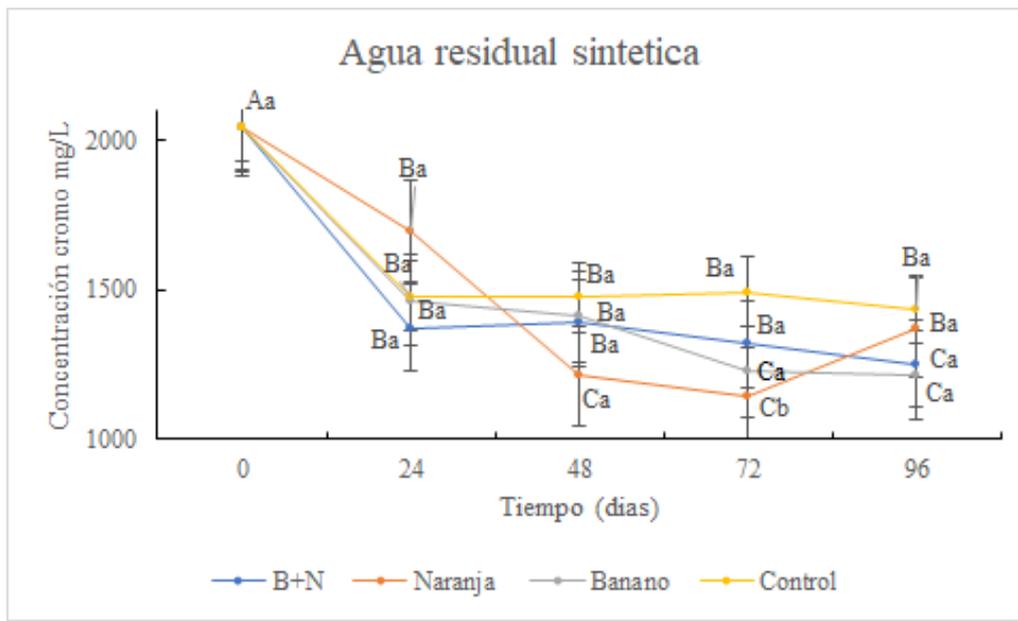
7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

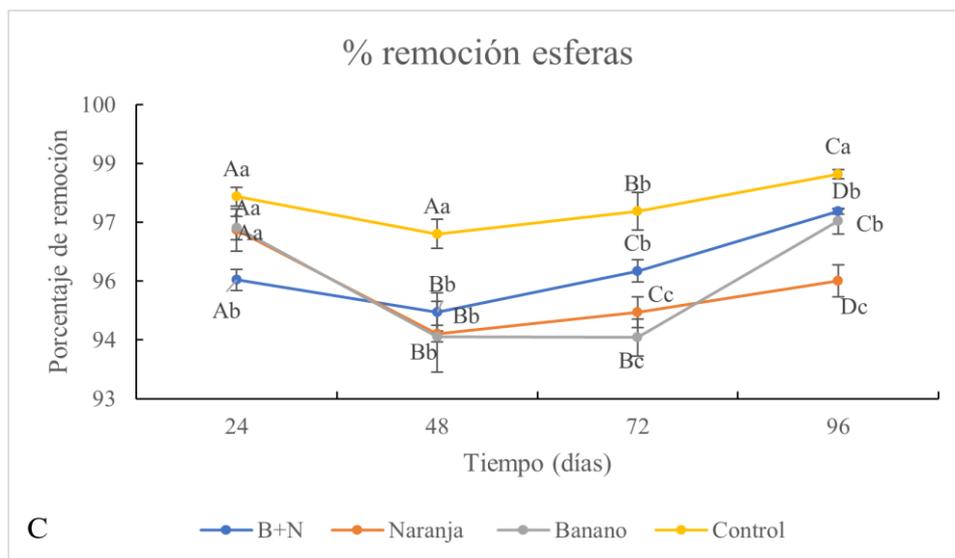
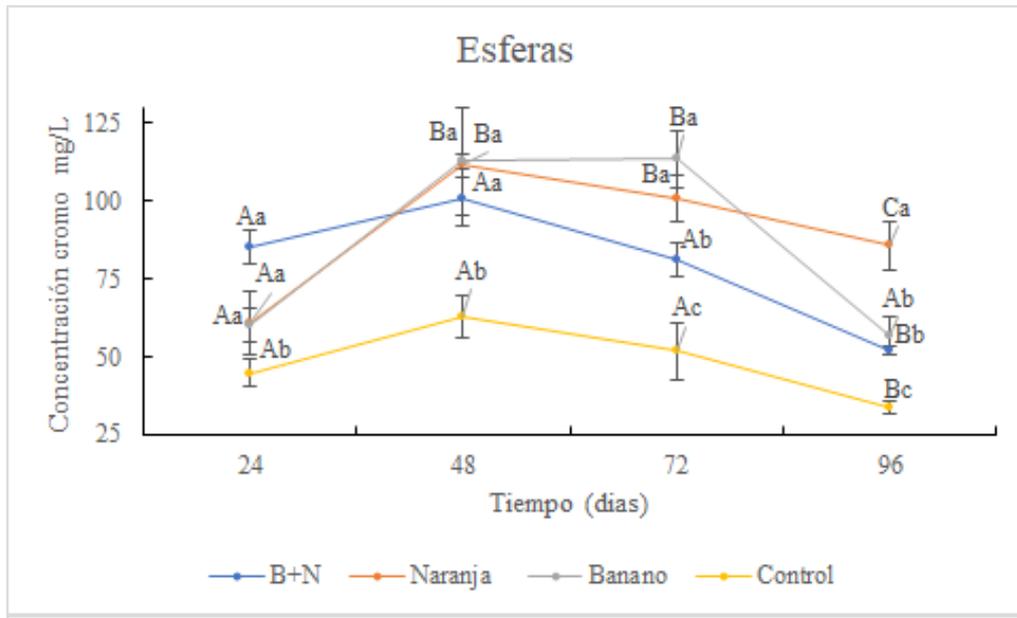
Al realizar el pulverizado de banano con 3 g se observó que se podía inmovilizar las esferas eficientemente, pero para el pulverizado de naranja más el alginato de sodio se observó que a los 3 g se gelificaba siendo imposible hacer las esferas, se le atribuye a que anteriormente se lavaron las cáscaras de naranja con cloruro de calcio y al entrar en contacto con las propiedades del alginato se generó un fenómeno de gelificación, por lo cual se decidió bajar la concentración de pulverizado y se trabajó desde los 2 g para cada uno de los tratamientos hasta 0,5 g como se mencionó anteriormente. Sin embargo, el pulverizado de cáscara de naranja para 2 g aún seguía presentando problemas, pero en menor cantidad; sin embargo, se podía trabajar, por tal motivo se prosiguió con esta concentración. Por otro lado, se observó que el pulverizado de cáscara de banano debía ser más fino debido a que

