

**ESTRATEGIA DE DIVULGACIÓN SOBRE EL USO DE TECNOLOGÍAS  
LIMPIAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS SINTÉTICAS, APLICADAS PARA  
LA REMOCIÓN DE Zn (II).**

**ANGELA MARCELA OLARTE BRIJALDO  
2017115041**

**ALEJANDRO MALDONADO MARTINEZ  
2017115032**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA**

**Director: Sandra Sandoval Osorio  
Magister en Educación. Profesora Departamento de Química.  
Grupo de Investigación EHCEC**

**Codirectora: Dora Luz Gómez Aguilar  
Doctora en Desarrollo Sostenible. Profesora Departamento de Química.  
Grupo de investigación La Didáctica y sus Ciencias**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
LICENCIATURA EN QUÍMICA  
BOGOTÁ. D. C  
2022**

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS .....	4
LISTA DE IMÁGENES .....	5
LISTA DE MONTAJES .....	6
LISTA DE GRÁFICOS .....	6
LISTA DE ANEXOS .....	6
1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. OBJETIVOS .....	9
2.1 GENERAL .....	9
2.2 ESPECIFICOS .....	9
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
4. ANTECEDENTES .....	11
5. REFERENTES CONCEPTUALES .....	12
5.1 EDUCACIÓN AMBIENTAL .....	12
5.2 EDUCACIÓN EN CIENCIAS .....	14
5.3 DIVULGACIÓN CIENTÍFICA .....	14
5.4 METALES PESADOS .....	15
5.5 ZINC .....	15
5.6 CONTAMINACIÓN DE ZINC Y TOXICIDAD .....	16
5.7 INDUSTRIA GALVANOPLASTIA .....	18
5.8 PROCESOS DE GALVANIZADOS .....	18
5.9 TECNOLOGIAS LIMPIAS .....	19
5.10 BIOADSORCIÓN .....	20
5.11 DESORCIÓN .....	25
5.12 ELECTRÓLISIS .....	25
5.13 ELECTRODO DE COBRE .....	27
5.14 ELECTRODO DE GRAFITO .....	28
5.15 ELECTRODEPOSICIÓN .....	28
6. METODOLOGÍA .....	32
6.1 ACTIVIDAD EXPERIMENTAL .....	32
6.1.1 PREPARACIÓN SOLUCIÓN STOCK DE Zn (II) 80 mg/L .....	32

6.1.2 PREPARACIÓN DE LOS PATRONES PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN .....	32
6.1.3 FASE 1. RECOLECCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y PREPARACIÓN DEL BIOADSORBENTE.....	32
6.1.4 FASE 2. BIOADSORCIÓN .....	33
6.1.5 FASE 3. DESORCIÓN.....	34
6.1.6 FASE 4. ELECTRODEPOSICIÓN.....	34
6.1.7 FASE 4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELECTRODOS Y SOBRENADANTES ELECTRÓLISIS .....	35
6.2 PROCESO DE DIVULGACIÓN.....	35
6.2.1 FASE 1. INTERVENCIÓN, EXPOSICIÓN MATERIAL DIVULGATIVO.....	36
6.2.2 FASE 2. VALORACIÓN DEL MATERIAL DIVULGATIVO.....	36
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EXPERIMENTAL DESCRITA EN EL NUMERAL 6 .....	36
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN APLICACIÓN MATERIAL DIVULGATIVO.....	57
9. CONCLUSIONES.....	64
10. BIBLIOGRAFÍA.....	65

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Límites fijados de metales pesados en aguas.

**Tabla 2.** Ingesta de zinc diaria por edad.

**Tabla 3.** Nutrientes de distintos tipos de abonos.

**Tabla 4.** Comparación entre bioadsorción y bioacumulación.

**Tabla 5.** Biosorbentes usados.

**Tabla 6.** Distintos biosorbentes empleados.

**Tabla 7.** Ventajas y desventajas de biomásas inertes y vivas

**Tabla 8.** Factores fisicoquímicos que afectan la bioadsorción.

**Tabla 9.** Propiedades de los electrodos de cobre.

**Tabla 10.** Factores fisicoquímicos que afectan la electrodeposición.

**Tabla 11.** Absorbancias de los patrones para curva de calibración.

**Tabla 12.** Cálculos Límites de detección y cuantificación.

**Tabla 13.** Cenizas ensayo diciembre.

**Tabla 14.** Lecturas y concentración de zinc en las cenizas de la cáscara de naranja.

**Tabla 15.** Proceso de preparación y caracterización del bioadsorbente.

**Tabla 16.** Procedimiento en el laboratorio del proceso de bioadsorción de la cáscara de naranja.

**Tabla 17.** Bioadsorción mes de diciembre.

**Tabla 18.** Absorbancias en el proceso de adsorción.

**Tabla 19.** Porcentaje de adsorción de la cáscara de naranja.

**Tabla 20.** Montaje realizado en el mes de diciembre desorción.

**Tabla 21.** Resultados obtenidos de desorción en diciembre.

**Tabla 22.** Imágenes del proceso de desorción del mes de marzo.

**Tabla 23.** Resultados obtenidos del proceso de desorción.

**Tabla 24.** Concentraciones reales sobrenadantes desorción.

**Tabla 25.** Desorción prueba 1.

- Tabla 26.** Desorción prueba 2.
- Tabla 27.** Desorción prueba 3.
- Tabla 28.** Porcentaje de desorción respecto a tiempo de agitación.
- Tabla 29.** Proceso preliminar de electrodeposición de Zn realizado en el mes de diciembre.
- Tabla 30.** Distribución electrodos en sobrenadantes de desorción.
- Tabla 31.** Resultados de absorción atómica para sobrenadantes de electrólisis.
- Tabla 32.** Resultados de absorción atómica para digestión de electrodo de cobre.
- Tabla 33.** Concentraciones reales sobrenadantes electrólisis.
- Tabla 34.** Porcentajes de recuperación de zinc en pruebas electrólisis.
- Tabla 35.** Concentración en electrodo de cobre después de la electrólisis
- Tabla 36.** Comparación porcentaje de recuperación de Zinc en distintos electrodos.
- Tabla 37.** Proceso de electrodeposición.
- Tabla 38.** Resultados obtenidos en el proceso de bioadsorción.
- Tabla 39.** Resultados obtenidos en los procesos de desorción y electrodeposición.
- Tabla 40.** Resultado matriz evaluativa.

## **LISTA DE IMÁGENES**

- Imagen 1.** Proceso de galvanizado.
- Imagen 2.** Montaje electrólisis.
- Imagen 3.** Comparación entre diamante y grafito.
- Imagen 4.** Principio de proceso de electrodeposición.
- Imagen 5.** Electrodeposición catódica.
- Imagen 6.** Cáscara recolectada y cáscara molida.
- Imagen 7.** Tabla de color de la naranja.
- Imagen 8.** Cáscara de naranja recolectada.

## **LISTA DE MONTAJES**

**Montaje 1.** Montaje de biosorción.

**Montaje 2.** Desorción.

**Montaje 3.** Electrodeposición.

## **LISTA DE GRÁFICOS**

**Gráfico 1.** Curva de calibración para Zn (II).

**Gráfico 2.** Desorción prueba 1.

**Gráfico 3.** Desorción prueba 2.

**Gráfico 4.** Desorción prueba 3.

**Gráfico 5.** Objetos Científicos Interactivos.

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexos 1.** Material divulgativo tipo artículo científico.

**Anexos 2.** Matriz evaluativa, material divulgativo.

**Anexos 3.** Material divulgativo con correcciones a partir de los datos obtenidos de la matriz evaluativa.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso, a mis padres José Olarte y Dalia Brijaldo por su apoyo incondicional y acompañamiento, porque gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí; a mi hermana Viviana y mis sobrinos Santiago y María Alejandra por su apoyo moral y por creer en mí siempre; a todos mis amigos por su acompañamiento y motivación durante el desarrollo de este trabajo.

*Angela Marcela Olarte Brijaldo*

Agradezco a mis padres, quienes han impulsado mi formación personal y profesional desde un apoyo y motivación incondicional, a Karen, Fernanda y amigos por ser la motivación y acompañamiento en este proceso académico.

*Alejandro Maldonado Martinez*

Por otra parte, a las docentes Sandra Sandoval Osorio y Dora Luz Gómez, por su acompañamiento y guía durante el proceso de desarrollo de este trabajo, por su paciencia y dedicación al momento de aportar en nuestra investigación. A las laboratoristas Mercy y Lina de la Universidad Pedagógica Nacional, por su apoyo y paciencia en los procesos experimentales.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años la industria galvánica en Colombia ha presentado un crecimiento debido al surgimiento de pequeñas empresas y su fortalecimiento a nivel nacional e internacional; los procesos que desarrolla esta industria generan una serie de residuos que en su mayoría son inorgánicos y por sus características, resultan ser bastante tóxicos en el ambiente (Miño Quintero, 2005). La galvanización es un proceso que recubre objetos con diferentes metales pueden ser metales como cromo, níquel, zinc, entre otros, con el fin de tener un acabado homogéneo en la pieza y evitar algún proceso de corrosión y desgaste en ellas.

Con lo anterior y reconociendo que el crecimiento de la industria va aumentando en la producción de residuos tóxicos, surge la preocupación por desarrollar procesos de bajo impacto ambiental, que ayuden a la disminución de dichos residuos. En el programa de licenciatura en química, las problemáticas ambientales han sido parte de la formación, por lo tanto, se considera que desde la labor docente se puede desarrollar un proyecto en el que se implemente un proceso basado en tecnologías limpias, el cual permita remover el zinc (II) presente en los efluentes con el menor impacto ambiental, minimizando de esta forma los residuos producidos durante dichos procesos; pues si bien, dentro de la industria galvánica se generan tratamientos para el vertimiento de los efluentes, estos tratamientos llegan a generar lodos que se clasifican como peligrosos.

Ahora bien, dentro la sociedad colombiana, existe una falta de divulgación frente a este tema de residuos, puesto que los artículos que se encuentran se consideran un tipo de literatura única dirigido a personas especializadas y/o con fines científicos de investigación, causando que el nivel de desconocimiento sea de magnitudes importantes. Por lo anterior, surge la importancia de los procesos divulgativos, los cuales cumplen como función superar o ir “más allá de la publicación de avances o resultados de investigación, busca contribuir con la formación de ciudadanos críticos y propositivos en relación con el aporte de la ciencia en la solución de los problemas de la sociedad” (Monsalve & Ochoa, 2014), que pueden ir dirigidos a diferentes poblaciones como los integrantes de las comunidades educativas, empresarios, habitantes de algunas zonas aledañas a las empresas de galvanizado, entre otras; esto con el propósito de buscar formas de contextualización del impacto de la educación ambiental y en ciencias en la construcción de ciudadanía. El proceso divulgativo hará visibles posibles soluciones a problemáticas ambientales que se generan a causa de estos procesos, por consiguiente, se vuelve importante la implementación de dichas soluciones y adicional a esto, como herramienta para la formación en ciencias de jóvenes y adultos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 GENERAL

- Generar procesos divulgativos sobre el tratamiento de aguas residuales, a partir del uso de tecnologías limpias para la remoción y recuperación de Zn (II) en aguas sintéticas.

### 2.2 ESPECIFICOS

- Determinar la eficiencia de procesos de bioadsorción, desorción y electrodeposición para la separación y recuperación de Zn (II) en aguas sintéticas, con potencial de aplicación en aguas residuales provenientes de la industria galvánica.
- Evaluar el potencial que tiene el uso de material divulgativo por parte de los docentes para sus procesos de educación en ciencias y ambiental.

## 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, una de las problemáticas que golpea a la población mundial es el futuro del medio ambiente, con la creciente población a nivel mundial surge una demanda alta en la disposición y apropiación de recursos naturales, tales como agua y alimentos, así mismo, el aumento en el uso de agentes químicos en las industrias deja en evidencia el aumento de la contaminación en cuerpos hídricos, la cual es cada vez más grave.

Se sabe que Colombia es uno de los países que tiene una gran biodiversidad y fuentes hídricas, debido a la zona subtropical en la que se encuentra. El agua, se vuelve uno de los recursos más importantes y que debería tener una mayor valoración dentro de la sociedad colombiana, sin embargo, es desperdiciada en la mayoría de los casos, es altamente contaminada por actividades antrópicas de tipo industrial, según estudios de (Pabón Guerrero et al., 2020) la industria, minera, pinturas, curtiembres, industria textil, galvanoplastia, entre otras. Estas industrias son las principales en lo que a contaminación de cuerpos hídricos se refiere, pues todos los subproductos químicos que producen son vertidos en las fuentes hídricas, todo con el fin de ahorrar en gastos en vez de desechar los residuos de una forma adecuada.

Ahora bien, se conoce que los mayores contaminantes por metales pesados son las industrias de minería, curtido de pieles y galvanoplastia; estas actividades no tienen los controles que deberían en los efluentes producidos durante dichos procesos, por lo tanto, se produce una alta contaminación por metales pesados. Con lo anterior se sabe entonces que, durante los procesos de galvanoplastia, se utilizan altas cantidades de agua, las cuales llegan a contener una alta carga contaminante de Zn (II) y otros metales.

Es por todo lo anterior, que se plantean tecnologías limpias para el tratamiento de este tipo de aguas residuales producidas en los procesos de galvanoplastia, buscando de esta forma opciones viables tanto económicas, como ambientales; por lo que surge la idea de usar tres métodos distintos en un proceso de recuperación de este tipo de aguas, consiste en la implementación de un bioadsorbente (cáscara de la naranja) para adsorber en un inicio el metal pesado, debido a los distintos grupos funcionales con los que se pueden formar complejos organometálicos expuestos por Garces (2012) y Mendoza & Molina (2015), permitiendo así el enlace con dicho metal, posterior a esto, se somete a un proceso de desorción para recuperación de la biomasa y el aislamiento del ion zinc, con el fin de reutilizarla en otros procesos como pueden llegar a ser la elaboración de fertilizantes; finalmente la implementación de electrólisis para la recuperación del metal pesado por electrodeposición.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizaron dichos procesos debido a que surge la preocupación de que las biomásas usadas en esta metodología no son tratadas y reutilizadas en los procesos o reincorporados en otras actividades, así como el metal pesado recuperado; por lo tanto, se convierten en residuos potencialmente tóxicos. Este proceso se desarrolla con el propósito de construir un método basado en las tecnologías limpias, ya que, es importante que durante el proceso de aplicación exista una reducción de desechos producidos por estos métodos. En la presente investigación se buscó estandarizar estos procesos los cuales se realizaron a partir de un agua sintética preparada con una concentración de ion Zn (II) conocida y la cual tuvo condiciones similares de pH y temperatura de un agua proveniente de la industria galvánica.

Finalmente, se construyó un artículo científico de divulgación, el cual permitió evidenciar la viabilidad del uso de estos métodos para el tratamiento de aguas residuales contaminadas por metales pesados, como una forma de contextualización dentro de procesos educativos. Se presento este material divulgativo a una población de cinco docentes en ejercicio y tres docentes en formación que ya hayan cursado sus prácticas pedagógicas en las áreas de ciencias naturales, ya que tienen formación científica y con interés educativo para su quehacer profesional, la cual puede arrojar observaciones para mejorar el proceso de socialización de los mecanismos para la recuperación y remoción del Zn (II), a su vez los contenidos que se pueden abordar desde las aulas con dicho material, determinando de esta forma su potencial educativo. Con todo lo anterior, la pregunta de investigación se plantea en los siguientes términos:

¿De qué forma el desarrollo de procesos basados en tecnologías limpias para la remoción y recuperación de Zn (II) en aguas sintéticas, se pueden dar a conocer a través de procesos de divulgación científica que aporten a la profundización y contextualización de la educación en ciencias y ambiental?

#### 4. ANTECEDENTES

Para la realización de este trabajo, se hizo una revisión de distintos trabajos de grado de la Universidad Pedagógica Nacional referentes a los procesos de bioadsorción y desorción, así mismo, trabajos de grado pertenecientes a la Universidad de Cartagena, adicional a esto, se revisaron trabajos de maestría de la Universidad de los Andes y Universidad Santo Tomás de Aquino referentes a los procesos de electrodeposición y electroquímicos en procesos de recuperación de metales pesados.

En el trabajo de grado titulado Implementación de ambientes virtuales TIC: enseñanza del fenómeno de desorción de Pb(II) en aguas residuales industriales, de la Universidad Pedagógica Nacional (Hernández, 2020), se realizó una revisión bibliográfica sobre el fenómeno de desorción de Pb(II) en aguas residuales de grado industrial, en este trabajo se le da relevancia a una tecnología emergente para el tratamiento de aguas residuales que es económica y viable debido a su bajo costo, el cual aporta en la implementación del proceso de desorción en el proyecto a desarrollar. Además, en el trabajo de maestría de la Universidad de los Andes titulado Evaluación preliminar del proceso de electrodiálisis como alternativa para la recuperación de metales pesados en la industria galvánica - estudio para Níquel (Miño Quintero, 2005), se evidencia la evaluación de remoción de metales pesados por el método de electrodiálisis como alternativa en el tratamiento de agua y recuperación de metales pesados en la industria galvánica, la cual se desarrolla por medio de membranas iónicas selectivas.

Estudios de índole de remoción de metales pesados con biosorbentes se encuentra el trabajo de grado titulado Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales (Garces, 2012), de la Universidad de Cartagena, muestra que la cáscara sin quitosano es más eficaz comparada con la modificada, la cual permite que se seleccione esta biomasa y Tovar, Bolaños, Benítez, & Bolívar, (2015) hacen uso de biosorbentes en especial de la cáscara de naranja para la adsorción de metales pesados en aguas residuales contaminadas por estos, en dicho trabajo se observa cuáles son las mejores condiciones y tratamiento de la cáscara de naranja para tener una efectividad alta en la remoción de metales como el cromo en su estado de oxidación VI.

Por otra parte, en los procesos electroquímicos, Solano (2012) da una perspectiva de cómo el uso de procesos electroquímicos para el tratamiento de residuos que contienen metales pesados potencialmente tóxico, son viables en su eficacia y costos, especificando allí las efectividades para la remoción del cromo VI y Macias (2011) el cual hace un estudio de procesos electroquímicos en la recuperación polvos de zinc. Adicional a esto, en el trabajo de maestría de la Universidad de los Andes ya referenciado con anterioridad (Miño Quintero, 2005). Se realiza la evaluación de remoción de metales pesados por el método de

electrodialisis como alternativa en el tratamiento de agua y recuperación de metales pesados en la industria galvánica, la cual se desarrolla por medio de membranas iónicas selectivas.

Así mismo, se hizo una revisión de distintos artículos de revistas científicas y pedagógicas, que apoyaron la construcción de conceptos referentes a la divulgación científica en procesos educativos sustentados en la educación ambiental.

La divulgación como se menciona en el documento presentado por Rivas (2017) es de suma importancia debido a que permite “al mundo académico apreciar, comparar, cuestionar o quizá reinterpretar los resultados de las investigaciones que le interesen, dando paso a iniciar nuevos estudios y proyectos” (Rivas, 2017 pág. 242). Blanco (2004) da una clara relación entre la educación en ciencias y la divulgación científica de esta forma hace énfasis en estas dos partes son fundamentales dentro de la sociedad y el desarrollo tecnológico. Laranjeiras, Portela, & Ribeiro (2018) muestran una integración entre la universidad-escuela para la comprensión pública de la ciencia en distintos sectores de la sociedad dentro de una experiencia desarrollada en Brasil.

Pérez, Peñal, & Villamil, (2007) ratifican el por qué es importante optar por usar un enfoque CTSA en la enseñanza de las ciencias específicamente en la enseñanza de la química desde problemáticas ambientales, así mismo, dichos autores aportan al entendimiento de las interacciones ciencia, tecnología y sociedad dentro del ámbito educativo.

## **5. REFERENTES CONCEPTUALES**

Para el desarrollo de esta investigación se consideraron tres aspectos disciplinares de importancia: bioadsorción, desorción y electrodeposición, con estos se evidencian las distintas aplicaciones de las tecnologías limpias conformes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por la Organización de las Naciones Unidas, con el fin de mitigar el impacto de las actividades antrópicas en ambientes naturales. Realizado la aclaración de los procesos disciplinares que se abordaran, se orientan hacia las distintas aplicaciones pedagógicas dentro del ámbito de la divulgación científica de conformidad con los objetivos de la educación ambiental y en ciencias.

### **5.1 EDUCACIÓN AMBIENTAL**

La educación ambiental ha sido una de las vertientes dentro del ámbito educativo que ha tomado bastante fuerza en las últimas décadas conforme a las problemáticas ambientales que han surgido, es por esto, que se ha vuelto un eje dinamizador para que las personas tomen conciencia y sean capaces de evaluar los problemas de desarrollo sostenible o sustentable y abordarlos desde una perspectiva hacia la concientización ambiental (Rengifo, 2012), por lo tanto se vuelve un proceso, el cual desea fomentar las destrezas, habilidades y aptitudes, con el fin de desarrollar de forma correcta la relación hombre, sociedad y ambiente, lo cual ayuda

al desarrollo de valores, conciencia y técnicas de comportamientos ecológicos, esto con el propósito de cuidar el ambiente.

La educación ambiental aparece por primera vez en 1922 en el tratado de educación ambiental hacia sociedades sustentables y de responsabilidad global, es a partir de esta fecha que se desarrollan trabajos de investigación frente a soluciones, acerca de cómo generar conciencia en las diferentes sociedades sobre el cuidado del medio ambiente, y de esta forma generar acciones que tengan como objetivo mitigar el impacto que tiene la humanidad hacia los espacios ambientales y a su vez, que tengan practicidad con el desarrollo de nuevas tecnologías.

En 1972 en la conferencia de las naciones unidas sobre el medio ambiente, se da una mayor importancia al cambio de modelo de desarrollo, adicional a esto, enfocar la educación ambiental en jóvenes para que esta tome fuerza en medios escolarizados y no escolarizados, con esto entonces en 2006 la UNESCO y el PNUMA crean el programa internacional de educación ambiental, con el cual se da un enfoque disciplinario para adquirir una visión del medio ambiente en niveles educativos (Macedo y Salgado, 2007), con esto cobra importancia y se da un sentido más acorde a las necesidades de la sociedad, generando valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y momento determinado.

Con lo anterior la educación ambiental se vuelve necesaria en las instituciones educativas del país, debido a que los procesos educativo-ambientales son los que promueven la aplicación que cada estudiante ha adquirido a lo largo de su formación, por tal razón, la importancia del desarrollo de proyectos educativos institucionales en los cuales se refleje el componente ambiental. Teniendo en cuenta lo anterior y lo establecido en los principios de la educación ambiental se afirma que debe tener “interculturalidad, formación en valores, regionalización, de interdisciplinariedad y de participación y formación para la democracia, la gestión y la resolución de problemas” (Cantor, 2017, pág. 29).

Sin embargo, este componente debe estar en cada currículo, no solo se debe desarrollar en el aula de clases y solo por los estudiantes, sino debe ser en conjunto con las sociedad implicada, son “los estudiantes, los profesores, los padres de familia, las instituciones del sector y las ONGs (Organizaciones no gubernamentales) presentes en el lugar, entre otros sectores o instituciones, pueden llegar a coordinar esfuerzos hacia un estudio y una recuperación del medio ambiente” (Cantor, 2017, pág. 29) por lo tanto, es importante que se vaya formando con este pensamiento ambiental desde edades pequeñas, con el fin de ganar concientización en grados avanzados, para lograr un pensamiento de conservación y protección por el medio ambiente, debido a que todas las áreas de conocimiento trabajan en conjunto, con el propósito de solucionar problemas que afectan el diario vivir.

## 5.2 EDUCACIÓN EN CIENCIAS

Las ciencias naturales suelen asociarse con la biología, química y física; las cuales en etapas iniciales se enseñan de manera conjunta, debido a que explica los fenómenos del medio ambiente, sin embargo, a medida que se va avanzando se separan estas tres áreas con el objetivo de desarrollar un proceso de contextualización de cada fenómeno en una perspectiva específica. Es por esta razón que la educación en ciencias tiene varios retos.

En la enseñanza de la ciencia según varios estudios se separa en 2, una es el etapa inicial o primaria y la otra en educación secundaria y media, esto se debe al enfoque que presenta las ciencias naturales en cada etapa. En la fase inicial el docente tiene como objetivo despertar en el estudiante el espíritu científico o investigativo, generando “la búsqueda y organización de información, desarrollo de experiencias, formulación de opiniones fundamentadas, flexibilidad frente a las opiniones, desconfianza ante las apariencias y poco a poco lograr la precisión en las preguntas” (Tacca, 2010, pág. 145) y en la segunda etapa, se estimula en el estudiante un pensamiento crítico-reflexivo-sistémico, por medio de la transformación del contenido científico (privado) en enseñable (público). Lo anterior genera la problemática de la enseñanza, debido a esto el docente “deba dinamizar y enriquecer los intereses de los alumnos convirtiéndose en un guía sagaz y afectuoso que ayuda al adolescente a edificar su propia educación” (Tacca, 2010, pág. 146).

Por último, el docente debe servir de guía en las distintas etapas mencionadas con anterioridad, siendo este la articulación entre los contenidos y el aprendizaje de estos en el educando, así mismo debe fomentar en todo momento la búsqueda de la información y el desarrollo de experiencias fundamentadas en la explicación de dichos contenidos.

