



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS SISTEMAS DE FILTRADO A
BASE DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE HUEVO Y NARANJA
PARA LA RETENCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE (Cr^{+6}) DE
SOLUCIONES ACUOSAS**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: GÉNESIS ABIGAIL CALVACHE DÍAZ

DIRECTORA: Ing. LOURDES CUMANDÁ CARRERA BELTRÁN Mst.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Génesis Abigail Calvache Díaz

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, GÉNESIS ABIGAIL CALVACHE DÍAZ, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de marzo de 2022

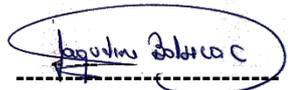
A handwritten signature in blue ink that reads "Abigail Díaz". The signature is stylized with a large, sweeping initial 'A' and a long horizontal stroke extending to the right.

Génesis Abigail Calvache Díaz

C.I. 100459473-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico **ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS SISTEMAS DE FILTRADO A BASE DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE HUEVO Y NARANJA PARA LA RETENCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE (Cr⁺⁶)**, realizado por la señorita: **GÉNESIS ABIGAIL CALVACHE DÍAZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|---|---|--------------|
| Dra. Jacqueline Elizabeth Balseca Carrera, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  ----- | 2022-03-24 |
| Ing. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán, Mst. DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN |  ----- | 2022-03-24 |
| Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes, Msc. MIEMBRO DE TRIBUNAL |  ----- | 2022-03-24 |

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres Magdalena Díaz y René Calvache, porque a pesar de las dificultades de la vida siempre me enseñaron a salir adelante y a no rendirme. No habría llegado a donde estoy sin su apoyo incondicional en todos los ámbitos.

A mis hermanas Lady y Nahomi, que han sido esenciales en cada paso de esta hermosa etapa de mi vida, por darme el regalo de ser tía de tan hermosos sobrinos quienes son la luz de mi vida.

Desde el fondo de mi corazón a toda mi familia por haberme hecho una mejor persona con sus consejos y palabras de aliento y por acompañarme de una forma u otra en todos mis sueños y metas.

Al amor de mi vida, Juan Carlos Sasintuña por darme todo su cariño, comprensión y apoyo incondicional, mil gracias por estar presente en todo momento y sobre todo por motivarme a crecer cada día más.

Gracias desde el fondo de mi corazón.

Génesis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todo lo que tengo y por todo lo que soy, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis amados padres Magdalena y René por ser los principales promotores de mis sueños quienes con mucho esfuerzo y sacrificios me dieron la oportunidad de cumplir una de las metas más importantes de mi vida; a pesar de la distancia, siempre sentí su mano protectora y su voz de aliento y respaldo, siempre los he sentido aquí a mi lado.

A mis hermanas, por ser mis fieles compañeras a lo largo de la vida, por ser las impulsoras de mis sueños y locuras. A pesar de la lejanía siempre las llevo en mi corazón, no puedo dejar pasar esta oportunidad sin decirles que estoy orgullosa de ustedes y que las amo con todo mi corazón, gracias a ustedes estoy donde estoy.

Le quiero dar las gracias muy especialmente a Juan Carlos por estar siempre a mi lado en todo momento y ser mi compañero inseparable, por su apoyo absoluto e ilimitado en todo lo que conlleva convivir y compartir una estadía lejos de casa. Muchísimas gracias por sus consejos y paciencia.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, principalmente a la Escuela de Ciencias Químicas, por todo el aprendizaje y experiencia profesional y humana que deja en mi vida, es y será un orgullo siempre llevar su nombre.

A mi directora de tesis la Dra. Cumandá Carrera, por ser una gran maestra, amiga y persona, y haberme brindado sus conocimientos y tiempo para poder realizar este trabajo de titulación. Al Ing. Paul Palmay por su colaboración, paciencia, amabilidad en mi proyecto de tesis.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos Diana Vasco, Evelyn Vasco, Jean Mecías, gracias por todos los momentos compartidos y por su apoyo en tiempos difíciles, siempre los llevaré en mi corazón y espero tener la dicha de siempre contar con su amistad.

Génesis

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|-------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | x |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xi |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xii |
| RESUMEN..... | xiii |
| SUMMARY..... | xiv |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|---|----------|
| 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.1. Antecedentes..... | 2 |
| 1.2. Justificación..... | 2 |
| 1.3. Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1. <i>Objetivo General</i>..... | 3 |
| 1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>..... | 3 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|-----------|
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 4 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación..... | 4 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 5 |
| 2.2.1. <i>Cromo</i>..... | 5 |
| 2.2.1.1. <i>Generalidades</i>..... | 5 |
| 2.2.1.2. <i>Propiedades</i>..... | 5 |
| 2.2.1.3. <i>Aplicaciones</i>..... | 6 |
| 2.2.2. <i>Cromo Hexavalente</i>..... | 7 |
| 2.2.2.1. <i>Efecto en la salud y ambiente</i>..... | 7 |
| 2.2.2.2. <i>Problemas de cromo en el Ecuador</i>..... | 8 |
| 2.2.2.3. <i>Límites máximos permisibles de cromo hexavalente</i>..... | 9 |
| 2.2.3. <i>Tratamientos de aguas contaminadas con cromo hexavalente</i>..... | 9 |
| 2.2.3.1. <i>Tratamientos convencionales</i>..... | 9 |
| 2.2.3.1. <i>Tratamientos alternativos o no convencionales</i>..... | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.2.4. Biosorbente | 15 |
| 2.2.4.1. <i>Cáscara de huevo como biosorbente</i> | 15 |
| 2.2.4.2. <i>Cáscara de naranja como biosorbente</i> | 17 |
| 2.2.4.3. <i>Regeneración y reutilización de biosorbente</i> | 19 |
| 2.2.5. Filtración | 19 |
| 2.2.5.1. <i>Tipos de filtración</i> | 19 |
| 2.2.5.2. <i>Mecanismos</i> | 20 |
| 2.2.5.3. <i>Variables del proceso de filtración</i> | 23 |

CAPÍTULO III

| | |
|--|----|
| 3. MARCO METODOLÓGICO | 24 |
| 3.1. Tipo de investigación | 24 |
| 3.2. Diseño del estudio | 24 |
| 3.2.1. <i>Factores y combinaciones</i> | 24 |
| 3.3. Identificación de variables | 25 |
| 3.3.1. <i>Variable dependiente</i> | 25 |
| 3.3.2. <i>Variable independiente</i> | 25 |
| 3.3.3. <i>Variables intervinientes</i> | 25 |
| 3.4. Localización | 25 |
| 3.5. Población de estudio y/o muestra | 26 |
| 3.6. Análisis estadístico | 26 |
| 3.7. Ingeniería del proceso | 27 |
| 3.8. Materiales, reactivos y equipos | 27 |
| 3.9. Etapas de la investigación | 29 |
| 3.9.1. <i>Preparación del biomaterial</i> | 29 |
| 3.9.1.1. <i>Cáscara de huevo</i> | 29 |
| 3.9.1.2. <i>Cáscara de naranja</i> | 30 |
| 3.9.2. <i>Caracterización fisicoquímica de los biomateriales</i> | 31 |
| 3.9.2.1. <i>Determinación del pH y conductividad eléctrica</i> | 31 |
| 3.9.2.2. <i>Determinación del porcentaje de humedad</i> | 31 |
| 3.9.3. <i>Preparación de soluciones acuosas de cromo hexavalente</i> | 32 |
| 3.9.3.1. <i>Soluciones de K₂Cr₂O₇</i> | 32 |
| 3.9.3.2. <i>Curva de calibración de Cr (VI)</i> | 33 |
| 3.9.4. <i>Caracterización del agua no tratada y tratada</i> | 35 |
| 3.9.5. <i>Elaboración de los filtros</i> | 35 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.9.5.1. | <i>Estructura del filtro</i> | 35 |
| 3.9.5.2. | <i>Material filtrante</i> | 36 |
| 3.9.5.3. | <i>Proceso de filtración</i> | 36 |
| 3.9.6. | <i>Eficiencia de la filtración</i> | 37 |
| 3.9.6.1. | <i>Porcentaje de remoción</i> | 37 |
| 3.9.7. | <i>Estudio comparativo de los dos sistemas de filtración</i> | 38 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|--------|---|----|
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 39 |
| 4.1. | Caracterización de los biomateriales | 39 |
| 4.2. | Caracterización de las soluciones sintéticas | 39 |
| 4.3. | Elaboración de filtros | 40 |
| 4.4. | Caracterización del agua tratada | 41 |
| 4.4.1. | <i>Agua tratada con filtro a base de cáscara de huevo</i> | 41 |
| 4.4.2. | <i>Agua tratada con filtro a base de cáscara de naranja</i> | 42 |
| 4.5. | Eficiencia del filtrado | 44 |
| 4.5.1. | <i>Filtración con cáscara de huevo</i> | 45 |
| 4.5.2. | <i>Filtración con cáscara de naranja</i> | 46 |
| 4.6. | Estudio comparativo entre los sistemas de filtrado | 46 |

| | | |
|--------------|-------|----|
| CONCLUSIONES | | 49 |
|--------------|-------|----|

| | | |
|-----------------|-------|----|
| RECOMENDACIONES | | 50 |
|-----------------|-------|----|

BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tabla 1-2: | Propiedades del cromo | 6 |
| Tabla 2-2: | Aplicaciones del cromo | 6 |
| Tabla 3-2: | Límites máximos permisibles en la calidad del agua | 9 |
| Tabla 4-2: | Composición de la cáscara de naranja | 18 |
| Tabla 1-3: | Factores, niveles y combinaciones de tratamientos | 25 |
| Tabla 2-3: | Ubicación geográfica del estudio | 26 |
| Tabla 5-3: | Materiales, equipos y reactivos | 28 |
| Tabla 6-3: | Volumen de solución madre para cada concentración | 33 |
| Tabla 7-3: | Volumen de solución madre para obtener la curva de calibración | 33 |
| Tabla 8-3: | Determinación de curva de calibración | 34 |
| Tabla 1-4: | Caracterización fisicoquímica del biomaterial | 39 |
| Tabla 2-4: | Caracterización de las soluciones acuosas..... | 39 |
| Tabla 3-4: | Medidas de los filtros | 40 |
| Tabla 4-4: | Caracterización del agua tratada (cáscara de huevo)..... | 41 |
| Tabla 5-4: | Caracterización del agua tratada (cáscara de naranja)..... | 42 |
| Tabla 6-4: | Media de los datos recolectados | 44 |
| Tabla 7-4: | Porcentaje de remoción utilizando cáscara de huevo | 45 |
| Tabla 8-4: | Porcentaje de remoción utilizando cáscara de naranja | 46 |
| Tabla 9-4: | Comparación del porcentaje de remoción | 47 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figura 1-2. | Bioacumulación de iones metálicos | 14 |
| Figura 2-2. | Bioadsorción de iones metálicos | 15 |
| Figura 3-2. | Estructura de la cáscara de huevo..... | 16 |
| Figura 4-2. | Diferentes mecanismos que pueden realizar transporte | 21 |
| Figura 5-2. | Trayectoria de la partícula atraída por las fuerzas de Van der Waals | 22 |
| Figura 1-3. | Trituración de la cáscara de huevo | 30 |
| Figura 2-3. | Lavado del material biosorbente | 30 |
| Figura 3-3. | Muestra de naranja triturada y seca..... | 31 |
| Figura 4-3. | Caracterización de los biomateriales..... | 32 |
| Figura 5-3. | Preparación la solución madre de dicromato de potasio | 32 |
| Figura 6-3. | Estándares de la curva de calibración..... | 34 |
| Figura 7-3. | Curva de calibración..... | 35 |
| Figura 8-3. | Sistema de filtración..... | 36 |
| Figura 9-3. | Adición de la muestra al sistema de filtración | 37 |
| Figura 1-4. | Agua filtrada a través de la cáscara de huevo | 43 |
| Figura 2-4. | Agua filtrada a través de la cáscara de naranja..... | 44 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|---------------------|---|----|
| Gráfico 1-2. | Esquema del proceso de biosorción..... | 13 |
| Gráfico 1-3. | Diagrama del estudio | 27 |
| Gráfico 1-4. | Características iniciales vs finales (cáscara de huevo) | 41 |
| Gráfico 2-4. | Características iniciales vs finales (cáscara de naranja) | 42 |
| Gráfico 3-4. | Comparación filtro de huevo vs filtro de naranja | 47 |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN DE LOS BIOMATERIALES

ANEXO B: ELABORACIÓN DE LAS SOLUCIONES ACUOSAS

ANEXO C: PROCESO DE FILTRACIÓN

ANEXO D: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS TRAS LA FILTRACIÓN
CON CÁSCARA DE HUEVO

ANEXO E: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS TRAS LA FILTRACIÓN
CON CÁSCARA DE NARANJA

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo realizar un estudio comparativo de la retención de cromo hexavalente en agua sintética utilizando un filtro a base de residuos orgánicos de cáscara de huevo y otro de cáscara de naranja. Cada filtro se elaboró en un envase de PVC con una altura de 18cm y un diámetro de 10cm, donde se colocaron dos capas de medio filtrante granular (grava y arena) y una capa de 100g del biomaterial. Para determinar el grado de eliminación, se analizó la concentración inicial de solución de cromo y el tipo de biosorbente; manteniéndose constante el pH neutro (7-7,5) y tiempo de contacto de 120 min. La cuantificación de cromo hexavalente se realizó mediante espectrometría de absorción ultravioleta visible a una longitud de onda de 540nm. Los análisis demostraron que las tasas de retención más efectivas fueron con piel de naranja, con valores de 81,33%, 92,50%, 93,20% y 96,04% a concentraciones de 0,6; 0,8; 1 y 1,5 ppm respectivamente; a diferencia del filtro con cáscara de huevo, donde se retiene un 46%, 47,75%, 55,90% y 56,06% a las mismas concentraciones de cromo hexavalente anteriormente mencionadas. Por los resultados indicados se concluye que los filtros de cáscara de naranja son más eficientes y, gracias a la reutilización de residuos, son baratos y respetuosos con el medio ambiente. Se recomiendan más estudios experimentales de estos biomateriales para encontrar el método adecuado para una mejor eficiencia en la eliminación de cromo hexavalente y otros metales.

Palabras clave: <FILTROS>, <CROMO HEXAVALENTE>, <RETENCIÓN>, <BIOSORBENTE>, < CÁSCARA DE HUEVO Y NARANJA >.



0610-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

The aim of this project was to carry out a comparative study of the hexavalent chromium retention in synthetic water using an eggshell organic waste-based filter and another orange peel-based filter. Each filter was built in a PVC container with a height of 18cm and a diameter of 10cm, where two layers of granular filtering media (gravel and sand) as well as a 100g layer of biomaterial were placed. To determine the elimination level, the initial concentration of chromium solution and the type of biosorbent were analyzed, keeping a constant neutral pH (7-7.5) and a contact time of 120 min. The quantification of hexavalent chromium was performed through ultraviolet visible absorption spectrometry at a wavelength of 540 nm. The analyses revealed that the most effective retention rates reflected the orange peel filter, with values of 81.33%, 92.50%, 93.20% and 96.04% at concentrations of 0.6, 0.8, 1 and 1.5 ppm, respectively; in contrast to the eggshell filter, where 46%, 47.75%, 55.90% and 56.06% were retained at the same concentrations of hexavalent chromium as mentioned above. From the results, it is concluded that orange peel filters are more efficient because they reuse waste; thus, they are cheaper and environmentally friendly. Further experimental studies of these biomaterials are recommended in order to find the most appropriate method that allows obtaining better efficiency in the removal of hexavalent chromium and other metals.

Keywords: <FILTERS>, <HEXAVALENT CHROMIUM>, <RETENTION>, <BIOSORBENT>, <EGG SHELL AND ORANGE PEEL>.



Firmado electrónicamente por:
**PAUL ROLANDO
ARMAS PESANTEZ**

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas que utilizan el agua en las industrias generan aguas residuales, el volumen y el grado de contaminación aumenta constantemente en todo el mundo. En varios países, la mayor parte de las aguas residuales se descargan directamente al medio ambiente sin un tratamiento adecuado, lo que genera efectos negativos en la salud humana, la productividad económica, la calidad del agua y los ecosistemas (ONU, 2017, p. 1).

Los metales pesados en estas aguas residuales son de primera importancia por su toxicidad y persistencia en el medio ambiente. Entre estos metales, el cromo es uno de los más tóxicos y difíciles de reducir (Tejada et al., 2014, p. 113-115). En los últimos años se han utilizado diversos métodos para la remoción de metales pesados contenidos en diversos cuerpos de agua, tales como: tratamiento electroquímico, intercambio iónico, filtración por membrana, precipitación química, adsorción sobre carbón activado, oxidación o reducción, entre otros, siendo en muchos casos el costo es alto y poco eficientes, por lo que es fundamental buscar una solución económicamente viable a este problema.

El uso de filtros a base de biomateriales para tratar pequeñas cantidades de contaminación es una buena alternativa debido a que la relación costo-beneficio es muy alta en comparación con los métodos tradicionales. Materiales como la cáscara de huevo y la piel de naranja han demostrado ser muy eficientes en la retención de cromo hexavalente debido a su alta porosidad y a los grupos funcionales (carbonilo, carboxilo, hidroxilo, fosfatos) en su composición, lo que permite una gran retención de este metal.