taponaba la jeringa al momento de inmovilizar las esferas de alginato. Se obtuvo una concentración de pulverizado más efectivo de 1,5 gramos para la remoción de cromo.

7.1.1 Análisis de pruebas con pulverizado a 0,5 gramos

Figura 34. A) Concentración del agua residual sintética inicial a 2000 mg/l. B) Pulverizado de 0,5 g de los tratamientos con cromo dentro del tiempo de 0 a 96 horas con error estándar. C) Porcentaje de cromo que aún se encuentra en el agua residual sintética en las esferas. Letras minúsculas representan las diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Letras mayúsculas representan las diferencias estadísticas significativas de todo el tratamiento a lo largo del tiempo.





Los resultados obtenidos se observan en la figura 34 en un tiempo de contacto para lograr que la biomasa adsorbiera y alcanzará el equilibrio, siendo un tiempo de 96 horas siendo el más efectivo, cabe resaltar que para obtener este tiempo se hizo inicialmente un tratamiento por 10 días para determinar el equilibrio más efectivo. La concentración de cromo en el agua residual sintética tuvo una disminución, lo que nos indica que los pulverizados realizaron la adsorción del cromo. (figura 34, a)

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

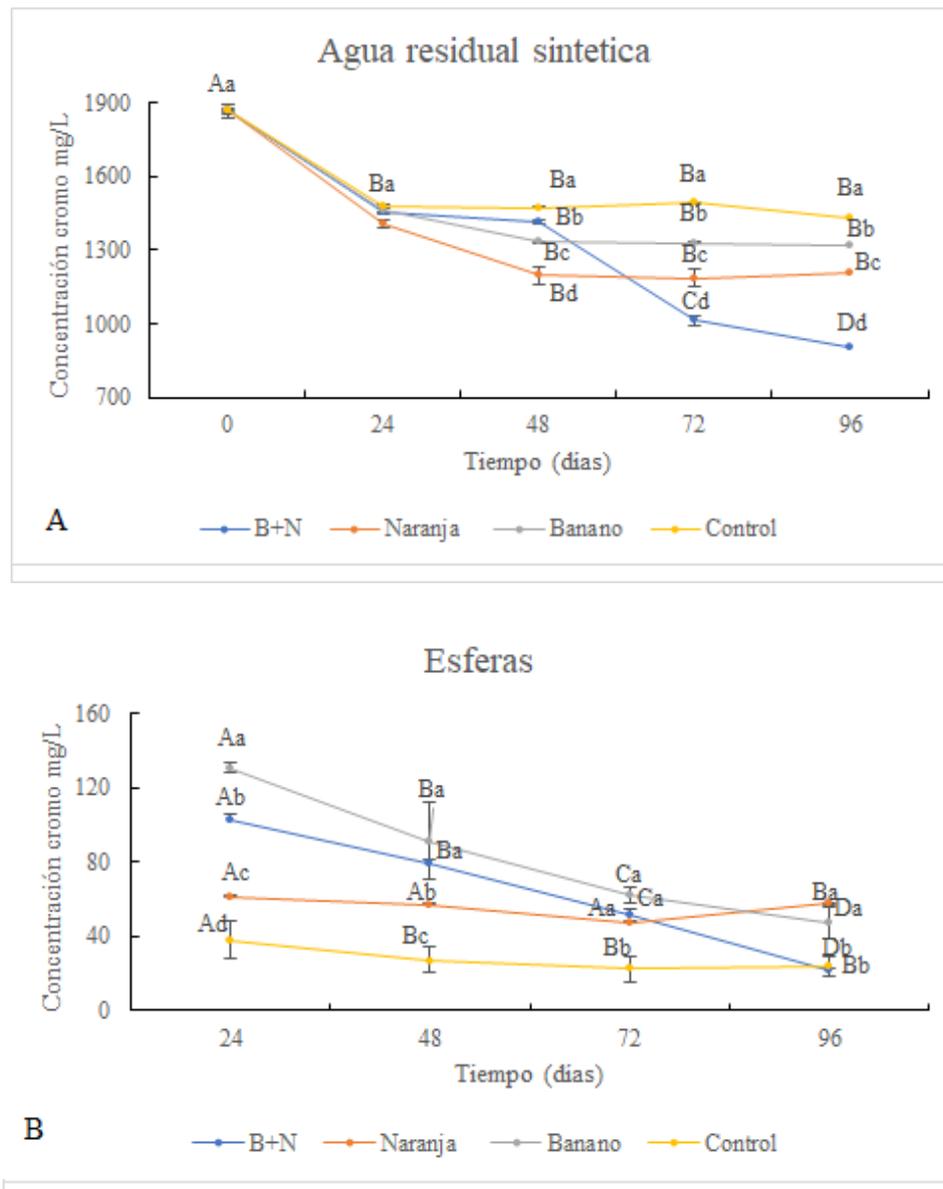
La Adsorción de cromo va a estar determinado a mayor cantidad de pulverizado, va a tener una mayor remoción (figura 34, b, c) donde observamos que la adsorción de 0,5 g va a hacer distinta a la de 2,0 g respecto a los pulverizados. Las esferas de banano y naranja por separadas son más eficientes, hasta las 48 horas para naranja y para banano a las 72 horas, después comienzan a liberar nuevamente el cromo (figura 34b).