## 5.3 DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Para hablar de divulgación científica es importante primero hablar de la educación científica, la cual toma un papel importante en la etapa de escolaridad, ya que se busca la unión entre la ciencia y los problemas sociales, conformando una relación ciencia-sociedad, por lo tanto, el objetivo de la formación científica es el de formar individuos que entiendan la ciencia, la tecnología y la sociedad como una unidad y de esta forma puedan emplear conocimientos en las decisiones diarias (Blanco, 2004).

Cuando se habla de divulgación científica debe saberse que el objetivo principal de este proceso es dar a conocer nuevos conocimientos científicos al público general no especializado, es por esto, que esta toma un papel dentro de las distintas sociedades, ayudando a contextualizar conceptos científicos, los cuales en muchos casos se ven alejados de la realidad o no se ven totalmente implícitos en distintos entornos. Alejandra Gonzales Dávila plantea que la divulgación debe contener tres objetivos primordiales; informar al público de los avances científicos y tecnológicos, proporcionar el contexto político, social y

cultural de nuevos conocimientos, sus repercusiones y de esta forma crear un pensamiento crítico que aliente a la conciencia (Dávila, 2001).

Con lo anterior entonces se observa que en ámbitos educativos la divulgación científica puede tener un gran impacto en la formación de personas en espacios escolarizados o no escolarizados, ayudando a implementar una de esas vertientes de la educación ambiental, que busca las necesidades de las distintas sociedades. Cabe resaltar que los procesos divulgativos deben ser dados a través de discursos comprensibles y significativos para los receptores (Sacks, 2000), con esto, observamos que lo único que puede dificultar la divulgación científica en contextos educativos, es el simple contexto social que tienen los estudiantes que reciben dichos materiales.

#### **5.4 METALES PESADOS**

Los metales son componentes principales de la corteza terrestre, por tal razón cumplen un papel fundamental en las funciones biológicas y fisiológicas, “Algunos son oligoelementos imprescindibles para el mantenimiento de los sistemas bioquímicos de los seres vivos, como por ejemplo, el cobre, el manganeso o el zinc, que son esenciales en el metabolismo de los mamíferos” (Nubia Ferre, 2007), sin embargo, algunos de ellos pueden llegar a ser tóxicos para el ser humano y ecosistemas, en algunas ocasiones pueden provocar cáncer u otras enfermedades; esto se ve relacionado con su procedencia de actividades industriales, agrícolas, mineras y ganaderas.

Los metales son elementos con alta densidad, por lo tanto, en muchas situaciones es un contaminante directo de las fuentes hídricas “el incremento de concentración en las aguas de estos compuestos se debe principalmente a contaminación puntual de origen industrial o minero. Los lixiviados de vertederos o vertidos de aguas residuales pueden ser asimismo una fuente de contaminación” (FACSA ciclo integral del agua, 2017).

#### **5.5 ZINC**

El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre, encontrándolo en el aire en finas partículas de polvo, suelo y el agua; en su forma elemental (o metálica) el zinc es un metal brillante de color blanco-azulado, cuando se tiene en polvo es explosivo y puede estallar en llamas si se mantiene en lugares húmedos (Romero & Flores, 2017). El zinc es usado para revestir hierro y otros metales con el objeto de prevenir el enmohecimiento y la corrosión; este proceso se conoce como galvanización; también se mezcla con otros metales para formar aleaciones tales como el latón y bronce; además se usa para fabricar compartimentos de baterías secas (Sivana, 2014).

Este también, es considerado un oligoelemento, debido a que tiene presencia en muchos procesos biológicos, principalmente procesos enzimáticos y duplicidad de ADN (C. Rubio,

2007). Con esto entonces se observa que el zinc es uno de los elementos esenciales más abundantes en el cuerpo humano, encontrándolo en el citosol principalmente.

## 5.6 CONTAMINACIÓN DE ZINC Y TOXICIDAD

A pesar de que el zinc es considerado un oligoelemento, en grandes cantidades puede generar una toxicidad notable en los organismos vivos, con esto se muestra en la tabla 1 los límites permisibles de Zn y otros metales en aguas de consumo humano y aguas provenientes de la industria galvánica.

Metal	Metales pesados en el agua de consumo humano	Metales pesados en aguas residuales de industrias de revestimiento de metales
	ppm	ppm
Mercurio	0.001	0.01
Cobre	1.0	1.00
Plomo	0.01	0.20
Cromo	0.05	0.50
Zinc	5.0	3.00

**Tabla 1. Límites máximos fijados de metales pesados en aguas. Tomado de NTC 813 (2013) y Resolución 631 (2015).**

Al ser tan abundante, el zinc lo podemos encontrar en muchos alimentos y bebidas, como en carnes rojas, derivados de lácteos huevos, entre otros. La ingesta de zinc recomendada se puede consultar en la tabla 2.

Grupo de edad	Zn (mg/día)
<b>Lactantes:</b>	
0-6 meses	2
7-12 meses	3
<b>Niños:</b>	
1-3 años	3
4-8 años	5
<b>Hombres:</b>	
9-13 años	8
14->70 años	11
<b>Mujeres:</b>	

9-13 años	8
14-18 años	9
19->70 años	8
<b>Embarazo</b>	
<18 años	12
19-50 años	11
<b>Lactancia</b>	
<18 años	13
19-50 años	12

**Tabla 2. Ingesta de zinc diaria por edad. Tomado de C. Rubio (2007).**

Pero el zinc no es únicamente importante para el ser humano, también las plantas necesitan de este elemento como un nutriente para su desarrollo es por eso por lo que, ciertos compostajes presentan una mezcla de materia orgánica y concentración de oligoelementos, así como microorganismos que ayudan a las transformaciones bioquímicas por medios aeróbicos para nutrir más el suelo en el que sea usado (Garro, 2016).

Uno de los abonos más conocidos es el Bocashi, el cual se elabora a partir de remanentes de los propios sistemas productivos en los que se usan, este presenta bajos costos y es más accesible, entre las materias primas usadas para la elaboración de este se usan cascarilla de café, aserrín, burucha, estiércol, cenizas, ramas de árboles, hojas de arbusto, cáscara de frutas entre otros (Garro, 2016). Con lo anterior, se evidencia que de la materia prima usada se va a evidenciar la cantidad de nutrientes en los distintos tipos de abonos como se observa en la tabla 3.

ESPECIE	NUTRIENTES							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Centroceema	1.4	0.3	1.2	0.7	0.5	10	32	67
Calopogonium	1.6	0.2	1.6	1.4	0.3	9	15	162
Pueraria	3.7	0.3	2.2	1.3	0.4	11	27	155
Cajanus	2.6	0.2	2.6	1.8	0.5	7	22	87
Mucuna	3.0	0.2	4.4	2.1	0.6	9	85	179
Trifolium	1.9	0.1	1.9	0.9	0.4	21	14	95

**Tabla 3. Nutrientes de distintos tipos de abonos. Tomado de Garro (2016).**

Por lo anterior, se evidencia que el zinc es un metal importante para el desarrollo de las plantas, por lo cual el uso de estos abonos que proporcionan nutrientes en base a este elemento son necesarios en la producción agrícola, tanto para consumo humano como para consumo animal; siendo esto una parte fundamental en la ingesta de zinc para el ser humano.

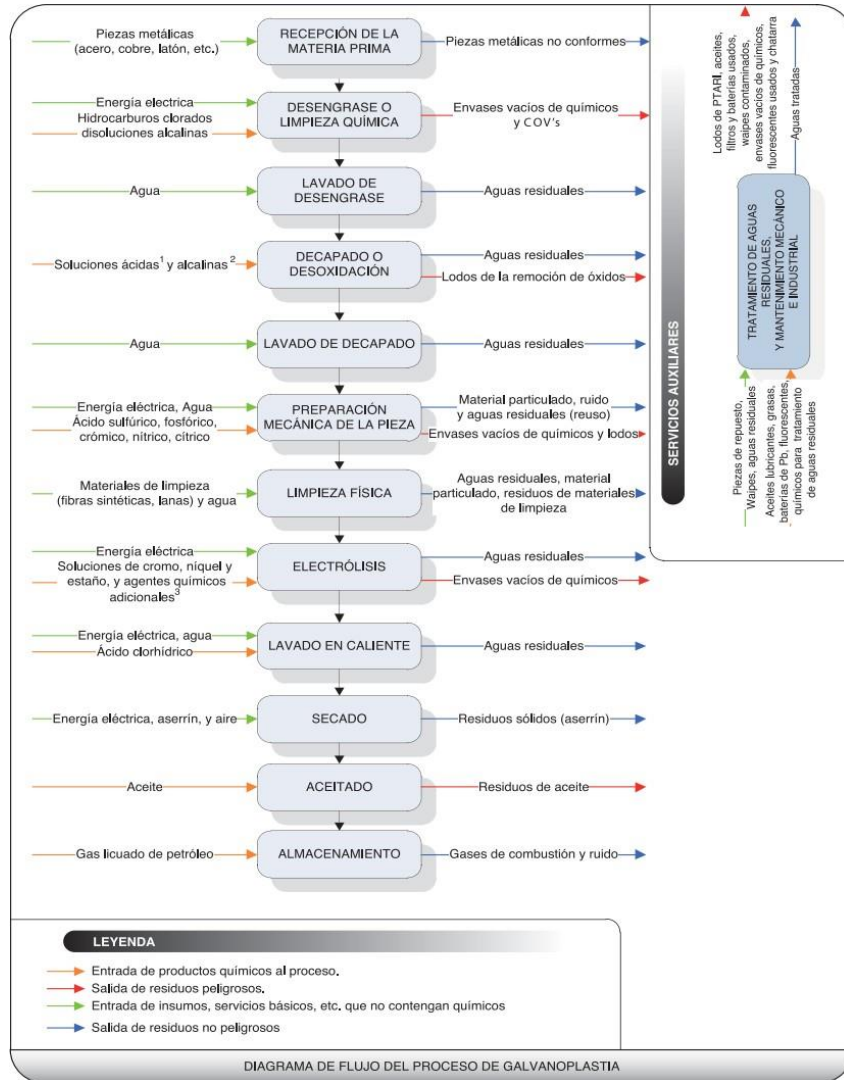
## **5.7 INDUSTRIA GALVANOPLASTIA**

La industria galvanoplastia tiene un gran impacto en otras industrias como la automotriz, electrodoméstica, construcción, hospitalaria, joyería, plomería, máquinas de oficina, electrónicas, ferreterías, entre otras muchas, esto se da debido a que esta industria produce materiales con recubrimientos de otros que pueden ser usados en una gran variedad de procesos puesto que estos tienen la característica de aumentar resistencia a la corrosión y al ataque de sustancias químicas.

Los recubrimientos anteriormente mencionados se dan por diversos procesos tanto electroquímicos como otros en los que se usa calor para fijar los materiales, esta práctica lleva más de 250 años en uso para diversas actividades (ambiente, 2013).

## **5.8 PROCESOS DE GALVANIZADOS**

Los procesos de galvanizado, por lo general, consisten en recubrimiento de objetos en baños de metal para aumentar sus resistencias a procesos corrosivos, se usan metales como cromo (Cr), níquel (Ni), zinc (Zn), oro (Au), entre otros (Quintero, 2005), estos baños de metal pueden realizarse de dos formas, la primera es por medios electroquímicos en soluciones ionizadas con el metal que servirá de recubrimiento por un tiempo determinado y a una corriente continua, el otro proceso y el más utilizado para recubrimientos de zinc (Zn) en acero y evitar sus procesos de corrosión es por inmersión en zinc fundido  $419.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y así se realiza un baño en caliente al acero, manteniendo unas temperaturas constantes de  $445\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $460\text{ }^{\circ}\text{C}$  ya que a estas temperaturas el zinc y el acero tienden a reaccionar rápidamente. Una vez completado un tiempo de pocos minutos se retira la pieza y se deja enfriar, mientras este proceso se da en el material galvanizado la estructura se va transformando (Yraima, 2012).



**Imagen 1. Proceso de galvanizado. Tomado de Ecuador (2013).**

La imagen 1 muestra cómo se da el proceso de galvanizado a nivel industrial, las etapas allí mostradas muestran de donde provienen las aguas residuales contaminadas por metales pesados, así mismo, se puede inferir la cantidad de agua utilizada y los efluentes contaminados con dichos metales.

## 5.9 TECNOLOGÍAS LIMPIAS

Las tecnologías limpias deben estar orientadas a la reducción de la contaminación con la modificación de procesos que produzcan menos residuos. El uso e incorporación de estas en procesos productivos, puede llegar a tener beneficios económicos para la empresa e inclusive

en algunos casos, pueden presentar mayor eficiencia en la utilización de los recursos (Rojas & Giraldo, 2006).

Con lo anterior, se consideran a las tecnologías limpias ambientalmente sanas, contribuyendo de esta forma, a restaurar el balance entre el desarrollo social, el crecimiento económico y el uso sustentable de los recursos naturales; para su implementación deben ajustarse a las descripciones dadas en la agenda 21 el cual es un proyecto de la ONU para promover el desarrollo sostenible.

Adicional a lo anterior, se dan tres alternativas para la industria en implementación de tecnologías limpias de acuerdo con el proceso realizado a nivel industrial, hay un orden en las que deben aplicarse, esto involucra, reducción de residuos en el origen, reciclaje y tecnología de control para comprender el tratamiento de residuos y disposición final (Rojas & Giraldo, 2006).

## **5.10 BIOADSORCIÓN**

El proceso de bioadsorción hace referencia principalmente a la captación de iones metales por medio de una biomasa, la cual puede estar viva o muerta a través de procesos fisicoquímicos más específicamente el fenómeno de atracción electrostática (Cañizares, 2000) en momentos de alta competitividad de los elementos allí presentes, con esto entonces se da un proceso de adsorción y absorción de estos iones a grupos funcionales específicos, dentro de la composición de la biomasa. Este es un proceso que ha tenido diversas investigaciones a nivel mundial, sobre la capacidad de adsorción de iones de metales pesados en aguas residuales, entre las que se encuentra la cáscara de naranja (Cítricos sinesis) (Vargas, Lopez, Tellez, Bandala, & Salas, 2012).

Durante el proceso de bioadsorción se involucran dos fases, una fase líquida (agua) y una fase sólida (biomasa), cabe resaltar que la adsorción de iones metálicos va a estar altamente arraigada a la afinidad con los grupos funcionales de la biomasa y los que puedan estar presentes en el contaminante (Tovar, Bolaños, Benítez, & Bolívar, 2015).

Dentro de los procesos de bioadsorción pueden presentarse bioacumulaciones, los cuales ocurren principalmente en biomasas vivas, debido a que la captación de iones metálicos va a estar centralizada al interior de las células que componen las biomasas con esta característica. En la tabla 4 se puede observar la diferencia entre los dos procesos, así como sus ventajas y desventajas al momento de adsorben iones metálicos.

<b>BIOADSORCIÓN</b>	<b>BIOACUMULACIÓN</b>
Proceso pasivo	Proceso activo
Biomasa sin vida	Biomasa con vida
Metales unidos a la superficie de la pared celular	Metales unidos a la superficie de la pared celular y acumulados en el interior de la célula
Procesos reversibles	Proceso parcialmente reversible
No requiere nutrientes	Requiere nutrientes
Rápido	Lento
No es controlado por el metabolismo	Controlado por el metabolismo
No se ve afectado por el efecto toxico de los contaminantes	Se ve afectado por el efecto toxico de los contaminantes
No hay crecimiento celular	Implica crecimiento celular
Alcanza concentraciones intermedias de equilibrio de los contaminantes	Alcanza muy bajas concentraciones de equilibrio de los contaminantes
Posibilidad de recuperación y reúso de los contaminantes	Los metales no pueden recuperarse
La biomasa puede regenerarse y emplearse en varios ciclos de adsorción	La biomasa no puede recuperarse

**Tabla 4. Comparación entre bioadsorción y bioacumulación. Tomado de Pintado (2018).**

Teniendo en cuenta la comparación entre los métodos, la bioadsorción se considera mejor alternativa para la eliminación de iones provenientes de aguas residuales debido a que se puede reducir el deterioro del material biosorbente e inclusive se pueden alterar ciertas características de este para obtener mayores eficiencias al momento de realizar el proceso (Tovar, Bolaños, Benítez, & Bolívar, 2015).

Lo anterior se sustenta a través de diversos estudios utilizando diversas biomásas para la adsorción de distintos metales pesados los cuales pueden verse en la tabla 5.

<b>BIOSORBENTE</b>	<b>SORCIÓN Pb</b>	<b>SORCIÓN DE Cr</b>	<b>SORCIÓN DE Zn</b>
Cáscara de mandarina	(Verdugo,2017)	(Verdugo,2017)	
Cáscara de yuca y ñame	(Tejada, Montiel, & Acevedo 2016)		
Residuos de Cacao	(Tejada Tovar 2017)	(Tejada Tovar 2017)	

Cáscara de naranja	(Romero 2015)	(Romero 2015)	(Mendoza & Molina, 2015)
Biomasa de amaranto		(Rodríguez 2017)	
Cáscara de palma		(Kushwaha, Sreedhar & Sudhakar 2012)	

**Tabla 5. Biosorbentes usados. Tomado de Pintado (2018).**

Con esto evidenciamos que los estudios desarrollados por Pinzón-Bedoya (2010), se indica que la cáscara de naranja presenta una alta efectividad en la adsorción de distintos metales pesados, esto se sustenta debido a los grupos funcionales (carbonilo, hidroxilo) que se encuentran dentro de la celulosa, pectina y limonelo los cuales son compuestos de bajo peso molecular, poseen grupos funcionales activos que tienen gran afinidad con los metales pesados entre ellos los grupos carboxilo e hidroxilo, los cuales por medio de interacciones electrostáticas facilitan la atracción de estos iones (Candelaria Tejada-Tovar,2014).

Otros estudios realizados demuestran que la variedad de biosorbentes es bastante alta como se muestra en la tabla 6.

<b>Tipo de adsorbente</b>	<b>Biosorbente</b>
Organismos vivos	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus Rizopus</i> <i>Paecilomyces</i>
Biomásas	Cáscara de tamarindo Cáscara de naranja Cáscara y semillas de manzana Cebada
Biopolímeros	Bentonita – Quitosano Quitosano Epiclorhidrinatorifosfato
Carbones activados	Carbón activado a partir de <i>Escherichia coli</i> y carbón activado a partir de <i>Arthrobacter viscous</i> Carbón activado a partir de cáscara de naranja Carbón activado a partir de cáscara de coco

Modificaciones químicas	Biomasa reticulada con glutaraldehído Biomasa reticulada con cloruro de calcio Biomasa modificada con ácido cítrico
Otros materiales	Arena Zeolita Cenizas volantes

**Tabla 6. Distintos biosorbentes empleados. Tomado de Tovar, Bolaños, Benítez, & Bolívar (2015).**

Como se ve, el uso de biosorbentes es muy variado, ya que puede ser un material artificial o no. Con esto entonces, se presentan diversas ventajas y desventajas (tabla 7) frente al uso de cada uno de los procesos de remoción o adsorción de metales pesados.

	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>BIOMASA INERTE</b>	No necesita nutrientes	Rápida saturación
	Procesos no gobernados por limitaciones metabólicas	El secuestro por adsorción es sensible al pH
	La selección de la técnica de inmovilización no está gobernada por limitaciones de toxicidad	El estado de valencia del metal no puede ser alterado biológicamente, por ejemplo, para dar formas menos solubles
	Los metales pueden ser liberados y recuperados fácilmente	Las especies organometálicas no son susceptibles de degradación
	Procesos rápidos y eficientes en la retirada de metales, la biomasa se comporta como un intercambiador de iones	La mejora de estos procesos biológicos es limitada ya que las células no efectúan un metabolismo; la producción de agentes adsorbentes ocurre durante la etapa de crecimiento
	<b>BIOMASA VIVA</b>	Las células pueden llegar a saturarse, el sistema se auto restablece debido al crecimiento
Los metales se depositan en un estado químico alterado		Es necesario alimentar los flujos bajo condiciones fisiológicamente permisibles
Forma económica de lograr cambios de estado de valencia o degradas compuestos organometálicos		Solo se puede tratar los metales a bajas concentraciones
Se puede mejorar las cepas por medio del aislamiento de mutantes o la manipulación		Los productos metabólicos pueden formar complejos con los metales, impidiendo la precipitación

	genética, debido a que esta es una propiedad microbiana más que un producto bajo explotación	La recuperación de los metales por desorción es limitada, debido a que pueden formar uniones intracelulares
		La deposición de los productos metabólicos y los nutrientes no consumidos
	Se puede emplear dos o más organismos de manera sinérgica	El modelado de un sistema no definido representa grandes dificultades matemáticas

**Tabla 7. Ventajas y desventajas de biomasas inertes y vivas. Tomado de Tovar, Ortiz, & Jaraba (2015).**

Los procesos de bioadsorción y desorción comparten similitudes en los parámetros fisicoquímicos que los pueden afectar o favorecer. Los parámetros dados para estos procesos se presentan a continuación en la tabla 8.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>EFEECTO</b>
Temperatura	Durante el proceso la temperatura puede afectar sobre la biomasa generando cambios en la textura de sorbente o deterioro del material ya sea por aumentos o disminuciones de la temperatura lo que puede conllevar a una pérdida del poder de sorción.
pH	El pH es uno de los parámetros más importantes ya que controla el proceso de adsorción de los metales, esto dado que los iones de hidrógeno se constituyen en un adsorbante altamente competitivo (Tovar, Ortiz, & Jaraba, 2015). El pH de la fase acuosa es importante tanto para la adsorción de cationes como de aniones. Los valores de pH superiores a 4,6 favorecen la adsorción de cationes mientras que la de los aniones tienden a estar favorecidas en pH entre 1,5 y 4 (Kuyucak & Volesky, 1989).
Tamaño partícula	Las partículas pequeñas tienen mayor área superficial por lo que la superficie de contacto interna es mayor debido a su cantidad de poros por unidad de masa (Tovar, Ortiz, & Jaraba, 2015).
Presencia de otros iones	Si en la fase líquida y sólida se encuentran otros iones metálicos que no sea de interés en el proceso de remoción, estos pueden causar conflicto puesto que unos tendrán mayor prioridad o afinidad con los grupos funcionales; por lo que se pueden volver competidores en las zonas de sorción.

**Tabla 8. Factores fisicoquímicos que afectan la bioadsorción. Elaboración propia.**

## 5.11 DESORCIÓN

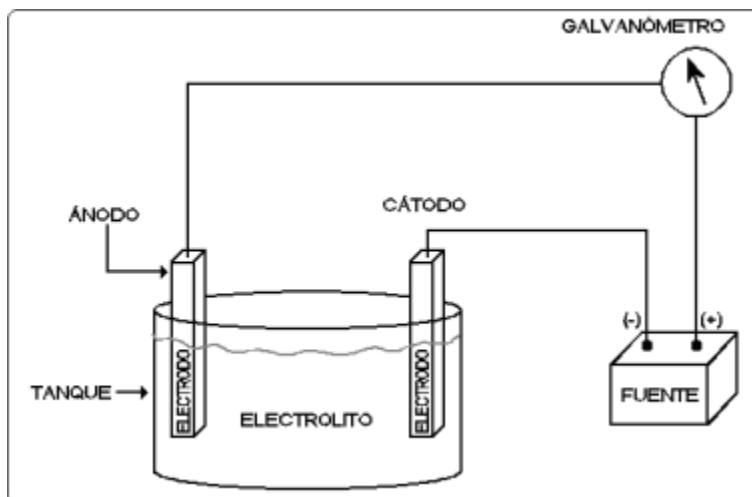
Se define como el proceso de extracción de sustancias que se encuentren inmersos en la adsorción, se encuentra que la cáscara de naranja con el cromo se debe someter a un proceso de desorción “utilizando ácido clorhídrico 0.1M e hidróxido de sodio 0.1M, al someter el bioadsorbente al proceso de desorción se obtuvieron resultados favorables. La desorción del cromo tiene buenos resultados con rendimientos del 70% para el ácido clorhídrico y de 60% para el hidróxido de sodio, estos están dentro de un rango más cercano” (Vergara J. F., 2017, pág. 83).

Basándonos en la metodología utilizada en el proyecto de investigación se sigue el método de Carro de Diego del 2012, el cual consiste en utilizar el bioadsorbente de la prueba anterior (cáscara de naranja), este se sumergirá en 30 ml de ácido clorhídrico la muestra a y la b en hidróxido de sodio. Se debe agitar a 175 rpm durante 30 minutos y filtrar. Con el material filtrado se procede a realizar nuevamente las pruebas de bioadsorción siguiendo los pasos del apartado anterior. (Vergara J. F., 2017).

Este proceso se da debido a que se sumerge el bioadsorbente en un medio donde existe un elemento de mayor competitividad que reemplace a los iones de zinc en las interacciones electrostáticas, permitiendo de esta forma la liberación del metal en solución.