El objeto del presente trabajo es conocer cuál de estos dos tipos de residuos orgánicos (cáscara de huevo y cáscara de naranja) al ser utilizado como medio filtrante tiene un mayor porcentaje de retención de cromo hexavalente presente en soluciones, para de esta manera aportar a los estudios enfocados en encontrar una solución de bajo costo para el tratamiento de las aguas residuales de las diferentes industrias.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Debido a sus propiedades químicas únicas, el cromo hexavalente se ha utilizado en una amplia gama de productos a lo largo del tiempo, actualmente se utiliza en las siguientes áreas: galvanización, aleaciones, curtiembre y teñido de textiles. La influencia del cromo en el ambiente depende del estado de oxidación, entre los cuales la forma trivalente del Cr (III) y hexavalente del Cr (VI) son las más estables, siendo esta última la más tóxica por su alta solubilidad en agua, alto grado de oxidación y la capacidad de atravesar membranas biológicas, dando lugar a cambios en el genoma (Guerrero et al., 2017, p. 103).

Los cuerpos de agua contaminados por cromo hexavalente se tratan principalmente con tecnología de precipitación y reducción química; sin embargo, estos métodos son ineficaces, peligrosos y producen grandes cantidades de lodos químicos tóxicos que son difíciles de manipular, tratar y eliminar. En cambio, la adsorción de carbón activado, el intercambio iónico, la evaporación a la misma corriente, la ósmosis inversa y otras tecnologías de tratamiento no convencionales tienen costos de inversión y operación altos para la mayoría de las empresas, por lo que su uso es muy limitado (Netzahuatl-Muñoz et al., 2010, pp. 3-8).

Actualmente se generan grandes cantidades de residuos sólidos a nivel nacional e internacional que no son 100% reutilizados. En Ecuador, el 56,66% de los residuos se depositan en botaderos y rellenos sanitarios, y solo un 43,34% se usa para compostaje y alimentación animal (INEC, 2017, p. 7). Según la información declarada por los GADM, el 50,5% de los municipios desechan los residuos sólidos urbanos a rellenos sanitarios, el 31,4% a celdas emergentes y el 18,2% a botaderos (INEC, 2020, p. 16). Un procedimiento inadecuado de estos residuos puede llegar a modificar la composición del suelo y el agua, ocasionando inconvenientes económicos, ambientales y sociales.

1.2. Justificación

Ecuador ha establecido estándares de calidad ambiental para los recursos hídricos en el TULSMA, LIBRO VI ANEXO 1 (2003, p. 326) especificando un límite máximo permisible de 0,5 mg / L para cromo hexavalente vertido a aguas superficiales o alcantarillado, por lo que es importante proponer alternativas amigables con el medio ambiente y económicamente viables que permitan a la industria cumplir con lo establecido en la ley.

A nivel mundial se han desarrollado diversas tecnologías de reducción y estabilización del Cr (VI), basadas en la conversión del cromo de un estado de oxidación al de reducción. El método más utilizado hoy en día para la eliminación de cromo hexavalente es la reducción mediante la adición de un agente reductor, seguido de la precipitación del metal en forma de Cr (OH) por la acción de una solución básica, generalmente cal. Pero, estos métodos tienen desventajas tales como alto costo, baja eficiencia, generación de desechos tóxicos u otros que requieren eliminación e implican complejidad operativa (Cárdenas et al., 2011, p. 44).

Debido a esta problemática ambiental y económica se propone una comparativa de dos sistemas de filtrado a base de cáscara naranja y cáscara de huevo con el fin de analizar la retención de cromo hexavalente de agua sintética y de esta forma ayudar a la investigación sobre la efectividad de nuevos procesos en el tratamiento de aguas para el desarrollo ecológico y económico de la población.

Además, el estudio está en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en particular el objetivo 6, su meta es garantizar el acceso al agua, la gestión sostenible y el saneamiento para todos, y sus objetivos clave para 2030 son mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando las inundaciones y reduciendo las emisiones globales de productos y materiales químicos peligrosos (ONU, 2015).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar un estudio comparativo de retención de cromo hexavalente (Cr^{+6}) en soluciones acuosas entre dos sistemas experimentales de filtración a base de residuos orgánicos de huevo y naranja.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Definir las concentraciones de cromo hexavalente a ser añadidas en los sistemas de filtrado.
- Elaborar dos sistemas de filtración a escala de laboratorio, uno para cada tipo de residuo orgánico para la retención de cromo hexavalente.
- Cuantificar las concentraciones de cromo hexavalente tras la filtración en cada unidad experimental mediante espectrometría UV-Vis.
- Determinar el filtro más eficiente en la retención de cromo hexavalente comparando los resultados estadísticos.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes de la investigación

Las liberaciones incontroladas de cromo al medio ambiente ocurren principalmente porque la mayoría de los sistemas de recolección de aguas residuales no permiten la separación de las aguas residuales municipales e industriales, por lo que las aguas residuales de las áreas urbanas con las industriales siempre se mezclan. Las tasas promedio de eliminación de cromo (y otros metales) de los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales municipales (tratamiento primario + tratamiento secundario) están lejos de considerarse eficientes (US, EPA, 1992; citado en Arauzo et al., 2003, p. 86).

Exorbitantes cantidades de desechos orgánicos son producidos diariamente en distintas formas tales como, desechos de restaurante, parques y jardines, desechos de granja, mercados municipales, etc., (Altamirano y Cabrera, 2006, p. 76). A nivel internacional existe la responsabilidad de reciclar estos residuos orgánicos.

Debido a esta problemática las ciencias de la ingeniería llevan varios años buscando y desarrollando proyectos que implementen el uso de biomasa inactiva de origen orgánico para la eliminación de metales pesados en los recursos hídricos, ya que son eficientes, autónomos y económicamente viables.

Estudios ejecutados en el campo investigativo han demostrado la capacidad de remoción de metales pesados a partir de cáscaras de naranja, tal es el caso de la investigación realizada por Pinzón-Bedoya y Cardona (2010, p. 3) declaran que “La cáscara de naranja es un excelente material adsorbente de iones de cromo (III) presentes en disolución líquida, hasta el punto de llegar a una remoción de 62,52 %”; de igual forma Montero (2007; citado en Cardona et al., 2013, p. 3) usando cáscaras de naranja previamente secadas evaluó un sistema continuo para remover Cr(VI) de soluciones acuosas, para lo cual construyó una columna de 16 cm con 4 g de biosorbente seco y 250 ml de Cr (VI) y lograron una absorción máxima de 6,188 mg/kg, y la tasa de eliminación fue de aproximadamente 97,07%.

Por otro lado, el estudio “Extracción de cromo a partir de efluentes de curtidos utilizando cáscara de huevo como adsorbente” de (Rajendran y Mansiya, 2011, pp. 44-45) evidencia que la cáscara de huevo es apta para la absorción de metales ya que existió una remoción máxima de 49 % de cromo. Además, la investigación realizada por Makuchowska (2019, pp. 165-166) demostró que las cáscaras de huevo de gallina pueden utilizarse con éxito como sustituto de la arcilla caliza en la eliminación de metales pesados de las aguas residuales en los gases de combustión húmedos, instalaciones de

desulfuración, esto es de considerable importancia, ya que las cáscaras se han tratado hasta ahora como un producto de desecho.

Fabara (2017, p. 49) examinó la cáscara de naranja como medio filtrante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de un matadero de aves y concluyó que el filtro puede ser utilizado como sistema para la retención de contaminantes, previo un tratamiento del material y cumpliendo un mantenimiento adecuado para asegurar la mayor eficiencia y vida útil del material.

Peña (2021) señaló la construcción de un filtro con catorce costales de cáscaras de huevo y cuatro toneladas de cal, el cual fue colocado en uno de los pozos del río Lerma para absorber los metales pesados y el arsénico acumulado por el excedente de material orgánico y la falta de tratamiento del agua; los resultados se atribuyen a que el cascarón de huevo presenta pequeños orificios, que, al ser colocados en el agua, los contaminantes se quedan retenidos en esos espacios y esto ayuda a limpiar y filtrar el río.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cromo

2.2.1.1. Generalidades

El óxido de cromo fue descubierto en 1761 por Johann Gottlob Lehmann, quien descubrió un mineral de color rojo anaranjado al que llamó "plomo". Este material es la cromita ($PbCrO_4$), que se cree que es plomo que contiene selenio y hierro. En 1797, Louis Nicolás Vauquelin pudo producir óxido de cromo mezclando cromita con ácido clorhídrico (HCL). En 1798, descubrió que al calentar óxido de cromo en un horno de carbón puede separar el cromo metálico (Harold, 2010; citado en Rincón, 2018, p. 3).

2.2.1.2. Propiedades

El cromo es un elemento químico, se encuentra en el grupo VI de la tabla periódica, su símbolo es Cr. Es un elemento común y ocupa el puesto 21 entre los elementos de la corteza terrestre en abundancia, es muy resistente a corrosión y tiene el valor más alto de +6, aunque estos compuestos son altamente oxidantes. Los estados de oxidación + 4 y + 5 son raros, mientras que los estados más estables son + 2 y + 3 (García, 2014, pp. 6-7).

Tabla 1-2: Propiedades del cromo

| | |
|--|--|
| Grupo | 6 |
| Número atómico | 24 |
| Símbolo químico | Cr |
| Estado de la materia | Sólido |
| Masa atómica relativa (<i>g</i>) | 51,996 |
| Densidad a 20°C ($\frac{g}{cm^3}$) | 7,19 |
| Punto de ebullición °C | 2672 |
| Punto de fusión °C | 1857 |
| Presión a vapor a 844 °C | 10^{-6} Pa |
| Solubilidad | Soluble en ácido sulfúrico y ácido clorhídricos diluidos |

Fuente: Lenntech, 2013.

Realizado por: Calvache, Génesis, 2021.

2.2.1.3. Aplicaciones

El cromo jamás se encuentra en estado libre en la naturaleza, sin embargo, sus compuestos son bastante diseminados, se hallan en las rocas, animales, plantas, suelo, polvos y gases volcánicos. El cromo está presente en el medio ambiente en diversos compuestos (Guerra y Meléndez, 2009, p. 31), sus compuestos tienen varios usos en la industria como se señala en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Aplicaciones del cromo

| Tipo de compuestos | Usos |
|---------------------------|-------------------------------|
| Ácido crómico | Galvanoplastia |
| Dicromato sódico | Curtido de pieles |
| Trifluoruro de cromo | Mordiente para teñidos |
| Sulfato crómico | Colorante de gemas sintéticas |
| Fluoruro de cromo | Tinción de telas |
| Dicromato de sodio | Mordiente |
| Acetato de cromo | Estampados de textiles |
| Ion trivalente Cr^{3+} | Colorante de vidrio |
| Ion hexavalente Cr^{6+} | |

Fuente: Guevara, 2010.

Realizado por: Calvache, Génesis, 2021.

De la tabla anterior los vertimientos con mayor preocupación se encuentran en la industria de galvanoplastia las cuales descargan Cr (VI) en sus aguas residuales. También, la industria de textiles, el curtido de pieles y la industria de pigmentos pueden verter cromo trivalente y hexavalente a los acuíferos (Guevara, 2010, p. 8).

2.2.2. Cromo Hexavalente

El cromo hexavalente se refiere a un compuesto que contiene un componente de cromo en un estado de oxidación de 6. Esencialmente, todo el mineral de cromo se procesa con cromo (VI), especialmente la sal de dicromato de sodio. El trióxido de cromo, varios cromatos y dicromatos son compuestos de cromo hexavalente (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2012, p. 1).

2.2.2.1. Efecto en la salud y ambiente

a) Efectos sobre la salud

El cromo hexavalente y el cromo trivalente son desnaturalizantes de proteínas y precipitantes de ácidos nucleicos; además, el efecto cancerígeno de los cromatos en los pulmones y el sistema digestivo es considerable (Quer-Brossa, 1983; citado en García, et al., 2019, p. 33).

El cromo hexavalente es un potente oxidante de sustancias orgánicas y peligroso para los organismos vivos y la salud humana. El ácido crómico y los cromatos pueden causar una intoxicación aguda e involuntaria del tracto digestivo. La infección por ingestión aguda causa mareos, sed intensa, dolor abdominal, vómitos, shock y oliguria o anuria. La muerte ocurre por uremia (García, et al., 2019, p. 33).

La inhalación prolongada de vapores de cromo causa ulceración indolora, sangrado y perforación del tabique nasal, acompañada de secreción nasal perezosa, conjuntivitis, lagrimeo y hepatitis aguda con ictericia. Los datos de laboratorio indican que las personas que superan el valor máximo permitido experimentan hematuria y proteinuria, así como deterioro de la función hepatocelular; también que el cromo y los cromatos son irritantes y destructores de todas las células del cuerpo (García, et al., 2019, p. 33).

b) Efectos ambientales

✓ Agua:

En los sistemas acuáticos, la toxicidad de los compuestos solubles de cromo varía dependiendo de la temperatura, pH y la dureza del agua, así como de los organismos que viven en ellos. Los

compuestos de cromo (VI) son solubles, pero en condiciones naturales y en presencia de compuestos orgánicos oxidantes, se reducen rápidamente a compuestos de cromo (III) más estables, que son menos solubles en agua (Páez, 2004; citado en Medina, 2010, p. 13).

✓ **Suelo:**

La movilidad del cromo en la pedosfera sólo puede evaluarse teniendo en cuenta la capacidad de absorción y degradación de suelos y sedimentos. El hidróxido de cromo (III) que ha sido absorbido es difícil de movilizar nuevamente porque la oxidación de compuestos de cromo (III) a compuestos de cromo (VI) prácticamente no tiene lugar en la naturaleza (Tapia, 2006, p. 42).

El cromo (VI) es tóxico incluso en concentraciones relativamente bajas, por lo que el valor del pH del suelo es un factor importante en el uso de fertilizantes ligados aumenta la entrada de cromo al suelo (Tapia, 2006, p. 42).

Las altas concentraciones de cromo en las plantas tienen la posibilidad de transformar la fotosíntesis ya que altera la fijación del dióxido de carbono (CO₂) y procesos enzimáticos, no obstante, todavía no se conoce a ciencia cierta hasta qué punto puede influir en los aspectos anteriormente indicados (Páez, 2004; citado en Medina, 2010, p. 13).

✓ **Cadena alimentaria:**

Los compuestos de cromo (III) ingeridos con los alimentos son relativamente inofensivos, mientras que los compuestos de cromo (VI) son altamente tóxicos. Tanto los animales como los seres humanos reciben cantidades relativamente pequeñas de cromo en sus cuerpos a través de la inhalación; la mayoría de las sustancias que contienen cromo ingresan al cuerpo a través de los alimentos y el agua potable. La reabsorción en el intestino depende en gran medida de la forma química en la que está presente el cromo; se asimilan aproximadamente del 20 al 25% de complejos de cromo orgánico y aproximadamente el 0,5% de cromo inorgánico (Tapia, 2006, p. 42).

2.2.2.2. Problemas de cromo en el Ecuador

En el Ecuador una de las razones primordiales de la contaminación de los recursos hídricos por cromo es la industria del curtido, a lo largo del proceso utilizan sulfato de cromo. Además, existe la actividad minera que en sus drenajes eliminan pequeñas trazas de cromo que después se bioacumulan como sedimentos y más adelante se desplazan hacia el suelo (Medina, 2010, p. 76-99).

2.2.2.3. Límites máximos permisibles de cromo hexavalente

Tabla 3-2: Límites máximos permisibles en la calidad del agua

| Descargas | Límite permisible |
|--|-------------------|
| Aguas de consumo humano y uso doméstico-tratamiento convencional | 0,05 mg/L |
| Aguas de consumo humano y uso doméstico-requieran desinfección | 0,05 mg/L |
| Aguas de uso agrícola | 0,1 mg/L |
| Cuerpos de agua dulce | 0,5 mg/L |
| Cuerpos de agua marina | 0,5 mg/L |

Fuente: TULSMA, LIBRO VI ANEXO 1, 2003.

Realizado por: Calvache, Génesis, 2021.

2.2.3. Tratamientos de aguas contaminadas con cromo hexavalente

2.2.3.1 Tratamientos convencionales

Los tratamientos comúnmente recomendados para remover metales pesados integran procesos como precipitación, electrodiálisis, adsorción en carbón, e intercambio iónico, si bien todas ellas tienen alta eficiencia poseen restricciones en términos de sus elevados precios de inversión y mantenimiento, la obligación de personal calificado para la operación de las plantas y la producción de desperdicios tóxicos.

○ Intercambio iónico

Proceso en el que ciertos iones de la solución se intercambian por un ion de carga similar unido a una partícula sólida inmóvil; normalmente, los iones de hidrógeno de la resina se intercambian por cationes y los iones de hidroxilo de la resina se intercambian por aniones. Los iones de hidrógeno e hidroxilo se combinan para formar agua pura. El proceso se caracteriza por ser rápido y reversible (N. Singh y Gupta, 2016; citado en Rincón, 2018, p. 19).

○ Osmosis inversa

Los iones metálicos se eliminan por permeación a través de una membrana semipermeable. La ósmosis inversa puede eliminar hasta el 99,5 % de los contaminantes gracias a elementos

seleccionables de hasta 0,0001 mm, lo que permite una amplia gama de opciones de tratamiento (Villanueva, 2006, p. 13).

○ **Ultrafiltración**

Es un proceso de separación que comparte las propiedades de la filtración normal y la ósmosis inversa. Consiste en eliminar partículas coloidales y dispersas de un líquido haciéndolo pasar a través de una membrana mediante la aplicación de alta presión. Concentra sólidos en suspensión y solutos de peso molecular mayor a 1000 umas. El permeado contiene solutos orgánicos de bajo peso molecular y sales (Alka et al., 2013, pp. 27-46).

○ **Precipitación química**

Se trata de la formación por acción de los reactivos apropiados capaces de precipitar los metales pesados en la disolución. La capacidad de eliminar el metal depende de dos factores:

- ✓ Solubilidad de la especie
- ✓ Separación del sólido de la disolución acuosa

Dichos puntos hacen que la precipitación sea poco positiva una vez que el metal se encuentra a muy bajas concentraciones, debido a que es necesario un exceso del agente precipitante para formar un precipitado, en varios casos, la partícula sólida formada no posee estabilidad suficiente para dividir la ruptura (Lara, 2008, p. 36).