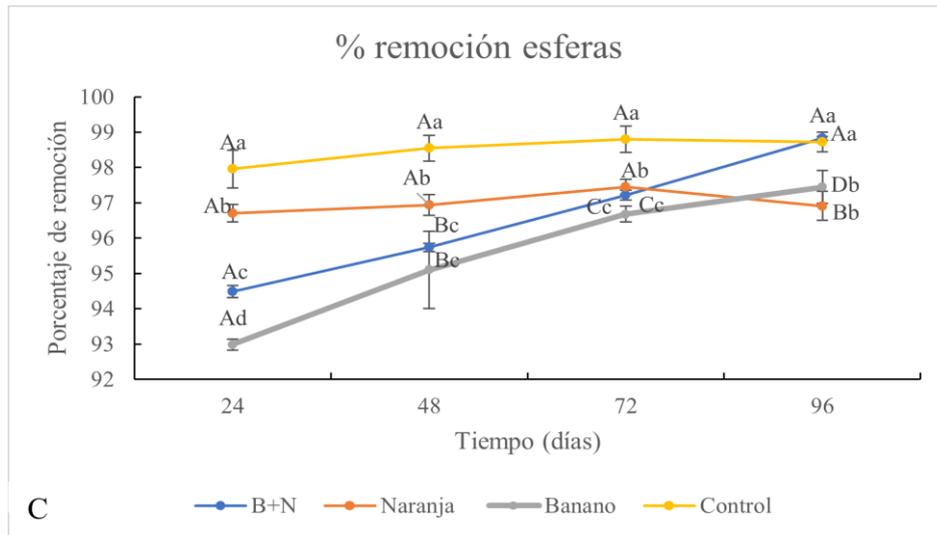
Al analizar (grafica 34 b), se encontró que hubo una adsorción de cromo en pulverizado de banano, siendo de 113,381 mg/l y de naranja 101,00 mg/l a las 72 horas. Además, hubo una mayor captación de cromo en la mezcla de b+n 3% con un porcentaje de cromo en el agua de un 97% siendo a las 48 horas a 96 horas (figura 38c). De la misma manera, el pulverizado de cáscara de banano tuvo un aumento progresivo a las 72 horas, teniendo un porcentaje 98% de cromo aún en el agua, teniendo una remoción de alrededor un 3% a las 96 horas. La cantidad de cromo absorbido tiene un porcentaje máximo de 2% de remoción en un 98% de cromo con agua residual sintética en nuestra investigación, comparando con en el estudio de Garcés y colaboradores (2012) obtuvieron un valor máximo de adsorción de 66% con 6 g de pulverizado de cáscara de naranja con distintas condiciones como el tamaño de la partícula, pH, entre otros. En nuestro estudio fue menor por la cantidad de pulverizado de cáscara de naranja utilizado, por lo tanto, se debe tener en cuenta las cantidades de pulverizado utilizado para que así haya un mayor rendimiento de adsorción en el estudio. Dando como resultado que el valor máximo de adsorción en inmovilización de pulverizado de naranja es más efectivo a las 72 horas.