## 5.12 ELECTRÓLISIS

La electrólisis es un proceso de oxido-reducción, el cual se comprende por la oxidación como la transferencia de electrones y la reducción, por lo tanto, se da un intercambio de electrones entre las sustancias que se encuentran en el proceso, este proceso tiene como propósito “el rompimiento de enlaces al paso de un flujo de corriente eléctrica en un circuito eléctrico cerrado” (Velasquez Amórtegui, 2020, pág. 59). Se necesita de una solución electrolítica, esta solución se caracteriza porque el soluto se encuentra disuelto formando iones, dando paso a una reacción electrolítica, también llamada electrólisis. En este proceso se da una descomposición química de sustancias por medio del transporte de corriente eléctrica, teniendo de esta forma sustancias que sean capaces de ser alteradas por este tipo de energía (Field, S & A Dudlev Weill 1955). En la imagen 2 se evidencia un montaje de electrólisis convencional.



**Imagen 2. Montaje electrólisis. Tomado de Castillo (2008).**

Las dos partes fundamentales que actúan en la electrólisis son los electrodos y el electrolito, este último actúa como el conductor de la corriente, cargando eléctricamente de esta forma los iones que se encuentran dentro de este para iniciar el transporte de estos hacia los electrodos existen tres tipos de electrolitos planteados por Briceño (1997) y Velásquez Amórtegui (2000):

- Electrolitos fuertes: son soluciones conductoras y que se disocian prácticamente el 100%, esto hace referencia a las partículas cargadas que se encuentran en una mayor concentración.
- Electrolitos débiles: Son sustancias que cuales se disocian en un porcentaje menor produciendo un escaso número de iones.
- No electrolitos: Son sustancias que originan soluciones no conductoras.

Estos tipos de electrolitos deben tener ciertas propiedades para que se pueda dar el proceso de electrólisis, inicialmente hablaremos de la conductividad eléctrica, la cual es una corriente que fluye en un medio acuoso que contiene un soluto en disolución, las sustancias disueltas al disociarse generan iones positivos y negativos que ayudan a hacer del electrolito un medio conductor, esto está dado en función del grado de disociación, grado de activación de los iones individuales, de la temperatura y la viscosidad (García, 2014).

Además, el poder de descomposición está relacionado con la distribución de la corriente en la superficie catódica y el espesor del metal depositado, el primero se ve afectado por su geometría respecto a la posición en la que se encuentra el cátodo respecto al ánodo y mientras que la uniformidad del metal depositado se ve afectado por la polarización, eficiencia y conductividad que puede generar el cátodo (García, 2014).

Así como la bioadsorción, la electrólisis, está vinculada a factores externos como internos que pueden influir en la eficiencia de estos, Molina (2013).

Molina (2013), propone las siguientes variables que afectan en el proceso de electrólisis:

- Variables externas: Temperatura, presión y tiempo
- Variables eléctricas: Potencial, corriente, carga
- Variables del electrolito: Concentración de las especies electroactivas, concentración de otras especies, temperatura, pH, disolventes y aditivos
- Variables de electrodos: Material, área, geometría, condición superficial.

Dentro de las variables eléctricas podemos encontrar el potencial y la corriente, sin embargo, en algunas ocasiones se tienden a confundir, la corriente es la rapidez del flujo de electrones que pasa por un punto dado y este se mide en amperios (A), mientras que el potencial o voltaje es la diferencia de la corriente eléctrica en dos puntos, es decir que esta fluye a través de un alambre conductor, generando una diferencia de potencial entre los extremos de este. Cortez (2014).

### 5.13 ELECTRODO DE COBRE

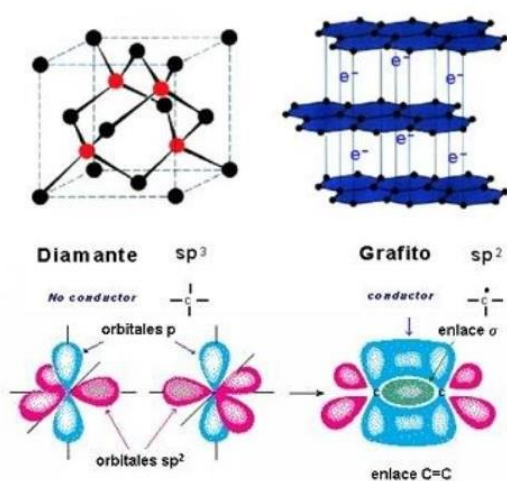
El cobre es uno de los materiales con mejor conductividad eléctrica, las propiedades químicas y físicas de este tipo de electrodos se muestran a continuación en la tabla 9.

<b>Propiedades físicas</b>	<b>Propiedades químicas</b>
Color rojizo y brillo metálico. Alta conductividad eléctrica y térmica. Abundante en la naturaleza Maleable y dúctil. Punto de fusión 1083°C Punto de ebullición 2594°C Densidad 8,96 g/cm <sup>3</sup> Peso Atómico: 63,546 g/mol Conductividad eléctrica: 1x 10 <sup>7</sup> S/m Resistividad: 1,7x10 <sup>-8</sup> mΩ	Considerado metal noble. Se oxida lentamente con el aire. Forma aleaciones. Reacción violenta con los ácidos oxidantes

**Tabla 9. Propiedades de los electrodos de cobre. Tomado de Velásquez Amórtegui (2020).**

## 5.14 ELECTRODO DE GRAFITO

Los electrodos de carbono tienen una gran aplicabilidad en procesos electroquímicos debido a sus formas alótropas en las que se encuentran, lo cual permite tener estructuras químicas distintas donde el grafito tiene un carácter metálico o semimetálico, por lo tanto, es capaz de formar enlaces covalentes. Por otra parte, el carbono es alótropo, sus tres formas son: diamante, grafito y fullerenos. “La principal diferencia entre el diamante y el grafito es que la unión entre átomos de carbono involucra una hibridación  $sp^3$  (tetraédrica) para el diamante, mientras que en el grafito es  $sp^2$  (trigonal).” (Armendáriz, 2012) como se muestra en la siguiente imagen.

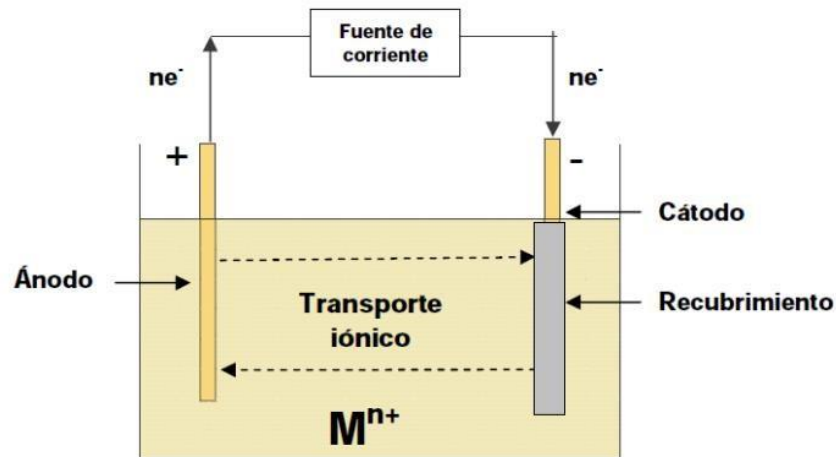


**Imagen 3. Comparación entre diamante y grafito. Tomado de Armendáriz (2012).**

El electrodo de grafito presenta un carácter hidrofóbico por ende su estructura superficial no cambia, pero la superficie de este tiene valencias disponibles las cuales tienen la capacidad de absorber moléculas que contengan oxígeno e hidrógeno, por lo tanto, se posicionan en los bordes de la estructura del grafito.

## 5.15 ELECTRODEPOSICIÓN

La electrodeposición es un proceso electrolítico de recubrimiento, también conocido como galvanos técnicos, este proceso implica una reducción en los estados de oxidación de un compuesto metálico en solución acuosa y su deposición sobre la superficie conductora (Sivana, 2014). Este proceso se da de forma similar a la electrólisis, con la diferencia de que no solo se descompone la sustancia de interés, si no que, adicional a esto se busca generar un recubrimiento (por lo general un metal) en uno de los electrodos para una posterior recolección. A continuación, se muestra un diagrama de un proceso de electrodeposición.



**Imagen 4. Principio de proceso de electrodeposición. Tomado de Nava D (2013).**

- Electrólito: Solución que contiene los iones de metal.
- Cátodo: Electrodo donde se presenta la reacción de reducción y es donde se da el recubrimiento por parte del metal.
- Ánodo: Electrodo donde se produce la oxidación.
- Fuente eléctrica: Puede darse por pilas o por fuentes.

Teniendo en cuenta el diagrama anterior, el cual permite reconocer cada parte de la celda electrolítica empleada, ahora bien el proceso de electrodeposición consiste en el transporte de iones metálicos cargados positivamente dirigiéndolos hacia el cátodo de la celda electrolítica generando de esta forma un proceso de oxido-reducción en los electrodos, ocurriendo de esta forma la oxidación en el ánodo por la presencia de hidrógeno que se da en este, mientras que en el cátodo se da la reducción del metal en cuestión (Jule, 2008).

Dentro de la electrodeposición se consideran factores fisicoquímicos que se involucran en el proceso de electrodeposición y tienen un factor determinante en la efectividad del proceso, estos factores van de la mano con la especie química de interés de la cual se quiere generar el recubrimiento (Mahmud, Gordillo, & D'alkaine, 2017). En la tabla 10, se muestran los factores fisicoquímicos que influyen dentro del proceso de electrodeposición.

PARÁMETRO	EFECTO
Densidad de corriente	Este factor influye en la calidad del recubrimiento del metal debido a que si las densidades de corrientes son muy altas se generaran depósitos quebradizos mientras que si las densidades de corriente son muy bajas se tendrá un alto depósito de impurezas (Hernández, 2013).
Temperatura	Por lo general los aumentos de temperatura favorecen la conductividad del electrolito, así como las velocidades de difusión, la disolución química y la redisolución del cátodo. Los metales con elevada sobre tensión de hidrógeno como el Zinc actúan de forma tal que el desprendimiento de hidrógeno y óxidos aumentará al reducirse la polarización y así mismo su influencia sobre el depósito (Hernández, 2013). Con esto entonces, la temperatura es un factor importante en el efecto de la polarización del medio, así como su resistividad.
pH	Los efectos de pH principalmente influyen en la naturaleza y aspecto del depósito, así como el rendimiento de la corriente eléctrica (Gierlotka, Ro'winsky, Budniok, & Lagiewka, 1997). A su vez disminuir el pH puede influir favorablemente en la conductividad lo que evita la precipitación de sales y favorece el desprendimiento de hidrogeno (Hernández, 2013).

**Tabla 10. Factores fisicoquímicos que afectan la electrodeposición. Elaboración propia.**

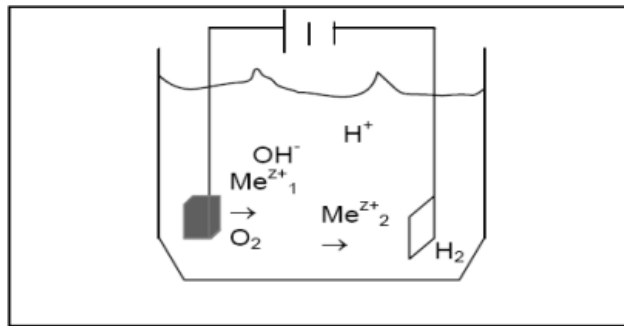
Además, la electrodeposición tiene dos formas de desarrollarse, las cuales son: (Molina, 2013)

- Deposición directa (DC): Solamente se puede modificar el valor de la corriente o el potencial, por ende, se puede dar dos tipos:
  - Potenciostática: Se polariza el electrodo de trabajo a un potencial determinado respecto al electrodo de referencia.

- Galvanostática: Se impone una densidad de corriente determinada, lo que significa controlar la velocidad de reacción.
- Deposición pulsante: Se aplica pulsos periódicos de la señal (corriente o potencial), se puede dar dos tipos:
  - Pulsos unipolares: Todos los pulsos se aplican en la misma dirección, sin inversión de polaridad.
  - Pulsos bipolares: Se combinan pulsos catódicos y anódicos.

Sin embargo, se pueden dar según otros autores otros tipos de electrodeposición que son:

- Electrodeposición catódica: En este tipo de electrodeposición las partículas llevan una carga positiva, por lo que se verá involucrado el cátodo en la mayoría del proceso, por otra parte, “los grupos catiónicos provienen de la disolución del ánodo, o por la disolución previa del electrólito”(Gómez, 2005, pág. 7) sin embargo, para algunos autores este tipo de electrólisis no es posible, pero para Murpy y Anderson esto si es posible, demostrando que se da de una manera menos eficiente comparada con la anódica.



**Imagen 5. Electrodeposición catódica. Tomado de Gómez (2005).**

- Electrodeposición de aleaciones: Se define como la deposición electroquímica de dos o más metales sobre el mismo cátodo, sabiendo la electrodeposición de un solo metal tiene dificultades, ya que como se mencionó anteriormente los factores que afectan la efectividad cuando se trata de varios metales es mucho más complejo, sin embargo, no es algo imposible, puesto que controlando todas las posibles dificultades que se pueden presentar, dicho proceso se desarrollara de la mejor manera.

## 6. METODOLOGÍA

Se hizo uso de una metodología de carácter mixto, ya que, se tienen dos fases, la fase experimental la cual arrojó datos de carácter cuantitativo que fueron de ayuda para la construcción del material de divulgación. Por otra parte, la aplicación del proceso de divulgación y la evaluación del material divulgativo, tuvieron datos de carácter cualitativo los cuales permitieron analizar las distintas perspectivas de los lectores.

### 6.1 ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

El planteamiento de la fase experimental se realizó desde una metodología de tipo cuantitativo el aportó a la ejecución de los procesos de bioadsorción, desorción y electrodeposición del zinc, estas aplicaciones experimentales permitieron el desarrollo del material de divulgación científica tipo artículo, para su posterior valoración por parte de estudiantes de la maestría en docencia de la química.

#### 6.1.1 PREPARACIÓN SOLUCIÓN STOCK DE Zn (II) 80 mg/L

Esta solución se prepara disolviendo 0.01667g de  $ZnCl_2$  y llevándola a 100 mL con agua desionizada, posteriormente se realiza un ajuste de pH a 3 unidades de pH con ácido clorhídrico 0,1N, esta será el agua residual sintética, la cual será parte fundamental de las siguientes fases.

#### 6.1.2 PREPARACIÓN DE LOS PATRONES PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN

Los patrones se realizaron teniendo en cuenta los límites de cuantificación del equipo de absorción atómica Shimadzu AA7000 por lo que se realizaron patrones de 0.2; 0.4; 0.8 y 1.0 ppm tomando alícuotas de 0.2; 0.4; 0.8 y 1.0 mL respectivamente de una solución patrón de 100ppm suministrado por el laboratorio la cual fue preparada por el analista y llevadas a 100mL.

#### 6.1.3 FASE 1. RECOLECCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y PREPARACIÓN DEL BIOADSORBENTE

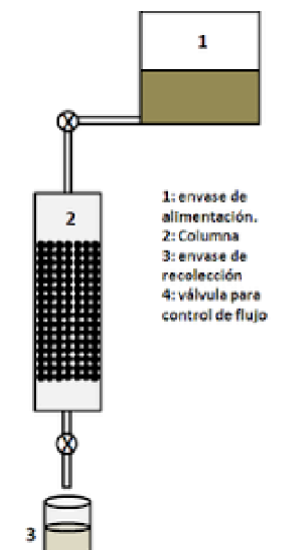
El bioadsorbente se recolectó de los desechos producidos por un puesto de jugos de naranja, el cual usa naranjas de la especie **SWEET** como producto principal para la elaboración y comercialización de jugos, teniendo esto en cuenta se recolectaron 1000g de cáscara de naranja, la cual se cortó en trozos pequeños para una mejor manipulación, así mismo, se limpió todo residuo de fruta de naranja que estas tuviesen.

Posterior al cortado, se realizó una serie de lavados con agua potable y agua desionizada para eliminar la mayor cantidad de residuos que puedan interferir en la medida de parámetros. A partir de esto se hizo un secado de 3 días a temperatura ambiente, con el fin de eliminar la mayor cantidad de agua que se pudiera tener el bioadsorbente y de esta forma facilitar los procesos siguientes. Posterior al secado se efectuó una molienda, de tal forma, que se obtuvo un tamaño de partícula de 0.2mm.

Se caracterizó la cantidad de zinc inicial en el bioadsorbente tomando 5 muestras de aproximadamente 1g de la molienda obtenida, estas permitieron determinar los parámetros iniciales de la cáscara para su posterior comparación del proceso de adsorción, las muestras se flamearon para eliminar la mayor parte de la fase orgánica, luego se colocaron en la mufla durante 6 horas a 400°C, con el fin de obtener totalmente la fase inorgánica de la muestra para el análisis de concentración inicial de zinc en el bioadsorbente; después de dicho calcinado, se realizó la digestión en ácido clorhídrico concentrado para facilitar el análisis en el equipo de absorción atómica.

#### 6.1.4 FASE 2. BIOADSORCIÓN

Se tomó una masa de 235g de la cáscara molida, para realizar el montaje mostrado a continuación:



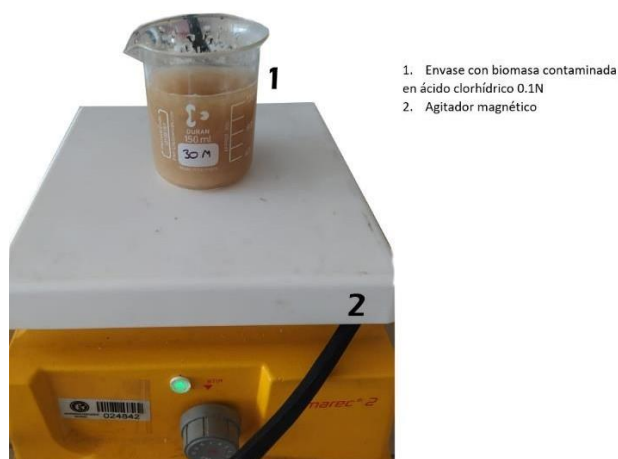
**Montaje 1. Montaje de biosorción. Tomado de Moron (2018).**

En el envase 1 se colocó la solución stock de Zn (II) 300ppm, en el dos se instaló el tubo cilíndrico que contiene el bioadsorbente (cáscara de naranja) y por último el envase 3 recolectó el sobrenadante obtenido luego del paso por el bioadsorbente en un lecho filtrante

de 10cm. Posterior al proceso de adsorción, se realizó una cuantificación de zinc contenido en la solución final (sobrenadante).

### 6.1.5 FASE 3. DESORCIÓN

Para el proceso de desorción se efectuaron pruebas por triplicado para mayor precisión al momento de la recolección de los datos, con esto entonces, se tomaron tiempos de 15, 30, 45 y 60 min, con el fin de observar la cinética del proceso de desorción. Este proceso se efectuó teniendo una muestra del bioadsorbente contaminado en un recipiente con 80mL de ácido clorhídrico 0,1N, en agitación constante, el montaje se describe a continuación.

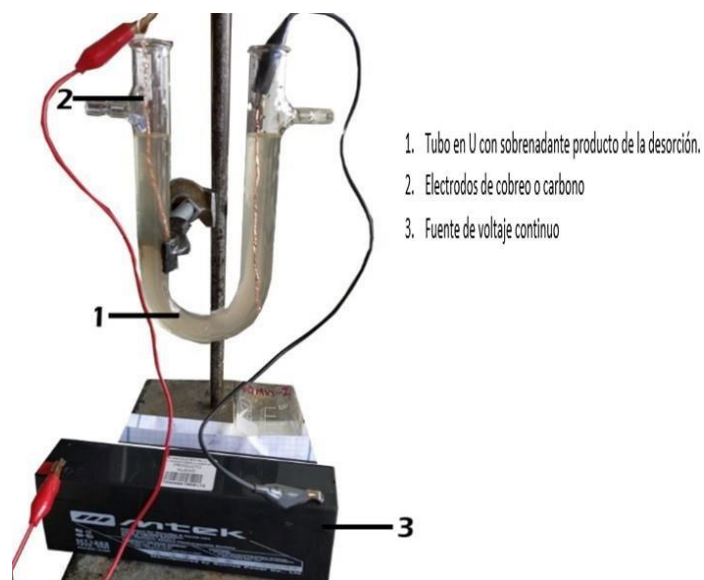


**Montaje 2. Desorción. Elaboración propia.**

Por último, se hicieron disoluciones tomando 0,4mL del sobrenadante obtenido pasado el tiempo de desorción ya mencionado, se filtró y se llevó a un volumen de 50mL, esto con el fin de tener una referencia en los análisis de desorción y electrodeposición.

### 6.1.6 FASE 4. ELECTRODEPOSICIÓN

Para el desarrollo de la electrodeposición del zinc se efectuaron 12 celdas de electrólisis para los distintos sobrenadantes obtenidos del proceso de desorción, estos se encontraban en un medio altamente ácido, sin embargo, no se tuvo que neutralizar debido a que al estar en este medio la reacción de descomposición y deposición ocurrirá sin mayor problema, teniendo lo anterior en cuenta se efectuaron pruebas con distintos tipos de electrodos (cobre y carbono), este proceso se llevó a cabo por alrededor de una hora y media con un voltaje constante de 12v. El montaje que se encuentra descrito a continuación.



**Montaje 3. Electrodeposición. Elaboración propia.**

#### **6.1.7 Fase 4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELECTRODOS Y SOBRENADANTES ELECTRÓLISIS**

Se llevo a cabo una digestión a los electrodos de cobre con ácido nítrico concentrado para tener soluciones en las cuales se pudiese realizar la lectura contenido de zinc en el equipo de absorción atómica, esto se realizó únicamente con estos electrodos debido a que los electrodos de carbono tienden a ser más complicados para el proceso de digestión. Dichas digestiones se llevaron a un volumen final de 10mL, esto se hizo con el fin de obtener parámetros iniciales y finales de zinc en el electrodo.

Posterior a las digestiones de los electrodos se procedió a hacer diluciones tomando 0.8 mL de los sobrenadantes obtenidos de las electrólisis y llevados a un volumen de 50mL para su posterior análisis en el equipo de absorción atómica, las lecturas arrojadas en el equipo permitieron conocer la cantidad de zinc recolectada por el electrodo usado en cada proceso, cabe aclarar que la digestión y la lectura también se aplicó para los electrodos antes de iniciar el proceso y así conocer la cantidad de zinc inicial y final de cada de ellos.

#### **6.2 PROCESO DE DIVULGACIÓN**

Con los resultados obtenidos del proceso experimental se toman datos cuantitativos, los cuales permitieron el desarrollo del material divulgativo tipo artículo, el cual fue presentado y expuesto a una población de índole académica constituida por docentes en ejercicio que pertenecen al primer semestre de la maestría en docencia de la química de la Universidad Pedagógica Nacional y así mismo docentes en formación que hayan cursado su práctica

pedagógica pertenecientes a la Universidad Pedagógica Nacional y Universidad Distrital Francisco José de Caldas constituyendo de esta forma un total de 8 personas.

El material divulgativo se evaluó por medio de matrices desarrolladas con base en aspectos de ciencia, tecnología, sociedad, ambiente y educación, a su vez procesos de cuestiones socioambientales que se puedan llegar a observar desde los diversos puntos de vista que tengan los lectores, con el fin de ver el potencial de dicho material en espacios de formación educativo. Este proceso se aplicó en dos fases, las cuales son:

### **6.2.1 Fase 1. Intervención, exposición material divulgativo**

Se envió el artículo de divulgación científica a la población escogida para que se evaluara el contenido que versa sobre los procesos experimentales que se llevaron a cabo durante el estudio de la remoción y recuperación de Zn (II).

### **6.2.2 Fase 2. Valoración del material divulgativo**

Para evaluar el material divulgativo se hizo uso de matrices las cuales evaluaron tres componentes, entre ellos se encuentra el disciplinar, ambiental y social que engloba toda la problemática del tratamiento de aguas residuales producidas por galvanizado y la acogida que tendría la solución propuesta dentro del mismo artículo.

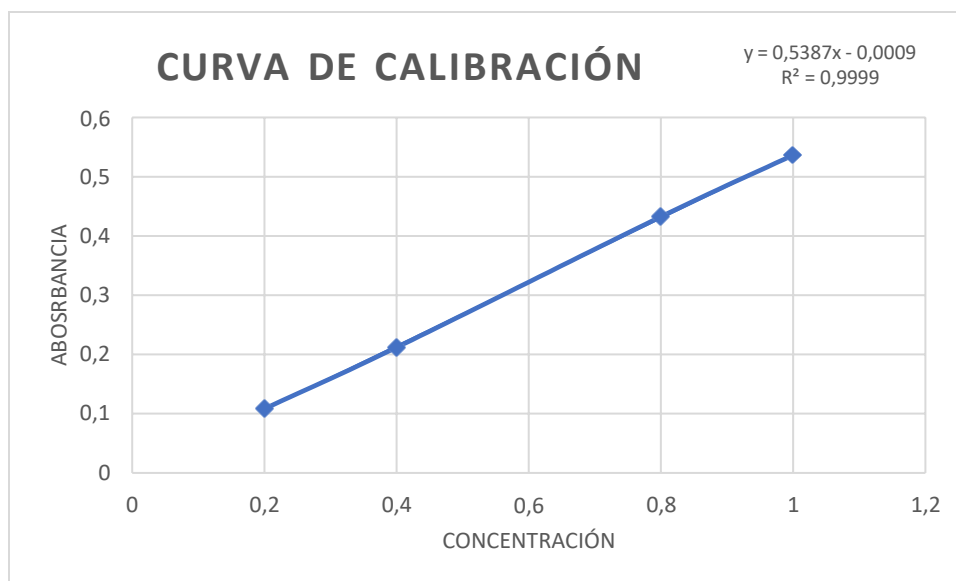
## **7. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL DESCRITA EN EL NUMERAL 6**

### **Curva de calibración de Zn (II)**

Para la cuantificación del proceso se realizó una curva de calibración usando soluciones de zinc (II) a concentraciones de 0.2; 0.4; 0.8 y 1.0 ppm, para luego efectuar las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica de cada una de las soluciones preparadas, el equipo muestra una linealidad de los datos con un  $R^2$  de 0.9999, lo cual permite realizar la lectura de todos los procesos desarrollados en el ítem experimental y así conocer las concentraciones reales de cada proceso. En la siguiente tabla se muestra la respectiva absorbancia arrojada por el equipo y la concentración, para luego obtener la curva de calibración gráfica 1. Esta curva será usada para el análisis de todos los datos del proceso.