○ **Electrodialisis**

Es el proceso de separación que combina los efectos osmóticos y electrolíticos para separar las especies iónicas de una solución acuosa. Los metales en forma iónica se separan mediante una membrana permeable y selectiva a través de la aplicación de un potencial eléctrico entre dos electrodos, lo que da como resultado la migración de cationes y aniones a los electrodos (Driss, 2010, p. 58).

○ **Electrocoagulación**

Este proceso utiliza los fundamentos de coagulación-floculación en un reactor electrolítico. Este es un contenedor equipado con una fuente de energía y diversos electrodos, en donde los iones desestabilizadores de partículas coloidales reemplazan las funcionalidades de los compuestos químicos usados en el procedimiento clásico (Morante, 2002, p. 484).

○ **Flotación**

Distribución de especies iónicas de metal en las aguas residuales hidrófobas utilizando tensoactivos, mediante burbujas de aire se logra la eliminación de estas especies (Polat y Erdogan, 2007; citado en Caviedes et al., 2015 p. 81).

○ **Fotocatálisis en la degradación de metales pesados**

Se fundamenta en la transferencia de carga de un semiconductor a una solución acuosa contaminada. La conductividad aumenta con la temperatura, creando pares de electrón-hueco, lo que da como resultado la adsorción de fotones y una distribución diferente de los estados de los electrones en la superficie, degradando las moléculas de colorantes orgánicos y metálicos (Páez y Taborda, 2006, pp. 71-88).

○ **Adsorción**

La adsorción es la eliminación de impurezas de sustancias adheridas a la superficie. Esta es una operación de transferencia y distribución mediante la cual los contaminantes se distribuyen entre la mayor parte de la fase líquida y la superficie de la fase sólida. El sólido se llama adsorbente y la sustancia que se adsorbe se llama adsorbato (Rosales, 2014, pp. 15-16).

Según Gómez et al. (2010; citado en Pabón y Rosas, 2016, p. 29), existen dos teorías que describen el proceso de adsorción:

- ✓ Cubrimiento de superficie: Inicialmente las moléculas se adsorben en la superficie del sólido estableciendo una monocapa, cuando la multicapa está totalmente formada, comienza la adsorción. A medida que aumenta el número de capas, la adherencia disminuye hasta que solo se produce condensación en las capas posteriores.
- ✓ Llenado de poros: Trabaja con sólidos microscópicos y determina que llenar vacíos es similar a llenar recipientes con líquido.

De acuerdo con Romero (2011, pp. 17-18) se presenta dos tipos de adsorción:

- a) Fisisorción: No es específica y es semejante al proceso de condensación. Las fuerzas que atraen a las moléculas del fluido a la superficie del sólido regularmente son débiles; la estabilidad entre la superficie sólida y las moléculas del fluido se alcanza con rapidez, siendo fácilmente reversible.
- b) Quimisorción: Es específica e implica fuerzas mayores que en la adsorción física, las moléculas se retienen en la superficie mediante enlaces químicos, la principal limitación de este tipo de adsorción es que las fuerzas de valencia que retienen a las moléculas en la

superficie se reducen con la distancia por lo tanto estas fuerzas son demasiado pequeñas para formar un compuesto de adsorción.

2.2.3.1. Tratamientos alternativos o no convencionales

○ **Biopolímeros**

Son compuestos industrialmente atractivos porque tienen la capacidad de reducir los niveles de iones de metales de transición a niveles de partes por mil millones, están ampliamente disponibles y son ambientalmente racionales. Tienen varios grupos funcionales, como hidroxilo y amina, que pueden mejorar de manera efectiva la absorción de iones metálicos (Caviedes et al., 2015, p. 83).

○ **Hidrogeles**

Son polímeros hidrófilos reticulados capaces de expandir sus volúmenes gracias a su alto esparcimiento en el agua. Por consiguiente, ellos son ampliamente utilizados en la purificación de las aguas residuales (Caviedes et al., 2015, p. 83).

○ **Ceniza Volante**

Las cenizas volantes generadas a lo largo de la combustión de carbón para la producción de energía son un subproducto industrial que es identificado como un contaminante ambiental. Este material se ha reutilizado como un adsorbente de bajo precio para la supresión de compuestos orgánicos, gases de combustión y los metales pesados después de incrementar su capacidad de adsorción a través de la activación química y física (Caviedes et al., 2015, p. 84).

○ **Biosorción**

Se trata de un proceso de acumulación y concentración de metales pesados a partir de soluciones acuosas utilizando biomasa activa o inactiva, esto se produce por medios metabólicos o fisicoquímicos. Según Zapién (2013, pp. 40-41) la biosorción se lleva a cabo por dos mecanismos: bioacumulación y bioadsorción.

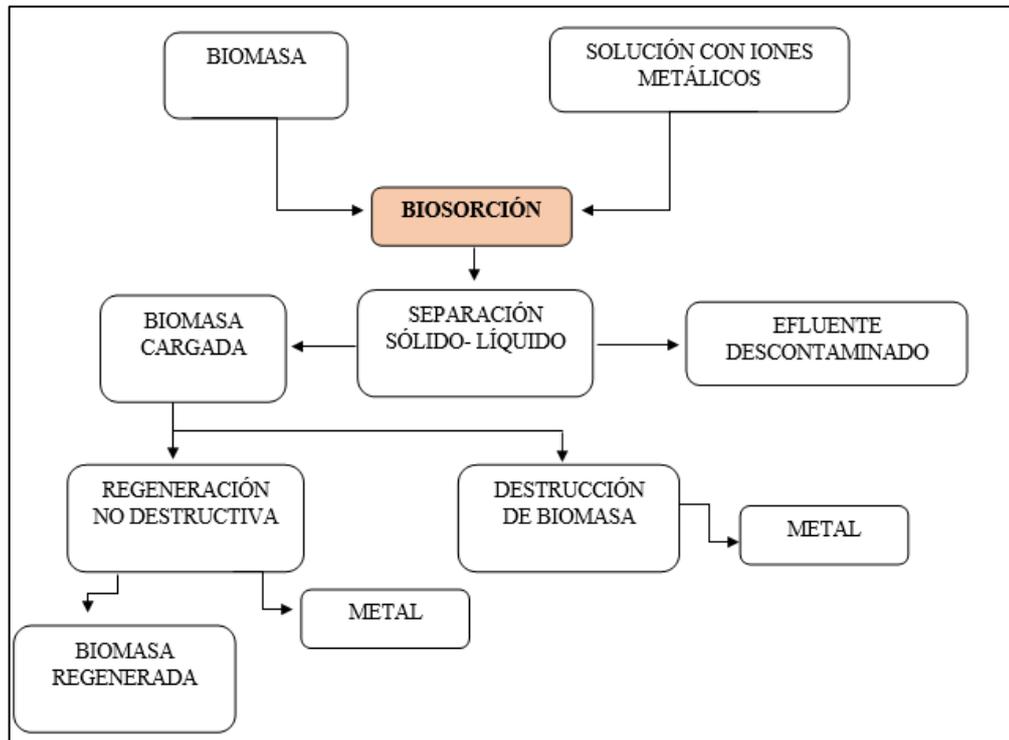


Gráfico 1-2. Esquema del proceso de biosorción

Fuente: Guzmán y Guzmán, 2016.

❖ Factores que afectan el proceso de biosorción

Naturaleza del biosorbente: De acuerdo con Fomina y Gadd (2014, pp. 3-14) “El biosorbente puede estar vivo o muerto. Si está vivo se habla de procesos de bioacumulación, mientras que si está muerto se trata de procesos de bioadsorción”.

Temperatura: Regularmente el aumento de la temperatura implica un aumento de la actividad de la carga superficial activa y de la energía cinética del biosorbente, debido a esto si el biosorbente se somete a una temperatura demasiado elevada, pueden tener lugar a alteraciones en su estructura y textura obteniendo una disminución de la capacidad de biosorción (Fomina y Gad, 2014, pp. 3-14).

pH de la disolución acuosa contaminada: Este valor afecta la capacidad de biosorción ya que está relacionado con la carga superficial que presenta el biosorbente. Una de las formas de estudiar si un biosorbente tiene afinidad por los aniones o por los cationes es conociendo su pH_{pzc} , en el cual la carga de los centros activos negativos y positivos de la biomasa se equilibra, es decir, se alcanza el punto de carga cero (Sánchez, 2019, pp. 6-8).

Presencia de iones competidores: Genera dificultad en la retención del metal por parte del biosorbente (Fomina y Gad, 2014, pp. 3-14).

Cantidad de biosorbente en contacto con la disolución acuosa contaminada: El aumento de la relación entre cantidad de biomasa y volumen es capaz de optimizar la capacidad de biosorción

del proceso, debido a que se incrementa el número de centros activos disponibles para reaccionar (Sánchez, 2019, pp. 6-8).

Tamaño de partícula: Se ha probado que existe una relación entre el tamaño de la biomasa y su capacidad de biosorción. A menor tamaño de partícula, mayor superficie de interacción y por tanto mayor capacidad de biosorción (Sánchez, 2019, pp. 6-8).

Tiempo de contacto: Es determinante debido a que el biosorbente llega a saturarse en un periodo definido y como resultado de eso no incrementa la remoción del metal (Blázquez et al., 2005, pp. 2649–2654).

a) Bioacumulación

Se trata de la captación de los iones metálicos, se requiere energía y se utilizan bacterias vivas. En la actualidad se utilizan diferentes sistemas biológicos para contribuir en la remoción del Cr (VI) en aguas residuales industriales; entre los estudios se destaca el uso del hongo *Paecilomyces spp* el cual tiene la capacidad de remover 100 mg Cr (VI) /100 ml en agua residual sintética; (Cárdenas- Gonzales y Acosta- Rodríguez I., 2011, p. 9-16).

Las células vivas pueden exhibir una gama más amplia de mecanismos de acumulación de metales, incluido el transporte, la formación extracelular y la precipitación (Zapién 2013, pp. 40-41).

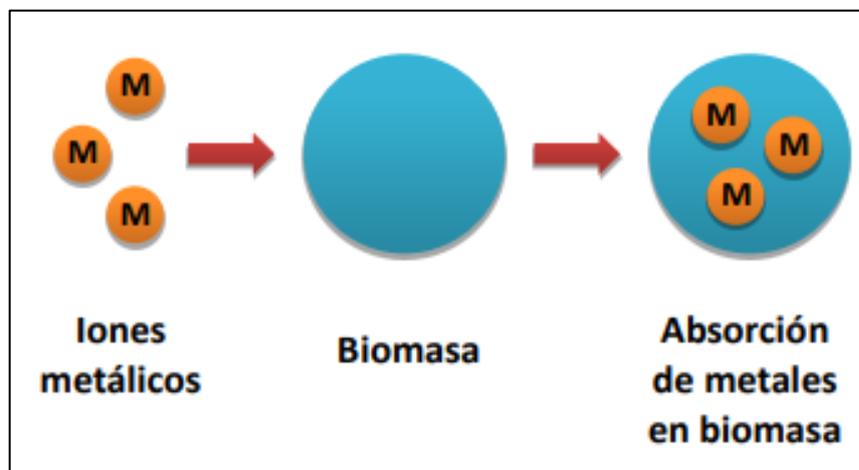


Figura 1-2. Bioacumulación de iones metálicos

Fuente: Zapién, 2013.

b) Bioadsorción

Es la captación de los metales de manera pasiva empleando biomasa muerta. La biomasa muerta, o los productos derivados de ella, eliminan los problemas de toxicidad causados no solo por los metales disueltos, sino también por las condiciones adversas de operación (Zapién 2013, pp. 40-41).

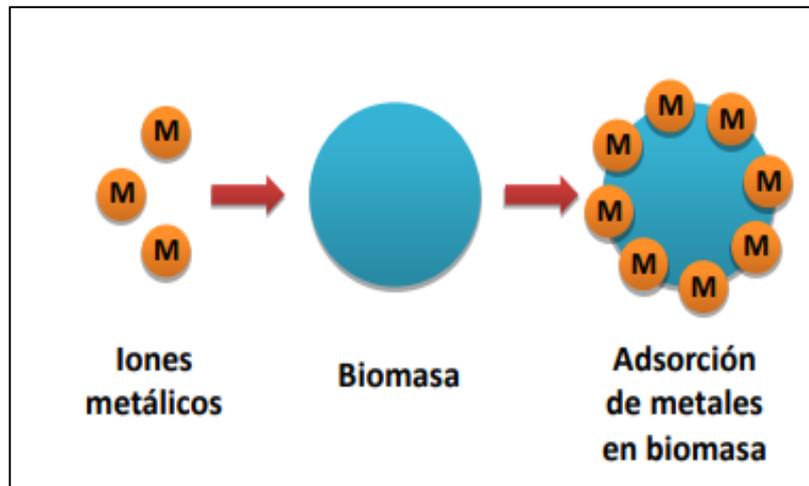


Figura 2-2. Bioadsorción de iones metálicos

Fuente: Zapién, 2013.

2.2.4. Biosorbente

Existen dos tipos de biosorbente, los de origen biológico, formados por una biomasa microbiana (algas, bacterias, hongos y levaduras) y los de origen vegetal que son aquellos residuos biológicos como cáscaras de frutas, algas o semillas, de preferencia esos que no necesiten alteraciones o tratamientos que eleven demasiado su precio. Dichos biosorbentes otorgan una matriz sólida con la que es capaz de interactuar el metal, incitando la disminución de la concentración de este en la disolución (Fomina y Gad, 2014, pp. 3-14).

A través de los centros activos de la matriz biológica el metal interacciona mediante diversos mecanismos como: absorción, adsorción física, adsorción química, intercambio iónico, formación de complejos o quelación. (Sánchez, 2019, pp. 6-8).

2.2.4.1. Cáscara de huevo como biosorbente

○ Organización estructural

Calvo (2019, pp. 3-4) plantea que la cáscara de huevo se compone de cinco capas, morfológicamente distintas, que se producen de forma secuencial.

Desde el exterior hacia el interior, estas clases son:

- ✓ **Capa espumosa de cutícula:** Se deposita sobre la superficie de la cáscara a lo largo de la etapa final de formación del huevo, se distribuye de forma desigual y su espesor cambia a partir de 0,5 hasta 12,8 μm . En ella se hallan en gran mayor parte los pigmentos causantes de la coloración de la cáscara.

- ✓ **Capa de cristal vertical:** Corresponde a la capa más gruesa de la cáscara del huevo, de unos 200-350 μm de espesor. Su nombre se debe a la estructura de columnas formada por cristales de calcita, con una organización paralela en forma de valla o cerco.
- ✓ **Capa mamilar:** Está formada por las mamilas que son pequeñas masas de material orgánico distribuidas de forma discreta en toda la capa y que se encuentran unidas a el área externa de la membrana externa.
- ✓ **Dos membranas de cáscara (externa e interna):** Se dividen en dos capas, una capa interna de 15 a 26 μm de espesor expuesta a la albúmina y una capa externa de 50 a 70 μm de espesor, ubicada entre las regiones minerales de la cubierta y la membrana interna.

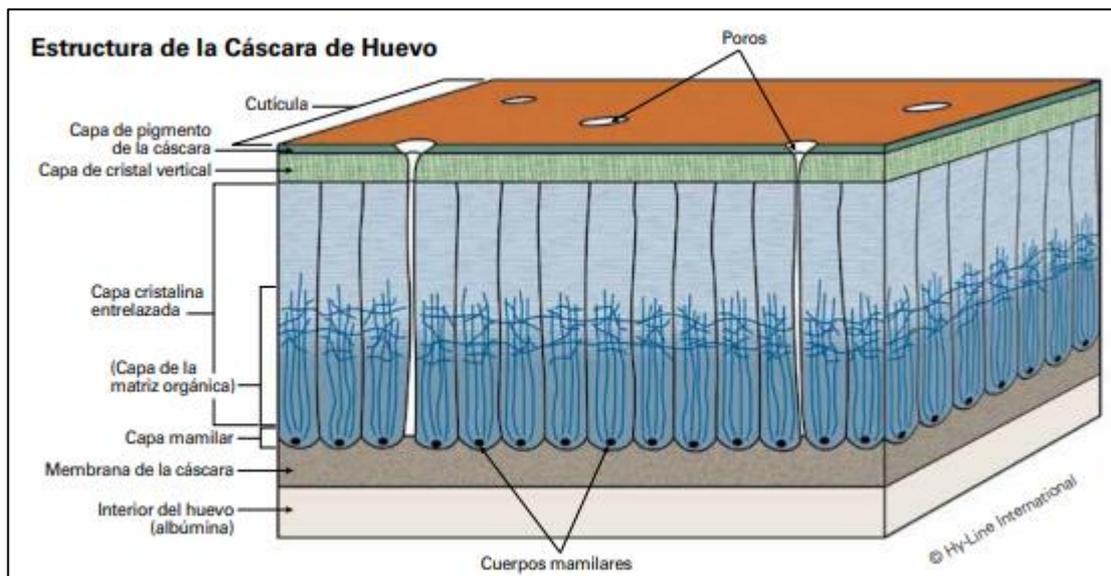


Figura 3-2. Estructura de la cáscara de huevo

Fuente: Calvo, 2019.

○ **Composición Química**

Mittal et al. (2016, pp. 376-387) señalan que los principales componentes de la cáscara del huevo son carbonatos (94%), sulfatos y fosfatos de calcio (1%), carbonatos de magnesio (1%) y materia orgánica (4%). También contiene metales como sodio, potasio, manganeso, hierro, cobre y estroncio en cantidades extremadamente pequeñas.