Se determinó que el pulverizado de b+n fue más eficiente en la remoción de cromo a partir de las 48 horas hasta las 96 horas, debido a que según tejada y colaboradores (2016) existen modificaciones químicas y físicas de los biomateriales que contienen pectina y lignina permitiendo que haya adsorción de iones metálicos.

7.1.2 Análisis de pruebas con pulverizado a 1,5 gramos

Figura 35. A) Concentración del agua residual sintética inicial a 2000 mg/l. B) Pulverizado de 1,5 g de los tratamientos con cromo dentro del tiempo de 0 a 96 horas con error estándar. C) Porcentaje de cromo que aún se encuentra en el agua residual sintética en las esferas. Letras minúsculas representan las diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Letras mayúsculas representan las diferencias estadísticas significativas de todo el tratamiento a lo largo del tiempo.





Se observa el pulverizado de 1,5 g en donde el b+n fue más efectivo en transcurso del proceso hasta las 96 horas en la remoción del cromo observando que la concentración de cromo en el agua residual sintética disminuye, teniendo en cuenta que, las esferas con pulverizado de naranja y pulverizado de banano adsorben el cromo del agua, porque el pulverizado de naranja contiene pectinas conformada por una secuencia de cadena donde los grupos carboxilos permiten una interacción electrostática a nivel de fuerzas intermoleculares que atrapan al metal pesado y haciendo las veces de ligando para formar compuestos de coordinación. Esta es la razón por la cual permite la adsorción de las moléculas de los iones metálicos y así poder generar la biorremediación que estamos buscando. De igual forma, la lignina posee propiedades similares a la pectina y encontrándose en una mezcla entre las dos sustancias que tienen el pulverizado de naranja y el de banano, se puede decir que esta combinación mejora la propiedad de las esferas para absorber el cromo encontrado en el agua.

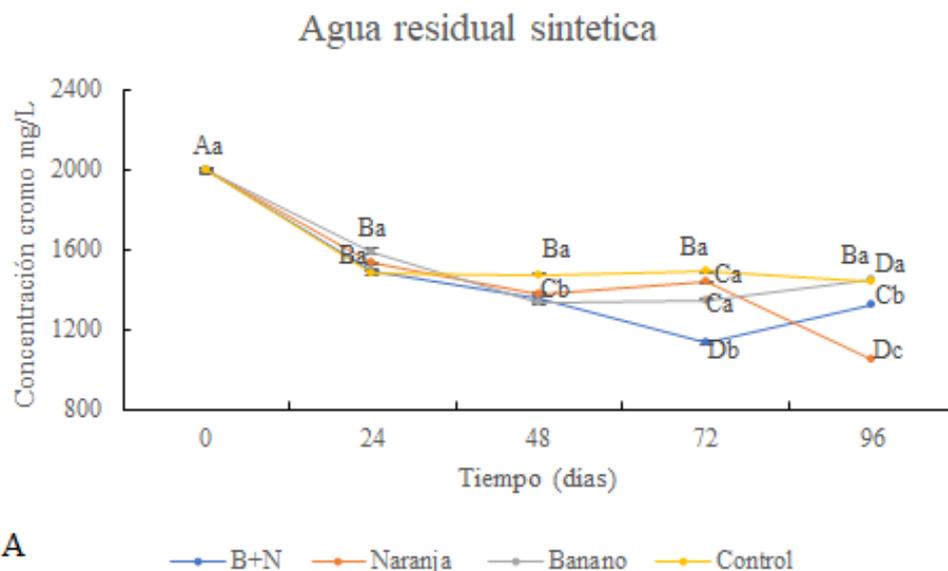
Además, el tratamiento de pulverizado de naranja permaneció constante hasta las 72 horas, luego su concentración de cromo aumenta debido a que posiblemente la esfera se está disolviendo. Por esto es recomendable retirar las esferas de pulverizado de naranja a las 72 horas para evitar la reversibilidad.