	<b>Concentración</b>	<b>Absorbancia</b>
Blanco	0.0	-0.0019
Patrón 1	0.2	0.11
Patrón 2	0.4	0.21
Patrón 3	0.8	0.43
Patrón 4	1.0	0.54

**Tabla 11. Absorbancias de los patrones para curva de calibración. Elaboración propia.**



**Gráfica 1. Curva de calibración para Zn (II). Elaboración propia.**

Con lo anterior se procedió a calcular los límites de cuantificación (LC) y detección (LD) de la forma presentada en las ecuaciones (1) y (2), teniendo los valores de los blancos se procedió a realizar los cálculos, los resultados de este proceso se ven reflejados en la tabla 12.

$$LC = 10 * S_{bl} \quad (1)$$

$$LD = \frac{S_m - X_{bl}}{m} \quad (2)$$

Donde:

$S_{bl}$  = Desviación estándar de los datos obtenidos del blanco

$S_m$  = Mínima señal distinguible

$X_{bl}$  = Promedio resultante de los datos del blanco

$m$  = Pendiente de la curva de calibración.

<b>Blanco</b>	<b>Absorbancia</b>
1	-0.0011
2	-0.0018
3	-0.0028
Promedio	-0.0019
Desviación estándar	0.0008544

Mínima Señal	0.0006632
Límites de Cuantificación	0.008544
Límites de Detección	0.004758

**Tabla 12. Cálculos Límites de detección y cuantificación. Elaboración propia**

### **CARACTERIZACIÓN DEL BIOADSORBENTE**

La cáscara de naranja que se recolectó para su uso como bioadsorbente en el proceso de remoción y recuperación del zinc fue de la especie SWEET, se llevó la cáscara a secado y molienda obteniendo así un tamaño de partícula de 0.2mm como se muestran en las imágenes 1, a partir de esto se procede a iniciar con el proceso de adsorción.



**Imagen 6. Cáscara recolectada y cáscara molida. Elaboración propia**

A su vez se obtuvo una caracterización cualitativa de la cáscara de naranja en su grado de maduración descrito por la NTC 4086, la cual indica un grado de 2 según la norma mencionada, la norma presenta la siguiente clasificación:

COLOR 0: Fruto de color verde oscuro bien desarrollado.

COLOR 1: El color verde es más claro y aparecen visos amarillos.

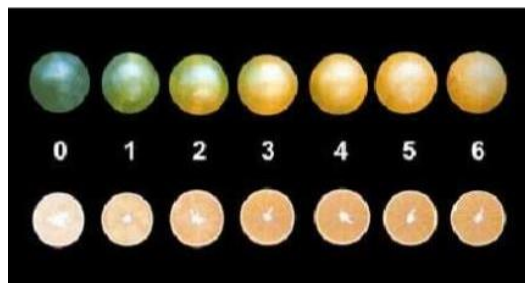
COLOR 2: Aumentan los visos amarillos, pero predomina el color verde en el fruto.

COLOR 3: Aumenta la intensidad de los visos amarillos.

COLOR 4: El fruto es de color amarillo con visos verde claro.

COLOR 5: Aumenta el área de color amarillo y disminuyen los visos verdes.

COLOR 6: El color amarillo es más intenso con algunos visos de color



**Imagen 7. Tabla de color de la naranja. Tomado de NTC 4086 (1997)**

A partir de la imagen 7 se realizó la comparación de color de la cáscara de naranja recolectada (imagen 8) la cual se obtiene que se tiene una maduración de grado 2, en la cual predomina el color verde, pero tiene gran cantidad de visos amarillos.



**Imagen 8. Cáscara de naranja recolectada. Elaboración propia**

Para realizar la caracterización de la cantidad de zinc presente en el bioadsorbente, se realizaron dos pruebas una en el mes de diciembre y otra en el mes de marzo; la primera permitió estandarizar la toma de medidas para el análisis de las cenizas y la concentración inicial de zinc en la cáscara, en este primer ensayo, se obtuvo concentraciones en cenizas descritas en la tabla 13.

MUESTRA	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN EN CURVA (mg/L)
Cenizas 1	0.02	Fuera del rango
Cenizas 2	0.03	Fuera del rango
Cenizas 3	0.38	0.70

**Tabla 13. Cenizas ensayo diciembre. Elaboración propia.**

Como se observó en la tabla 13, no se encontró una buena correlación en los datos obtenidos de las cenizas al momento del análisis en el equipo de absorción atómica, así mismo las dos primeras cenizas salen de la curva de calibración, es por esto por lo que se escogió realizar cinco muestras para la segunda prueba realizada en el mes de marzo, lo cual arrojó los resultados mostrados en la tabla 14.


MUESTRA	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN mg Zn/kg muestra
Cenizas 1	0.17	8.12
Cenizas 2	0.12	5.64
Cenizas 3	0.13	5.98
Cenizas 4	0.13	6.08
Cenizas 5	0.10	4.89

Promedio	<b>6.14</b>
----------	-------------

**Tabla 14. Lecturas y concentración de zinc en las cenizas de la cáscara de naranja.  
Elaboración propia.**

Como se evidencia en la tabla 14, se efectuaron las cinco medidas para análisis de concentración inicial de zinc en la cáscara de naranja, se observa allí, que las cenizas 1 y 5 son las más atípicas en la linealidad de los datos, por ello se decidió realizar prueba Q (ecuación 5) para rechazo de datos a un 96% de confiabilidad obteniendo de esta forma el valor de Q de 0.23 en las cenizas 1, con este valor de Q sabemos que este dato no se rechazará y se tendrá en cuenta para el análisis, esto dado que Q crítico para este nivel de confiabilidad es de 0.98.

A partir de los datos mostrados en la tabla 14, se obtuvo un promedio de los resultados y con este dato se realizó el cálculo para conocer la cantidad promedio de zinc inicial en la cáscara el cual es de 6.14 mg de zinc/kg de muestra.

PROCESO	IMAGEN
<p><b>Preparación del bioadsorbente y secado del bioadsorbente</b></p>	
<p><b>Calcinación de la muestra mes de Diciembre</b></p>	

	
<p><b>Calcinado de la muestra mes de Marzo</b></p>	

**Tabla 15. Proceso de preparación y caracterización del bioadsorbente. Elaboración propia.**

## **BIOADSORCIÓN**

La bioadsorción se realiza por lecho filtrante gota a gota, por contacto de alrededor de una hora y media, según lo planteado por Mendoza & Molina (2015), en la cual se coloca una masa de 83.108g de bioadsorbente, en un lecho filtrante de un diámetro de 11 cm y la solución stock usada con un pH de 3.1. Después de que la cáscara de naranja halla retenido la máxima cantidad de la solución empleada, este empieza a depositarse como sobrenadante del proceso. Tabla 16, montaje usado.

IMAGEN	DESCRIPCIÓN
	<p>De esta manera se coloca la cáscara de naranja, en un embudo a partir de una botella de gaseosa de 3 litros. En la imagen se observa cómo se ve el bioadsorbente ya molido y seco.</p>
	<p>Este es el montaje que se desarrolló, con el propósito de la adsorción de zinc, además se observa como la cáscara va adquiriendo humedad por ende va aumentando su tamaño.</p>
	<p>La cáscara molida ya se humedeció adsorbió el stock suficiente para volver a su estado inicial, por lo tanto, se empieza a dar un sobrenadante, que es la solución que se va depositando en el vaso de precipitado, el cual permite conocer cuanto logro adsorber la cáscara de naranja.</p>

**Tabla 16. Procedimiento en el laboratorio del proceso de bioadsorción de la cáscara de naranja. Elaboración propia.**

En el proceso de bioadsorción, como en el de la caracterización del bioadsorbente se realizaron dos pruebas, una en el mes de diciembre para la estandarización del método y la otra a finales de febrero; la primera nos dio una mirada de la eficiencia del método, ya que

en esta primera prueba no se obtuvieron valores fiables (Tabla 17), esto debido a que se prepararon disoluciones muy diluidas ya que se tomó 0.8mL del sobrenadante y se llevaron a 100mL, esto hizo que se saliera del rango de cuantificación del equipo y así mismo de la curva de calibración usada.

MUESTRA	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN EN CURVA
Sobrenadante bioadsorción diciembre	0.01	Fuera del rango

**Tabla 17. Bioadsorción mes de diciembre. Elaboración propia.**

Con lo anterior entonces se obtuvo que, para replicar este método en el mes de febrero, se obtuvo el mismo montaje mostrado en la tabla 16, pero cambiando el volumen de dilución del sobrenadante, para esta segunda prueba se tomaron 10mL del sobrenadante y se aforo a un volumen de 100 mL; obteniendo de esta forma los resultados mostrados en la tabla 18, allí también encontramos el stock utilizado en esta segunda prueba junto a las concentraciones de zinc totales en las soluciones de partida en ppm. Por otra parte, el stock utilizado se preparó como está descrito en el planteamiento experimental, pero los datos arrojados por el equipo y los cálculos realizados demostraron una concentración mayor a la planteada en el numeral 6, siendo esta de 383.52ppm y no 80ppm, esto pudo darse por diversos factores como pudieron ser la pureza de la sal o la limpieza de los tubos en los que se analizó la muestra.

Muestra	Absorbancia	Concentración en curva de calibración (ppm)	Concentración de la solución de partida (ppm)
Stock (Agua sintética)	0.31	0.35	383.52
Sobrenadante de la bioadsorción	0.29	0.30	5.33

**Tabla 18. Absorbancias en el proceso de adsorción. Elaboración propia**

Con lo anterior se halló la concentración real del stock y del sobrenadante, para luego calcular el porcentaje de remoción de zinc, con lo cual se aplicaron las siguientes fórmulas.

$$\text{Concentración real del problema: concentración ppm} * \frac{100}{0,75} * \frac{25}{5} \quad (3)$$

$$\text{Concentración real del sobrenadante: concentración ppm} * \frac{100}{10} \quad (4)$$

Con la ecuación 3 y 4, se obtienen los datos de la concentración real de ppm (tabla 17), este dato permitió conocer el porcentaje de zinc que se encuentra en la cáscara de naranja, se aplica la ecuación 5 y para conocer el porcentaje de absorción realizado por dicho bioadsorbente se usa la ecuación 6 propuesta por Penedo, Manals, Bendrell & Salas (2015), de estos mismos autores se obtuvo la ecuación 7 para determinar la capacidad de adsorción ( $Q_e$ ) del ion metálico en disolución.

$$\text{Concentración de la cascara de naranja} = \text{Concentración stock} - (\text{concentración sobrenadante} + \text{cenizas}) \quad (5)$$

$$\% \text{adsorción} = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} 100 \quad (6)$$

$$Q_e = \frac{C_i - C_e}{m} V \quad (7)$$

Donde:

$C_i$  = Concentración del Stock

$C_e$  = Concentración del sobrenadante obtenido del proceso de adsorción denominada concentración de equilibrio

$V$  = El volumen de solución utilizado

$m$  = La masa del adsorbente

Unidad	Valor (ppm, $\frac{mg Zn}{g Cáscara}$ o%)
Concentración de la cáscara de naranja	378.19
Capacidad de adsorción	3.18
%adsorción	98.61

**Tabla 19. Porcentaje de adsorción de la cáscara de naranja. Elaboración propia.**

La cáscara de naranja al tener un porcentaje de adsorción del zinc del 98.61% indica que es un bioadsorbente eficiente para procesos de descontaminación de aguas residuales sintéticas, además de ser una biomasa común en el comercio, ayuda a que este proceso sea asequible para las industrias que decidan implementarlo, por otra parte, el proceso de secado es fundamental para que no se de formación de hongos y pueda adsorber de una mejor manera la solución empleada y así llegar a su máxima capacidad de remoción del zinc.

## DESORCIÓN

Al igual que en los procesos anteriores se realizó un piloto en el mes de diciembre, lo que nos llevó a cambiar el método y montaje de desorción, puesto que el usado fue inviable, este montaje preliminar se muestra en la tabla 20, al igual que en el caso de la bioadsorción los

resultados obtenidos (tabla 21) en esta primera etapa fueron incongruentes, puesto que como se evidencia, se obtuvieron absorbancias negativas por lo que no se pudo dar un análisis preliminar de este proceso.


PROCESO	IMAGEN
<p align="center"><b>Montaje preliminar del proceso de desorción</b></p>	

**Tabla 20. Montaje realizado en el mes de diciembre desorción. Elaboración propia.**

MUESTRA	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN EN CURVA DE CALIBRACIÓN
Sobrenadante bioadsorción diciembre	-0.018	Fuera del rango

**Tabla 21. Resultados obtenidos de desorción en diciembre. Elaboración propia.**

Con estos datos preliminares se decidió cambiar el proceso de desorción, el cual ya fue descrito en el planteamiento experimental y se ve evidenciado en la tabla 22. Este nuevo proceso fue aplicado en el mes de marzo.

IMAGEN	DESCRIPCIÓN
	<p align="center">Montaje desorción a 15 minutos</p>

	Montaje desorción a 30 minutos
	Montaje desorción a 45 minutos
	Montaje desorción a 60 minutos
	Montajes de las desorciones en diferentes tiempos

**Tabla 22. Imágenes del proceso de desorción del mes de marzo. Elaboración propia**

Como se especificó en el planteamiento experimental, se realizaron cuatro pruebas de desorción a cuatro tiempos diferentes, estas se realizaron por triplicado para obtener una mejor relación y confiabilidad de los datos obtenidos, en la tabla 23 se muestran los datos obtenidos de absorbancia de las disoluciones realizadas con 0.8mL del sobrenadante obtenido del proceso de desorción y llevadas a 50mL.

MUESTRA	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN EN CURVA DE CALIBRACIÓN (ppm)
Desorción 15min-1	0.16	0.30
Desorción 15min-2	0.17	0.32
Desorción 15min-3	0.22	0.41
Desorción 30min-1	0.03	Fuera de curva
Desorción 30min-2	0.20	0.38
Desorción 30min-3	0.20	0.38
Desorción 45min-1	0.25	0.47
Desorción 45min-2	0.22	0.40
Desorción 45min-3	0.25	0.47
Desorción 60min-1	0.20	0.38
Desorción 60min-2	0.22	0.41
Desorción 60min-3	0.22	0.41

**Tabla 23. Resultados obtenidos del proceso de desorción. Elaboración propia.**

A los datos mostrados en la tabla 23 se les realizó la prueba Q para rechazo de datos por cada triada de datos, con un valor de confiabilidad del 96% el cual tiene un Q crítico igual a 0.98, obteniendo de esta forma que el primer dato para la desorción de 30 min es el único a rechazar obteniendo un valor de  $Q = 0.99$  usando la ecuación 8. Este proceso se efectuó a todas las triadas de datos.

$$Q_{exp} = \frac{|X_i - X_j|}{w} \quad (8)$$

Sabiendo entonces que si  $Q_{exp} > Q_{crit}$  el dato debe rechazarse.

Teniendo en cuenta el tratamiento a los datos sospechosos, se procedió a observar la cinética del proceso de desorción, para esto primero se calculó la concentración real del sobrenadante de la desorción de la forma descrita en la ecuación 9.

$$\text{Concentración real del sobrenadante desorción: concentración ppm} * \frac{50}{0,4} \quad (9)$$

Obteniendo de esta forma los resultados descritos en la tabla 24.

MUESTRA	CONCENTRACIÓN REAL EN ppm
Desorción 15min-1	37.24
Desorción 15min-2	39.51
Desorción 15min-3	51.86
Desorción 30min-1	Rechazada por prueba Q

Desorción 30min-2	46.99
Desorción 30min-3	47.34
Desorción 45min-1	58.91
Desorción 45min-2	50.28
Desorción 45min-3	57.99
Desorción 60min-1	47.68
Desorción 60min-2	51.77
Desorción 60min-3	50.93

**Tabla 24. Concentraciones reales sobrenadantes desorción. Elaboración propia.**

Con las concentraciones reales obtenidas se procedió a ver la cinética de la desorción en las tres pruebas obteniendo como resultado las gráficas y tablas descritas a continuación.



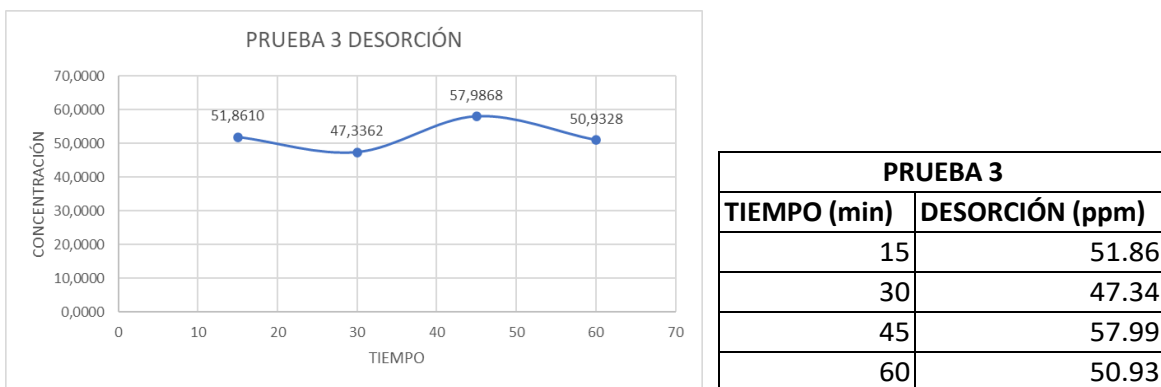
PRUEBA 1	
TIEMPO (min)	DESORCIÓN (ppm)
15	37.24
45	58.91
60	47.68

**Gráfica 2 y Tabla 25. Desorción prueba 1. Elaboración propia.**



PRUEBA 2	
TIEMPO (min)	DESORCIÓN (ppm)
15	39.52
30	46.99
45	50.28
60	51.77

**Gráfica 3 y Tabla 26. Desorción prueba 2. Elaboración propia.**



**Gráfica 4 y Tabla 27. Desorción prueba 3. Elaboración propia.**

En todas las tablas observamos que la máxima eficiencia en el proceso de remoción de zinc de la cáscara de naranja por desorción se encuentra en torno a los 45min, esto empleando el ácido clorhídrico 0.1N como principal reactivo en el proceso de desorción.

Por otra parte, se quiso calcular el porcentaje de desorción, el cual dará una referencia de que tan contaminada quedará nuestra biomasa para un posterior uso en otras aplicaciones. Para ello se calcularon los porcentajes de acuerdo con los resultados obtenidos en el proceso de bioadsorción siguiendo la ecuación 10.

$$\% \text{ de desorción} = \frac{\text{Concentración en cáscara de naranja de Zn} - \text{Concentración real del sobrenadante de desorción}}{\text{Concentración en cáscara de naranja de Zn}} \times 100 \quad (10)$$

Con la ecuación 9 entonces, se obtuvieron los porcentajes de desorción en las distintas medidas de tiempo, al ser un análisis por triplicado se decidió calcular el promedio de los porcentajes obtenidos en los diferentes tiempos, teniendo de esta forma los resultados presentados en la tabla 28.

TIEMPO DE AGITACIÓN (min)	PORCENTAJE DE DESORCIÓN
15	88.66%
30	87.53%
45	85.26%
60	86.75%


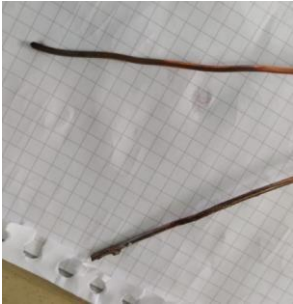
**Tabla 28. Porcentaje de desorción respecto a tiempo de agitación Elaboración propia.**

Como se muestra en la tabla 28, no se logra observar un gran cambio en los porcentajes de desorción obtenidos, por lo que, es recomendable realizar una agitación durante 15 minutos, puesto que a pesar de esto se evidencia que en las gráficas de cinética de desorción el mayor pico es en 45 minutos, es despreciable la diferencia conforme al de 15 minutos como se puede evidencia en la tabla 28, por lo que, la mayor eficiencia en cuanto a tiempo y cantidad de

limpieza de la biomasa estará dada a los 15 minutos, de esta forma se puede lograr una optimización del proceso de desorción.

## ELECTRODEPOSICIÓN

En el caso de la electrodeposición la etapa preliminar para estandarizar el método no se realizó como se describe, dado que, en el mes de diciembre únicamente se evidencio de forma cualitativa si era un proceso que surgía con el metal de interés (Zn (II)), por lo que se obtuvo un montaje preliminar y unos resultados cualitativos donde se evidencio la electrodeposición del metal en el electrodo. Lo descrito anteriormente se evidencia en la tabla 29.

PROCESO	IMAGEN
<p align="center"><b>Montaje preliminar proceso de electrodeposición</b></p>	
<p align="center"><b>Electrodos después del proceso preliminar de electrodeposición</b></p>	

**Tabla 29. Proceso preliminar de electrodeposición de Zn realizado en el mes de diciembre. Elaboración propia.**

Con este resultado cualitativo en el mes de marzo, se llevó a cabo el proceso con los sobrenadantes de la desorción.

El proceso de electrodeposición realizado se hizo a partir de la prueba con electrodos de cobre y carbono, debido a la dificultad de adquisición no se logró realizar pruebas con los electrodos de acero por lo que estos no se encuentran explícitos en el siguiente análisis.

Con lo anterior, se hizo una distribución de los electrodos usados para cada celda electrolítica, así mismo, se facilitó la adquisición de placas de cobre las cuales tenían una superficie de contacto de 24cm<sup>2</sup>, con el fin de observar, si el cambio en la superficie de contacto del electrodo con la solución tenía algún efecto al momento de la deposición del zinc en estos,

en la tabla 30 se observa esta distribución de acuerdo con el sobrenadante obtenido en la prueba de desorción.

<b>SOBRENADANTE</b>	<b>ELECTRODO</b>
Desorción 15min-1	Alambre de cobre trenzado
Desorción 15min-2	Placas de cobre
Desorción 15min-3	Alambre de cobre trenzado
Desorción 30min-1	Carbono
Desorción 30min-2	Carbono
Desorción 30min-3	Carbono
Desorción 45min-1	Carbono
Desorción 45min-2	Carbono
Desorción 45min-3	Carbono
Desorción 60min-1	Alambre de cobre trenzado
Desorción 60min-2	Alambre de cobre trenzado
Desorción 60min-3	Alambre de cobre trenzado

**Tabla 30. Distribución electrodos en sobrenadantes de desorción. Elaboración propia**

Las celdas de electrólisis se dejaron un total de una hora y media, transcurrido este tiempo se procedió a realizar la disolución tomando 0.4mL del sobrenadante de la electrólisis y llevándolo a un volumen de 50mL para cada caso específicamente, con esto entonces se muestra en la tabla 31 los resultados de absorbancia leídos en el equipo de absorción atómica.

<b>MUESTRA</b>	<b>ABSORBANCIA</b>	<b>CONCENTRACIÓN EN CURVA DE CALIBRACIÓN (ppm)</b>
Electrólisis 15min-1	0.33	0.62
Electrólisis 15min-2	0.32	0.59
Electrólisis 15min-3	0.30	0.55
Electrólisis 30min-1	0.37	0.68
Electrólisis 30min-2	0.35	0.65
Electrólisis 30min-3	0.28	0.53
Electrólisis 45min-1	0.41	0.77
Electrólisis 45min-2	0.33	0.61
Electrólisis 45min-3	0.29	0.53
Electrólisis 60min-1	0.37	0.70
Electrólisis 60min-2	0.33	0.61
Electrólisis 60min-3	0.33	0.61

**Tabla 31. Resultados de absorción atómica para sobrenadantes de electrólisis. Elaboración propia.**

Como en la desorción a estos datos se les aplico la prueba Q a cada una de las triadas, obteniendo de esta forma que ningún dato es rechazado.

Adicional a esto, se midió la concentración en los electrodos de cobre por lo que se realizaron las digestiones, tomando dos muestras sobre el cátodo, la primera hace referencia a la parte del electrodo que no se encontraba en contacto con la solución y la segunda hace referencia a la parte del cátodo que se encontraba en contacto con la solución, por ende, donde se deposita el zinc. Los resultados de estas digestiones se muestran la tabla 32.

