



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

**Facultad de Ciencias e Ingeniería**

**Departamento de Matemática**

**Ingeniería Estadística**

**Monografía**

**Para optar al título de Ingeniero Estadístico**

“Análisis de los parámetros que influyen en la remoción de aguas contaminadas con cromo hexavalente mediante el uso de una biomasa (*Musa paradisiaca*), en el Laboratorio de Biotecnología (RURMA-UNAN-Managua), en el periodo de junio 2019 a junio 2020”

Autor:

Br. Karelia Lilly Sándigo Henríquez

Tutor:

MSc. José Roberto Gutiérrez

Asesor:

Lic. Maybis López Hernández

Managua, Julio 2020



*“Porque Jehová da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia”*

*Proverbios 2:6*

**i. DEDICATORIA**

*A Dios Todo Poderoso nuestro Padre y Salvador quien por su gracia y amor me permite culminar mis estudios.*

*A mis padres, Antonio Sándigo e Indiana Henríquez quienes con sacrificio y amor me han apoyado a lo largo de mi preparación académica, estando en cada paso importante de mi vida.*

**ii. AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de poder estudiar una carrera profesional siendo él mi principal guía en este proceso.*

*A mis padres y familiares quienes depositaron su confianza en mí, brindándome su apoyo incondicional.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua y al grupo docente de la Facultad de Ciencias e Ingenierías que fueron una guía, facilitando su conocimiento y sabiduría a lo largo de mis estudios superiores y en especial a mi tutor el MSc. Roberto Gutiérrez quien me acompañó en esta investigación y a la Lic. Maybis López por permitirme ser parte del proceso investigativo.*

*Al Laboratorio de Biotecnología por haberme brindado la oportunidad en dicho estudio con su apoyo incondicional durante este tiempo.*

*A todas las personas que de una u otra manera aportaron su amistad y su apoyo.*

**iii. CARTA AVAL**



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE MATEMATICA Y ESTADISTICA**

El suscrito Tutor de Monografía para optar al título de “**Ingeniero Estadístico**”, por este medio extiende la presente:

**CARTA AVAL**

A la bachiller **Karelia Lilly Sándigo Henríquez**, carné 14044616, dado que la monografía titulada: “Análisis de los parámetros que influyen en la remoción de aguas contaminadas con cromo hexavalente mediante el uso de una biomasa (*Musa paradisiaca*), en el Laboratorio de Biotecnología (RURMA-UNAN-Managua), en el periodo de junio 2019 a junio 2020”, cumple los requisitos para ser presentados ante el tribunal examinador.

Dado en la ciudad de Managua, a los veintiséis días del mes de junio del año dos mil veinte.

  
**MSc. José Roberto Gutiérrez**  
Tutor

#### **iv. RESUMEN**

Con el objetivo de analizar los parámetros que influyen en la remoción de aguas contaminadas con cromo hexavalente mediante el uso de una biomasa (*Musa paradisiaca*), en el Laboratorio de Biotecnología (RURMA-UNAN-Managua), en el periodo de junio 2019 a junio 2020”, se realizó este estudio gracias a los datos proporcionados por el departamento físico-químico del Laboratorio de Biotecnología, tomando como variable principal la remoción de cromo hexavalente en aguas, aplicando un experimento a escala de laboratorio, en el cual se utilizó 1 gr de biomasa a un tamaño de partícula de  $600\mu m$ , cuatro niveles de pH (3, 3.5, 5 y 7), así como tres diferentes concentraciones de cromo hexavalente (20, 40 y 80mg/L) y seis tiempos de contacto (0, 2, 4, 6, 10 y 15min). A partir de los resultados obtenidos se concluyó que:

La cascara de plátano es eficaz para la remoción en aguas contaminadas con cromo hexavalente, pero puesta bajo ciertas condiciones disminuye los niveles de cromo presentes. En cuanto al nivel de pH se comprobó que este es un factor que influye considerablemente en la remoción de cromo hexavalente, indicando que a menor pH mayor remoción, incluso a medida que se aumentaban la concentración de cromo.

El mayor porcentaje de remoción de cromo hexavalente alcanzados mediante el uso de la cascara de plátano fue con un pH 3 en las tres diferentes concentraciones de cromo probados en este estudio. También se reflejó en los resultados obtenidos que la capacidad de adsorción de la biomasa se ve influenciada con un pH 3 ya que con este hay una mayor cantidad de iones adsorbidos por la cascara de plátano. Y en cuanto al modelo que mejor se ajusta a los datos es la isoterma de Langmuir con un pH3 indicando que el proceso de adsorción se da en monocapas.