○ **Propiedades de adsorción**

Santos (2019, pp. 451-459) especula que la cáscara de huevo es un subproducto animal, que tiene muchas aplicaciones y buenas propiedades como adsorbente. La porosidad y las características superficiales de la cáscara del huevo lo convierten en un buen adsorbente, capaz de adsorber

metales pesados, compuestos fenólicos, colorantes y pesticidas en las aguas residuales (Carvalho et al., 2011, pp. 1-8).

Teniendo en cuenta las propiedades de este material, se ha utilizado en varios estudios como agente de retención de contaminantes. Por ejemplo, Escobar et al. (2014, pp. 2-4) en función a la tasa de eliminación (34,36%) que obtuvieron después de exponer a la cáscara de huevo a una solución de cromo hexavalente a 3 ppm, determinaron que dicho residuo es efectivo como biosorbente de este metal en solución acuosa.

2.2.4.2. Cáscara de naranja como biosorbente

○ **Generalidades**

La *Citrus sinensis* conocida como naranja, es una de las frutas tropicales más abundantes del mundo. Tradicionalmente su cáscara, se ha procesado en aceites esenciales y aromas para su uso en refrescos, helados, pasteles, ambientadores, perfumes y productos de consumo humano debido a sus propiedades antioxidantes también se utiliza en el entorno farmacéutico (Aguirre, 2017, pp. 15-16).

○ **Organización estructural de la naranja**

✓ **Celulosa**

Es un polímero de cadena larga sin ramificaciones de β -D-glucosa, está conformada por grupos hidroximetil-CH₂OH que se alternan hacia arriba y hacia abajo del plano de la molécula. La falta de cadenas laterales permite que las moléculas de celulosa se unen para formar estructuras rígidas (Tomme et al., 1995; citado en Aguirre, 2017, pp. 15-16).

✓ **Hemicelulosa**

Se trata de polisacáridos que forman las paredes celulares de la vegetación y se consiguen con soluciones alcalinas diluidas. La estructura química de la hemicelulosa consta de cadenas largas con una gran variedad de pentosas, hexosas, y ácidos uránicos. Representa alrededor de un tercio de los carbohidratos en las zonas maderables de las plantas (Brummell, 2001; citado en Aguirre, 2017, pp. 15-16).

✓ **Pectina**

Son una combinación de polímeros ácidos y neutros altamente ramificados. Forman el 30% del peso seco en la pared celular primaria de las células vegetales. Determinan la porosidad de la pared y por tanto el grado de disponibilidad de sustratos enzimáticos implicados en su modificación. La pectina también crea una superficie cargada que mantiene el pH y el equilibrio iónico (Tapia, 2003; citado en Aguirre, 2017, pp. 15-16).

Tabla 4-2: Composición de la cáscara de naranja

| Parámetro | Contenido (%) |
|----------------------|----------------------|
| pH | 3,93 +/- 0,03 |
| Contenido de humedad | 65-68,8 |
| Material Volátil | 60,00 (Mat.seca) |
| Cenizas | 1,26-3,29 |
| Extractivos (E-T) | 1,55-4,00 |
| Lignina | 7,50-8,40 |
| Hemicelulosa | 10,40-11,00 |
| Celulosa | 22,00-37,10 |
| Pectina | 42,5 |
| Carbono | 44,43 |
| Hidrógeno | 6,41 |
| Nitrógeno | 0,89 |

Fuente: Cabrera, 2020.

Realizado por: Calvache, Génesis, 2021.

○ **Propiedades de adsorción**

Cada una de las partes de la naranja posee ciertas características que hacen posible su uso en la adsorción de contaminantes en los recursos hídricos. Diversos autores han estudiado la cáscara de naranja en la biosorción de metales pesados. Pinzón (2005; citado en Cardona et al., 2013, p. 13) realizó un estudio de caracterización de la cáscara de naranja como material biosorbente, concluyendo que en condiciones de reducción y clasificación podría ser utilizada como adsorbente para la remoción de metales como Cr (III) y (VI) presentes en solución acuosa.

2.2.4.3. Regeneración y reutilización de biosorbente

La recuperación o regeneración del biosorbente usado se realiza por medio de procesos de desorción. Para eso, se emplean diferentes reactivos químicos de naturaleza ácida o básica, que permiten la recuperación del biosorbente sin eliminar la estructura que posibilita la acción propia del biosorbente. Se debe considerar que determinados desorbentes son bastante agresivos para la composición biológica de un biosorbente, por lo cual funcionan realmente bien para sustraer el metal retenido por la biomasa, aunque dejan inservible el biosorbente para adsorciones futuras. El proceso de regeneración se basa en un lavado del biosorbente con un desorbente que remueve los iones de las capas más superficiales, dejándolas libres para que nuevos iones logren depositarse en ellas (Kilic et al., 2009, pp. 2130-2137).

2.2.5. Filtración

Proceso por el que el agua cruda pasa a través de un medio poroso, el agua fluye a través del medio filtrante en donde se recolecta cualquier contaminante que pueda estar presente en esta (Fabara, 2017, p. 10).

El propósito primordial de la filtración es dividir las partículas y microorganismos objetables contenidos en el agua o que no fueron retenidos en procesos preliminares como la coagulación, floculación y sedimentación (Otero, 2006, p. 103).

2.2.5.1. Tipos de filtración

Rossi (2017, p. 15) postula dos tipos de filtración:

a) Filtración Lenta

En los filtros lentos el agua circula por un lecho de arena fina, ocasionando que el agua vaya a una velocidad baja, reteniendo las partículas de diámetro grande y adsorbiendo las impurezas. Esta clase de filtración produce buenos resultados una vez que la carga superficial es baja reduciendo de manera considerable la turbidez, coliformes, etcétera.

b) Filtración Rápida

En este tipo se utiliza como material filtrante arena y grava la cual actuará como soporte, esto nos va a permitir que las partículas de gran tamaño se queden retenidas en la capa preeminente del

filtro, esto se da a una rapidez alta mediante la gravedad. Los filtros rápidos se aplican una vez que hay una alta carga superficial, debido a que posibilita la separación de partículas subjetivamente enormes.

2.2.5.2. *Mecanismos*

Generalmente se cree que la filtración es el resultado de dos mecanismos separados pero complementarios: transporte y adhesión (Rossi, 2017, pp. 15 - 16).

➤ **Transporte**

Esto es clave para evitar que las partículas pequeñas entren en los orificios del filtro. Este mecanismo se rige por: cernido, difusión, sedimentación, intercepción, inercia y acción hidrodinámica (Campos y Porras, 2018, pp. 9-10).

○ ***Cernido***

Las partículas demasiado grandes para pasar a través de los poros del medio filtrante se eliminan mediante tamiz. Este mecanismo ocurre principalmente en la superficie del lecho, donde se concentra la pérdida de carga, independientemente de la tasa de filtración (Campos y Porras, 2018, pp. 9- 10).

○ ***Sedimentación***

Se lleva a cabo con materiales suspendidos relativamente grandes y densos, con una alta tasa de sedimentación y donde el lecho tiene una carga hidráulica baja (Molina, 2016, pp. 21-26).

○ ***Intercepción***

Este mecanismo surge porque el caudal es bajo y las partículas suspendidas tienen una densidad similar a la del agua, por lo que se desplazan a lo largo de los flujos, provocando que las partículas se adhieran a la superficie superior del material hasta cubrirlo completamente con agua (Molina, 2016, pp. 21-26).

○ *Difusión*

Debido al movimiento browniano, las partículas pequeñas tienden a difundirse desde una región de alta concentración a una región de baja concentración. Es proporcional a la temperatura e inversamente proporcional al diámetro de las partículas del medio filtrante. (Molina, 2016, pp. 21-26).

○ *Acción hidrodinámica*

En este mecanismo, las partículas suspendidas aparecerán en el líquido con un gradiente de velocidad constante durante la carrera, provocando una velocidad tangencial que cambia en dirección perpendicular al movimiento. Los efectos hidrodinámicos podrían explicar la eliminación relativamente grande ($\sim 10 \mu\text{m}$) de partículas floculadas (Molina, 2016, pp. 21-26).

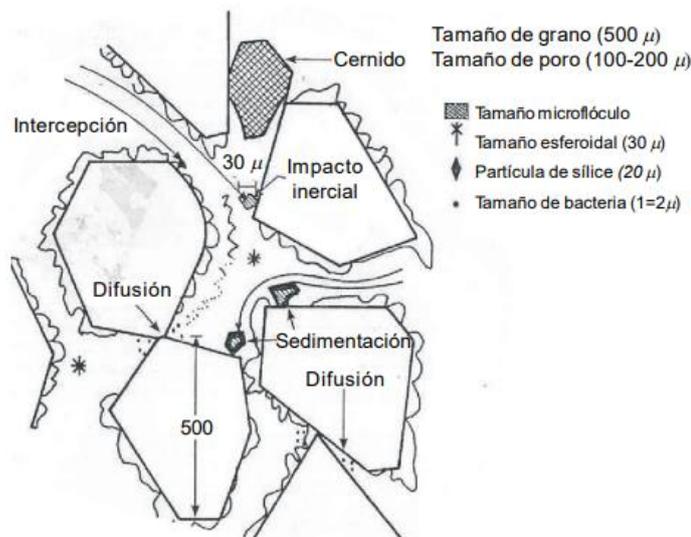


Figura 4-2. Diferentes mecanismos que pueden realizar transporte

Fuente: Vargas, 2004.

➤ **Adherencia**

Este es un mecanismo físico, sin embargo, factores químicos y electroquímicos están involucrados (Molina, 2016, pp. 21-26).

○ **Fuerzas de Van der Waals**

Es el principal responsable de la adhesión de partículas al material filtrante, tiene una fuerza de adhesión activa desde la superficie del material hasta la distancia más corta, encontrando alrededor de cada medio filtrante (partícula) un volumen denominado espacio de adhesión, las partículas suspendidas serán atraídas a esta área para adherirse a la superficie del medio filtrante, eliminándolas así del agua (Molina, 2016, pp. 21-26).

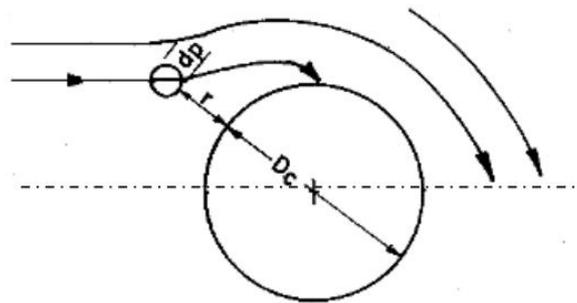


Figura 5-2. Trayectoria de la partícula atraída por las fuerzas de Van der Waals

Fuente: Vargas, 2004.

✓ **Fuerzas Electrostáticas**

Molina (2016, pp. 21-26) describe que estas fuerzas son la combinación de fuerzas electrostáticas y de van der Waals las cuales permiten la adsorción entre partículas, por lo que es necesario conocer la carga del medio filtrante y de las partículas en suspensión, además Molina (2016, pp. 21-25) argumenta que esto se produce en las siguientes condiciones:

- Si el medio filtrante es negativo y las partículas son positivas, se generará una fuerza gravitatoria para que las partículas sean adsorbidas y adheridas al medio filtrante.
- Si el material del filtro es negativo y las partículas son neutras, no hay barrera de energía por lo que se produce una adhesión fácil cuando estas entran en contacto.
- Cuando los medios filtrantes y las partículas son negativos, habrá repulsión, con la ayuda de otros mecanismos, la adhesión será posible, pero con poco efecto.

✓ *Puente Químico*

En la superficie de las partículas, se forman cadenas poliméricas que dejan segmentos alargados en el agua, que pueden ser adsorbidos por otras partículas o por vacíos en la superficie del medio filtrante y, por lo tanto, retenidos en la capa filtrante. Gracias al uso de polielectrolitos en las aguas residuales, es posible aumentar la adherencia de las partículas en suspensión al medio filtrante, mientras que las fuerzas de van der Waals y las cargas electrostáticas están ausentes en este mecanismo (Molina, 2016, pp. 21-26).

2.2.5.3. Variables del proceso de filtración

Las principales variables que hay que tener en cuenta en el proceso de filtración se indican en la tabla 5-2.

Tabla 5-2: Principales variables en el proceso de filtración

| Variable | Concepto |
|------------------------------------|--|
| Característica del medio filtrante | El tamaño de las partículas es un factor importante en la filtración, ya que puede afectar la caída de presión y el gradiente de velocidad durante la filtración. |
| Tipo de lechos filtrantes | Determina la cantidad de sólidos almacenados en el filtro además afecta a la pérdida de carga y duración del filtro. |
| Velocidad de filtración | Para una aplicación dada del filtro, la rapidez de filtración dependerá de la consistencia de los flóculos y del tamaño medio del grano del lecho filtrante. |
| Pérdida de carga admisible | La pérdida de carga entre dos aspectos del filtro está relacionada con la medida del grano y con la proporción de depósito acumulado en el poro. |
| Características del agua a filtrar | Las características principales para tener en cuenta del agua a filtrar son: <ul style="list-style-type: none">• La concentración de sólidos en suspensión.• El tamaño de los sólidos en suspensión.• La distribución de tamaños de partículas.• La consistencia de los flóculos.• La turbidez |

Fuente: Otero, 2006.

Realizado por: Calvache, Génesis, 2021.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo aplicada y descriptiva, ya que se realizó y analizó los filtros a base de residuos orgánicos durante un período de tiempo, en el cual se obtuvieron datos sobre las concentraciones de cromo hexavalente en las muestras filtradas lo que permitió concluir cuál de los elementos filtrantes es más eficaz en el tratamiento de este metal pesado.

Según Cadena et al. (2017, p. 1606), los métodos cuantitativos implican validar teorías o comportamientos a través de mediciones y análisis estadísticos a través de la recolección de datos. Por esta razón, en este estudio se utilizó un enfoque cuantitativo experimental, debido a que las variables se analizaron de manera objetiva de acuerdo con los métodos estadísticos utilizados, además el tipo de diseño de la investigación es experimental porque la variable a observar y/o medir es el porcentaje de remoción de cromo hexavalente en agua sintética.

3.2. Diseño del estudio

Se utilizó un diseño completamente al azar con una permutación de factores de 2 x 4, con 3 repeticiones para cada combinación de tratamientos.

3.2.1. Factores y combinaciones

Factor: A: Tipo de biomasa

a₁ = Cáscara de huevo

a₂ = Cáscara de naranja

Factor: B: Concentraciones de cromo hexavalente

b₀ = 0,6 ppm

b₂ = 1,0 ppm

b₁ = 0,8 ppm

b₃ = 1,5 ppm

Tabla 1-3: Factores, niveles y combinaciones de tratamientos

| Factor A: Tipo de biomasa | Factor B: Concentración de cromo hexavalente (ppm) | | | |
|---|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | b₀: 0,6 | b₁: 0,8 | b₂ : 1,0 | b₃: 1,5 |
| a₁ : Cáscara de huevo | a ₁ b ₀ | a ₁ b ₁ | a ₁ b ₂ | a ₁ b ₃ |
| a₂ : Cáscara de naranja | a ₂ b ₀ | a ₂ b ₁ | a ₂ b ₂ | a ₂ b ₃ |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.3. Identificación de variables

3.3.1. Variable dependiente

- Retención de cromo (VI)

3.3.2. Variable independiente

- Biomasa
- Concentración de cromo (VI)

3.3.3. Variables intervinientes

- Tiempo de contacto
- pH
- Cantidad de biosorbente

3.4. Localización

La investigación se desarrolló en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo. Los biomateriales utilizados para este estudio provienen de la panadería Universal y el mercado Mayorista. Por otro lado, los análisis y experimentos de laboratorio se llevaron a cabo en varios laboratorios de la Facultad de Ciencias, ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Tabla 2-3: Ubicación geográfica del estudio

| Lugar | X | Y |
|--|----------|----------|
| Panadería Universal | 723213 | 9815822 |
| Mercado mayorista | 763386 | 9813554 |
| Escuela Superior Politécnica de Chimborazo | 241720 | 9816846 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.5. Población de estudio y/o muestra

La muestra para este estudio estuvo constituida por 1 kg de cáscara de huevo y 6 kg de cáscara de naranja, colectados por el investigador en varios sitios de la ciudad de Riobamba, como se describió anteriormente. Adicionalmente, para realizar la investigación se utilizó un litro de agua sintética por cada unidad experimental.

3.6. Análisis estadístico

Para interpretar los datos obtenidos se utilizó el análisis estadístico descriptivo, en el laboratorio se realizaron 3 repeticiones de las pruebas, obteniendo la media de los datos además se utilizaron tablas y gráficos, que ayudaron a la interpretación del rendimiento de los filtros.