<b>ELECTRODO</b>	<b>ABOSRBANCIA</b>	<b>CONCENTRACIÓN EN CURVA DE CALIBRACIÓN (ppm)</b>
Electrodo 15min-1Limpio	0.21	0.38
Electrodo 15min-1Contaminado	0.28	0.52
Electrodo 15min-2Limpio	0.19	0.35
Electrodo 15min-2Contaminado	0.08	0.15
Electrodo 60min-1Limpio	0.10	0.20
Electrodo 60min-1Contaminado	0.15	0.28
Electrodo 60min-2Limpio	0.14	0.27
Electrodo 60min-2Contaminado	0.19	0.35

**Tabla 32. Resultados de absorción atómica para digestión de electrodo de cobre. Elaboración propia.**

Continuando con el análisis, cabe resaltar que la muestra 1 de la electrólisis a 30 minutos no se tuvo en cuenta para el siguiente análisis puesto que al ser rechazado el dato de desorción para esta muestra no hay punto de comparación para la obtención de porcentajes de esta.

Con lo anterior claro, se procedió a calcular la concentración real en los sobrenadantes obtenidos después del proceso de electrólisis, con el fin de obtener el porcentaje de recuperación de zinc por este proceso, para ello se hizo uso de la ecuación 11, obteniendo de esta forma los resultados presentados en la tabla 33.

*Concentración real del sobrenadante electrolisis: concentración en curva ppm*

$$* \frac{50}{0,8} \quad (11)$$

MUESTRA	CONCENTRACIÓN REAL (ppm)
Electrólisis 15min-1	38.79
Electrólisis 15min-2	37.09
Electrólisis 15min-3	34.57
Electrólisis 30min-1	Sin punto de comparación
Electrólisis 30min-2	40.43
Electrólisis 30min-3	33.12
Electrólisis 45min-1	47.97
Electrólisis 45min-2	37.95
Electrólisis 45min-3	33.38
Electrólisis 60min-1	43.61
Electrólisis 60min-2	38.34
Electrólisis 60min-3	38.41

**Tabla 33. Concentraciones reales sobrenadantes electrólisis. Elaboración propia.**

Con lo anterior se procedió a obtener el porcentaje de recuperación comparando las concentraciones de zinc en los sobrenadantes de la desorción y electrodeposición, haciendo uso de la ecuación 12, al tener varias muestras se procedió a dejar porcentajes promedio para todos los casos, a excepción de las placas de cobre. Los resultados de esto se muestran en la tabla 34.

$$\% \text{ de recuperación} = \frac{\text{Concentración real desorción} - \text{Concentración real electrolisis}}{\text{Concentración real desorción}} * 100 \quad (12)$$

MUESTRA	PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN
Electrólisis 15min-placas	-4.14%
Electrólisis 15min-cobre trenzado	19.73%
Electrólisis 30min-carbono	21.98%
Electrólisis 30min-carbono	28.52%
Electrólisis 60min-cobre trenzado	25.25%

**Tabla 34 Porcentajes de recuperación de zinc en pruebas electrólisis. Elaboración propia.**

Como se logra observar las placas de cobre no tuvieron ningún efecto de recuperación, por lo que no logran tener la eficiencia ni coherencia conforme a los otros datos, esto pudo darse debido a que la placa de cobre como se observa en la tabla 37, tuvo un desprendimiento del

metal perdiendo material, esto puede ocurrir por el medio en el que se encontraba el sistema, ya que es un medio altamente ácido y puede facilitar la descomposición y oxidación del cobre. Por otra parte, los electrodos de cobre trenzados obtuvieron un mejor rendimiento que las placas de cobre, dado que en el sobrenadante se redujo la concentración inicial de zinc en cada caso en los que se usó cobre trenzado, teniendo un promedio en los porcentajes de recuperación por electrodeposición en electrodos de cobre de 19.73% para muestras de desorción de 15min, mientras que para muestras de desorción de 60 minutos se obtuvo un porcentaje de recuperación de 25.25%.

Como observamos en la tabla 32, se obtuvieron resultados para la cuantificación de zinc en el electrodo, esto se realizó para ver si existía almacenamiento del metal en los electrodos, debido a que por masa no se logra apreciar esta deposición, para ello se hizo uso de la ecuación 13. Los resultados de esto están dados en la tabla 35 en concentración de zinc (mg Zn/kg Cu).

$$\text{Concentración en electrodo} = \frac{0.01L * \text{Concentración en curva}}{\text{masa pesada de muestra en kg}} \quad (13)$$

<b>MUESTRA DESORCIÓN TIEMPO (min)</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE ZINC EN ELECTRODO FINAL (mg Zn/kg Cu)</b>
15	26.44
60	58.11

**Tabla 35. Concentración en electrodo de cobre después de la electrólisis: Elaboración propia.**


Ahora bien, los resultados obtenidos con electrodos de grafito utilizados en las muestras de desorción en tiempo de 30 minutos y 45 minutos tuvieron una eficiencia similar a los electrodos de cobre trenzado observando una reducción en la concentración del sobrenadante que se tenía inicialmente, después del proceso de desorción a la obtenida posteriormente del proceso de electrodeposición, teniendo una eficiencia promedio de 21.99% para la muestra de 30 minutos y 28.52% en la muestra de 45 minutos, observando de esta forma que existe el proceso de electrodeposición en el electrodo. Adicional a lo anterior a los electrodos de grafito no se les pudo hacer un análisis de la concentración inicial y final de zinc que contenían debido a la dificultad por realizar la digestión en los electrodos de carbono, esto debido a que el carbono únicamente es soluble en el tetracloruro de carbono el cual es un reactivo bastante contaminante.



Con lo anterior se realiza una comparación (tabla 36) en la cual se observan las diferencias entre el uso de electrodos de grafito y cobre para electrodeposición de zinc, cabe resaltar que por la ineficiencia de las placas de cobre no se tienen en cuenta en esta comparativa.

<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN EN ELECTRODOS DE GRAFITO</b>	<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN EN ELECTRODOS DE COBRE</b>
21.99%	19.73%
28.52%	25.25%

**Tabla 36. Comparación porcentaje de recuperación de Zinc en distintos electrodos.  
Elaboración propia.**

En la tabla 37 se puede observar las imágenes de cómo se llevó a cabo el proceso de electrodeposición.

<b>IMAGEN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	Montaje desorción a 15 minutos placas de cobre
	Montaje electrólisis a 15 minutos cobre trenzado
	Montaje desorción a 45 minutos

	<p>Digestión electrodos</p>
	<p>Placas de cobre posterior al proceso electroquímico</p>

**Tabla 37. Proceso de electrodeposición. Elaboración propia.**

Podemos resumir los resultados del proceso experimental en la tabla 38 y 39:

Zinc inicial en la solución stock (ppm)	Zinc inicial en la cáscara de naranja (ppm)	Zinc inicial en los electrodos de cobre (ppm)	Porcentaje de zinc que es adsorbido por la cáscara de naranja. Proceso de bioadsorción. (%)
383.52	6.14	20.18	98.61

**Tabla 38. Resultados obtenidos en el proceso de bioadsorción. Elaboración propia.**

Porcentaje de zinc que es recuperado de la cáscara de naranja. Proceso de desorción (%)				Porcentaje de zinc recuperado del producto de la desorción por electrodeposición (%)			
				Electrodo de cobre	Electrodo de grafito	Electrodo de grafito	Electrodo de cobre
15 min	30 min	45 min	60 min	15 min	45 min	30 min	60 min
88.66	87.53	85.26	86.75	19.73	21.99	25.52	25.25

**Tabla 39. Resultados obtenidos en los procesos de desorción y electrodeposición. Elaboración propia.**

Como se observa en la tabla 38, se evidencia que el proceso de bioadsorción con cáscara de naranja de la especie SWEET en grado de maduración 2, es viable para su uso como bioadsorbente de zinc, así mismo, en la tabla 39 se muestra que el proceso de limpieza de esta biomasa, da alta eficiencia removiendo hasta un 88% de la concentración del metal que se encuentra en la biomasa contaminada, esto permite dar certeza de que se pueda reusar con fines de abono orgánico o para la producción de compost de acuerdo con lo planteado en la tabla 3 aportada por Garro (2016), ya que al ser un proceso en donde intervienen distintos microorganismos puede verse aún más reducida esta cantidad y a su vez generando nutrientes que lleguen a ser útiles para el suelo en el que pueda ser empleada.

Por otra parte, en la tabla 39 se evidencia que no se obtuvo una gran eficiencia en la recuperación de zinc por medio electroquímicos, esto puede darse por diversos factores como el pH en el que se encontraba o también por la densidad de corriente aplicada, como bien se sabe en todos los casos se usó una corriente continua de 12v.

## **8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN APLICACIÓN MATERIAL DIVULGATIVO**

Con los resultados experimentales mostrados anteriormente se realiza un artículo científico, el cual tiene como propósito el proceso de divulgación, este se dio a conocer a un grupo de cinco estudiantes de la maestría en Docencia de la química de la Universidad Pedagógica Nacional, a un egresado de la licenciatura en química y dos estudiantes de pregrado de últimos semestres de química en la Universidad Distrital Fráncico José de Caldas y Universidad Pedagógica Nacional, con el fin de evaluar el potencial del material, tanto en sus aplicaciones técnicas como pedagógicas; por lo tanto, se desarrolló una matriz evaluativa con una escala tipo Likert, la cual tiene como propósito la evaluación del artículo, teniendo en cuenta los distintos aspectos pedagógicos, didácticos y técnicos, demostrando el impacto y utilidad en los diferentes contextos sociales que se puede dar a conocer y aplicar la metodología explicada. A su vez esta matriz permite dar conciencia y mejora al material en

cuestión para llevarlo de una mejor forma a los procesos de divulgación. En la tabla 40 se muestran los resultados obtenidos de la matriz.

<b>Pregunta</b>	<b>Totalmente en desacuerdo</b>	<b>Desacuerdo</b>	<b>Indeciso</b>	<b>De acuerdo</b>	<b>Totalmente de acuerdo</b>
El proceso de absorción, desorción y electrólisis contribuyen a la descontaminación de aguas provenientes de las industrias galvánicas			1	5	2
Considera que las técnicas presentadas en el artículo para el tratamiento de sus efluentes, aliándose con empresas agroindustriales que le faciliten la biomasa usada, son adecuadas para ser implementadas en las industrias galvánicas			3	3	2
Las etapas de bioadsorción y desorción se consideran apropiadas como una implementación de tecnologías limpias				6	2
La utilización de una biomasa, en este caso la cáscara de naranja en un proceso de extracción de metales pesados como es el zinc se puede estimar como un avance			1	5	2

científico y de mitigación ambiental.					
Los procesos de bioadsorción y desorción pueden ser considerados avances tecnológicos en sus aplicaciones en industrias que generen metales pesados en sus residuos o efluentes.			1	6	1
Como investigador, este tipo de temáticas promueven al desarrollo de nuevas investigaciones en pro de la disminución del impacto ambiental				3	5
Considera que la implementación de un bioadsorbente como es la cáscara de naranja es útil para el desarrollo sostenible del país			2	2	4
¿El proceso desarrollado es viable para la remoción de zinc en aguas residuales provenientes de la industria galvánica desde un punto de vista científico?		1	1	3	3
Las ciencias manejadas de una manera conjunta como es el caso de utilizar				4	4

procesos de biomasa y electroquímicos son útiles para el desarrollo investigativo					
La implementación de estas metodologías en comunidades rurales las cuales no cuentan con agua potable es viable para el desarrollo de percepciones científicas y tecnológicas.		1	3	4	
El proceso divulgativo de las técnicas empleadas permite que se puedan promover y adaptar a los procesos en otras industrias				4	4

**Tabla 40. Resultado matriz evaluativa. Elaboración propia.**

En la tabla 40 se muestra los resultados obtenidos de las afirmaciones que se encuentran dentro de la matriz evaluativa (anexo 2) para el material divulgativo, lo cual da un panorama de los puntos de vista de los lectores en los ámbitos, científicos, pedagógicos y sociales en los que se puede usar el material divulgativo; con esto entonces, se evidencia que los procesos de remoción de zinc en aguas residuales explicados en el artículo, cumplen en su mayoría con el propósito de descontaminación y son claros para los lectores del material diferenciar estos procesos. Frente a la implementación de dichos procesos en la industria, se observa, una división frente a la posición de una posible alianza entre empresas agroindustriales que faciliten la recolección de la biomasa empleada, esta división se puede dar por una mal interpretación frente a la afirmación dada, teniendo en cuenta las respuestas obtenidas en los ítems 1-5, dejando ver de esta forma que este tipo de técnicas tienen potencial al ser consideradas tecnologías limpias en el ámbito de reducción de impacto medio ambiental que pueden tener los desechos producidos por la industria galvánica.

Al usar una biomasa la cual se desea reutilizar en otros procesos, ya sea de la misma temática o en otros, por ende se va a ver implicado los temas ambientales; debido a que se busca en los procesos industriales disminuir los daños o afectaciones que causan, es por esto, que a partir de los datos recolectados en la matriz se puede decir que los lectores están de acuerdo con el desarrollo de este tipo de investigaciones que tengan el objetivo propósito de mitigar

los daños ambientales y promoviendo de cierta manera avances científicos, como bien se sabe, estos avances no se dan solamente en un área de conocimiento sino también en un conjunto, como en este caso no solo se usa la cáscara de naranja, sino también procesos electroquímicos, los cuales benefician a la disminución del daño ambiental generado por la industria galvánica.

Los procesos sostenibles llevan a la implementación de tecnologías limpias, por tal motivo el uso de bioadsorción y desorción es una metodología que no genera más contaminación simplemente por limpiar un efluente proveniente de la industria, hoy en día como no lo muestran los lectores, se observa la importancia de implementar este tipo de tecnologías en procesos industriales, así generando avances tecnológicos y científicos. Los avances científicos muchas veces se ven aptos o favorecidos a cierta población, en este caso la población urbana; las comunidades rurales son las que en gran medida conviven con aguas realmente contaminadas, pero no cuentan con el conocimiento y el apoyo para poder realizar procesos de limpieza, el hecho de usar un bioadsorbente de fácil acceso para dicha población, facilita la reducción de contaminantes en cuerpo hídricos. La galvanoplastia al no ser un proceso que se pueda desarrollar de manera artesanal debido a las sustancias químicas empleadas en este mismo y los equipos tiende a facilitar la implementación de estos procesos en industrias aledañas a este tipo de, sin embargo, haciendo ciertos cambios y pruebas piloto, se puede lograr su aplicabilidad, por lo anterior, no se está totalmente de acuerdo con la implementación de esta metodología en las comunidades.

Por otra parte, se observa que no todos los lectores están de acuerdo con la implementación de este tipo de técnicas en otros tipos de contextos sociales que permitan el desarrollo de pensamientos científicos en comunidades que están alejadas de contextos científicos, pero a su vez la mayoría se decanta en estar de acuerdo con la utilidad en otros contextos ajenos a la industria galvánica.

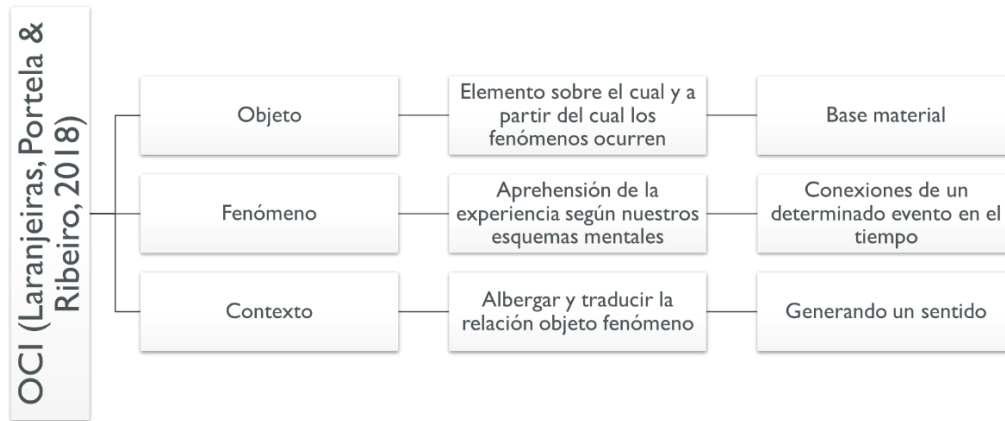
Dar a conocer no solo el desarrollo de un proceso, sino los conceptos y la eficiencia de cada uno de ellos, por medio de un proceso divulgativo, permite que realmente se de esa enseñanza que muchas veces se considera que se da en una aula de clases, la enseñanza va más allá y la divulgación es aquel proceso que permite demostrar que se puede aprender en cualquier lugar, que realmente ciertas temáticas no solo se dan en una industria sino que se pueden emplear en cualquiera, en este caso, este proceso no solo se puede aplicar para la remoción de zinc, sino para metales pesados o con otro tipo de bioadsorbente, es por lo anterior que se la divulgación científica cumple un papel fundamental en nuestra sociedad, el cual en algunos casos no se considera importante.

Dentro de la matriz se encuentra una serie de preguntas abiertas, las cuales tienen como fin ver la aplicabilidad del artículo en la contextualización de temáticas dentro del aula y a su vez tener una percepción de la claridad del material frente a su estructura y redacción; con lo primero entonces, hay que tener en cuenta que la mayoría de las respuestas obtenidas son de docentes en ejercicio o estudiantes de últimos semestres que han tenido de cierta forma una

formación y una práctica docente. Con las respuestas recopiladas entonces se observa, que los lectores ven potencial en el uso de este material para la enseñanza de diversas temáticas dentro del aula, rescatando temáticas como bioadsorción, electroquímica, problemáticas socioambientales, propiedades de los metales y el manejo de ellos, sustentabilidad y sostenibilidad de un recurso, efectos de variables fisicoquímicas.

Frente al apartado que permite evidenciar la claridad del material se observaron diversas opiniones frente a la redacción del documento, a pesar de esto en la mayoría de las respuestas hay una fuerte aceptación hacia el material, el cual presenta una claridad en lo que quiere exponer, aunque también se evidenció que ciertas formas de redacción no aclararon bien ciertas partes del texto, como fueron los resultados obtenidos pues este al ser un material tipo artículo se tuvo que reducir y resumir en cierto grado este apartado, lo cual puede llegar a confundir dentro de la lectura de este, es por ello que se decidió realizar las correcciones a las partes que pudieron ser más confusas dentro del material divulgativo, obteniendo de esta una nueva versión de este. Cabe resaltar, que se cumple con el objetivo de que se comprenda el proceso y se conozca su utilidad, además, que no se tiene un reconocimiento entre los lectores y nosotros, por ende, su evaluación es imparcial y permite tomar cada comentario de manera positiva, debido a que se sabe que lo hacen de manera sincera y con una ética profesional, pues todos son licenciados en química.

Ahora bien, el proceso de divulgación tuvo un apartado de informar desde una lectura, por lo que, este proceso divulgativo cumplió con un 90% de su propósito que era mostrar, informar y evaluar los procesos descritos, cabe resaltar que el proceso se pudo haber dado en su totalidad, si se hubiese tenido un acercamiento y presentación del artículo al grupo, con esto generando preguntas y respuestas sobre este mismo frente a los lectores del material divulgativo y de esta forma contemplar los objetos científicos interactivos descritos en el gráfico 5 y propuestos por Laranjeiras, Portela & Ribeiro (2018). Es por esto que se recomienda que al momento de realizar este tipo de procesos divulgativos por medio de artículos científicos, se tienda a tener un contacto con las personas a las cuales se les quiere hacer llegar la información, para poder de esta forma nutrir a los lectores con información que se pudo haber saltado dentro del material y así mismo a los autores con las posibles preguntas que surjan de los procesos descritos a lo largo del documento, permitiendo de esta forma tener una mejor perspectiva de las apreciaciones de los lectores para posibles modificaciones que se puedan dar a lo largo del documento, construyendo de esta forma el documento entre todas las partes y cumpliendo la meta principal de la divulgación que es acercar a los lectores al conocimiento científico específico.



(Gráfico 5. Objetos Científicos Interactivos. Elaboración propia)

Por otra parte, su impacto pedagógico se puede centrar en el modelo constructivista planteado por Zubiria (2011) y cognitivo planteado por Rafael Flórez Ochoa, en los cuales se da un proceso de construcción del conocimiento dado por las realidades que contemplan los estudiantes, así mismo el impacto didáctico que este puede tener en las aulas de clase, se puede basar en un modelo colaborativo, que según Fernández & Vivar (2010) proponen la construcción de los contenidos a partir de prácticas interactivas entre el educador y los estudiantes, permitiendo de esta forma dar una construcción conjunta de las distintas temáticas, trasladando esto al proceso divulgativo el artículo permite dar a conocer distintas formas de aplicación de los contenidos generando de esta forma una discusión entre las partes implicadas, las cuales pueden ver su potencial en la adquisición de nuevos aprendizajes.

El proceso de elaboración del artículo fue interesante, pues plasmar el procedimiento experimental y metodológico de esta investigación en un escrito, es un poco complicado, pues se debe ser muy claro y preciso, además siempre se busca mostrar la eficiencia del proceso y mostrar cada variable que se debe tener para su óptimo desarrollo, por otra parte, esta dificultad en dar claridad para la implementación en procesos divulgativos tiene una mayor dificultad, pues lo que se espera de este proceso no es simplemente hablar de los temas en cuestión, si no que, también es importante la forma de llegar a los lectores, ayudando de esta forma a que el proceso de divulgación sea mucho más fácil y tenga una mayor acogida no solo en la comunidad científica, si no en las comunidades educativas y de interés en la aplicación de nuevas tecnologías.

## 9. CONCLUSIONES

El proceso de adsorción, desorción y electrodeposición son óptimos para la remoción de zinc en aguas sintéticas, pues la cáscara presenta un alto porcentaje de eficiencia de 98.61% en este proceso. Para la recuperación del bioadsorbente como tal, se presentan ciertas variables como es el tiempo de agitación para la remoción del metal en este, por lo tanto, este tipo de variables permite conocer con exactitud cuál es el tiempo adecuado para dicho proceso, en el cual se encontró que 15 minutos es el tiempo óptimo ya que se obtuvo un porcentaje de desorción del 88.66%.

Por parte de la electrodeposición se observó que la recuperación del zinc para una nueva implementación en procesos industriales no fue eficiente ya que se obtuvieron porcentajes de 19.73% para los electrodos de cobre y 21.98% para el carbono, esto pudo darse por falta de pruebas en el cambio de variables, por lo que, este ítem queda abierto a futuras investigaciones que puedan presentar mejoras en el método de recuperación de zinc.

Por lo tanto, la bioadsorción y desorción son procesos oportunos para la descontaminación de aguas contaminadas por zinc, por ende, puede ser aplicado a aguas provenientes de la industria galvánica u otras industrias que tengan en sus efluentes residuos de zinc, cabe aclarar que la metodología en dichas industrias causaría una posible variación en datos y además de esto se puede generar otro material divulgativo. Finalmente, la electrodeposición para la reincorporación del metal a procesos industriales no fue eficiente por lo que en los ensayos obtenidos se tuvo un bajo porcentaje de eficiencia, por lo cual, no se considera un método viable para este apartado.

Por otra parte, se observó que el material divulgativo tuvo una buena acogida en el grupo de lectores, generando de esta forma una aceptación en la implementación de las técnicas y a su vez, observando una alta viabilidad en el uso de este tipo de materiales para el avance en procesos educativos que no recaigan en la repetitividad de conceptos, sino que también se vean diferentes conceptos en aplicaciones prácticas, colocando las temáticas en contextos específicos que pueden ayudar a la comprensión de nuevas temáticas en el área de las ciencias y la educación ambiental, generando de esta forma apartados para su uso en modelos didácticos de carácter colaborativo que empleen los docentes en el aula de clase.