# Índice

|   |    |
|---|----|
| <b>Capítulo I</b> .....                                     | 1  |
| <b>1.1 Introducción</b> .....                               | 1  |
| <b>1.2 Planteamiento de problema</b> .....                  | 2  |
| <b>1.3 Justificación</b> .....                              | 3  |
| <b>1.4 Objetivos</b> .....                                  | 4  |
| <i>Objetivo General</i> .....                               | 4  |
| <i>Objetivos Específicos</i> .....                          | 4  |
| <b>Capítulo II</b> .....                                    | 5  |
| <b>2.1 Marco referencial</b> .....                          | 5  |
| 2.1.1 Antecedentes .....                                    | 5  |
| <b>2.2 Marco Teórico</b> .....                              | 8  |
| 2.2.1 Generalidades del cromo .....                         | 8  |
| 2.2.2 Generalidades del plátano .....                       | 10 |
| 2.2.3 La biomasa como método de remoción de cromo .....     | 11 |
| 2.2.4 Parámetros que influyen en la remoción de cromo ..... | 11 |
| 2.2.5 Diseño de experimentos .....                          | 13 |
| 2.2.6 Principios básicos de diseño de experimentos.....     | 13 |
| 2.2.7 Análisis de Varianza (ANOVA).....                     | 14 |
| 2.2.8 Supuestos en el análisis de varianza.....             | 15 |
| 2.2.9 Porcentaje de remoción y capacidad de adsorción.....  | 16 |
| 2.2.10 Modelos de adsorción.....                            | 16 |
| <b>2.3 Marco Legal</b> .....                                | 19 |
| 2.3.1 Ley General de Aguas Nacionales (Ley 620).....        | 19 |
| 2.3.2 Regulaciones Ambientales .....                        | 19 |
| <b>2.4 Hipótesis</b> .....                                  | 20 |
| <b>Capítulo III</b> .....                                   | 21 |



|  |    |
|--|----|
| <b>3. Diseño metodológico</b> .....                      | 21 |
| 3.1 Tipo de Investigación.....                           | 21 |
| 3.2 Área de estudio.....                                 | 21 |
| 3.3 Muestra.....   | 21 |
| 3.4 Variables y Operacionalización de las variables..... | 22 |
| 3.4.1 Variables.....                                     | 22 |
| 3.4.2 Operacionalización de las variables.....           | 23 |
| 3.5 Técnica e instrumentos de recolección de datos.....  | 24 |
| 3.6 Procedimiento para la recolección de datos.....      | 24 |
| 3.7 Plan de análisis de estadístico de los datos.....    | 25 |
| <b>Capítulo IV</b> .....                                 | 26 |
| <b>4. Análisis y discusión de resultados</b> .....       | 26 |
| <b>Capítulo V</b> .....                                  | 39 |
| <b>5.1 Conclusiones</b> .....                            | 39 |
| <b>5.2 Recomendaciones</b> .....                         | 41 |
| <b>Bibliografía</b> .....                                | 42 |
| <b>Anexos</b>  |    |

# Capítulo I

## 1.1 Introducción

Actualmente el mundo afronta una serie de problemas ecológicos, siendo la contaminación hídrica uno de los factores que causan mayor impacto a los diferentes organismos vivos. Según la FAO (2003), Nicaragua es un país especialmente privilegiado en cuanto a recursos hídricos, cuenta con 38,668 m<sup>3</sup>/cápita/año, lo que posiciona al país por encima del promedio para los países de Centroamérica. A pesar de ello, la contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos ha tenido un gran impacto en la disponibilidad.

En Nicaragua, una de las principales fuentes de contaminación a los recursos hídricos son las descargas de aguas residuales de origen domésticas, industriales, agroindustriales comerciales, teneras y mineras que son vertidas sin ningún tratamiento previo a los cuerpos receptores con grandes concentraciones de metales pesados, entre ellos el cromo. Por tal razón, la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua a través del Laboratorio de Biotecnología, realiza actividades de investigación e innovación, con el objetivo de buscar alternativas que minimicen la problemática ambiental.

Este estudio tiene como propósito buscar una alternativa viable, eficaz y de bajo costo para remover el cromo en las aguas, utilizando la cáscara de plátano; lo cual es considerado un desecho, sin embargo esta posee un gran potencial para la biorremediación de aguas contaminadas por metales pesados, puesto que en su composición posee un gran número de moléculas con cargas negativas como carbonil, carboxil, sulfidril, fosfato e hidroxilo las cuales tienen la capacidad de atracción sobre la carga positiva del cromo (Castro, 2015).

Durante esta investigación se realizó la aplicación de diseño experimental para el análisis de tres variables de gran importancia que influyen en la remoción del cromo utilizando la biomasa, las cuales son: pH del agua contaminada, tiempo de contacto y concentración del metal. En este sentido, es de vital importancia la utilización de metodologías estadísticas que contribuyan a una mejor interpretación de los resultados obtenidos, ya que los métodos de diseños experimentales tienen una amplia aplicación en diversas disciplinas considerándose parte del proceso científico y uno de los medios para conocer el funcionamiento de sistemas y procesos (Montgomery, 2004).