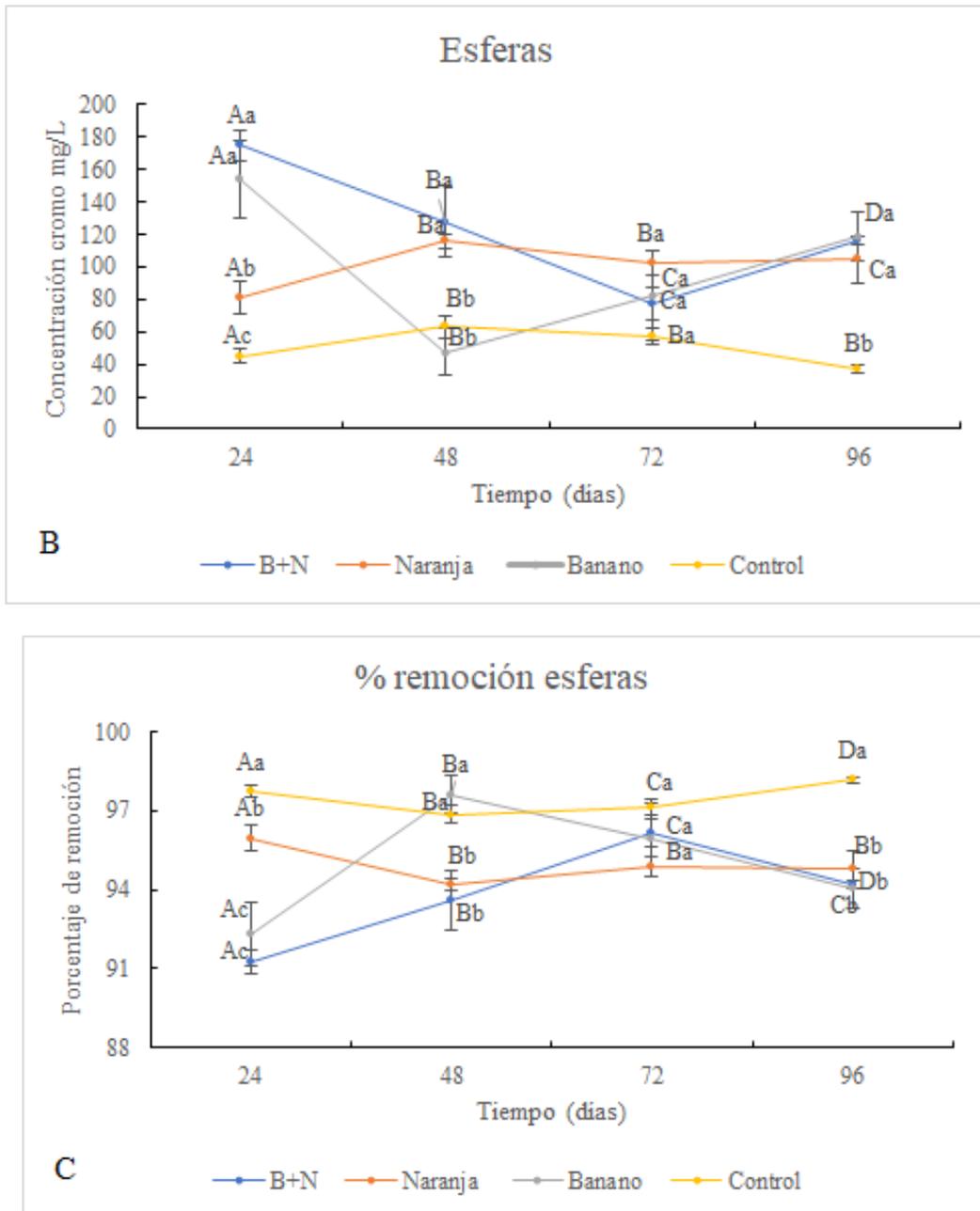
(figura 35b)

El porcentaje más efectivo es el tratamiento de b+n siendo de 98% y se removió un 2% indicando que adsorbe el cromo eficiente hasta las 96 horas, como se mencionó anteriormente, el pulverizado de cáscara de naranja tuvo un aumento en la concentración. (figura 35c)

7.1.3 Análisis de pruebas con pulverizado a 2,0 gramos

Figura 36.A) Concentración del agua residual inicial a 2000 mg/l. B) Pulverizado de 2,0 g de los tratamientos con cromo dentro del tiempo de 0 a 96 horas con error estándar. C) Porcentaje de cromo que aún se encuentra en el agua residual sintética en las esferas. Letras minúsculas representan las diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Letras mayúsculas representan las diferencias estadísticas significativas de todo el tratamiento a lo largo del tiempo.





La concentración de remoción de cromo es más efectiva para el tratamiento b+n a las 72 horas que los otros tratamientos (figura 36) A partir de las 72 horas se evidencia que el pulverizado de naranja sigue removiendo cromo de forma eficaz hasta 96 horas. Además, se analiza que la cantidad de pulverizado más eficiente en las esferas de alginato son las que contienen 1,5 g y 2,0 g en el tratamiento de b+n, sin embargo, para la cantidad de pulverizado de 0,5 g es más efectivo las esferas

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

con pulverizado de naranja, debido a que los cítricos contienen una alta cantidad de pectina conformada por cadenas de grupos carboxilos que atrapan los iones metálicos.