Se recomienda que para futuras investigaciones se hagan uso de diferentes electrodos para el apartado de la recuperación y reincorporación de zinc en los procesos industriales por medio de la electrodeposición, también se ve viable la búsqueda de diferentes métodos electroquímicos que posibiliten la viabilidad de este proceso. Adicional a lo anterior, buscar la posibilidad de aplicar esto en campo de acción con aguas provenientes de la industria galvánica, llevando estos métodos a la aplicación en estos efluentes y de esta forma lograr generar un nuevo material de divulgación que tenga mayor alcance a poblaciones que puedan hacer uso de estos métodos.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, O. (2002). El uso de coberturas y abonos verdes en la agricultura orgánica. *Memorias II Encuentro de Investigadores en Agricultura Orgánica*, 44–48.
- Ambiental, E. (2008). *Soportes de la educación ambiental*. Educación Ambiental. <https://sites.google.com/site/gaeducacionambiental/bhnhj>
- Anónimo. (2015). *Electrodiálisis (ED) y electrodiálisis reversible (EDR)*. Condorchem Envitech. <https://condorchem.com/es/electrodesionizacion/>
- Anónimo. (2018). *Metales pesados*. Facsa. <https://www.facsa.com/metales-pesados/>
- Benítez Campo, N., & Perafán Cabrera, A. (2016). Las curtiembres de El Cerrito (Valle del Cauca): una mirada en torno a su realidad socioeconómica y ambiental. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.100>
- Blanco López, A. (2004). Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, 1(2), 70–86. [https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2004.v1.i2.01](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2004.v1.i2.01)
- Briceño, C., & Rodríguez, L. (19997). *Química*. Educativa.
- Cantor, Y. A. (2017). *La educación ambiental, una reflexión en torno a la relación entre comunidad educativa y medio ambiente, desde los imaginarios colectivos y espacios de la institución educativa Playa Rica, en el municipio el Tambo-Cauca*. Repositorio U. Manizales. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3149/Tesis%20Yenni%20velasquez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo, F. D. (2008). *Principios de electrodeposición*. Cuautitlán Izcalli. [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m6/principios%20de%20electrolisis.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/principios%20de%20electrolisis.pdf)
- Cayetano, P. (2019). *Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados: Plomo, cadmio, mercurio y arsénico*. Instituto Nacional de Salud. <https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/ogitt/cati/3%20BOLET%20C3%8DN%20T%20C3%89CNOLOGICAS%20N-3%202019.pdf>
- Ceñizares, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 131–143.
- Dávila, G. (2007). Discurso y divulgación científica. *Argentina. Editorial Buenos Aires*, 201.
- Delgado, H. (2018). Investigación cualitativa. En *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis* (pp. 373–410). Bogotá: Ediciones de la U.
- Ecuador, M. A. (2013). Capítulo 31. La industria galvanoplastia. En *Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las*

- sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en sector productivo del ecuador* (pp. 363–461). Ministerio de Ambiente.
- Falconer, H. M. M., Battaglia, G., & Carpi, A. (2017). *Difusión*. Visionlearning. <https://www.visionlearning.com/es/library/Qu%C3%ADmica/1/Diffusion-I/216>
- Fernández, M. J., & Vivar, D. M. (2010). Modelos didácticos y estrategias de enseñanza en el espacio europeo de educación superior. *Tendencias pedagógicas*, 91–111.
- Ferré, N., Schuhmacher, M., Llobet, J., & Domingo, J. (2007). *Metales pesados y salud*. Medio Ambiente. <https://app.mapfre.com/ccm/content/documentos/fundacion/prevma/revista-seguridad/n108-programa-hra-metales-pesados.pdf>
- Garcés, L., & Coavas, S. (2012). *Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (citrusines) modificada con quitosano para la remoción de cromo (IV) en aguas residuales*. Repositorio Universidad de Cartagena. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/140/tesis%20Garces-Coavas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, A. M. (2014). *Proyecto de recuperación electrodiálítica de Cr (VI) mediante el uso de reactores electroquímicos en presencia de membranas cerámicas modificadas con óxidos de zirconio*. Universidad Politécnica de Valencia. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/49538/TFG%20COMPLETO%20acabat\\_14098212771856354776584819281286.pdf?sequence=2](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/49538/TFG%20COMPLETO%20acabat_14098212771856354776584819281286.pdf?sequence=2)
- Garro, J. E. (2017). *El suelo y los abonos orgánicos*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria: INTA. [http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/04/El\\_Suelo\\_y\\_los\\_Abonos\\_Organicos-min.pdf](http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/04/El_Suelo_y_los_Abonos_Organicos-min.pdf)
- Gómez, M. (2005). *Electrodeposición magnética en materiales conductores, Facultad de ingenierías fisicoquímicas*. Repositorio Universidad Industrial de Santander. <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/handle/123456789/6926>
- Hernández, S. A. (2020). *Implementación de ambientes virtuales TIC: Enseñanza del fenómeno de desorción de Pb (II) en aguas residuales industriales*. Repositorio Universidad Pedagógica Nacional. <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/13141/Implementacion%20de%20ambientes%20virtuales%20TIC%20ense%C3%B1anza%20del%20fenomeno%20de%20desorci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Herrera, G. E. (2010) *Sistemas dispersos*. Q.F.B.
- Huisa, A. (2015) *Tecnologías de membrana electrodiálisis*. Obtenido de: Slideshare. <https://es.slideshare.net/alvarohuisa/tecnologa-de-membrana-electrodialisis>
- Jiménez, A., Flores, L., Rogel, E., & Espinoza, H. (2008). Preparación de membranas de intercambio aniónico. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 9(5), 505–511.
- Kuyucak, N., & Volesky, B. (Febrero de 1989). Accumulation of cobalt by marine alga. *Biotechnol Bioeng*, 33(7), 809-814. doi: <https://doi.org/10.1002/bit.260330703>
- Laranjeiras, C. C., Portela, S. I., & Ribeiro, L. A. (2018). Enseñanza y divulgación de la ciencia en la integración universidad-escuela: una experiencia en Brasil. *Revista*

- Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, 15(2), 1–10.  
[https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i2.2201](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2201)
- Macias, J. H. (2011). *Obtención de polvos de zinc por vía electrolítica*. Repositorio Universidad del Valle.  
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/4720/CB-0441187.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Medina, I. (2007). *Tratamiento de aguas de producción con electrodiálisis*. Escuela de ingeniería química. Universidad de los Andes.  
[http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde\\_arquivos/12/TDE-2012-09-19T03:03:18Z-1654/Publico/medinaisrael.pdf](http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde_arquivos/12/TDE-2012-09-19T03:03:18Z-1654/Publico/medinaisrael.pdf)
- Miño, S. L. (2005). *Evaluación preliminar del proceso de electrodiálisis como alternativa para la recuperación de metales pesados en la industria galvánica - estudio para Níquel*. Repositorio Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/10830>
- Molina, N. P. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 8(1), 77–88.
- Molina, N. (2013). *Aplicación de técnicas de electrodeposición mediante pulsos de corriente para la obtención de recubrimientos metálicos*. Dipósit Digital.  
<http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/51203>
- Monsalve, M. M., & Marín, B. E. (2014). La divulgación científica en la web, panorama latinoamericano. *Revista comunicación*, 35–41.
- Moron, E. (2018). *La cáscara de plátano como adsorbente de metales pesados*. *Ensayos en continuo*. SteemKR. <https://steemkr.com/stem-espanol/@emiliomorona-la-casca-de-platano-como-adsorbente-de-metales-pesados-ensayos-en-continuo>
- NTC 4086. (1997). Frutas frescas naranja valencia. Especificaciones. *Norma técnica colombiana*.
- Norberd, G. (2010) Metales: propiedades químicas y toxicidad. En G. Norberd, *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*.
- Pabón Guerrero, S. E., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18.  
<https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Penedo, M., Manals, E. M., Vendrell, F., & Salas, D. (2015). Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco. *Tecnología química*. *Tecnología Química*, 35(1), 110–124.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852015000100010&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000100010&lng=es&tlng=es)
- Picoloti, R. (2012) Cueros tóxicos. *Nuevas evidencias de contaminación de curtiembres en la cuenca Matanza-Riachuelo*. Greenpace.

- Pilco Núñez, A., Tinoco Angeles, F., Mamani Pichihua, P., & Yallico Acosta, G. (2018). Remoción de cromo de efluentes de la industria curtiembre mediante electrodiálisis. *Industrial Data*, 21(1), 27. <https://doi.org/10.15381/idata.v21i1.14908>
- Pintado, K. E. (2018). *Comparación de la biosorción y desorción de metales pesados mediante el uso de maíz en aguas contaminadas*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16226/1/UPS-CT007883.pdf>
- Quintero, S. L. (2005). *Evaluación preliminar del proceso de electrodiálisis como alternativa para la recuperación de metales pesados en la industria galvánica- estudio para níquel*. Repositorio Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/10830/u263308.pdf?sequence=1>
- Rengifo, B. A. (2012). La educación ambiental una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia. *Coloquio Nacional de Geocrítica*, 06–13.
- Resolución 631. (2015) *Parámetros y valores límites máximos permisibles para vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales*. Obtenido de: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. <https://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/Resolucion-631-2015.pdf>.
- Rivas, F. E. (2017). La importancia de la divulgación científica en la investigación. *Spaienza Organizacional*, 242–244.
- Roa, I. F. (2007). *Tratamiento de aguas de producción con electrodiálisis*. Repositorio Universidad de los Andes. [http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde\\_arquivos/12/TDE-2012-09-19T03:03:18Z-1654/Publico/medinaisrael.pdf](http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde_arquivos/12/TDE-2012-09-19T03:03:18Z-1654/Publico/medinaisrael.pdf)
- Rojas, A., & Cerda, L. M. (2009). Construcción y utilización de un electrodiálizador en serie para laboratorio. *Química Nova*, 32(2), 493–497. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422009000200037>
- Rubio, C., Weller, D. G., Izquierdo, R. E., Revert, C., Rodriguez, I., & Hardisson, A. (2007). El zinc: Oligoelemento esencial. *Nutrición hospitalaria*, 101–107.
- Sacks, O. (2000) *Sinopsis de historias de la ciencia y del olvido* .
- Solis, C. A., & Navas, J. S. (2013). Tecnología de membranas: Desarrollo histórico. *Entre ciencia e ingeniería*, 89–98.
- Tacca, D. R. (2010). La enseñanza de las ciencias naturales en la educación básica. *Investigación educativa*, 139–152.
- Tejada, C. N. (2014). Biosorción de cromo (VI) en aguas usando material lignocelulósico modificado. *Educación en ingeniería*, 9(17), 86–97. <https://doi.org/10.26507/rei.v9n17.290>
- Tejada Tovar, C., Quiñones Bolaños, E., Tejada Benítez, L., & Marimón Bolívar, W. (2015). Absorción de Cromo Hexavalente en soluciones acuosas por cascaras de

- naranja (*Citrus sinensis*). *Producción + Limpia*, 10(1), 9–21.  
<https://doi.org/10.22507/pml.v10n1a1>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, N., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Vargas, K., Lopez, M., Téllez, S., Bandala, E. R., & Salas, J. L. (2012). Biosorption of heavy metals in polluted water, using different waste fruit cortex. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 37-39, 26–29.  
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.03.006>
- Vásquez, E. L., & León, R. M. (2013). *Educación y modelos pedagógicos*. Secretaria de educación de Boyacá: Área misional.  
[http://www.boyaca.gov.co/SecEducacion/images/Educ\\_modelos\\_pedag.pdf](http://www.boyaca.gov.co/SecEducacion/images/Educ_modelos_pedag.pdf)
- Velásquez Amórtegui, J. J. (2020). *La electrólisis del agua como propuesta de trabajo práctico para la promoción del uso de conceptos asociados a la conservación de la energía en estudiantes de ciclo V*. Repositorio Javeriana.  
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/52161>
- Vergara, J. F. (2017). *bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (citrus reticulata var clementina)*. Universidad Politécnica Salesiana.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14249/1/UPS-CT007003.pdf>
- Vizcano Mendoza, L., & Fuentes Molina, N. (2015). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(1), 43–60. <https://doi.org/10.18359/rcin.432>

## ANEXO 1

### PROCESO PARA LA REMOCIÓN Y RECUPERACIÓN DE ZINC PRESENTE EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA GALVANICA

**Angela Marcela Olarte Brijaldo; Alejandro Maldonado Martinez**

Este trabajo fue orientado por Mg. Sandra Sandoval Osorio (directora) y

Dra. Dora Luz Gómez Aguilar (Codirectora)

Departamento de Química – Universidad Pedagógica Nacional

#### **Resumen**

El zinc es uno de los metales más utilizados en la industria de recubrimiento de acero por métodos galvánicos, debido a su afinidad y reactividad entre estos dos metales, lo que permite aumentar la resistencia a procesos oxidativos, sin embargo, no todo el zinc utilizado en estos procesos es fijado, por lo que, sus remanentes van a parar a los efluentes, lo cual causa un deterioro ambiental de gran impacto. En este estudio se realiza un proceso de remoción del zinc presente en los efluentes para su recuperación y nueva implementación en procesos galvánicos, para esto se usaron métodos de bioadsorción, desorción y electrodeposición, así mismo, se buscaba reducir los desechos orgánicos producidos en el proceso de bioadsorción para reutilizar la biomasa como fertilizante o abono inorgánico o en su defecto volver a usarla en el proceso de bioadsorción.

#### **Palabras clave**

Bioadsorción, Electrodeposición, Desorción, Zinc, Galvánica

#### **Abstract**

Zinc is one of the most used metals in the steel coating industry by galvanic methods, due to its affinity and reactivity between these two metals, which allows it to increase resistance to oxidative processes, however, not all the zinc used in These processes are fixed, therefore, their remnants end up in the effluents, which causes a great impact environmental deterioration. In this study, a process of removal of the zinc present in the effluents is carried out for its recovery and new implementation in galvanic processes, for this methods of bioadsorption, desorption and electrodeposition were used, likewise, it was sought to reduce the organic waste produced in the process. of biosorption to reuse the biomass as fertilizer or inorganic manure or, failing that, reuse it in the biosorption process.

#### **Keywords**

Bioadsorption, Electrodeposition, Desorption, Zinc, Galvanic

#### **INTRODUCCIÓN**

Durante los últimos diez años la industria galvánica ha tenido un gran crecimiento en Colombia debido al fortalecimiento de empresas pequeñas ya establecidas a nivel nacional e internacional, en los procesos realizados por esta industria se generan una serie de efluentes que por sus características toxicológicas son nocivos para el ambiente y ser humano, la mayoría de estos efluentes son de carácter inorgánico y muchos cuentan con metales pesados en su composición. Estos desechos por lo general son de gran cantidad y por sus condiciones de acidez o alcalinidad hacen que las aguas sean corrosivas.

En los procesos de galvanizado por lo general consisten en recubrimiento de objetos en baños de metal para aumentar sus resistencias a procesos corrosivos, por lo general se usan metales como cromo (Cr), níquel (Ni), Zinc (Zn), Oro (Au), entre otros (Quintero, 2005), estos baños de metal pueden realizarse de dos formas, la primera es por medios electroquímicos en soluciones ionizadas con el metal que servirá de recubrimiento por un tiempo determinado y a una corriente continua, el otro proceso y el más utilizado para recubrimientos de Zinc (Zn) en acero y evitar sus procesos de corrosión es por inmersión en zinc fundido  $419.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y así se realiza un baño en caliente al acero, manteniendo unas temperaturas constantes de  $445\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $460\text{ }^{\circ}\text{C}$  ya que a estas temperaturas el Zinc y el Acero tienden a reaccionar rápidamente. Una vez completado un tiempo de pocos minutos se retira la pieza y se deja enfriar, mientras este proceso se da en el material galvanizado la estructura se va transformando (Yraima, 2012)

Con lo anterior surge la preocupación del impacto ambiental que tienen estos procesos que generan las sustancias residuales producidas por esta industria, es por lo que la comunidad científica ha desarrollado diferentes métodos para el tratamiento de estos efluentes contaminados principalmente con metales pesados entre los cuales están: Oxido reducción, intercambio iónico, tecnologías de membrana, filtración, precipitación, tratamiento electroquímico y recuperación por evaporación, la dificultad principal que presentan los métodos mencionados anteriormente es que, por lo general, son de alto costo y poco eficientes, principalmente cuando la concentración de metales es baja, además de que pueden fomentar la formación, disposición y almacenamientos de lodos y desechos originados en estos procesos lo que lleva a tener nuevas problemáticas ambientales (Tovar, Ortiz, & Jaraba, 2015).

En la siguiente tabla se explicitan los conceptos y los factores que influyen en los tres procesos que se adelantaron en este estudio:

<b>BIOADSORCIÓN</b>	<b>Parámetros fisicoquímicos</b>
<p>La bioadsorción es un proceso fisicoquímico que incluye fenómenos de adsorción y absorción de moléculas e iones, lo cual lleva a la captación de metales a través de biomasa. Este es un proceso que ha tenido diversas investigaciones a nivel mundial sobre la</p>	<p>Los procesos de bioadsorción y desorción comparten similitudes en los parámetros fisicoquímicos que los pueden afectar o favorecer. Los parámetros dados para estos procesos se presentan a continuación:</p>

<p>capacidad de adsorción de iones de metales pesados en aguas residuales entre las que se encuentra la cáscara de naranja (Cítricos sinesis) (Vargas, Lopez, Tellez, Bandala, &amp; Salas, 2012).</p> <p>Para que se dé el proceso de bioadsorción se deben involucrar dos fases una sólida (biomasa) y una fase líquida (agua residual), adicional a esto se debe tener en cuenta la afinidad que existe entre los grupos funcionales de la biomasa y el contaminante (Tovar, Ortiz, &amp; Jaraba, 2015). En la cáscara de naranja existen diversos compuestos como la celulosa y pectina que son de bajo peso molecular así mismo como el limoneno el cual presenta grupos funcionales activos como los hidroxilos y carboxilos los cuales son los más susceptibles a unirse a los iones metálicos en disolución (Tejada, 2014).</p>	<p><b>•Efecto de la temperatura</b></p> <p>Durante el proceso la temperatura puede afectar sobre la biomasa generando cambios en la textura de sorbente o deterioro del material ya sea por aumentos o disminuciones de la temperatura lo que puede conllevar a una pérdida del poder de sorción.</p> <p><b>•Efecto del pH</b></p> <p>El pH es uno de los parámetros más importantes ya que controla el proceso de adsorción de los metales, esto dado que los iones de hidrógeno se constituyen en un adsorbante altamente competitivo (Tovar, Ortiz, &amp; Jaraba, 2015). El pH de la fase acuosa es importante tanto para la adsorción de cationes como de aniones. Los valores de pH superiores a 4,6 favorecen la adsorción de cationes mientras que la de los aniones tienden a estar favorecidas en pH entre 1,5 y 4 (Kuyucak &amp; Volesky, 1989)</p>
<p><b>DESORCIÓN</b></p> <p>Los procesos de desorción acompañan los procesos de adsorción, este surge debido a la preocupación de contaminación de biomasa que pueden ser reutilizadas en procesos de compostaje o incluso reincorporadas al proceso de bioadsorción, así mismo este consiste en la extracción de la sustancia de interés por medio de reactivos químicos que permitan la liberación de los iones de nuevo a solución acuosa para realizar otro tipo de tratamiento a estos. Con lo anterior se facilita el reincorporar las biomasa a otros procesos de utilidad como lo pueden ser compostaje o incluso un nuevo proceso de adsorción.</p>	<p><b>•Efecto del tamaño de partícula</b></p> <p>Las partículas pequeñas tienen mayor área superficial por lo que la superficie de contacto interna es mayor debido a su cantidad de poros por unidad de masa (Tovar, Ortiz, &amp; Jaraba, 2015).</p> <p><b>•Presencia de otros iones</b></p> <p>Si en la fase líquida y sólida se encuentran otros iones metálicos que no sea de interés en el proceso de remoción, estos pueden causar conflicto puesto que unos tendrán mayor prioridad o afinidad con los grupos funcionales; por lo que se pueden volver competidores en las zonas de sorción.</p>
<p><b>ELECTRODEPOSICIÓN DE ZINC</b></p>	<p>Los aspectos fisicoquímicos que se involucran en los procesos de electrodeposición tienen un factor</p>

<p>El proceso de electrodeposición de zinc en este trabajo se realizó con el fin de recolectar y reincorporar el metal de nuevo a etapas productivas debido a que este proceso se basa en el recubrimiento metálico sobre una superficie a través de una corriente eléctrica continua (Hernández, 2013). Este proceso implica una reducción en los estados de oxidación de un compuesto metálico en solución acuosa y su deposición sobre la superficie conductora (Sivana, 2014).</p>	<p>determinante en la efectividad del proceso estos factores van de la mano con la especie química de interés, entre estos encontramos (Mahmud, Gordillo, &amp; D'alkaine, 2017):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Efecto de la densidad de corriente</b></li> </ul> <p>Este factor influye en la calidad del recubrimiento del metal debido a que si las densidades de corrientes son muy altas se generaran depósitos quebradizos mientras que si las densidades de corriente son muy bajas se tendrá un alto depósito de impurezas (Hernández, 2013).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Efecto de la temperatura</b></li> </ul> <p>Por lo general los aumentos de temperatura favorecen la conductividad del electrolito, así como las velocidades de difusión, la disolución química y la redisolución del cátodo. Los metales con elevada sobre tensión de hidrógeno como el Zinc actúan de forma tal que el desprendimiento de hidrógeno y óxidos aumentará al reducirse la polarización y así mismo su influencia sobre el depósito (Hernández, 2013). Con esto entonces, la temperatura es un factor importante en el efecto de la polarización del medio, así como su resistividad.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Efecto del pH</b></li> </ul> <p>Los efectos de pH principalmente influyen en la naturaleza y aspecto del depósito, así como el rendimiento de la corriente eléctrica (Gierlotka, Ro'winsky, Budniok, &amp; Lagiewka, 1997). A su vez disminuir el pH puede influir favorablemente en la conductividad lo que evita la precipitación de sales y favorece el desprendimiento de hidrogeno (Hernández, 2013).</p>
--	--

(Tabla 1. Aspectos teóricos de la Bioadsorción, desorción y electrodeposición)

## **METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

### **RECOLECCIÓN DEL BIOSORBENTE:**

La cáscara de naranja se recolectó en la ciclorruta Fontibón - Bosa, en el tramo del Tintal, de los puntos de elaboración de jugos de naranja. Se recolectó 1 kilo de cáscara de naranja, se lavó y cortó en trozos de 3 cm, dejándola secar al sol por una semana aproximadamente, posterior al secado se realizó una moliendo, obteniendo un tamaño de partícula de 2 milímetros y una masa final después del secado y la molienda de 235g.

Para la caracterización del biosorbente se realizó un análisis a partir de cenizas con el objetivo de determinar la cantidad inicial del zinc, debido a que es una fruta la cual contiene una cantidad mínima en su composición (Eloisa, Rhode, Obdulia, & Raul, 2017).

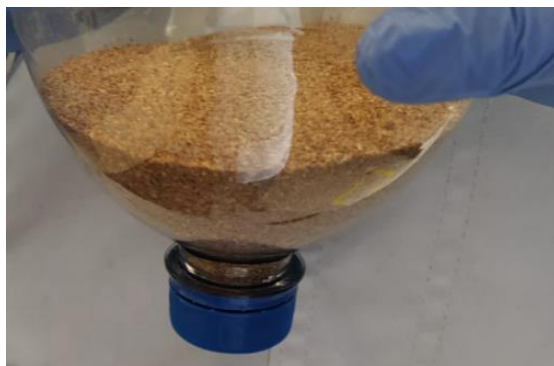
Al utilizar cáscara de naranja se introduce en este estudio un biosorbente para aguas provenientes de procesos de galvanización y se reducen así los desechos orgánicos que generamos.



**(Imagen 1. Cáscara recolectada)**



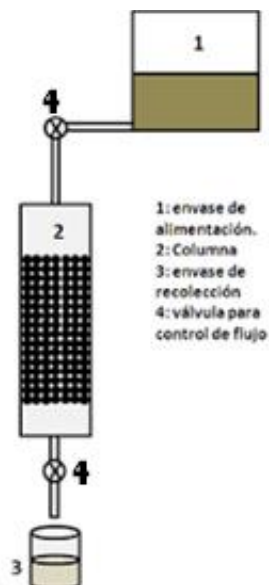
**(Imagen 2. Cáscara después del secado)**



(Imagen 3. Cáscara a tamaño de partícula de 2mm)

### BIOADSORCIÓN:

El proceso de bioadsorción se realizó preparando una solución stock de Zinc a 400ppm con un pH 3, se utilizó método por lecho filtrante planteado por Moron (2018), con una anchura de lecho filtrante de 11cm aproximadamente. El montaje consiste en un envase que contenga el bioadsorbente y por goteo tenga contacto el stock con la biomasa, el tiempo adecuado que se plantea para la adsorción máxima que tiene la cáscara de naranja ronda la hora y media según estudios (Gutiérrez, Vargas, & Pedreguera, 2013).

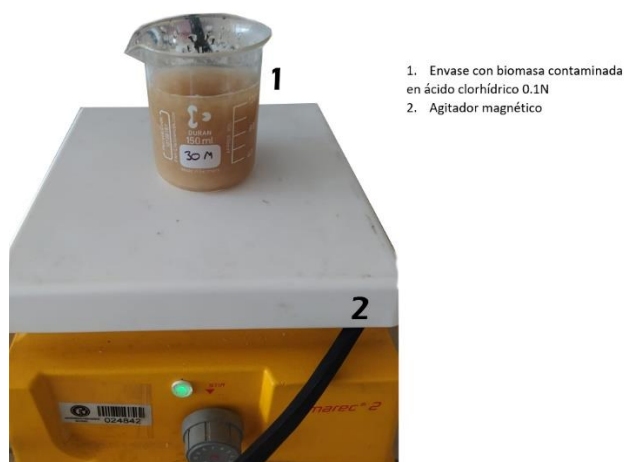


(Imagen 4. Montaje bioadsorción por columna planteado por Moron (2018))

### DESORCIÓN:

Para el proceso de desorción se utilizó ácido clorhídrico al 0,1N para tener más exactitud y observar el índice de replicabilidad de la técnica se realizó por triplicado siempre a una agitación constante en distintos tiempos (15min, 30min, 45min, 60min), todo con el fin de extraer el zinc para una posterior recolección por medios electroquímicos teniendo de esta forma una

posible reincorporación del metal y un reusó de la biomasa disminuyendo de esta forma los posibles residuos que se puedan presentar.