3.7. Ingeniería del proceso

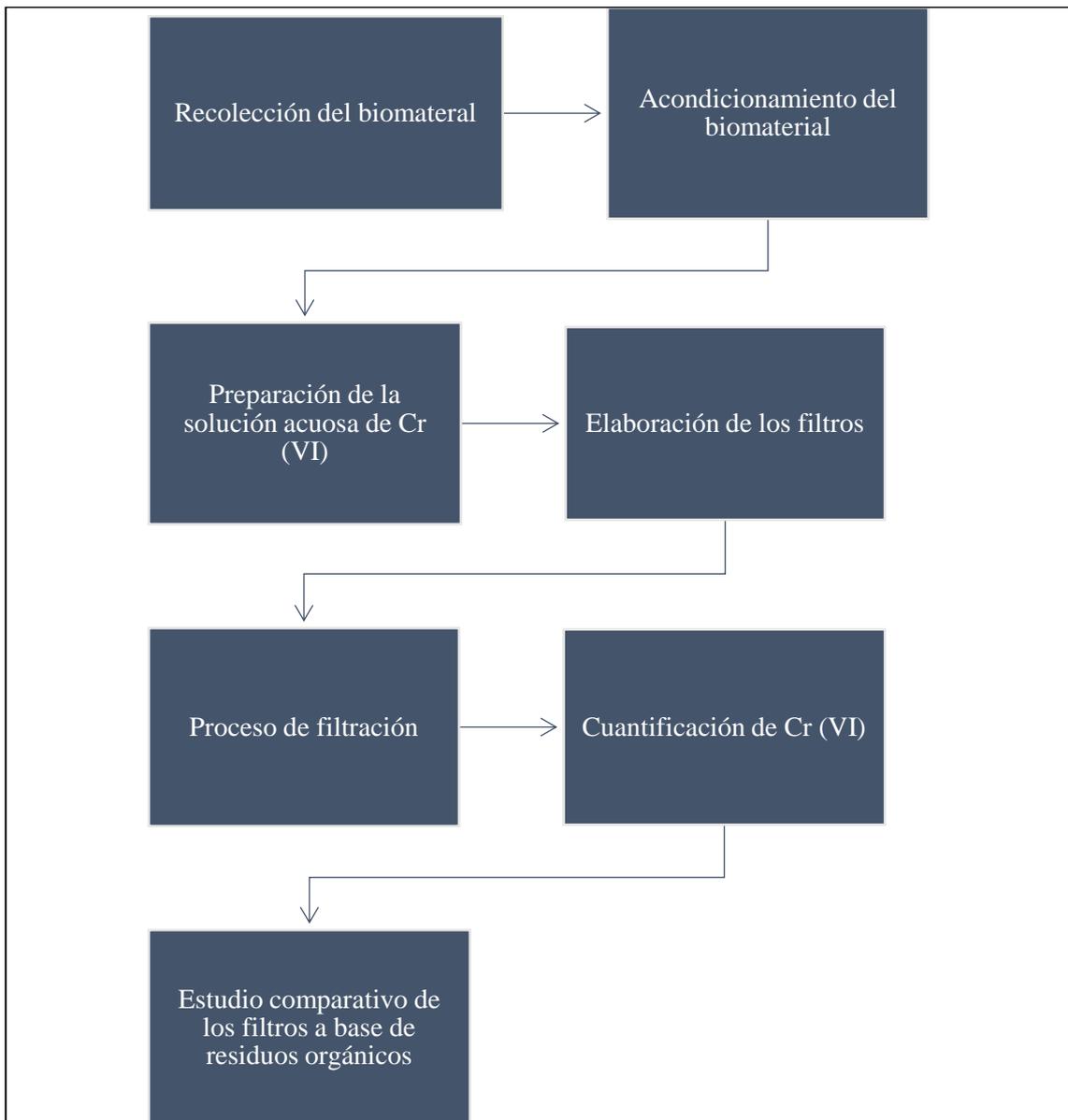


Gráfico 1-3. Diagrama del estudio

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.8. Materiales, reactivos y equipos

Todos los materiales y equipos manipulados durante el proceso y desarrollo del proyecto en la parte de campo y laboratorio se mencionan en la siguiente tabla según su actividad.

Tabla 5-3: Materiales, equipos y reactivos

| Actividad | Descripción | |
|--|-------------------|--------------------------------|
| Preparación del biomaterial | <i>Equipos</i> | Estufa |
| | | Molino |
| | | Balanza analítica |
| | <i>Materiales</i> | Cáscara de huevo |
| | | Cáscara de naranja |
| | | Cuchillo |
| | | Bandejas de aluminio |
| | | Tijera |
| | | Tamiz |
| | | Termómetro |
| | | Fundas ziploc |
| Reverbero | | |
| Olla | | |
| Construcción de filtros | <i>Equipo</i> | Estructura de madera |
| | <i>Materiales</i> | Recipiente plástico de 2, 50 L |
| | | Recipiente plástico de 3 L |
| | | Tubo PVC ½" |
| | | Llave de paso ½" |
| | | Grifos ½" |
| | | Codos ½" |
| | | Malla |
| | | Grava |
| Arena | | |
| Preparación y cuantificación de las soluciones de cromo hexavalente | <i>Reactivos</i> | Agua ultrapura |
| | | Dicromato de potasio |
| | | Ácido sulfúrico al 0, 8 N |
| | | 1.5- difenil carbazida |
| | | Acetona |
| | <i>Equipo</i> | Balanza analítica |
| | | Oakton™ pH 700 |
| | | Espectrofotómetro |
| | | Agitador magnético |

| | | |
|--|-------------------|------------------------|
| | | Bomba de vacío |
| | <i>Materiales</i> | Probeta |
| | | Balón de aforo 1000 ml |
| | | Pipeta |
| | | Embudo |
| | | Kitasato |
| | | Matraz Erlenmeyer |
| | | Botellas ámbar 1L |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.9. Etapas de la investigación

3.9.1. Preparación del biomaterial

Antes de proceder a caracterizar e implementar los biosorbentes se requirió del siguiente procedimiento, esto con el fin de eliminar elementos extraños u otros compuestos que eventualmente afectarían el proceso de filtración.

3.9.1.1. Cáscara de huevo

Limpieza: Se lavó durante 30 minutos con agua destilada para eliminar impureza y material de interferencia tales como compuestos orgánicos y sales.

Secado: Posteriormente se colocó en la estufa a 60°C por 24 horas.

Triturado y tamizado: Las cáscaras se trituraron en el mortero y luego se tamizaron a 500 micras como se observa en la figura 1-3.



Figura 1-3. Trituración de la cáscara de huevo

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.9.1.2. Cáscara de naranja

Selección: La calidad del estado de la biomasa se consideró como un requisito previo para evitar la descomposición y garantizar el secado del material en condiciones adecuadas.

Lavado: Se lavó las pieles de naranja varias veces en agua templada a unos 60°C para eliminar compuestos no deseados como azúcares, ácido cítrico, glucósidos y polímeros de cadena corta presentes en la piel de naranja. Según Muñoz (2007, p. 38) la pectinasa se desactiva mediante un tratamiento térmico corto, este se refiere a un baño con agua tibia, es básicamente para eliminar diversas impurezas, luego se lavó varias veces con agua desionizada.



Figura 2-3. Lavado del material biosorbente

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

Triturado: Como se observa en la figura 3-3 el tamaño de las cáscaras se redujo a 1 cm aproximadamente de forma manual, lo que facilitó la manipulación en las etapas posteriores.

Secado: Se propuso un secado en mufla a temperaturas de 90 °C durante 24 horas, hasta obtener un peso constante.



Figura 3-3. Muestra de naranja triturada y seca

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.9.2. Caracterización fisicoquímica de los biomateriales

3.9.2.1. Determinación del pH y conductividad eléctrica

Se preparó una solución de 10 g de la muestra en 90 ml de agua destilada y se agitó continuamente por 10 minutos, finalmente se midió el pH y conductividad eléctrica de la solución resultante utilizando multiparamétrico Oakton™ pH 700. Para esta caracterización se aplicó la metodología aplicada por (Verdugo, 2017, p. 47).

3.9.2.2. Determinación del porcentaje de humedad

Se utilizó el método gravimétrico, este método consiste en tomar una muestra del material y pesarla antes y después del secado.

Cálculo del porcentaje de humedad

$$\%H = \frac{\text{Peso}_{\text{inicial}} - \text{Peso}_{\text{final}}}{\text{Peso}_{\text{inicial}}} * 100 \text{ Ec. 1}$$



Figura 4-3. Caracterización de los biomateriales

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.9.3. Preparación de soluciones acuosas de cromo hexavalente

3.9.3.1. Soluciones de $K_2Cr_2O_7$

Para la contaminación del agua, se utilizó el reactivo de dicromato de potasio con una pureza de 99,9 %, este se secó a $105^{\circ}C$ durante dos horas para reducir la humedad y luego se pesó 0,30 g para preparar 100 ppm de solución madre.



Figura 5-3. Preparación la solución madre de dicromato de potasio

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

A partir de la solución madre se prepararon concentraciones mayores a los límites permisibles en el TULSMA, LIBRO VI ANEXO 1 (2003, p.326), por lo cual necesitan de un tratamiento, en la tabla 6-3 se muestra los volúmenes necesarios según la ecuación de dilución.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \text{ Ec. 2}$$

Donde:

C_1 = concentración de la solución stock

V_1 = volumen de la solución stock necesaria para la preparación de los estándares de trabajo

C_2 = concentración del estándar de trabajo

V_2 = volumen del estándar de trabajo

Tabla 6-3: Volumen de solución madre para cada concentración

| ml de Solución Madre | Concentración (ppm) |
|----------------------|---------------------|
| 6 | 0,6 |
| 8 | 0,8 |
| 10 | 1 |
| 15 | 1,5 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.9.3.2. Curva de calibración de Cr (VI)

La curva de calibración se preparó mediante la adición estándar, agregando volúmenes conocidos de una solución madre de cromo de 10 ppm, en un intervalo de 0,1 a 1,0 ppm.

Para determinar el mililitro a disolver para obtener las concentraciones deseadas se utilizó la ecuación de dilución Ec.2.

Tabla 7-3: Volumen de solución madre para obtener la curva de calibración

| ml de Solución Madre | Concentración (ppm) |
|----------------------|---------------------|
| 1 | 0,1 |
| 3 | 0,3 |
| 5 | 0,5 |
| 7 | 0,7 |
| 10 | 1,0 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

A continuación, se explica el procedimiento aplicado:

- Usando una pipeta de 10 ml, se extrajo el volumen correspondiente a la Tabla N.º 7-3 en cada balón de 100 ml y se aforó con agua ultrapura.
- Posteriormente se midió el pH de cada disolución usando el Oakton™ pH 700, luego se agregó ácido sulfúrico 0,8 N al estándar para ajustar el pH de 1 a 3.
- A cada solución se añadió 2 ml de 1.5-difenilcarbazida. Esta solución se prepara disolviendo 250 mg de 1,5-difenilcarbazida en 50 ml de acetona. Después de 5 a 10 minutos, la muestra se vuelve rosa, lo que indica la formación de un complejo de Cr-difenil carbazida.
- La absorbancia de todas las soluciones se midió a 540 nm en un espectrofotómetro UV-Vis.
- Usando datos de absorbancia y concentraciones conocidas, se pudo construir una curva estándar de alta confianza de $r^2 = 0,0995$.



Figura 6-3. Estándares de la curva de calibración

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

Tabla 8-3: Determinación de curva de calibración

| Estándar | mg/ml | Absorbancia |
|----------|-------|-------------|
| 1 | 0,1 | 0,056 |
| 2 | 0,3 | 0,174 |
| 3 | 0,5 | 0,288 |
| 4 | 0,7 | 0,432 |
| 5 | 1 | 0,574 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

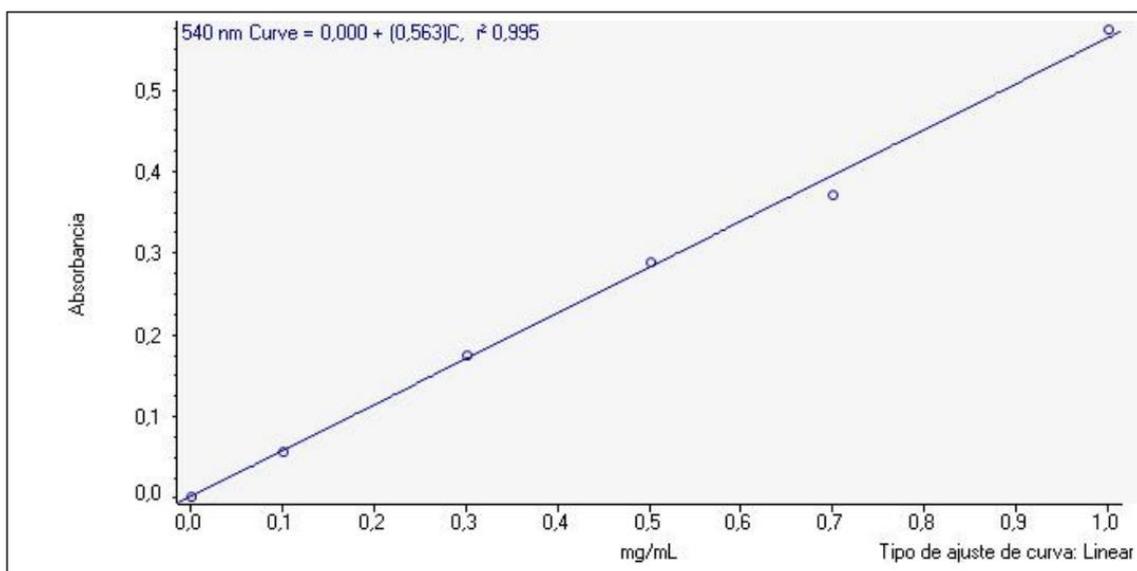


Figura 7-3. Curva de calibración

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.9.4. Caracterización del agua no tratada y tratada

Para la caracterización del agua se utilizó el método aplicado por Aucancela (2018, p.14). Esto significa que se utilizaron los procedimientos analíticos de los métodos estandarizados. El instrumento multiparamétrico Oakton™ pH 700 se utilizó para analizar el pH y la conductividad colocando una muestra de agua en un vaso de precipitación y tomando lecturas del instrumento.

El análisis de Cr^{+6} se realizó aplicando el siguiente procedimiento:

- Acidificar a un pH de 1-3 con ácido sulfúrico al 0,8 N.
- Agregar 2 ml de 1.5-difenilcarbazida a cada muestra y se dejó reposar de 5 -10 min para que el color se produzca.
- Finalmente se conoce la concentración de Cr^{+6} utilizando el espectrofotómetro UV-vis.

3.9.5. Elaboración de los filtros

3.9.5.1. Estructura del filtro

Se construyeron dos tipos de filtro, en los que se evaluó la adsorción biológica de cáscara de huevo y naranja. Este diseño es de escala preliminar, debido al número de capas utilizadas en el filtro y su altura.

Para realizar la filtración se utilizó una estructura de madera de aproximadamente 1 m de altura para permitir la filtración por gravedad. El sistema constó de seis tanques de suministro colocados

uno al lado de otro, en la parte inferior se colocaron seis recipientes plásticos en los que se añadió el material filtrante: tres con cáscara de huevo y tres con cáscara de naranja, para repetir cada tratamiento tres veces.



Figura 8-3. Sistema de filtración

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.9.5.2. *Material filtrante*

- a) Dentro del filtro como primera capa se colocó grava. Esta capa cumple la función de soportar y facilitar el paso del agua.
- b) La segunda capa se conformó por arena fina. Esta capa se utiliza para contener las partículas que contienen agua cruda.
- c) Finalmente, se colocó el biomaterial y se le agregó una cubierta de malla para que el agua se distribuya uniformemente.

3.9.5.3. *Proceso de filtración*

- Los experimentos de biosorción se realizaron usando un sistema de columna. Se diseñó una planta con un tanque de alimentación de 3 litros y las columnas de filtración fueron compuestas de residuos de huevos y naranja con un diámetro interior de 10 cm, una altura de 18 cm y un flujo descendente.
- Para la optimización del proceso de biosorción, se mantuvieron constantes los parámetros tales como: pH (7- 7,5), masa del material de biosorción (100 g) y temperatura ambiente.
- En los tanques de alimentación se colocó 1 litro de solución a diferentes concentraciones (0,6; 0,8; 1 y 1,50 ppm).

- Se estableció un tiempo de contacto de 120 min, poniendo en marcha el cronómetro una vez que la disolución entró en contacto con el filtro, pasado este tiempo se recogió la muestra.
- Cada muestra tomada, previo al análisis de laboratorio, se filtró sobre papel filtro, para evitar que restos de materia orgánica puedan alterar los resultados finales.
- Por último, se caracterizó el agua tratada siguiendo el procedimiento anteriormente mencionado.



Figura 9-3. Adición de la muestra al sistema de filtración

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

3.9.6. Eficiencia de la filtración

3.9.6.1. Porcentaje de remoción

El porcentaje de remoción (% R) es definido como la relación de diferencia en la concentración de metales antes y después de la adsorción (Collantes, 2019, p.25).

$$\%R = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100 \text{ Ec. 3}$$

Donde:

C_i = concentración inicial ($\frac{\text{mg}}{\text{L}}$)

C_f = concentración final ($\frac{\text{mg}}{\text{L}}$)

3.9.7. Estudio comparativo de los dos sistemas de filtración

En base a los resultados experimentales se elaboró una tabla en la que se registraron los tipos de adsorbentes utilizados (cáscara de huevo y cáscara de naranja), comparando sus respectivas tasas de remoción de cromo en las mismas condiciones de pH, tiempo de contacto y cantidad de biosorbente.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son expuestos bajo la forma de tablas y gráficos con sus respectivas interpretaciones.

4.1. Caracterización de los biomateriales

Tabla 1-4: Caracterización fisicoquímica del biomaterial

| Parámetro | Cáscara de huevo | Cáscara de naranja |
|-----------------------------|------------------|--------------------|
| Potencial de Hidrógeno (pH) | 8,86 | 4,30 |
| Conductividad us/cm | 140,4 | 626,6 |
| Porcentaje de humedad (%) | 3,15 | 83,3 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

Según Vega (2017, p.26) el pH de la cáscara de huevo tiene características básicas, ya que la cáscara de huevo está compuesta principalmente por carbonato de calcio (94%), y la presencia del carbonato da las características alcalinas. Este tipo de biomaterial tiene una baja capacidad de retención de agua en función del porcentaje de humedad obtenido.