El tratamiento más efectivo es de banano a las 48 horas y el de b+n es más efectivo a las 72 horas para la remoción del cromo en agua residual sintética, (figura 36a). Además, para el pulverizado de naranja se observa que a medida que se aumenta la concentración se gelifica impidiendo que haya una remoción de cromo, por lo tanto, se debe tener en cuenta las cantidades de cada pulverizado inmovilizado para la remoción de cromo, debido a que la concentración de pulverizado va a influir en la adsorción, ya que, a cantidades altas, la remoción del cromo se verá afectada por la agregación parcial entre los sitios de unión activos disponibles (Anwar et al., 2010) (figura 36b). El tratamiento con mayor rendimiento fue el de banano con un porcentaje de 97% teniendo una remoción alrededor de 3% a las 48 horas y el tratamiento de b+n tuvo un porcentaje 96% removiéndolo 4% a las 72 horas. Para el pulverizado de cáscara de naranja tiene un 96% removiéndolo alrededor de 4% a las 24 horas (figura 36b)

En un estudio de Tavera, (2018) en la utilización de partículas ultrafinas a partir de la cáscara de banano para la remoción de cromo hexavalente encontraron que para un pulverizado de 0.0868 gramos de banano lograron una eficiencia de remoción por encima del 70% con un tamaño de partícula entre 0.04 μm hasta los 500 μm en un tiempo de 72 horas, en el caso de nuestro estudio logro una remoción de 94 a 97% en banano con un tamaño de partícula de 300 μm en un tiempo de 96 horas, en las tres concentraciones de pulverizados, siendo más efectivos los inmovilizados en esferas de alginato que solamente el pulverizante con agua residual sintética de cromo. Además, en otro estudio, comparando los resultados obtenidos con los reportados por Pastor (2015) tenían un tamaño de partícula mínimo de 250 μm y obtuvo una eficiencia de 58% para cromo (VI), evidenciando que nuestros resultados fueron más efectivos en cuanto al pulverizado de banano. Por

lo tanto, es importante tener en cuenta las cantidades de pulverizado a utilizar en el experimento para mayor rendimiento de adsorción.

Por otro lado, según los resultados presentados, los inmovilizados con pulverizado más efectivo es el de b+n por esta razón después de pasar el proceso de curtiembres en la extracción de cromo se puede reutilizar este ion metálico de forma amigable con el medio ambiente, utilizando una reducción de cromo por medio de distintos procedimientos como el ácido ascórbico (Vitamina C) de la cáscara de naranja, la corteza de pino o las hojas secas del pino (*Pinus densiflora*) logran una reducción de cromo sin generar residuos tóxicos o contaminación mayor. (Park, 2009) (Park, 2011)

CONCLUSIONES

- Los pulverizados de cáscara de naranja y cáscara de banano inmovilizados por alginato adsorben el cromo en un tiempo de una forma eficaz de 48 h a 96 h.
- El pulverizado más efectivo fue b+n utilizando una cantidad de 1,5 g debido a que el pulverizado de naranja contiene pectinas conformadas por una secuencia de cadena donde los grupos carboxilos permiten una interacción electrostática a nivel de fuerzas intermoleculares que atrapan al metal pesado y haciendo las veces de ligando para formar compuestos de coordinación. Además, el pulverizado de cáscara de banano contiene lignina, que posee propiedades similares a la pectina y encontrándose en una mezcla entre las dos sustancias que tienen el pulverizado de naranja y el de banano, se puede decir que esta combinación mejora la propiedad de las esferas para adsorber el cromo encontrado en el agua.
- El pulverizado que disminuye la concentración de cromo en el agua residual sintética con mayor eficiencia fue el pulverizado de 1,5 g con una efectividad de 600 ppm.

RECOMENDACIONES

- Para estudios futuros se recomienda analizar las esferas de naranja como reductores de cromo debido a la presencia de Ácido ascórbico en la cáscara de la naranja.
- Al momento de realizar las esferas de banano disminuir el rango del tamaño de la partícula para hacer más fácil el proceso de formación.
- Realizar el mismo estudio disminuyendo la cantidad de cromo en el procedimiento.
- Realizar el análisis espectrofotométrico por medio de formación de complejos del cromo con otros ligandos con difenilcarbocida.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, Z., Alikarami, M., Moradi, V., Moradi, F., & Rezaee Nezhad, E. (2013). Adsorptive removal of CO^{2+} and Ni^{2+} by peels of banana from aqueous solution. *Universal Journal of Chemistry*, 1(3), 90–95. <https://doi.org/10.13189/ujc.2013.010303>
- Aguilar Salas, M. B., & Flores Rodriguez, C. P. (2018). *Evaluación de la Cáscara de Naranja (citrus cinensis) como material adsorbente Natural de Ion metálico Cu (II)*. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7105/IQagsamb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Anwar, J., Shafique, U., Zaman, W., Salman, M., Dar, A., & Anwar, S. (2010). Removal of Pb (II) and Cd (II) from water by adsorption on peels of banana. *Bioresource Technology*, 101(6), 1752-1755. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.021>