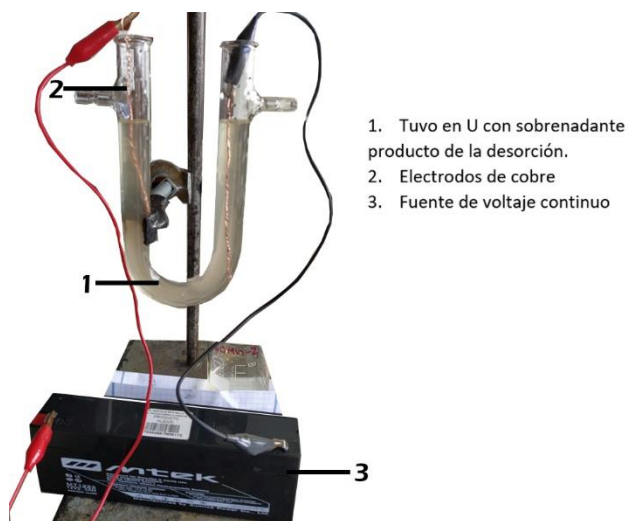


**(Imagen 5. Montaje desorción)**

Como se observa en la imagen 5, el montaje usado para la desorción corresponde de un envase el cual contendrá el bioadsorbente sumergido en 100 mL de ácido clorhídrico, puesto en agitación constante con ayuda de un agitador magnético

### **ELECTRODEPOSICIÓN:**

Durante el proceso de recuperación de Zinc por medios electroquímicos se realiza una electrodeposición en distintos electrodos (carbono y cobre) usando las muestras obtenidas posterior al proceso de desorción, con esto entonces se busca cubrir los electrodos con zinc, cabe resaltar que en este proceso se realizaron pruebas de tamaño de superficie de contacto.



**(Imagen 6. Montaje de electrodeposición)**

Como se observa en la imagen 6, el montaje usado para la electrodeposición consta de un tubo en U el cual alojara el sobrenadante obtenido de la desorción y en este irán sumergidos los electrodos. los cuales estarán conectados a una fuente de alimentación que proveerá el voltaje necesario para que se del proceso.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis y caracterización del biosorbente

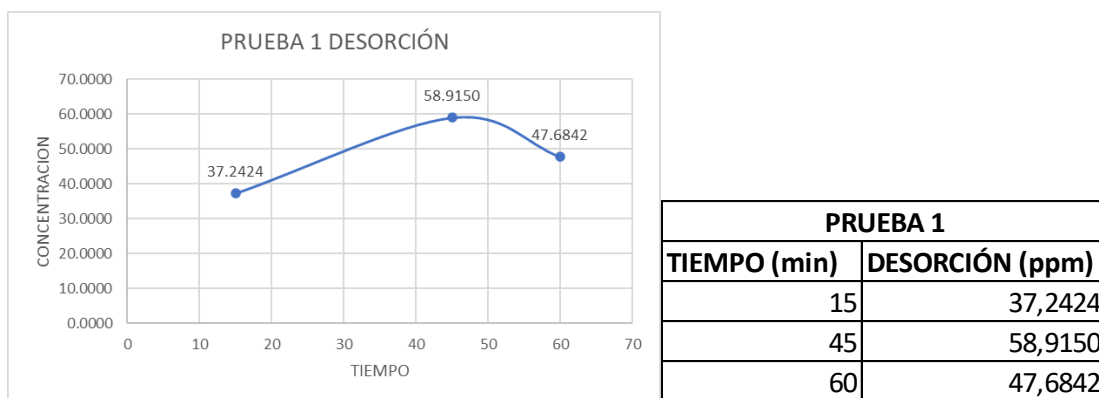
La cáscara de naranja que se recolectó para su uso como bioadsorbente en el proceso de remoción y recuperación del zinc fue de la especie SWEET con un grado de maduración según la NTC 4086 de valor 2, con esto entonces se llevó la cáscara a secado y molienda obteniendo así un tamaño de partícula de 0.2mm. Con esto se realizó un proceso de calcinación para caracterizar la concentración inicial de zinc que pueda tener la cáscara de naranja de la especie SWEET encontrando que esta especie contiene 6.1423 mg Zn/kg muestra

### Resultados de la bioadsorción

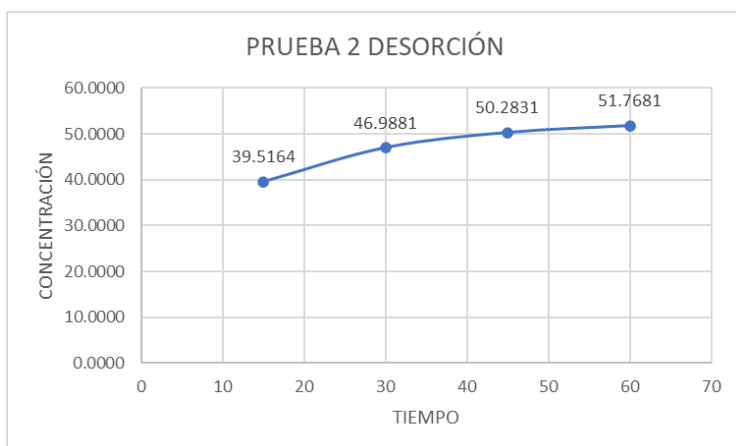
Los resultados obtenidos en el proceso de adsorción por lecho filtrante de alrededor de 11cm con una masa de bioadsorbente de 83,108g se obtuvo que por hora y media de contacto con el stock en goteo constante y aun pH promedio de 3,1 se obtiene que el porcentaje de adsorción que tiene la cáscara de naranja como biosorbente para la retención del Zinc es del 98,6108%.

### Resultados de la desorción

Durante el proceso de desorción se realizaron triplicados obteniendo las siguientes gráficas demuestran la relación entre el tiempo y la cantidad de zinc que se logra remover de la cáscara de naranja, así mismo al ser triplicados se realizó la prueba Q para rechazo de datos con un 95% de confiabilidad con esto entonces se determina que el valor obtenido en la prueba 1 para un tiempo de 30 minutos de desorción no es confiable y por lo tanto se rechaza.

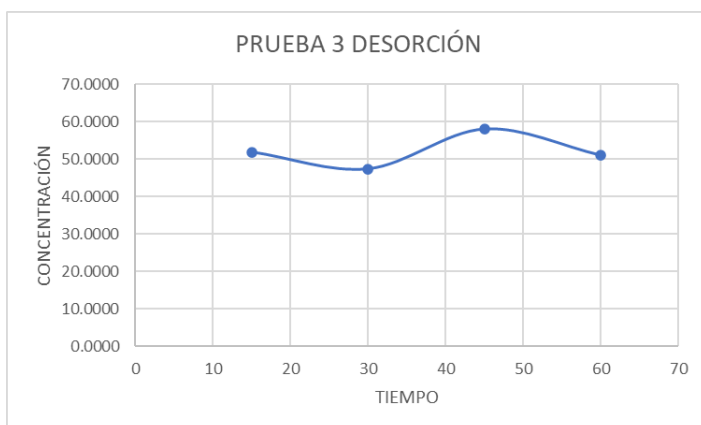


**(Grafico 1 y Tabla 2. Desorción prueba 1)**



PRUEBA 2	
TIEMPO (min)	DESORCIÓN (ppm)
15	39,5164
30	46,9881
45	50,2831
60	51,7681

**(Grafico 2 y Tabla 3. Desorción prueba 2)**



PRUEBA 3	
TIEMPO (min)	DESORCIÓN (ppm)
15	51,8610
30	47,3362
45	57,9868
60	50,9328

**(Grafico 3 y Tabla 4. Desorción prueba 3)**

Se observa que a 45 minutos se presenta la máxima eficiencia en la remoción de Zinc por la cáscara de naranja.

Además, se obtuvo que el porcentaje de desorción con ácido clorhídrico 0,1N es respectivamente:

TIEMPO DE AGITACIÓN (min)	PORCENTAJE DE DESORCIÓN
15	88.6635%
30	87.5295%
45	85.2644%
60	86.7451%

**(Tabla 5. Porcentaje de desorción respecto a tiempo de agitación)**

Lo más recomendable es usar una desorción por alrededor de los 15 minutos a 30 minutos en agitación constante ya que, como se observa en la tabla 1, el cambio entre una agitación de

15min a una agitación de 60min en las mismas condiciones no tiene una variación notable en el porcentaje de desorción.

## RESULTADOS DE LA ELECTRODEPOSICIÓN

Para el proceso de electrodeposición del zinc se hicieron pruebas con dos tipos de electrodos y tamaño de superficie de contacto, los electrodos utilizados fueron de grafito y cobre, usando principalmente los electrodos de cobre trenzado para las desorciones con un tiempo de 15 minutos y 60 minutos y los de carbono para las desorciones que tuvieron un tiempo de 30 minutos y 45 minutos; Además se hizo una prueba de 15 minutos usando placas de cobre que tenían una superficie de contacto de alrededor de unos 24cm<sup>2</sup>.

Con lo anterior entonces se obtuvo que las placas de cobre fueron ineficientes en la electrodeposición de zinc puesto que la concentración inicial y final del metal en el sobrenadante fue aún mayor esto debido a que inicialmente la placa de cobre utilizada como electrodo tenía una concentración inicial de 21.9921 (mg Zn/kg cobre) y al realizar el proceso de electrolisis se obtuvo que la concentración de zinc en la placa disminuyo a 15.1568 (mg Zn/kg cobre) obteniendo de esta forma que el sobrenadante quedara con mayor concentración de zinc.

Por otra parte, los electrodos de cobre trenzados obtuvieron un mejor rendimiento que las placas de cobre, dado que en el sobrenadante se redujo la concentración inicial de zinc en cada caso en los que se usó cobre trenzado, teniendo un promedio en los porcentajes de recuperación por electrodeposición en electrodos de cobre de 19.7348% para muestras de desorción de 15min mientras que para muestras de desorción de 60 minutos se obtuvo un porcentaje de recuperación de 25.2543%.

También, se analizó la concentración inicial y final en los electrodos obteniendo así que en promedio cada electrodo cuenta con 20.1796 (mg Zn/kg Cu), con esto entonces se obtiene que por un tiempo de electrolisis de una hora y media la concentración final en electrodo dependiendo de la muestra de desorción utilizada es como se muestra en la tabla 2 diferente.

MUESTRA DESORCIÓN TIEMPO (min)	CONCENTRACIÓN DE ZINC EN ELECTRODO FINAL (mg Zn/kg Cu)
15	26.4385
60	58.1079

(Tabla 6. Concentración en electrodo de cobre después de la electrolisis)

Ahora bien, los resultados obtenidos con electrodos de grafito utilizados en las muestras de desorción en tiempo de 30 minutos y 45 minutos tuvieron una eficiencia similar a los electrodos de cobre trenzado observando una reducción en la concentración del sobrenadante que se tenía inicialmente después del proceso de desorción a la obtenida posteriormente del proceso de electrodeposición, teniendo una eficiencia promedio de 21.9876% para la muestra de 30 minutos y 28.5181% en la muestra de 45 minutos observando de esta forma que existe

el proceso de electrodeposición en el electrodo. Adicional a lo anterior a los electrodos de grafito no se les pudo hacer un análisis de la concentración inicial y final de zinc que contenían debido a la dificultad por realizar la digestión en los electrodos de carbono, esto debido a que el carbono únicamente es soluble en el tetracloruro de carbono el cual es un reactivo bastante contaminante.

Con lo anterior se realiza una comparación (tabla 3) en la cual se observan las diferencias entre el uso de electrodos de grafito y cobre para electrodeposición de zinc.

PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN EN ELECTRODOS DE GRAFITO	PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN EN ELECTRODOS DE COBRE
21.9876%	19.7348%
28.5181%	25.2543%

(Tabla 7. Comparación porcentaje de recuperación de Zinc en distintos electrodos)

Podemos resumir los resultados de este proceso de la siguiente forma:

Zinc inicial en la solución stock (ppm)	Zinc inicial en la cáscara de naranja (ppm)	Zinc inicial en los electrodos de cobre (ppm)	Porcentaje de zinc que es adsorbido por la cáscara de naranja. Proceso de bioadsorción.
383.5159	6.1423	20.1796	98.6108%

(Tabla 8. Resultados obtenidos en el proceso de bioadsorción)

Porcentaje de zinc que es recuperado de la cáscara de naranja. Proceso de desorción				Porcentaje de zinc recuperado del producto de la desorción por electrodeposición			
				Electrodo de cobre	Electrodo de grafito	Electrodo de grafito	Electrodo de cobre
15 min	30 min	45 min	60 min	15 min	45 min	30 min	60 min
88.6635%	87.5295%	85.2644%	86.7451%	19.7348%	21.9876%	25.5181%	25.2543%

(Tabla 9. Resultados obtenidos en los procesos de desorción y electrodeposición)

### Conclusiones

De este estudio inicial se puede afirmar que:

El uso de cáscara de naranja SWEET como bioadsorbente en grado de maduración 2, es efectiva si se quiere remover zinc de una fuente hídrica contaminada por este metal pesado en procesos industriales de galvanoplastia, ya que en nuestros ensayos este biosorbente alcanza un porcentaje 98.6108%. Y en otros estudios esta registrado que se absorbe hasta el 99% del Zinc presente en la fuente hídrica (Gutiérrez, Vargas, & Pedreguera, 2013) (Tovar, Ortiz, & Jaraba, 2015)

Hemos considerado que la cáscara de naranja luego del proceso de desorción puede ser utilizada en los procesos de compostaje y fabricación de abonos orgánicos, puesto que los niveles de Zinc que quedan en el bioadsorbente son en promedio de 48.9730 ppm, lo cual no es tóxico (Romero & Flores, 2017). Además, esto nos ayuda a considerar que la remoción de zinc en la cáscara con ácido clorhídrico es eficiente. Sin duda hay que tener en cuenta que antes de usarla como abono debe pasar por un tratamiento de neutralización para la regulación a un pH aceptable para los suelos.

Los electrodos usados no contemplan una gran diferencia en los procesos de electrodeposición, pero si se contempla una diferencia en cuanto a los tiempos de desorción teniendo de esta que el proceso óptimo para realizar todo el ciclo sería el uso de una desorción a de 15 minutos a 30 minutos.

Por último, aumentar la superficie de contacto en los electrodos de cobre no es un proceso apropiado, porque en nuestro caso se favorece más la oxidación del metal cobre debido a que se encuentra en un medio ácido y la electrodeposición se ve afectada debido a esto. Adicionalmente puede llegarse a ampliar la superficie de contacto en los electrodos de gráfico debido a que este es resistente a la descomposición que presenta un medio ácido inorgánico.

## **Bibliografía**

- Eloisa, M. F., Rhode, N. C., Obdulia, V. L., & Raul, A. S. (Marzo de 2017). Caracterización Fisicoquímica de desechos de naranja (*Citrus Sinensis*) y lechuga (*Lactuca Sativa*). *Energía Química y Física*, 4(10), 49-56.
- Gierlotka, D., Ro'winsky, E., Budniok, A., & Lagiewka, E. (1997). Production and properties of electrolytic Ni–P–TiO<sub>2</sub> composite layers. *Journal of Applied Electrochemistry*, 1349-1354.
- Gutiérrez, A. F., Vargas, d. D., & Pedreguera, A. Z. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17(1), 1-9.
- Hernández, D. U. (Octubre de 2013). *Electrodeposición y caracterización de recubrimientos de Ni-P*. Obtenido de Repositorio Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica (CIDETEQ): <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/291/1/Electrodeposici%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20Ni-P.pdf>

- Kuyucak, N., & Volesky, B. (Febrero de 1989). Accumulation of cobalt by marine alga. *Biotechnol Bioeng*, 33(7), 809-814. doi:<https://doi.org/10.1002/bit.260330703>
- Mahmud, Z. Á., Gordillo, G., & D'alkaine, C. V. (2017). *Aspectos teóricos de la electrodeposición de cinc*. Obtenido de <http://www-biblio.inti.gob.ar/trabinti/MahmudGordillo1.pdf>
- Moron, E. (2018). *La cáscara de plátano como adsorbente de metales pesados. Ensayos en continuo*. Obtenido de SteemKr: <https://steemit.com/spanol/@emiliomoron/la-cáscara-de-platano-como-adsorbente-de-metales-pesados-ensayos-en-continuo>
- Quintero, S. L. (Julio de 2005). *Evaluación preliminar del proceso de electrodiálisis como alternativa para la recuperación de metales pesados en la industria galvánica - estudio para níquel*. Obtenido de Repositorio UniAndes: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/10830/u263308.pdf?sequence=1>
- Romero, J. C., & Flores, M. L. (2017). El zinc en las plantas. *Ciencia*, 68(3), 28-35.
- Sivana, E. P. (08 de Agosto de 2014). *Electrodeposición del Zinc*. Obtenido de Universidad Nacional de San Antonio Abad del Coscu.
- Tejada, C. N. (2014). Biosorción de cromo (VI) en aguas usando material lognocelulósico modificado. *Educación en ingeniería*, 9(17), 86-97. doi:<https://doi.org/10.26507/rei.v9n17.290>
- Tovar, C. T., Ortiz, Á. V., & Jaraba, L. G. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109-123.
- Vargas, K. K., Lopez, M. C., Tellez, S. R., Bandala, E., & Salas, J. L. (2012). Biosorption of heavy metals in polluted water, using different waste fruit cortex. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 26-29.
- Yraima, R. O. (2012). Estructura y caracterización de los recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente, sobre aceros. *Revista digital de investigación y postgrado de la universidad nacional experimental politécnica "Antonio José de Sucre"*, 2(5), 368-378. Obtenido de <http://redip.bqto.unexpo.edu.ve>.

## ANEXO 2

### MATRIZ EVALUATIVA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

El artículo que hemos entregado tiene como objetivo divulgar los resultados del proceso investigativo sobre la remoción y recolección de zinc por procesos basados en tecnologías limpias. Y antes de darlo a conocer, queremos valorar la estructura y contenido de este material por parte especialistas en el campo de la educación en ciencias. Le agradecemos su valiosa colaboración.

En la siguiente tabla hemos colocado varias preguntas y afirmaciones. Para cada una de ellas le solicitamos asignar una puntuación, siendo 1 el valor mínimo y 5 el máximo, es decir, 1 Totalmente en desacuerdo, 2. en desacuerdo, 3 indeciso, 4 de acuerdo, 5. Totalmente de acuerdo

ENUNCIADO	PUNTACIÓN				
	1	2	3	4	5
El proceso de absorción, desorción y electrólisis contribuyen a la descontaminación de aguas provenientes de las industrias galvánicas.					
Considera que las técnicas presentadas en el artículo para el tratamiento de sus efluentes, aliándose con empresas agroindustriales que le faciliten la biomasa usada, son adecuadas para ser implementadas en las industrias galvánicas					
Las etapas de bioadsorción y desorción se consideran apropiadas como una implementación de tecnologías limpias.					
La utilización de una biomasa, en este caso la cáscara de naranja en un proceso de extracción de metales pesados como es el zinc se puede estimar como un avance científico y de mitigación ambiental.					
Los procesos de bioadsorción y desorción pueden ser considerados avances tecnológicos en sus aplicaciones en industrias que generen metales pesados en sus residuos o efluentes.					
Como investigador, este tipo de temáticas promueven al desarrollo de nuevas investigaciones en pro de la disminución del impacto ambiental					
Considera que la implementación de un bioadsorbente como es la cáscara de naranja es útil para el desarrollo sostenible del país					
¿El proceso desarrollado es viable para la remoción de zinc en aguas residuales provenientes de la industria galvánica desde un punto de vista científico?					
Las ciencias manejadas de una manera conjunta como es el caso de utilizar procesos de biomasa y electroquímicos son útiles para el desarrollo investigativo					

La implementación de estas metodologías en comunidades rurales las cuales no cuentan con agua potable es viable para el desarrollo de percepciones científicas y tecnológicas.					
El proceso divulgativo de las técnicas empleadas permite que se puedan promover y adaptar a los procesos en otras industrias					
Desea ampliar su respuesta o hacer un comentario adicional a propósito de una o varias de las afirmaciones anteriores:					

**OBSERVACIONES HACIA EL ARTICULO Y AUTORES**

En lo expuesto en el artículo ¿se comprende y diferencia completamente el uso de cada proceso para la remoción y recolección de zinc proveniente de aguas residuales de la industria galvánica? Y ¿Por qué?

---



---



---



---



---



---

¿Qué temáticas específicas abordadas en el artículo puede vincular al desarrollo en las clases de ciencia?

---



---



---



---



---



---

Observaciones y/o comentarios

---

---

---

---

---

---

---

## ANEXO 3

### PROCESO PARA LA REMOCIÓN Y RECUPERACIÓN DE ZINC PRESENTE EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA GALVANICA

**Angela Marcela Olarte Brijaldo; Alejandro Maldonado Martínez**

Este trabajo fue orientado por Mg. Sandra Sandoval Osorio (directora) y

Dra. Dora Luz Gómez Aguilar (Codirectora)

Departamento de Química – Universidad Pedagógica Nacional

#### **Resumen**

El zinc es uno de los metales más utilizados en la industria de recubrimiento de acero por métodos galvánicos, debido a la afinidad y reactividad entre estos dos metales, lo que permite aumentar la resistencia a procesos oxidativos, sin embargo, no todo el zinc utilizado en estos procesos es fijado, por lo que, sus remanentes van a parar a los efluentes, lo cual causa un deterioro ambiental de gran impacto. En este estudio se realizó un proceso de remoción del zinc presente en los efluentes para su recuperación y nueva implementación en procesos galvánicos, para esto se usaron métodos de bioadsorción, desorción y electrodeposición, así mismo, se buscaba reducir los desechos orgánicos producidos en el proceso de bioadsorción para reutilizar la biomasa como fertilizante o abono inorgánico o en su defecto volver a usarla en el proceso de bioadsorción.

#### **Palabras clave**

Bioadsorción, Electrodeposición, Desorción, Zinc, Galvánica

#### **Abstract**

Zinc is one of the most used metals in the steel coating industry by galvanic methods, due to its affinity and reactivity between these two metals, which allows it to increase resistance to oxidative processes, however, not all the zinc used in These processes are fixed, therefore, their remnants end up in the effluents, which causes a great impact environmental deterioration. In this study, a process of removal of the zinc present in the effluents is carried out for its recovery and new implementation in galvanic processes, for this methods of bioadsorption, desorption and electrodeposition were used, likewise, it was sought to reduce the organic waste produced in the process. of biosorption to reuse the biomass as fertilizer or inorganic manure or, failing that, reuse it in the biosorption process.

#### **Keywords**

Bioadsorption, Electrodeposition, Desorption, Zinc, Galvanic

#### **INTRODUCCIÓN**

Durante los últimos diez años la industria galvánica ha tenido un gran crecimiento en Colombia debido al fortalecimiento de empresas pequeñas ya establecidas a nivel nacional e

internacional; en los procesos realizados por esta industria se generan una serie de efluentes que por sus características toxicológicas son nocivos para el ambiente y ser humano, la mayoría de estos efluentes son de carácter inorgánico y muchos cuentan con metales pesados en su composición. Estos desechos por lo general son de gran cantidad y por sus condiciones de acidez o alcalinidad hacen que las aguas sean corrosivas.

Los procesos de galvanizado por lo general consisten en recubrimiento de objetos en baños de metal para aumentar sus resistencias a procesos corrosivos, por lo general se usan metales como cromo (Cr), níquel (Ni), zinc (Zn), oro (Au), entre otros (Quintero, 2005). Estos baños de metal pueden realizarse de dos formas, la primera es por medios electroquímicos en soluciones ionizadas con el metal que servirá de recubrimiento por un tiempo determinado y a una corriente continua, el segundo proceso y el más utilizado para recubrimientos de zinc (Zn) en acero y para evitar sus procesos de corrosión es por inmersión en zinc fundido 419.5 °C y así se realiza un baño en caliente al acero, manteniendo unas temperaturas constantes de 445 °C – 460°C ya que a estas temperaturas el Zinc y el Acero tienden a reaccionar rápidamente. Una vez completado un tiempo de pocos minutos se retira la pieza y se deja enfriar, mientras este proceso se da en el material galvanizado la estructura se va transformando (Yraima, 2012).

A partir de esto, surge la preocupación del impacto ambiental que tienen estos procesos que generan las sustancias residuales producidas por esta industria, es por lo que la comunidad científica ha desarrollado diferentes métodos para el tratamiento de estos efluentes contaminados principalmente con metales pesados entre los cuales están: oxido reducción, intercambio iónico, tecnologías de membrana, filtración, precipitación, tratamiento electroquímico y recuperación por evaporación, la dificultad principal que presentan los métodos mencionados es que, por lo general, son de alto costo y poco eficientes, principalmente cuando la concentración de metales es baja, además de que pueden fomentar la formación, disposición y almacenamientos de lodos y desechos originados en estos procesos lo que lleva a tener nuevas problemáticas ambientales (Tovar, Ortiz, & Jaraba, 2015).