El potencial de hidrógeno de la cáscara de naranja es ácido, similar al obtenido en los ensayos de Cerdán (2019, p.28), en donde el pH fue de 4, en tal estudio se evaluó la capacidad del biofiltro compuesto por arcilla y cáscara de naranja para la de remoción de plomo en las aguas del río Chonta Cajamarca. Por otro lado, el contenido de humedad reportado de cáscara de naranja es de 83,3%, el cual se acerca al reportado por Falla y Sánchez (2019, p. 47) de 71 %, debido a que el contenido de humedad depende de la calidad de la materia prima y del espesor de la cáscara.

4.2. Caracterización de las soluciones sintéticas

Tabla 2-4: Caracterización de las soluciones acuosas

| Parámetro | b ₀ : 0,6 ppm | b ₁ : 0,8 ppm | b ₂ : 1 ppm | b ₃ : 1,5 ppm |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Potencial de Hidrógeno (pH) | 7,48 | 7,20 | 7,15 | 6,97 |
| Conductividad us/cm | 2, 86 | 4,55 | 7,80 | 7,85 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

La adsorción de iones metálicos depende de las propiedades de la superficie adsorbente y de la distribución química del metal en la solución acuosa. Tejada et al. (2014, p. 113) señala que el valor de pH de la fase acuosa es el factor más importante para la adsorción de cationes y aniones. De ahí que, mientras que la adsorción de cationes generalmente favorece valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere valores de pH más bajos, entre 1,5 y 4.

Valdez (2018, p. 1) indica que, el cromo contiene elementos metálicos en su estructura atómica, lo que facilita el movimiento de electrones en la capa exterior (electrones de valencia). Estos electrones forman una nube en movimiento alrededor de los núcleos atómicos estrechamente unidos que permiten que fluya la electricidad. Por este motivo, en los resultados obtenidos la conductividad es directamente proporcional a la concentración del cromo hexavalente, pero esta no es alta, debido a que las soluciones fueron preparadas con agua de alta pureza, que no es buena conductora de electricidad.

4.3. Elaboración de filtros

Se construyó dos filtros a escala de laboratorio, para determinar la capacidad de retención de las cáscaras de huevo y de naranja; la altura total del filtro es la suma de la altura de la capa de los materiales filtrantes de 8 a 10 cm más la altura de ocupación de 6 cm de la solución de cromo hexavalente, con una altura de seguridad de 2 cm para evitar derrames de agua contaminada al exterior. La altura total del biofiltro es de 18 cm.

Tabla 3-4: Medidas de los filtros

| Medidas del filtro a escala laboratorio | |
|--|--------------------|
| Diámetro | 100 mm |
| Volumen | 1000 ml |
| Material | Altura (mm) |
| Grava | 20 |
| Arena | 30 |
| Cáscara de huevo | 30 |
| Cáscara de naranja | 50 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

4.4. Caracterización del agua tratada

4.4.1. Agua tratada con filtro a base de cáscara de huevo

Tabla 4-4: Caracterización del agua tratada (cáscara de huevo)

| Tipo de biomasa | Concentración inicial de Cr ⁺⁶ (ppm) | pH inicial | pH final | Conductividad inicial (us/cm) | Conductividad final (us/cm) |
|------------------|---|------------|----------|-------------------------------|-----------------------------|
| Cáscara de huevo | 0,6 | 7,48 | 7,15 | 2,86 | 214,13 |
| | 0,8 | 7,20 | 7,00 | 4,55 | 177,1 |
| | 1,0 | 7,15 | 7,06 | 7,80 | 116,87 |
| | 1,5 | 6,97 | 6,35 | 7,85 | 247,3 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

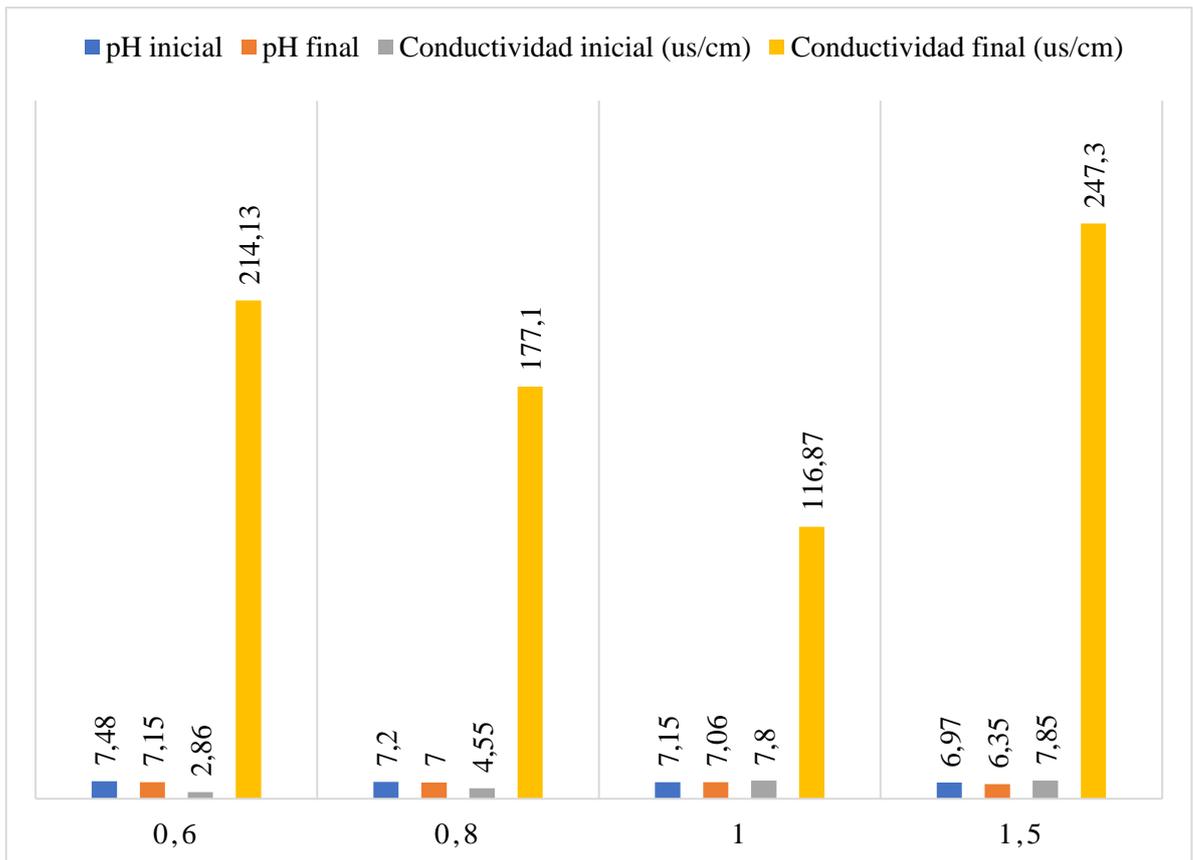


Gráfico 1-4. Características iniciales vs finales (cáscara de huevo)

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

4.4.2. Agua tratada con filtro a base de cáscara de naranja

Tabla 5-4: Caracterización del agua tratada (cáscara de naranja)

| Tipo de biomasa | Concentración inicial de Cr ⁺⁶ (ppm) | pH inicial | pH final | Conductividad inicial (us/cm) | Conductividad final (us/cm) |
|--------------------|---|------------|----------|-------------------------------|-----------------------------|
| Cáscara de naranja | 0,6 | 7,48 | 4,67 | 2,86 | 1032,93 |
| | 0,8 | 7,20 | 4,75 | 4,55 | 1012,65 |
| | 1,0 | 7,15 | 5,01 | 7,80 | 930,93 |
| | 1,5 | 6,97 | 4,95 | 7,85 | 1024,8 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

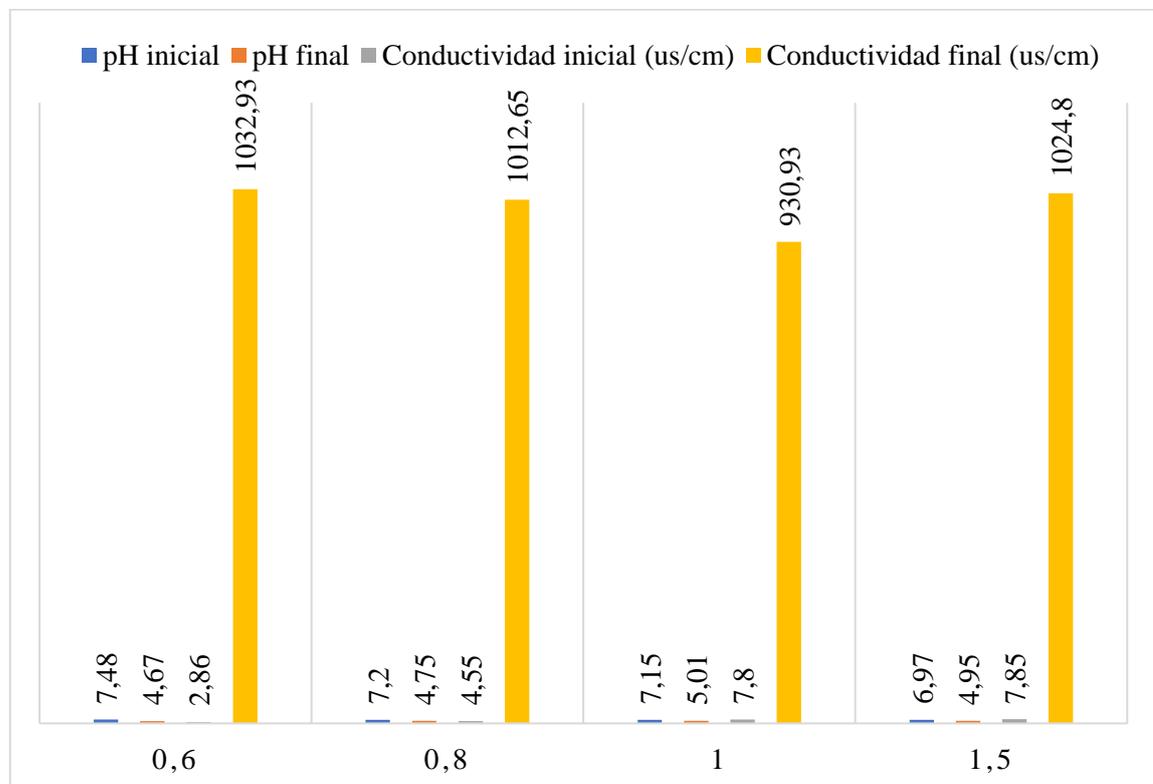


Gráfico 2-4. Características iniciales vs finales (cáscara de naranja)

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

Como se observa en los resultados obtenidos en el laboratorio, el pH de la solución acuosa disminuye al entrar en contacto con el material biológico, lo que se puede decir que se debe a la liberación de H⁺ del material lignocelulósico. En el caso de la cáscara de huevo, el pH de la solución no cae significativamente porque el biomaterial es fuente de alcalinidad y cuando se expone a una solución neutra, el pH no cambia.

Por otro lado, debido a la naturaleza ácida de la piel de naranja, el pH se reduce hasta convertirse en una solución muy ácida. El valor de pH obtenido en el estudio de Fabara (2017, p. 40), mostró un aumento similar del pH ácido durante la primera semana de filtración. Según Fabara (2017, p.40), esto se debe a que las cáscaras de naranja aún pierden materia orgánica en cantidades significativas, sin embargo, los datos mostraron que con el tiempo el pH se estabiliza dentro del rango de parámetros establecido por TULSMA, que va de 6 a 9 unidades de pH.

Inversamente, la conductividad de la solución aumentó significativamente en ambos casos, la muestra en contacto con la piel de naranja fue aquella en la que la conductividad aumentó en más de 1000 us/cm. La conductividad está estrechamente relacionada con los sólidos disueltos totales (TDS), y cuanto mayor sea la conductividad, mayor será el TDS.

Singler y Bauder (2012, p. 1) dan a conocer que este parámetro ha sido clasificado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) como contaminante secundario y recomienda un máximo de 500 mg/L en agua potable. Este estándar secundario se estableció porque los niveles elevados de TDS pueden hacer que el agua se vea turbia. Esto es consistente con los resultados obtenidos, como lo muestran las figuras 1-4 y 2-4, la muestra del filtro de cáscara de huevo estaba libre de turbidez en contraste con el filtro de cáscara de naranja.



Figura 1-4. Agua filtrada a través de la cáscara de huevo

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.



Figura 2-4. Agua filtrada a través de la cáscara de naranja

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

4.5. Eficiencia del filtrado

Tabla 6-4: Media de los datos recolectados

| Tratamiento | N | Media |
|-------------|---|---------|
| a1b0 | 3 | 0,3240 |
| a1b1 | 3 | 0,4187 |
| a1b2 | 3 | 0,4413 |
| a1b3 | 3 | 0,6590 |
| a2b0 | 3 | 0,1127 |
| a2b1 | 3 | 0,06033 |
| a2b2 | 3 | 0,0683 |
| a2b3 | 3 | 0,0490 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

Las tablas 7-4 y 8-4, muestran el porcentaje de eliminación obtenido tras la filtración por gravedad de diferentes concentraciones de cromo hexavalente (0,6; 0,8; 1,0; 1,5 ppm) a temperatura ambiente a través 100 g de los dos residuos orgánicos con un tiempo de contacto de dos horas.

En general, la razón de la extracción de metales a partir de residuos de biomasa es que sus componentes proteicos, carbohidratos y fenólicos contienen grupos carboxilo, hidroxilo, sulfato, fosfato y amina con alta afinidad por los iones metálicos facilitando su absorción.

Varios estudios han demostrado que el mecanismo principal para eliminar el Cr (VI) de biomateriales similares es la reacción redox, que convierte el Cr (VI) en Cr (III). Este mecanismo consta principalmente de tres fases, en primer lugar, el cromo hexavalente debe estar unido a grupos funcionales cargados positivamente, presentes en la superficie de los materiales biológicos, entre estos grupos podemos incluir: a iones carbonilo, hidroxilo, amina, entre otros.

El segundo paso es la reducción de Cr (VI) a Cr (III) por grupos donantes de electrones adyacentes al biomaterial. Finalmente, el Cr (III) se reduce y se libera en la fase acuosa debido a la repulsión de electrones entre los dos grupos Cr (III) cargados positivamente (Tejada et al., 2014, p. 113-115).

4.5.1. Filtración con cáscara de huevo

Tabla 7-4: Porcentaje de remoción utilizando cáscara de huevo

| Factor A: Tipo de biomasa | Factor B: Concentración inicial de Cr⁺⁶ (mg/ml) | Concentración final de Cr⁺⁶ (mg/ml) | Capacidad de remoción % |
|---|---|---|--------------------------------|
| a₁ : Cáscara de huevo | 0,6 | 0,324 | 46,00% |
| | 0,8 | 0,418 | 47,75% |
| | 1,0 | 0,441 | 55,90% |
| | 1,5 | 0,659 | 56,06% |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

La efectividad de la cáscara de huevo en esta investigación viene dada por el mayor porcentaje de remoción obtenido (56,06%), dicho porcentaje demuestra que la cáscara de huevo posee propiedades de absorción. La porosidad y las características superficiales de la cáscara del huevo lo convierten en un buen adsorbente, capaz de adsorber metales pesados, compuestos fenólicos, colorantes y pesticidas en las aguas residuales (Carvalho et al., 2011, pp. 1-8).

Los datos experimentales presentados en la tabla muestran un grado de remoción similar al obtenido en el estudio de Rajendran y Mansiya (2011, pp. 44-45), del 49% por adsorción de cromo a 2 ppm con cáscara de huevo en condiciones de un pH de 9, tiempo de contacto de 60 min y 4g de biosorbente.

Daraeia (2013; citado en Barragán, 2019, p. 7), uso cáscaras de huevo que redujeron el cromo hexavalente un 93% a un pH 5 durante 90 minutos, la diferencia en el porcentaje de eliminación se debe al pH de la solución cuando el pH es inferior a 6 la absorción aumenta.

Carvalho et al. (2011, pp. 1-8), señala que la mayoría de los estudios de sorción con este biomaterial coinciden en que las cáscaras de huevo tienen una alta afinidad por la mayoría de los metales pesados y son susceptibles a reacciones de intercambio iónico, sedimentación y adsorción física. Se puede observar en la tabla 7-4, que cuando la concentración llega a 1,5 ppm el porcentaje de retención no varía significativamente, lo que indica que, al llegar a cierta concentración la adsorción disminuirá, es decir que al aumentar la concentración la capacidad de adsorción disminuye.

4.5.2. Filtración con cáscara de naranja

Tabla 8-4: Porcentaje de remoción utilizando cáscara de naranja

| Factor A: Tipo de biomasa | Factor B: Concentración inicial de Cr⁺⁶ (mg/ml) | Concentración final de Cr⁺⁶ (mg/ml) | Capacidad de remoción % |
|--|---|---|--------------------------------|
| a₂: Cáscara de naranja | 0,6 | 0,112 | 81,33% |
| | 0,8 | 0,060 | 92,50% |
| | 1,0 | 0,068 | 93,20% |
| | 1,5 | 0,049 | 96,73% |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

Los resultados de la tabla 8-4 muestran que, el porcentaje de eliminación aumentó con el aumento de la concentración de la solución, a una concentración inicial de 0,6 ppm el valor de eliminación fue del 81,33 % y para las concentraciones de 0,8 ppm y 1 ppm y 1,5 ppm los valores fueron de 92,50 %, 93,20 % y 96,73 %.