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

- Arias Patiño, L. C. (2019). *Evaluación de la capacidad de remoción de Cr (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente*. Trabajo de grado, Universidad de la Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1112.
- Asgher, M., & Bhatti, H. N. (2010). Mechanistic and kinetic evaluation of biosorption of reactive azo dyes by free, immobilized and chemically treated *Citrus sinensis* waste biomass. *Ecological Engineering*, 36(12), 1660–1665. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.07.003>
- Aurore, G.S., Parfait, B.G., & Fahrasmane, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science and Technology*, 20, 78-91.
- Bergthaller, W. (1978). Graham, H. D. (edit.): *Food Colloids (lebensmittelkolloide)*. The Avi Publishing Company, Inc., Westport/Connecticut (USA) 1977. 30(5), 177–177. <https://doi.org/10.1002/star.19780300510>
- Borba, F. H., Seibert, D., Pellenz, L., Espinoza-Quiñones, F., Borba, C. E., Módenes, A., & Bergamasco, R. (2018). *Desirability function applied to the optimization of the photoperoxy-electrocoagulation process conditions in the treatment of tannery industrial wastewater: Semantic scholar*. https://www.semanticscholar.org/paper/Desirability-function-applied-to-the-optimization-Borba-Seibert/360dc561b1b63203b127a2b6AR_a18eb9d37c38ad67
- CAR. (2015). Permiso de Vertimientos. Colombia. Gobierno Nacional. <https://www.car.gov.co/vercontenido/1168>
- Cassidy, M.B., Lee, H., & Trevors J.T. (1996) *Environmental applications of immobilized microbial cells: A review*. *J. Ind. Microbiol.*16:79–101.
- Contreras, R.R., & Rojas Pérez, Y. (2018). Ligandos tipo salen química de coordinación. Una breve revisión. *Ciencia e Ingeniería*, vol. 39, núm. 3. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5075/507557607011/507557607011.pdf>

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

- Correa, M. L., Velásquez, J. A., & Quintana, G. C. (2012). *Uncommon crop residues as ni(ii) and CD(II) biosorbents. Industrial & Engineering Chemistry Research*, 120913092325000. <https://doi.org/10.1021/ie301156y>
- Domènech, X., & Peral, J. (2012). *Química ambiental de sistemas terrestres. Reverté* https://books.google.com.co/books?id=HLHfDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Elabbas, S., Ouazzani, N., Mandi, L., Berrekhis, F., Perdicakis, M., Pontvianne, S., Pons, M. N., Lapique, F. & Leclerc, J. P. (2016). *Treatment of highly concentrated tannery wastewater using electrocoagulation: influence of the quality of aluminum used for the electrode. Journal of Hazardous Materials*, 319, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.12.067>
- Eliaz, I., Weil, E., & Wilk, B. (2007). *Integrative medicine and the role of modified citrus pectin/alginate in heavy metal chelation and detoxification--five case reports. Forschende Komplementarmedizin* 14(6), 358–364. <https://doi.org/10.1159/000109829>
- El-Sabbagh, S. H., & Mohamed, O. A. (2011). *Recycling of chrome-tanned leather waste in acrylonitrile butadiene rubber. Journal of Applied Polymer Science*, 121(2), 979-988. <https://doi.org/10.1002/app.33692>
- Figuerola, D., Moreno, A., & Angelina, A. (2015). *Equilibrio, termodinámica y modelos cinéticos en la adsorción de Rojo 40 sobre tuza de maíz. Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(26), 105–120. <https://doi.org/10.22395/rium.v14n26a7>
- Findlay, A. (1979). *Química-física practica de Findlay. Reverté.* https://books.google.com.co/books?id=RUDGFei4e8C&dq=tipos+de+absorcion+quimica&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

- Gadd, G. M. (1988). *Accumulation of metals by microorganisms and algae*. En: *Biotechnology – A Comprehensive Treatise Special Microbial Processes*. H. J. Rehm (ed.). VCH Verlagsgesellschaft. Weinheim. Volume 6 b, pp. 401-433.
- Garces Jaraba, L. E., & Coavas Romero, S. C. (2012). *Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (Citrus sinensis) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales*. Universidad de Cartagena.
- García Barrera, A. V. (2016). *Elaboración a partir de cáscara de plátano o Guineo para eliminar metales pesados en agua contaminada*. Pesquisa. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1223499>
- Hong, G. K.S., Show, G., Zhiqiang, A.K., & Hseih, A.K. (2001). Hard chromium plating from trivalent chromium solution, *Plat. Surf. Finish.*, 88(3) (2001) 69-75.
- Hurtado Vidarte, R.M.K., & Ortiz Robles, L.S. (2018). *Componentes fitoquímicos y capacidad antioxidante de cáscaras de frutas de mayor consumo en el Perú*. Trabajo de grado. Universidad peruana de ciencias aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/622870/Hurtado_vr.pdf?sequence=5
- Izquierdo, J. F., & Izquierdo Torres, J. F. (2004). *Cinética de las Reacciones Químicas*. Google libros. Retrieved. <https://books.google.com.mx/books?id=IdJ03bLyxH4C>
- Kertesz, Z. I. (1951). *The Pectic Substances*. NY: Interscience Publishers, Inc.
- López Corado, L. C., & Villalta Hernández, M. A. (2009). *Propuesta de un método para la elaboración de microesferas matriciales de ácido acetilsalicílico utilizando alginato de sodio por la técnica de gelificación iónica*. Universidad de El Salvador.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

López Farfán, C.T. (2015). *Especiación y determinación de cromo en agua potable mediante el análisis por inyección en flujo con micro columna acoplada (FIA) y detección espectrofotométrica en el ultravioleta-visible (UV-Vis)*. Trabajo de grado. Universidad Santo Tomas de Aquino.