En la siguiente tabla se explicitan los conceptos y los factores que influyen en los tres procesos que se adelantaron en este estudio:

<p><b>BIOADSORCIÓN</b></p> <p>La bioadsorción es un proceso fisicoquímico que incluye fenómenos de adsorción y absorción de moléculas e iones, lo cual lleva a la captación de metales a través de biomasa. Este es un proceso que ha tenido diversas investigaciones a nivel mundial sobre la capacidad de adsorción de iones de metales pesados en aguas residuales entre las que se</p>	<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b></p> <p>Los procesos de bioadsorción y desorción comparten similitudes en los parámetros fisicoquímicos que los pueden afectar o favorecer. Los parámetros dados para estos procesos se presentan a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>Efecto de la temperatura</b></li> </ul>
--	---

<p>encuentra la cáscara de naranja (Cítricos sinesis) (Vargas, Lopez, Tellez, Bandala, &amp; Salas, 2012).</p> <p>Para que se dé el proceso de bioadsorción se deben involucrar dos fases: una sólida (biomasa) y una fase líquida (agua residual), adicional a esto se debe tener en cuenta la afinidad que existe entre los grupos funcionales de la biomasa y el contaminante (Tovar, Ortiz, &amp; Jaraba, 2015). En la cáscara de naranja existen diversos compuestos como la celulosa y pectina que son de bajo peso molecular así mismo como el limoneno el cual presenta grupos funcionales activos como los hidroxilos y carboxilos los cuales son los más susceptibles a unirse a los iones metálicos en disolución (Tejada, 2014).</p>	<p>Durante el proceso la temperatura puede afectar sobre la biomasa generando cambios en la textura de sorbente o deterioro del material ya sea por aumentos o disminuciones de la temperatura lo que puede conllevar a una pérdida del poder de sorción.</p> <p><b>•Efecto del pH</b></p> <p>El pH es uno de los parámetros más importantes ya que controla el proceso de adsorción de los metales, esto dado que los iones de hidrógeno se constituyen en un adsorbente altamente competitivo (Tovar, Ortiz, &amp; Jaraba, 2015). El pH de la fase acuosa es importante tanto para la adsorción de cationes como de aniones. Los valores de pH superiores a 4,6 favorecen la adsorción de cationes mientras que la de los aniones tienden a estar favorecidas en pH entre 1,5 y 4 (Kuyucak &amp; Volesky, 1989)</p>
<p><b>DESORCIÓN</b></p> <p>Los procesos de desorción acompañan los procesos de adsorción, este surge debido a la preocupación de contaminación de biomasa que pueden ser reutilizadas en procesos de compostaje o incluso reincorporadas al proceso de bioadsorción, así mismo este consiste en la extracción de la sustancia de interés por medio de reactivos químicos que permitan liberar los iones de nuevo a solución acuosa para realizar un nuevo tratamiento a dicha solución. Con lo anterior se facilita reincorporar las biomasa a otros procesos de utilidad como lo pueden ser compostaje o incluso un nuevo proceso de adsorción.</p>	<p><b>•Efecto del tamaño de partícula</b></p> <p>Las partículas pequeñas tienen mayor área superficial por lo que la superficie de contacto interna es mayor debido a su cantidad de poros por unidad de masa (Tovar, Ortiz, &amp; Jaraba, 2015).</p> <p><b>•Presencia de otros iones</b></p> <p>Si en la fase líquida y sólida se encuentran otros iones metálicos que no sean de interés en el proceso de remoción, estos pueden causar conflicto puesto que unos tendrán mayor prioridad o afinidad con los grupos funcionales; por lo que se pueden volver competidores en las zonas de sorción.</p>
<p><b>ELECTRODEPOSICIÓN DE ZINC</b></p> <p>El proceso de electrodeposición de zinc en este trabajo se realizó con el fin de recolectar</p>	<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b></p> <p>Los aspectos fisicoquímicos que se involucran en los procesos de</p>

y reincorporar el metal de nuevo a etapas productivas debido a que este proceso se basa en el recubrimiento metálico sobre una superficie a través de una corriente eléctrica continua (Hernández, 2013). Este proceso implica una reducción en los estados de oxidación de un compuesto metálico en solución acuosa y su deposición sobre la superficie conductora (Sivana, 2014).

electrodeposición tienen un factor determinante en la efectividad del proceso estos factores van de la mano con la especie química de interés, entre estos encontramos (Mahmud, Gordillo, & D'alkaine, 2017):

- **Efecto de la densidad de corriente**

Este factor influye en la calidad del recubrimiento del metal debido a que si las densidades de corrientes son muy altas se generaran depósitos quebradizos mientras que si las densidades de corriente son muy bajas se tendrá un alto depósito de impurezas (Hernández, 2013).

- **Efecto de la temperatura**

Por lo general los aumentos de temperatura favorecen la conductividad del electrolito, así como las velocidades de difusión, la disolución química y la redisolución del cátodo. Los metales con elevada sobre tensión de hidrógeno como el Zinc actúan de forma tal que el desprendimiento de hidrógeno y óxidos aumentará al reducirse la polarización y así mismo su influencia sobre el depósito (Hernández, 2013). Con esto, la temperatura es un factor importante en el efecto de la polarización del medio, así como su resistividad.

- **Efecto del pH**

Los efectos de pH principalmente influyen en la naturaleza y aspecto del depósito, así como el rendimiento de la corriente eléctrica (Gierlotka, Ro'winsky, Budniok, & Lagiewka, 1997). A su vez disminuir el pH puede influir favorablemente en la conductividad lo que evita la precipitación de sales y favorece el desprendimiento de hidrogeno (Hernández, 2013).

**(Tabla 1. Aspectos teóricos de la Bioadsorción, desorción y electrodeposición)**

## **METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

### **RECOLECCIÓN DEL BIOSORBENTE:**

La cáscara de naranja se recolectó en la ciclorruta Fontibón - Bosa, en el tramo del Tintal, de los puntos de elaboración de jugo de naranja. Se recolectó 1 kilo de cáscara de naranja, se lavó y cortó en trozos de 3 cm, dejándola secar al sol por una semana aproximadamente, posterior al secado se realizó una moliendo, obteniendo un tamaño de partícula de 2 milímetros y una masa final después del secado y la molienda de 235g.

Para la caracterización del biosorbente se realizó un análisis a partir de cenizas con el objetivo de determinar la cantidad inicial del zinc, debido a que es una fruta que contiene una cantidad mínima en su composición (Eloisa, Rhode, Obdulia, & Raul, 2017).

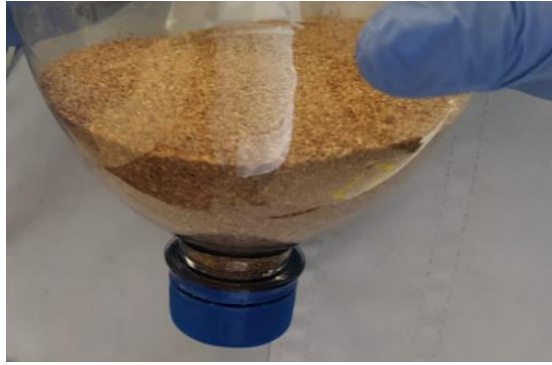
Al utilizar cáscara de naranja se introduce en este estudio un biosorbente para aguas provenientes de procesos de galvanización, lo cual reduce los desechos orgánicos que generamos.



**(Imagen 1. Cáscara recolectada)**



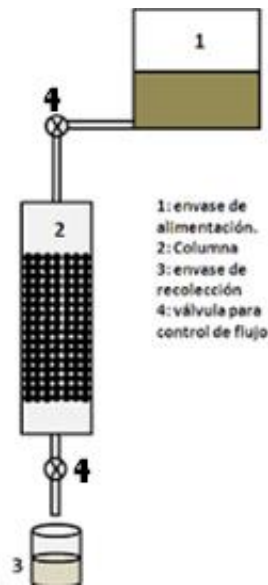
**(Imagen 2. Cáscara después del secado)**



(Imagen 3. Cáscara a tamaño de partícula de 2mm)

### BIOADSORCIÓN:

El proceso de bioadsorción se realizó preparando una solución stock de Zinc a 400ppm con un pH 3, se utilizó método por lecho filtrante planteado por Moron (2018), con diametro de lecho filtrante de 11cm aproximadamente. El montaje consiste en un envase que contenga el bioadsorbente y por goteo tenga contacto el stock con la biomasa; el tiempo adecuado que se plantea para la adsorción máxima que tiene la cáscara de naranja ronda la hora y media según estudios (Gutiérrez, Vargas, & Pedreguera, 2013).

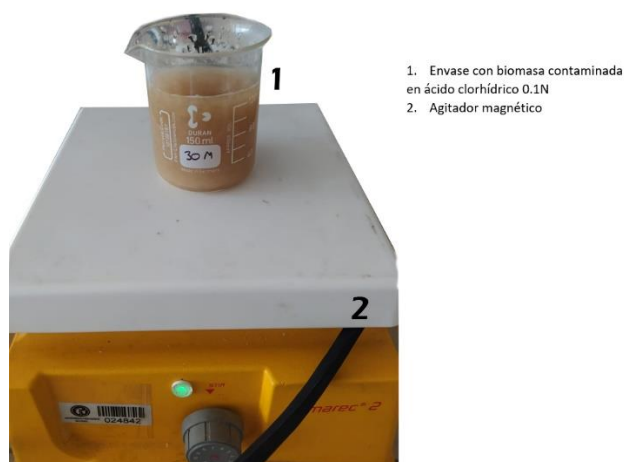


(Imagen 4. Montaje bioadsorción por columna planteado por Moron (2018))

### DESORCIÓN:

Para el proceso de desorción se utilizó ácido clorhídrico al 0,1N para tener más exactitud y observar el índice de replicidad de la técnica se realizó por triplicado siempre a una agitación constante en distintos tiempo (15min, 30min, 45min, 60min), todo con el fin de extraer el zinc para una posterior recolección por medios electroquímicos teniendo de esta forma una

posible reincorporación del metal y un reusó de la biomasa disminuyendo de esta forma los posibles residuos que se pudiesen presentarse.

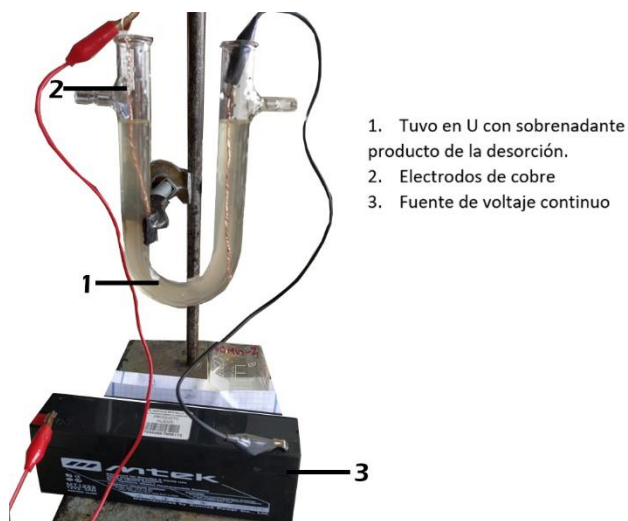


**(Imagen 5. Montaje desorción)**

Como se observa en la imagen 5, el montaje usado para la desorción corresponde a un envase el cual contendrá el bioadsorbente sumergido en 100 mL de ácido clorhídrico, puesto en agitación constante con ayuda de un agitador magnético

### **ELECTRODEPOSICIÓN:**

Durante el proceso de recuperación de Zinc por medios electroquímicos se realiza una electrodeposición en distintos electrodos (carbono y cobre) usando las muestras obtenidas posterior al proceso de desorción, con esto entonces se busca cubrir los electrodos con zinc, cabe resaltar que en este proceso se realizaron pruebas de tamaño de superficie de contacto.



**(Imagen 6. Montaje de electrodeposición)**

Como se observa en la imagen 6, el montaje usado para la electrodeposición consta de un tubo en U, el cual alojará el sobrenadante obtenido de la desorción y en este irán sumergidos los electrodos, los cuales estarán conectados a una fuente de alimentación que proveerá el voltaje necesario para que se del proceso.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis y caracterización del biosorbente

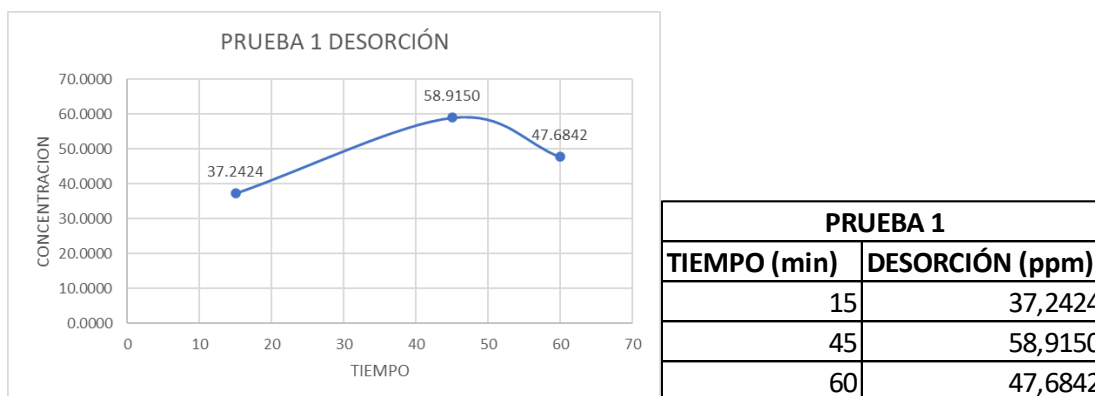
La cáscara de naranja que se recolectó para su uso como bioadsorbente en el proceso de remoción y recuperación del zinc fue de la especie SWEET con un grado de maduración según la NTC 4086 de valor 2, se llevó la cáscara a secado y molienda obteniendo así un tamaño de partícula de 0.2mm. Con esto se realizó un proceso de calcinación para caracterizar la concentración inicial de zinc que pudiese tener la cáscara de naranja de la especie SWEET encontrando que esta especie contiene 6.1423 mg Zn/kg muestra.

### Resultados de la bioadsorción

Los resultados obtenidos en el proceso de adsorción por lecho filtrante de alrededor de 11 cm con una masa de bioadsorbente de 83,108g se obtuvo que por hora y media de contacto con el stock en goteo constante y a un pH promedio de 3,1 se obtiene que el porcentaje de adsorción que tiene la cáscara de naranja como biosorbente para la retención del Zinc es del 98,6108%.

### Resultados de la desorción

Durante el proceso de desorción se realizaron triplicados obteniendo las siguientes gráficas demuestran la relación entre el tiempo y la cantidad de zinc que se logra remover de la cáscara de naranja, así mismo al ser triplicados se realizó la prueba Q para rechazo de datos con un 95% de confiabilidad, se determina que el valor obtenido en la prueba 1 para un tiempo de 30 minutos de desorción no es confiable y por lo tanto se rechaza.



(Gráfico 1 y Tabla 2. Desorción prueba 1)



PRUEBA 2	
TIEMPO (min)	DESORCIÓN (ppm)
15	39,5164
30	46,9881
45	50,2831
60	51,7681

(Grafico 2 y Tabla 3. Desorción prueba 2)



PRUEBA 3	
TIEMPO (min)	DESORCIÓN (ppm)
15	51,8610
30	47,3362
45	57,9868
60	50,9328

(Grafico 3 y Tabla 4. Desorción prueba 3)

Se observa que a 45 minutos se presenta la máxima eficiencia en la remoción de Zinc por la cáscara de naranja.

Además, se obtuvo que el porcentaje de desorción con ácido clorhídrico 0,1N es respectivamente:

TIEMPO DE AGITACIÓN (min)	PORCENTAJE DE DESORCIÓN
15	88.6635%
30	87.5295%
45	85.2644%
60	86.7451%

(Tabla 5. Porcentaje de desorción respecto a tiempo de agitación)

Lo más recomendable es usar una desorción por alrededor de los 15 a 30 minutos en agitación constante ya que, como se observa en la tabla 1, el cambio entre una agitación de 15min a

una agitación de 60min en las mismas condiciones no tiene una variación notable en el porcentaje de desorción.

## RESULTADOS DE LA ELECTRODEPOSICIÓN

Para el proceso de electrodeposición del zinc se hicieron pruebas con dos tipos de electrodos y tamaño de superficie de contacto, los electrodos utilizados fueron de grafito y cobre, usando principalmente los electrodos de cobre trenzado para las desorciones con un tiempo de 15 minutos y 60 minutos y los de carbono para las desorciones que tuvieron un tiempo de 30 minutos y 45 minutos; Además se hizo una prueba de 15 minutos usando placas de cobre que tenían una superficie de contacto de alrededor de unos 24cm<sup>2</sup>.

Con lo anterior, se obtuvo que las placas de cobre fueron ineficientes en la electrodeposición de zinc puesto que la concentración inicial y final del metal en el sobrenadante fue aún mayor esto debido a que inicialmente la placa de cobre utilizada como electrodo tenía una concentración inicial de 21.9921 (mg Zn/kg cobre) y al realizar el proceso de electrolisis se obtuvo que la concentración de zinc en la placa disminuyó a 15.1568 (mg Zn/kg cobre) obteniendo de esta forma que el sobrenadante quedara con mayor concentración de zinc.

Por otra parte, los electrodos de cobre trenzados obtuvieron un mejor rendimiento que las placas de cobre, dado que en el sobrenadante se redujo la concentración inicial de zinc en cada caso en los que se usó cobre trenzado, teniendo un promedio en los porcentajes de recuperación por electrodeposición en electrodos de cobre de 19.7348% para muestras de desorción de 15min mientras que para muestras de desorción de 60 minutos se obtuvo un porcentaje de recuperación de 25.2543%.

También, se analizó la concentración inicial y final en los electrodos obteniendo así que en promedio cada electrodo cuenta con 20.1796 (mg Zn/kg Cu), con esto entonces se obtiene que por un tiempo de electrolisis de una hora y media la concentración final en electrodo dependiendo de la muestra de desorción utilizada es diferente como se muestra en la tabla 2.

MUESTRA DESORCIÓN TIEMPO (min)	CONCENTRACIÓN DE ZINC EN ELECTRODO FINAL (mg Zn/kg Cu)
15	26.4385
60	58.1079

(Tabla 6. Concentración en electrodo de cobre después de la electrolisis)

Ahora bien, los resultados obtenidos con electrodos de grafito utilizados en las muestras de desorción en tiempo de 30 y 45 minutos tuvieron una eficiencia similar a los electrodos de cobre trenzado observando una reducción en la concentración del sobrenadante que se tenía inicialmente después del proceso de desorción a la obtenida posteriormente del proceso de electrodeposición, teniendo una eficiencia promedio de 21.9876% para la muestra de 30 minutos y 28.5181% en la muestra de 45 minutos, observando de esta forma que existe el proceso de electrodeposición en el electrodo. Adicional a esto, los electrodos de grafito no

se les pudo hacer un análisis de la concentración inicial y final de zinc que contenían debido a la dificultad para realizar la digestión en los electrodos de carbono, esto debido a que el carbono únicamente es soluble en el tetracloruro de carbono el cual es un reactivo bastante contaminante.

Con lo anterior se realiza una comparación (tabla 3) en la cual se observan las diferencias entre el uso de electrodos de grafito y cobre para electrodeposición de zinc.

PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN EN ELECTRODOS DE GRAFITO	PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN EN ELECTRODOS DE COBRE
21.9876%	19.7348%
28.5181%	25.2543%

(Tabla 7. Comparación porcentaje de recuperación de Zinc en distintos electrodos)

Podemos resumir los resultados de este proceso de la siguiente forma:

Zinc inicial en la solución stock (ppm)	Zinc inicial en la cáscara de naranja (ppm)	Zinc inicial en los electrodos de cobre (ppm)	Porcentaje de zinc que es adsorbido por la cáscara de naranja. Proceso de bioadsorción.
383.5159	6.1423	20.1796	98.6108%

(Tabla 8. Resultados obtenidos en el proceso de bioadsorción)

Porcentaje de zinc que es recuperado de la cáscara de naranja. Proceso de desorción				Porcentaje de zinc recuperado del producto de la desorción por electrodeposición			
				Electrodo de cobre	Electrodo de grafito	Electrodo de grafito	Electrodo de cobre
15 min	30 min	45 min	60 min	15 min	45 min	30 min	60 min
88.6635%	87.5295%	85.2644%	86.7451%	19.7348%	21.9876%	25.5181%	25.2543%

(Tabla 9. Resultados obtenidos en los procesos de desorción y electrodeposición)

### Conclusiones

De este estudio inicial se puede afirmar que:

El uso de cáscara de naranja SWEET como bioadsorbente en grado de maduración 2, es efectiva si se quiere remover zinc de una fuente hídrica contaminada por este metal pesado en procesos industriales de galvanoplastia, ya que en nuestros ensayos este biosorbente alcanza un porcentaje 98.6108%, y en otros estudios esta registrado que se absorbe hasta el 99% del Zinc presente en la fuente hídrica (Gutiérrez, Vargas, & Pedreguera, 2013) (Tovar, Ortiz, & Jaraba, 2015)

Hemos considerado que la cáscara de naranja luego del proceso de desorción puede ser utilizada en los procesos de compostaje y fabricación de abonos orgánicos, puesto que los niveles de Zinc que quedan en el bioadsorbente son en promedio de 48.9730 ppm, lo cual no es tóxico (Romero & Flores, 2017). Además, esto nos ayuda a considerar que la remoción de zinc en la cáscara con ácido clorhídrico es eficiente. Sin duda hay que tener en cuenta que antes de usar la cáscara como abono debe pasar por un tratamiento de neutralización para la regulación a un pH aceptable para los suelos.

Los electrodos usados no contemplan una gran diferencia en los procesos de electrodeposición, lo que se logra observar es que contempla una diferencia en cuanto a los tiempos de desorción teniendo de esta que el proceso óptimo para realizar todo el ciclo sería el uso de una desorción a de 15 a 30 minutos.

Por último, aumentar la superficie de contacto en los electrodos de cobre no es un proceso apropiado, porque en nuestro caso se favorece más la oxidación del metal cobre esto sucede dado que se encuentra en un medio ácido y la electrodeposición se ve afectada debido a esto. Adicionalmente puede llegarse a ampliar la superficie de contacto en los electrodos de gráfico debido a que este es resistente a la descomposición que presenta un medio ácido inorgánico.

## **Bibliografía**

- Eloisa, M. F., Rhode, N. C., Obdulia, V. L., & Raul, A. S. (Marzo de 2017). Caracterización Fisicoquímica de desechos de naranja (*Citrus Sinensis*) y lechuga (*Lactuca Sativa*). *Energía Química y Física*, 4(10), 49-56.
- Gierlotka, D., Ro'winsky, E., Budniok, A., & Lagiewka, E. (1997). Production and properties of electrolytic Ni–P–TiO<sub>2</sub> composite layers. *Journal of Applied Electrochemistry*, 1349-1354.
- Gutiérrez, A. F., Vargas, d. D., & Pedreguera, A. Z. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17(1), 1-9.
- Hernández, D. U. (Octubre de 2013). *Electrodeposición y caracterización de recubrimientos de Ni-P*. Obtenido de Repositorio Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica (CIDETEQ): <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/291/1/Electrodeposici%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20Ni-P.pdf>

- Kuyucak, N., & Volesky, B. (Febrero de 1989). Accumulation of cobalt by marine alga. *Biotechnol Bioeng*, 33(7), 809-814. doi:<https://doi.org/10.1002/bit.260330703>
- Mahmud, Z. Á., Gordillo, G., & D'alkaine, C. V. (2017). *Aspectos teóricos de la electrodeposición de cinc*. Obtenido de <http://www-biblio.inti.gob.ar/trabinti/MahmudGordillo1.pdf>
- Moron, E. (2018). *La cáscara de plátano como adsorbente de metales pesados. Ensayos en continuo*. Obtenido de SteemKr: <https://steemit.com/spanol/@emiliomoron/la-cáscara-de-platano-como-adsorbente-de-metales-pesados-ensayos-en-continuo>
- Quintero, S. L. (Julio de 2005). *Evaluación preliminar del proceso de electrodiálisis como alternativa para la recuperación de metales pesados en la industria galvánica - estudio para níquel*. Obtenido de Repositorio UniAndes: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/10830/u263308.pdf?sequence=1>
- Romero, J. C., & Flores, M. L. (2017). El zinc en las plantas. *Ciencia*, 68(3), 28-35.
- Sivana, E. P. (08 de Agosto de 2014). *Electrodeposición del Zinc*. Obtenido de Universidad Nacional de San Antonio Abad del Coscu.
- Tejada, C. N. (2014). Biosorción de cromo (VI) en aguas usando material lognocelulósico modificado. *Educación en ingeniería*, 9(17), 86-97. doi:<https://doi.org/10.26507/rei.v9n17.290>
- Tovar, C. T., Ortiz, Á. V., & Jaraba, L. G. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109-123.
- Vargas, K. K., Lopez, M. C., Tellez, S. R., Bandala, E., & Salas, J. L. (2012). Biosorption of heavy metals in polluted water, using different waste fruit cortex. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 26-29.
- Yraima, R. O. (2012). Estructura y caracterización de los recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente, sobre aceros. *Revista digital de investigación y postgrado de la universidad nacional experimental politécnica "Antonio José de Sucre"*, 2(5), 368-378. Obtenido de <http://redip.bqto.unexpo.edu.ve>.