Esto coincide con el trabajo que realizaron Cardona et al. (2013, pp.1-10), quienes estudiaron el comportamiento de diferentes concentraciones de plomo (80, 90 y 100 ppm) al entrar en contacto con la cáscara de naranja, Cardona et al. determinaron que la mejor absorción de plomo se obtuvo a una concentración de 100 ppm. Esto es comprensible ya que a concentraciones más altas todos los iones de cromo hexavalente presentes en la solución pueden interactuar con los sitios de unión, logrando así la saturación del biosorbente y obteniendo una mayor capacidad de bioadsorción. Por otro lado, a concentraciones más bajas, la bioadsorción fue menor, posiblemente porque no se alcanzó la saturación de los sitios activos para una extracción de máxima eficiencia.

4.6. Estudio comparativo entre los sistemas de filtrado

En base a los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de retención, donde el tipo de biomasa es la variable independiente y la cantidad de biomaterial, pH y tiempo de contacto son constantes; se preparó una tabla comparando el porcentaje de eliminación de cromo (VI) de la cáscara de huevo (**a₁**) y la cáscara de naranja (**a₂**).

Tabla 9-4: Comparación del porcentaje de remoción

| Factor B: Soluciones de cromo | Factor A: Tipo de biomasa | |
|-------------------------------|--|---|
| | Porcentaje de retención del Cr ⁺⁶ | |
| | <i>a₁</i> : cáscara de huevo | <i>a₂</i> : cáscara de naranja |
| 0,6 ppm | 46,00% | 81,33% |
| 0,8 ppm | 47,75% | 92,50% |
| 1,0 ppm | 55,90% | 93,20% |
| 1,5 ppm | 56,06% | 96,73% |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

La tabla 9-4 muestra que, a una concentración de 1,5 ppm, la cáscara de naranja tuvo la mayor tasa de remoción de Cr (VI), 96,73%, y la tasa de remoción de la cáscara de huevo fue de 56,06%, el cual fue el mayor porcentaje de remoción obtenido para esta biomasa.

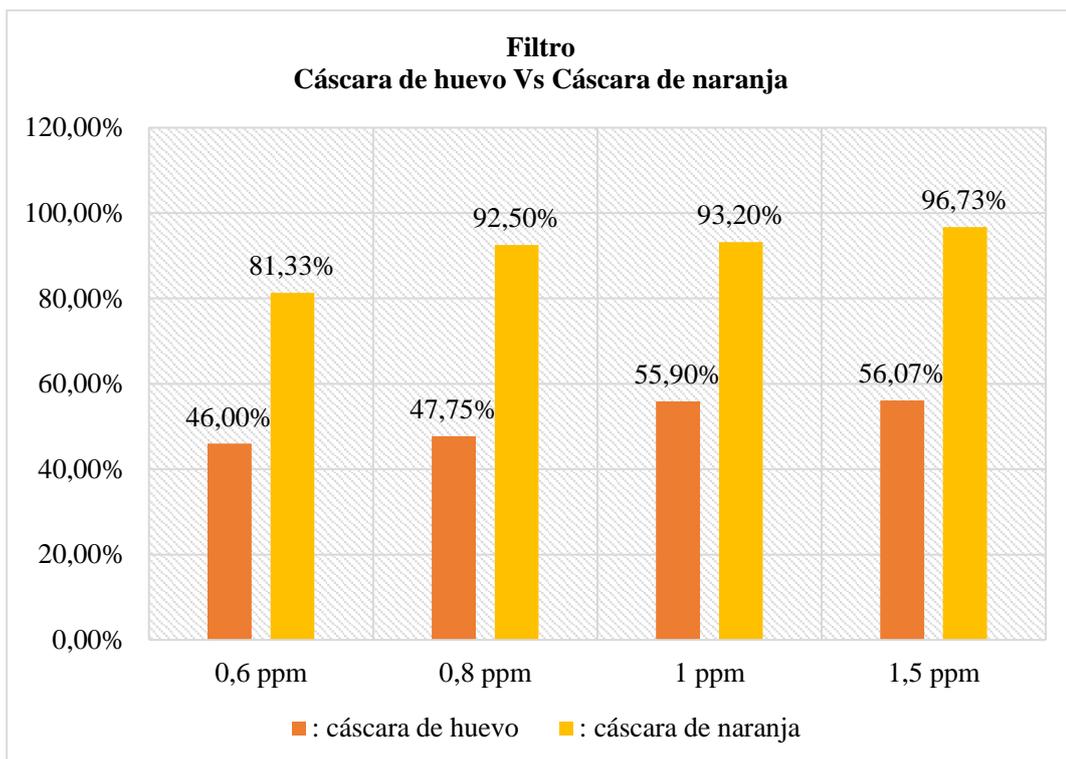


Gráfico 3-4. Comparación filtro de huevo vs filtro de naranja

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

Como se observa en el gráfico 3-4 para la cáscara de naranja, la capacidad de retención siempre es mayor que la que se obtiene de la cáscara de huevo; esto demuestra que la cáscara de naranja tiene mejores propiedades de adsorción que los residuos de huevo. Para concluir, el filtro a base

de cáscara de naranja es un excelente tratamiento no convencional para la retención de Cr (VI) en solución acuosa, debido a su eficiencia y bajo costo.

CONCLUSIONES

- Se establecieron concentraciones de cromo hexavalente de (0,6; 0,8; 1,0; 1,5) mg/ml, estas soluciones se caracterizaron antes y después de la filtración, llegando a la conclusión de que tanto el pH como la conductividad se alteran al contacto con el filtro. Estos parámetros fueron modificados principalmente por el contacto con la cáscara de naranja.
- Se elaboraron dos sistemas de filtrado a escala de laboratorio utilizando medios filtrantes de grava de 1/4" de diámetro, con 20 mm de espesor, arena sílice (0,5 - 1,0 mm) de diámetro y 30 mm de espesor y como capa final cáscara de naranja o huevo de un espesor, que varía de 30- 50 mm. Se instaló en un tanque de plástico de 2 litros, 0,1 m de diámetro y 0,18 m de altura, con grifo de PVC para salida de agua filtrada.
- Las concentraciones finales medidas por espectrofotometría UV-Vis, mostraron una reducción significativa de cromo hexavalente en todas las unidades experimentales. Las soluciones iniciales (0,6; 0,8; 1,0; 1,5) mg/ml que entraron en contacto con el filtro de cáscara de huevo se redujeron a (0,324; 0,418; 0,441; 0,659) mg/ml respectivamente, en cuanto a las soluciones en contacto con el filtro de cáscara de naranja, tuvieron concentraciones finales casi indetectables por el instrumento (0,112; 0,060; 0,068; 0,049) mg/ml, estos resultados indican que los dos filtros son aptos para la retención de cromo hexavalente.
- El porcentaje de retención más efectivo se encontró en el sistema de filtración de cáscara de naranja con un valor de 96,73% a 1,5 ppm de Cr (VI). Los resultados obtenidos en la tabla 9-4 permiten concluir que esta biomasa, es una buena alternativa para implementarla como medio filtrante capaz de remover Cr (VI) de soluciones acuosas, debido a que aumenta la capacidad de remoción cuando la concentración del metal es mayor.

RECOMENDACIONES

- Es necesario continuar con estas investigaciones experimentales, para encontrar un tratamiento que pueda hacer frente no solo al cromo hexavalente sino también a otros metales nocivos para la salud humana que se encuentran presentes en el agua.
- Para el procesamiento de medios filtrantes hechos de cáscaras de naranja, es recomendable utilizar un material cuadrado y no fino, ya que esto no permitirá que el líquido se drene y se estanque.
- Se debe analizar el efecto de reducir el tamaño de partícula del biosorbente de cáscara de huevo por debajo de 500 μm .
- Para el caso del filtro a base de cáscara de huevo se recomienda trabajar con un pH inferior a 6 para obtener un tratamiento eficiente.
- Se recomienda realizar análisis granulométricos de los biosorbente tales como coeficiente de uniformidad, porosidad, tamaño efectivo y expansión.
- Para estudios posteriores sobre estos biosorbente, se sugiere realizar algunos cambios con respecto a la concentración inicial de la solución y el espesor del biosorbente para observar cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua tratada.

GLOSARIO

Adhesión: Es una propiedad física de la materia que posibilita que se unan dos sustancias equivalentes o diferentes, una vez que acceden en contacto por medio de fuerzas intramoleculares (Significados, 2016).

Adsorción: Es un fenómeno de atracción de partículas (átomos, iones, moléculas), que se encuentran en una determinada fase, por la superficie de un sólido o líquidos (Muñoz, 2007, p. 7).

Biomasa: Es la parte biodegradable de los productos, desperdicios y residuos de procedencia biológica que proceden de ocupaciones, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la parte biológica degradable de los residuos industriales y municipales (Herguedas et al., 2012, p.6).

Biosorción: Proceso fisicoquímico donde se involucran el fenómeno de adsorción y absorción de moléculas y iones (Muñoz, 2007, p. 8).

Cromo hexavalente: un compuesto tóxico que a veces se encuentra en el agua, es una forma cancerígena del cromo metálico en estado de oxidación (Smith, 2020).

Espectrofotometría: La espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución (Díaz, et al., 2008, p.1).

Medio filtrante: Material permeable capaz de tolerar el paso de los contaminantes (Carbotecnia, 2021).

Metales pesados: Sustancias propias de la naturaleza de peso molecular elevado, bastante difundidos y en varios casos bastante útiles, tales como, el plomo que se usa mucho para tubería, y el cadmio (Romero 2011, pp.17-18).

Residuos orgánicos: Los residuos orgánicos son todos los recursos que son desperdicios o residuos de procedencia animal y/o vegetal. (Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, 2020, p.9).

Solución acuosa: Preparación líquida que contiene una o más sustancias químicas solubles disueltas en agua (Clínica Universidad De Navarra, 2018).

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, Daisy. Determinación de la capacidad de bioadsorción en la cáscara de naranja para la remoción de cadmio en aguas residuales de dos fábricas de textiles en el cantón Pelileo provincia de Tungurahua [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Orellana-Ecuador. 2017. pp. 15-16. [Consulta: 12 noviembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7856/1/236T0289.PDF>

ALKA, M. et al. "Removal of heavy metals from wastewater using micellar enhanced ultrafiltration technique: a review". *Central European Journal of Chemistry* [En línea], 2012, (India) 10(1), pp. 27–46. [Consulta: 9 noviembre 2021]. Disponible en: [doi:10.2478/s11532-011-0134-3](https://doi.org/10.2478/s11532-011-0134-3)

ALTAMIRANO, M.; & CABRERA, C. "Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual". *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* [En línea], 2006, (Perú) 9(17), p. 76. [Consulta: 14 octubre 2021]. ISSN 1628-8097. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol9_n17/a10.pdf

ARAUZO, M. et al. "Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama". *Limnetica* [En línea], 2003, (España) 22(2), p. 86. ISSN 0213-8409 [Consulta: 7 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-22-2-p-85.pdf>

AUCANCELA, Elvis. Estudio de la correlación hidráulica y la remoción de contaminantes en agua residual sintética mediante un lecho filtrante de *musa paradisiaca* [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería. Ambato-Ecuador. 2018. p. 14. [Consulta: 10 enero 2022]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4866/1/UNACH-EC-ING-AMBT-2018-0011.pdf>

BARRAGÁN, Laura. Producir, caracterización y aplicación ambiental de partículas ultrafinas y nanopartículas a partir de la cáscara de huevo [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2019. p. 7. [Consulta: 15 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44144/u827690.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

BLÁZQUEZ, G. et al. "Removal of cadmium ions with olive stones: the effect of some parameters". *Process Biochemistry* [En línea], 2005, 40(8), pp. 2649–2654. [Consulta: 11 noviembre 2021]. ISSN 1359-5113. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.11.007>

CABRERA, Génesis. Evaluación de la adsorción de cafeína utilizando cáscaras de naranja y plátano modificadas con magnetita para su remoción de aguas residuales sintéticas [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Quito-Ecuador. 2020. p. 19. [Consulta 13 noviembre 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20851/1/CD%2010374.pdf>

CADENA, Pedro et al. "Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [En línea], 2017, (México) 8(7), p. 1606. [Consulta: 7 enero 2022]. ISSN 2007-0934. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263153520009.pdf>

CALVO, Sonia. Revalorización de la cáscara de huevo para su empleo como catalizador en el tratamiento de aguas residuales [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Oviedo. España. 2019. pp. 3-4. [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/59509/TFM%20Sonia%20Calvo%20Barbería.pdf?sequence=4>

CAMPOS, Harley, & PORRAS, Josué. Evaluación de eficiencia de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yántalo – Moyobamba – San Martín [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De San Martín-Tarapoto, Facultad De Ecología. Moyobamba- Perú. 2018. pp. 9-10. [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3287/SANITARIA%20-%20Harley%20Smith%20Campos%20Pardo%20&%20Josué%20Jhonatan%20Porras%20Bece rra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CARBOTECNIA. *Medios filtrantes para líquidos*. 2021. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: <https://carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/medios-filtrantes-para-liquidos/>

CÁRDENAS-GONZALES J.; & ACOSTA-RODRÍGUEZ I. "Remoción de Cromo hexavalente por el hongo *Paecilomyces spp*. Aislado del medio ambiente". *Información*

tecnológica" [En línea], 2011, (México) 22(1), p. 9-16. [Consulta: 11 noviembre 2021]. ISSN 0718-0764. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000100003

CÁRDENAS, Juan; MARTÍNEZ Víctor & ACOSTA Ismael. “Remoción de Cromo (VI) por una Cepa de *Paecilomyces spp.* resistente a Cromato. *Scielo* [En línea], 2011, 22(04), p. 44. [Consulta: 27 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v22n4/art06.pdf>

CARDONA, Anahí; CABAÑAS Dulce; & ZEPEDA Alejandro. “Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)”. *Ingeniería* [En línea], 2013, (Colombia) 17(1), p. 1-10. [Consulta: 18 enero 2022]. ISSN 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46729718001.pdf>

CARVALHO, J. et al. “Adsorption process onto an innovative eggshell-derived low-cost adsorbent in simulated effluent and real industrial effluents”. *WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities* [En línea], 2011, 1(1), pp. 1–8 [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/258441544_ADSORPTION_PROCESS_ONTO_AN_INNOVATIVE_EGGHELL-DERIVED_LOW_COST_ADSORBENT_IN_SIMULATED_EFFLUENT_AND_REAL_INDUSTRIAL_EFFLUENTS

CAVIEDES, Diego et al. "Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales”. *Revista Ingeniería y Región* [En línea], 2015, (Colombia) 13(1), pp. 81-84. [Consulta: 14 octubre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.25054/22161325.710>

CERDÁN, José. Remoción de plomo (Pb) de las aguas del río Chonta utilizando biofiltro de arcilla y Cáscara de naranja, Cajamarca Perú [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad San Pedro. Chimbote-Perú. 2019. p. 29. [Consulta: 15 enero 2022]. Disponible en: http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/11388/Tesis_61406.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CLÍNICA UNIVERSIDAD DE NAVARRA. *Diccionario médico*. 2018. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/solucion-acuosa>

COLLANTES, Lissette. Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze) [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Cajamarca. Cajamarca-Perú. 2019. p. 25. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3392/TESIS%20BIOSORCIÓN%20-%20UNIVERSIDAD%20NACIONAL%20DE%20CAJAMARCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DÍAZ, Nieves et al. "Espectrometría: espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas". *Departamento de Bioquímica y Biología Molecular* [En línea], 2008, (Córdoba) 1(1), p. 1 [Consulta: 2 febrero 2022]. Disponible en: https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biolmol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf

DRISS, S. Aprovechamiento de hueso de aceituna para la biosorción de iones metálicos [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad de Granada, Facultad de Ciencias. España. 2010. p. 58. [Consulta: 9 noviembre 2021]. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/6621/18935916.pdf?sequence=1&isAllowed=>

ESCOBAR, María et al. "Evaluación del uso de cáscara de huevo como sustrato adsorbente para la remoción de Cromo (VI) en solución acuosa". *Revista Del Colegio Del Médicos Veterinarios Del Estado Lara*, Vol. 8, n°2 (2014), (Venezuela) pp. 2–4.

FABARA, Hermel. Análisis de la cáscara de naranja como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de un matadero de aves ubicado en el cantón Cevallos, provincia de Tungurahua [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica. Ambato-Ecuador. 2017. pp. 10-49. [Consulta: 22 octubre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/26862/1/Tesis%201196%20-%20Fabara%20Meléndez%20Hermel%20David.pdf>

FOMINA, Marina; & GADD, Michael. "Biosorption: current perspectives on concept, definition and application". *Bioresource Technology*, Vol. 160, n°1(2014), pp. 3–14.

GARCÍA, Fabiola. Remoción de cromo hexavalente utilizando un sistema de filtración con α -alúmina [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Del Estado De México, Facultad de química. Toluca-México. 2014. pp. 6-7. [Consulta: 4 noviembre

2021].

Disponible

en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14995/420094.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GARCÍA, Milly et al. "Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas spp.* y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*". *Revista Médica* [En línea], 2019, 4(1), p. 33. [Consulta: 5 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.readcube.com/articles/10.18050%2Frevistamedicavallejiana.v4i1.2218>

GUERRA, Ileana, & MELENDEZ, Helen. Evaluación de adsorción de cromo en solución acuosa de flujo no continuo utilizando broza de café (Trabajo de titulación) (Tesis). Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia. San Salvador-El Salvador. 2009. p. 31.