Maridueña Brito, K.A. (2022). *Evaluación comparativa de la pectina obtenida de la cáscara de naranja y del quitosano como recubrimiento comestible para fresas*. Tesis de trabajo de grado, Universidad agraria del ecuador. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BRITO%20MARIDUE%C3%91A%20KAREN%20AL%20EXIA.pdf>

Martínez Covalada, H. J., Peña Marín, Y., & Espinal, G. C. F. (2005). La cadena de cítricos en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13488/44236_56514.pdf?sequence=1

Memon, J. R., Memon, S. Q., Bhangar, M. I., El-Turki, A., Hallam, K. R., & Allen, G. C. (2009). Banana peel: a green and economical sorbent for the selective removal of Cr (VI) from industrial wastewater. *Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces*, 70(2), 232–237. https://www.academia.edu/549341/Banana_peel_a_green_and_economical_sorbent_for_the_selective_removal_of_Cr_VI_from_industrial_wastewater

Méndez Pampín, R., Vidal Sáez, G., Lorber, K.E., & Márquez Romegialli, F. (2007). Producción limpia en la industria de curtiembre. USC. Universidad de Santiago de Compostela. <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/produccion-limpia-en-la-industria-de-curtiembre.pdf>

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

- Miceli-Garcia, L. G. (2014). *Pectin from apple pomace: Extraction, characterization, and utilization in encapsulating alpha-tocopherol acetate*. MS Thesis, University of Nebraska-Lincoln. <https://digitalcommons.unl.edu/foodscidiss/40/>
- Minagricultura.(2020).*Cadenadeplátano*.<https://sioc.minagricultura.gov.co/Banano/Documentos/2020-12-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Muñoz Carpio, J. C. (2007). *Biosorción de plomo (III) por cáscara de naranja “Citrus sinensis” pretratada*. Trabajo de grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú.
- Noreña Triana, M. E. (2020). *Cadena de cítricos*. Minagricultura. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Citricos/Documentos/2020-0330%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ortiz, E.N., Carmona, C.J., (2015). Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá). *Scielo*. Universidad de Caldas. DOI:10.17151/luaz.2015.40.9
- Park, D., Kyu Ahn, C., Mi Kim, Y., Yun, Y.S., & Moon Park, J. (2009) Enhanced abiotic reduction of Cr (VI) in a soil slurry system by natural biomaterial addition. *Journal of hazardous materials*. 160(2-3), 422–427. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.03.044
- Park, D., Lee, D., Yung, Y., & Park, J. (2011) Optimum condition for the removal of Cr (VI) or total Cr using dried leaves of *Pinus densiflora*. *Elsevier*, 271 309-314 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.12.053>
- Pastor, C., & Bismark V. (2015). *Uso de la cáscara de banano (musa paradisiaca) maduro deshidratado (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas*. masterThesis. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8641>

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

- Pehlivan, E., & Altun T. (2008). Biosorption of chromium (VI) ion from aqueous solutions using walnut, hazelnut and almond shell. *Journal of Hazardous Materials* 155. pp. 378–384. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.11.071
- Salvador Perez, A., Palou Vall, L., Marreiros Duarte, M. A., Nunes, C., Pássaro Carvalho .C. P., Cardona, C., Aguilar Niño, P.F., Osorio Durango, E.J., Londoño Londoño, J.A., Garcés Giraldo, L.F., & Jaramillo Zapara, M.M. (2012). Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización. *Artes y Letras S.A.S.* <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/452/1/citricos.pdf>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2017). *Guía de producción más limpia para el sector de curtiembres de Bogotá. Enfoque de vertimientos y residuos.* Secretaría Distrital de Ambiente. https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=2891
- Tavera Camacho, M. F. (2018). *Síntesis de partículas ultrafinas a partir de lacáscara de banano para la remoción de cromo hexavalente.* <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/39162/u821035.pdf?sequence=1>
- Tejada Tovar, C., Herrera A., & Núñez Zaru, J. (2016). Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 169–178. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.126>
- Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, Á., Garcés Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Torres, C., & Patricia, D. (2019). *Fitoestabilización de cromo hexavalente por acacia melanoxylon; una estrategia para el tratamiento de suelos contaminados.* Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Inmovilización del pulverizado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

y pulverizado de cáscara de banano (*M. paradisiaca*) en la

bioadsorción de cromo

Angélica María Velásquez Español

Valencia, A. S. (2009). *Remojo de pieles mediante vacío*. Trabajo de grado maestría CIATEC.

<http://ciatec.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1019/109>

Vian Ortuño. Á. (1980). *Introducción a la química industrial*. Alhambra.

Wang, J., & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology advances*, vol. 27, pp. 195-226.

<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.002>

Ysambertt, F., Delgado, N., González, T., Bravo, B., Chávez, G., Márquez, N., & Infante, M.

(2009). Reacciones de esterificación-sulfonación asistidas por microondas de ligninas kraft:

Influencia de los cambios estructurales sobre la tensión superficial. *Ciencia*, 17(3), 255–265