GUERRERO, Lorena et al. "Eficiencia en la reducción de Cromo por una bacteria silvestre en un tratamiento tipo Batch como sustrato agua residual del municipio de Pasto, Colombia". *Scielo* [En línea], 2017, (Colombia) 19(1), p.103. [Consulta: 14 octubre 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v19n1/0124-7107-reus-19-01-00102.pdf>

GUEVARA, Diana. Biorremoción de cromo (cromo total y cromo VI) en agua sintética por dos inóculos bacterianos nativos compuestos, a escala de laboratorio [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida. Sangolquí-Ecuador. 2010. p. 8. [Consulta: 5 noviembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/2611/T-ESPE-030039.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GUZMÁN, Alejandro, & GUZMÁN, Sergio. Evaluación de la eficiencia de la utilización de residuos orgánicos de cáscara de banano como alternativa en la descontaminación de metales pesados en el agua del cauce del río Bogotá antes de su desembocadura en el río Magdalena en el municipio de Girardot [En Línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Piloto De Colombia Seccional Alto Magdalena, Facultad de Ingeniería Civil. Colombia. 2006. p. 41. [Consulta: 12 noviembre 2021]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5801/EVALUACION%20DE%20LA%20EFICIENCIA%20DE%20LA%20UTILIZACION%20DE%20RESIDUOS%20ORGANICOS%20DE%20CASCARA%20DE%20BANANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HERGUEDAS, Ana et al. *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Madrid: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario, 2012. ISBN 978-84-931891-5-0, p. 6.

INEC. *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales* [En línea]. Ecuador: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2021. [Consulta: 11 enero 2022]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2020/Residuos_solidos_2020/Presentacion_residuos_2020.pdf

INEC. *Módulo de información ambiental en hogares* [En línea]. Ecuador: Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales, 2017. [Consulta: 11 enero 2022]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2017/DOC_TEC_MOD_AMBIENTAL_ENEMDU%202017.pdf

KILIC, Mehmet et al. "A comprehensive study on removal and recovery of copper (II) from aqueous solutions by NaOH-pretreated *Marrubium globosum ssp. globosum* leaves powder: Potential for utilizing the copper (II) condensed desorption solutions in agricultural applications". *Bioresource Technology* [En línea], 2009, 100(7), pp. 2130–2137. [Consulta: 11 noviembre 2021]. ISSN 0960-8524. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.002>

LARA, Martín. Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Granada, Facultad de Ciencias. España. 2008. p.36. [Consulta: 9 noviembre 2021]. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/1906/17514629.pdf?sequence=1&isAllowed=>

LENNTECH. *Chemical properties of chromium*. 2013. [Consulta: 5 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.lenntech.com/periodic/elements/cr.htm>

MAKUCHOWSKA-FRYC, Joanna. "Use of the eggshells in removing heavy metals from waste water the process kinetics and efficiency". *Ecological Chemistry and Engineering* [En línea], 2019, (Polonia) 26(1), pp. 165–166. [Consulta: 23 octubre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/eces-2019-0012>

MEDINA, Milton. Determinación de cromo hexavalente en descargas de aguas residuales de una curtiembre, ubicada en el sector de Izamba- Ambato en la provincia de Tungurahua, mediante espectrofotometría de absorción atómica [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Quito-Ecuador, 2010. pp. 13-99. [Consulta: 7 noviembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/3162/T-PUCE-2785.pdf;sequence=1>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. “El cromo hexavalente, aplicación y riesgo ambiental”. *Guías para el manejo de productos químicos y desechos peligrosos* [En línea], 2012, (Guatemala) 1(1), p. 1 [Consulta: 5 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/1992.pdf>

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA DEL ECUADOR. *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales* [En línea]. 1ª ed. Quito-Ecuador, 2020. [Consulta: 8 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>

MITTAL, Alok et al. “Applications of egg shell and egg shell membrane as adsorbents: a review”. *Journal of Molecular Liquids* [En línea], 2016, (Alemania) 23(1), pp. 376–387. [Consulta: 15 noviembre 2021]. ISSN 0167-7322. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016773221631323X?via=ihub>

MOLINA, Mishel. Elaboración de un filtro artesanal de agua utilizando materiales no convencionales, evaluando su eficiencia para la disminución de los niveles de contaminación de aguas residuales generada por una lavadora de autos [En línea] (Tesis). (Titulación). Universidad Técnica De Ambato, Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica. Ambato, Ecuador. 2016. pp. 21-25. [Consulta: 14 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24606/1/Tesis%201086%20-%20Molina%20García%20Mishel%20Estefanía.pdf>

MORANTE, Gonzalo. "Electrocoagulación de aguas residuales". *Revista Colombiana De Física*, Vol. 34, n°34 (2002), (Colombia) p. 484.

MUÑOZ, Juan. Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja “citrus sinensis” pretratada [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor De San Marcos,

Facultad De Química e Ingeniería Química. Lima-Perú. 2007. p. 38. [Consulta: 10 enero 2022].
Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/391>

NETZAHUATL-MUÑOZ, A.; URBINA M.; & URBINA E. “Estudio cinético de la remoción de cromo hexavalente y de cromo total por la corteza del árbol de pirul”. *Revista Cubana de Química* [En línea], 2010, (Cuba) 22(3), pp. 3–8. [Consulta: 14 octubre 2021]. ISSN 0258-5995.
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543720001>

ONU. *Objetivos de desarrollo sostenible*. 2015. [Consulta: 3 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

ONU. *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos* [En línea]. 2017^a ed. París- Francia: UNESCO, 2017. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1__15.247647s.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf)

OTERO, Natalia. Filtración de aguas residuales para reutilización [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de la laguna. España. 2006. p. 103. [Consulta :11 noviembre 2021]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/10239/cp273.pdf?sequence=1&is>

PABÓN, Janeth, & ROSAS, William. 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. (Trabajo de titulación) (Tesis). Universidad Nacional Abierta Y A Distancia, Escuela de Ciencias Básicas y Tecnológicas. Colombia. 2016. p. 29.

PÁEZ, C. y G. TABORDA. "La Fotocatálisis: Aspectos Fundamentales para una Buena Remoción de Contaminantes". *Revista Universidad de Caldas*, Vol.1, n°7 (2006), (Colombia) pp.71-88.

PEÑA, Ximena. *Estudiantes del Tec de Monterrey campus Toluca recolectan cascarón de huevo para limpiar el Río Lerma. Tecnológico de monterrey*. 2021. [Consulta: 28 octubre 2021]. Disponible en: <https://tec.mx/es/noticias/toluca/educacion/estudiantes-recolectan-cascaron-de-huevo-para-limpiar-el-rio-lerma>

PINZÓN-BEDOYA, Martha & CARDONA, Angélica. "Influencia del pH en la bioadsorción de Cr (III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso

discontinuo". *Facultad de Ciencias Básicas* [En línea], 2010, (Colombia) 8(1), p. 3. [Consulta: 20 octubre 2021]. ISSN 0120-4211. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/903/90315226003.pdf>

RAJENDRAN, A.; & MANSIYA C. "Extraction of chromium from tannery effluents using waste egg shell material as an adsorbent". *Sciencedomain international* [En línea], 2011, (India) 1(2), pp. 44–45. [Consulta: 22 octubre 2021]. Disponible en: <https://zenodo.org/record/8058>

RINCÓN, Ana. Comparación y análisis de métodos de biorremediación en aguas residuales industriales para la extracción del cromo hexavalente [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá- Colombia. 2018. pp. 3-19. [Consulta: 22 octubre 2021]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/20939/1014195821.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ROMERO, Mariana. Evaluación del efecto de la modificación de la superficie de una zeolita natural mexicana para la remoción de iones Pb^{+2} , Cu^{+2} y degradación de fenol [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán-México. 2011. pp. 17-18. [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/4668/FIQ-M-2011-0046.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ROSALES, Claudia. Estudio de la remoción de Cr (VI) presente en soluciones acuosas empleando un silicato natural y modificado [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Autónoma Del Estado De México, Facultad de Química. México. 2014. pp. 15-16. [Consulta: 10 noviembre 2021]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14971/419817.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ROSSI, María. Diseño de un purificador de agua para uso en la pequeña industria alimentaria de zonas rurales [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De San Agustín, Facultad De Ciencias Naturales Y Formales. Arequipa - Perú. 2017. pp. 15-16. [Consulta: 13 noviembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5965/SErosagm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SÁNCHEZ, Lorena. Mecanismos de biosorción en la remediación de aguas contaminadas por Cr (VI) mediante el uso de subproductos vitivinícolas [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. España. 2019. pp. 6-8. [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/23561/TFM%20definitivo.pdf?sequence=1>

SANTOS, Andreina. "Recovery of phosphate from aqueous solutions using calcined eggshell as an-eco-friendly adsorbent". *Journal of Environmental Management* [En línea], 2019, 238(1), pp. 451–459. [Consulta: 11 noviembre 2021]. ISSN 0301-4797. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.015>

SIGNIFICADOS. *Significado de adhesión.* 2016. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <https://www.significados.com/adhesion/>

SINGLER, Adam; & BAUDER, Jim. "Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales". *Universidad estatal de Montana* [En línea], 2012, (Estados Unidos) 1(1), p. 1 [Consulta: 17 enero 2022]. Disponible en: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf

SMITH, P. *¿Qué es el Cromo Hexavalente?* *FLUENCE NEWS TEAM.* 2020. [Consulta: 25 enero 2022]. Disponible en: <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-elcromo-hexavalente/>

TAPIA, Ximena. Reutilización del baño del curtido en el proceso de pincelado de pieles ovinas [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias. Riobamba-Ecuador, 2006. p. 42. [Consulta: 8 noviembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1758/1/17T0793.pdf>

TEJADA, Candelaria et al. "Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico". *Tecno Lógicas* [En línea], 2015, 18(34), p. 113. [Consulta: 14 enero 2022]. ISSN 0123-7799. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v18n34/v18n34a10.pdf>

TULSMA LIBRO VI ANEXO 1. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.*

VALDEZ, Antonio. *Medición de conductividad*. 2018. [Consulta: 15 enero 2022]. Disponible en: <http://fundicionesrice.com/assets/frontend/cartas/TNL90/TNL90esp.htm>

VARGAS, Lidia. Tratamiento de agua para consumo humano [En línea]. 1a ed. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004. [Consulta: 17 noviembre 2021]. Disponible en: http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf

VEGA, Erick. Estudio de la aplicación de la cáscara de huevo en la remoción de fluoruros en aguas claras [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Quito-Ecuador. 2017. p. 26. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18801/1/CD-8190.pdf>

VERDUGO, José. Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (*citrus reticulata var. clementina*) [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2017. p. 47. [Consulta: 15 febrero 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14249/1/UPS-CT007003.pdf>

VILLANUEVA, Claudia. Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de *Citrus Sinensis* (naranja), *Citrus Limonium* (limón) y *Opuntia Ficus* (palmeta de nopal) [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú, 2006. p. 13. [Consulta: 7 noviembre 2021]. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2112/Villanueva_hc.pdf?sequence=1

ZAPIÉN, Leonor. Biosorción de Cr (VI) en solución acuosa utilizando cáscara de membrillo en un sistema por lotes [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán-México. 2013. pp. 40-41. [Consulta: 12 noviembre 2021]. Disponible en: <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/23561/TFM%20definitivo.pdf?sequence=1>

ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN DE LOS BIOMATERIALES



a) Lavado de cáscara de huevo



b) Limpieza de la cáscara de naranja



c) Cáscara de huevo seca



d) Cáscara de naranja deshidratada



e) Caracterización del biomaterial

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

ANEXO B: ELABORACIÓN DE LAS SOLUCIONES ACUOSAS



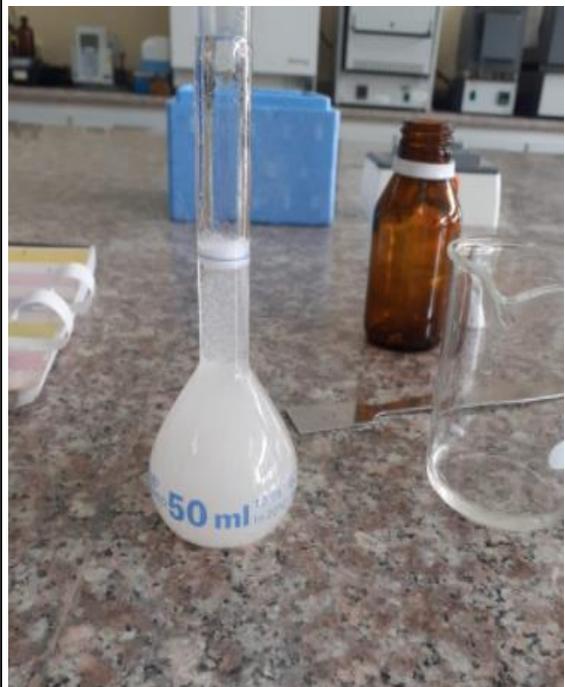
a) Preparación de la solución madre



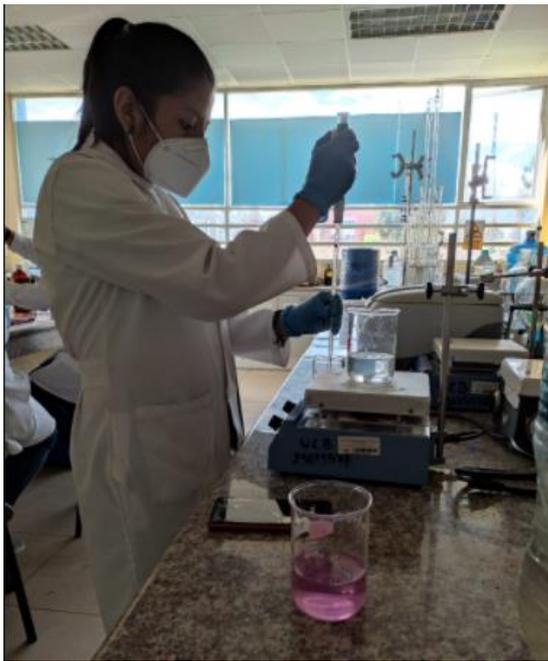
b) Preparación de las soluciones acuosas (0,6; 0,8; 1; 1.5 ppm)



c) Caracterización de las soluciones



d) Preparación de la solución de 1,5- difenil carbazida



e) Adición de la 1,5- difenil carbazida



f) Obtención de la curva de calibración



g) Espectrofotómetro UV-VIS utilizado en la determinación de cromo hexavalente

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

ANEXO C: PROCESO DE FILTRACIÓN



a) Adición de los materiales filtrantes



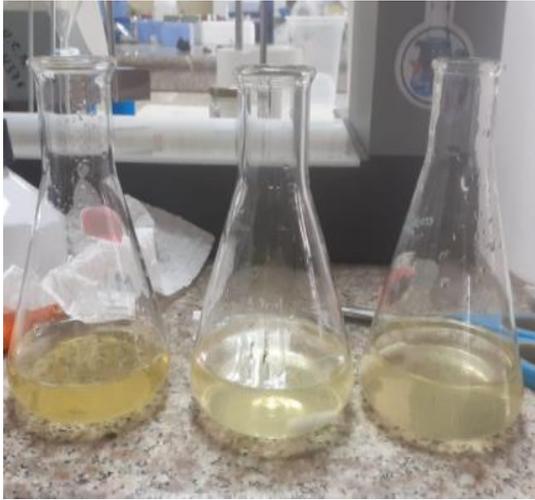
b) Sistemas de filtración



c) Filtro a bases de residuos



d) Filtración de las soluciones



e) Agua tratada con cáscara de naranja con la difenilcarbazona



f) Agua tratada con cáscara de huevo con la difenilcarbazona

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

ANEXO D: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS TRAS LA FILTRACIÓN CON CÁSCARA DE HUEVO

Thermo Scientific

| # | ID de muestra | Nombre del Usuario | Analito 1 (mg/ml) |
|----|---------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 1H1 | Pc | 0,305 |
| 2 | 1H2 | Pc | 0,34 |
| 3 | 1H3 | Pc | 0,327 |
| 4 | 2H1 | Pc | 0,434 |
| 5 | 2H2 | Pc | 0,493 |
| 6 | 2H3 | Pc | 0,329 |
| 7 | 3H1 | Pc | 0,467 |
| 8 | 3H2 | Pc | 0,45 |
| 9 | 3H3 | Pc | 0,407 |
| 10 | 4H1 | Pc | 0,649 |
| 11 | 4H2 | Pc | 0,648 |
| 12 | 4H3 | Pc | 0,68 |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.

ANEXO E: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS TRAS LA FILTRACIÓN CON CÁSCARA DE NARANJA

Thermo Scientific

| # | ID de muestra | Nombre del Usuario | Analito 1 (mg/ml) |
|----|---------------|--------------------|--------------------------------|
| 1 | 1N1 | Pc | 0,089 – Fuera del rango (bajo) |
| 2 | 1N2 | Pc | 0,127 |
| 3 | 1N3 | Pc | 0,122 |
| 4 | 2N1 | Pc | 0,064 – Fuera del rango (bajo) |
| 5 | 2N2 | Pc | 0,062 – Fuera del rango (bajo) |
| 6 | 2N3 | Pc | 0,055 – Fuera del rango (bajo) |
| 7 | 3N1 | Pc | 0,025 – Fuera del rango (bajo) |
| 8 | 3N2 | Pc | 0,089 – Fuera del rango (bajo) |
| 9 | 3N3 | Pc | 0,091 – Fuera del rango (bajo) |
| 10 | 4N1 | Pc | 0,042 – Fuera del rango (bajo) |
| 11 | 4N2 | Pc | 0,033 – Fuera del rango (bajo) |
| 12 | 4N3 | Pc | 0,072 – Fuera del rango (bajo) |

Realizado por: Calvache, Génesis, 2022.



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 04 / 2022

| |
|--|
| INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S) |
| Nombres – Apellidos: <i>Genesis Abigail Calvache Diaz</i> |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL |
| Facultad: <i>Ciencias</i> |
| Carrera: <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i> |
| Título a optar: <i>Ingeniera en Biotecnología Ambiental</i> |
| f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i> |



0610-DBRA-UTP-2022