## 1.2 Planteamiento de problema

Los metales se encuentran en la naturaleza, de los 118 elementos que el hombre conoce, 84 son metales. Estas materias han jugado un papel importante en el desarrollo de las civilizaciones, pero el problema de la contaminación por parte de los metales aparece cuando son empleados en la industria de forma cotidiana llegando a tener efectos negativos sobre el ambiente provocando así la contaminación del agua, del suelo y recursos naturales en general (Arias, 2019).

El cromo en su estado de oxidación (+6) es tóxico para el medio ambiente y para el ser humano, que se bioacumulan en el cuerpo humano conforme se inhala del aire o ingiere con los alimentos y el agua, provocando cáncer de pulmón, alergias en la piel, irritaciones en los ojos, sangrado en la nariz, neumonía, asma, daño cerebral, pérdida de apetito, anorexia, entre otras enfermedades.

Puesto que el cromo es un metal no degradable y persistente en el medio ambiente, es de vital importancia buscar una alternativa para el tratamiento de estas aguas contaminadas que sea de bajo costo y efectiva en la remoción de cromo, debido a que es altamente cancerígeno.

A partir de la situación expuesta, se plantea la pregunta principal de la presente investigación: ¿Cuál de los parámetros influye mejor en la remoción de agua contaminada con cromo hexavalente mediante el uso de una biomasa?

De la pregunta principal, se derivan las siguientes interrogantes:

1. ¿Influye en la remoción de cromo el nivel de pH, tiempo de contacto y la concentración de cromo que tenga el agua contaminada?
2. ¿Cuál es el porcentaje de remoción y capacidad de adsorción que tiene la biomasa?

### 1.3 Justificación

El cromo en su estado de oxidación (+6) (cromo hexavalente) es muy tóxicos para el ser humano, trayendo consigo efectos adversos a corto y largo plazo, no así en su estado trivalente (+3), que en dosis pequeñas tienen beneficios para la salud en especial para las personas con diabetes ya que controla los niveles de azúcares en la sangre y aumenta la capacidad de las células para regular la insulina (Mayta, 2017).

El impacto que ha generado este metal ha conllevado al desarrollo de diferentes métodos para el tratamiento de efluentes contaminados con cromo, entre los cuales están: precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana, pero el mayor inconveniente de estos tratamientos son los elevados costos y la formación de lodos en el caso de las membranas (Benavente, 2018).

Esta investigación tiene como propósito buscar una alternativa viable y económica para el tratamiento de aguas contaminadas por medio de la utilización de una biomasa, para disminuir las concentraciones de cromo, puesto que la falta de un método adecuado para el tratamiento de estas aguas conlleva a una acumulación de los volúmenes de contaminantes.

Para la realización de este estudio se lleva a cabo pruebas a escala de laboratorio, dado que son un instrumento valioso en las investigaciones científicas, pero no solo deben de cumplir criterios de calidad sino relevancia estadística, y es por ello que es de gran importancia contar con un diseño estadístico que planee el proceso del experimento de manera que se recaben los datos adecuados para que puedan analizarse y así obtener conclusiones válidas y objetivas (Montgomery, 2004).

## 1.4 Objetivos

### *Objetivo General*

Analizar los parámetros que influyen en la remoción de aguas contaminadas con cromo hexavalente mediante el uso de una biomasa (*Musa paradisiaca*), en el Laboratorio de Biotecnología (RURMA-UNAN-Managua), en el periodo de junio 2019 a junio de 2020.

### *Objetivos Específicos*

1. Identificar el nivel de pH, tiempo de contacto y concentración de cromo que mayor influye en la remoción de cromo.
2. Determinar el porcentaje de remoción y la capacidad de adsorción de la biomasa.
3. Desarrollar un diseño experimental para el estudio en la remoción de cromo hexavalente.

## Capítulo II

### 2.1 Marco referencial

#### 2.1.1 Antecedentes

La preocupación por la contaminación del recurso hídrico con metales pesados ha sido un motivo para diferentes estudios de investigación a nivel nacional e internacional, de los cuales se destacan:

✓ **Universidad Nacional de Ingenierías, UNI, en el año 2014**

Los estudiantes González y Gutiérrez, realizaron una investigación llamada “Estudio de adsorción de cromo hexavalente en bentonita termoactivada en lechos agitados”, en la mina Cerro de las Lapas localizada en el municipio Ciudad Darío, departamento de Matagalpa, Nicaragua, con el objetivo de estudiar el equilibrio y la cinética de adsorción de Cr (VI) en bentonita termoactivada, donde las pruebas preliminares de activación termoácida a distintos diámetros de partícula se comprobó estadísticamente que esta variable no era relevante en el proceso. En el estudio preliminar de lechos agitados se encontró que la adsorción de Cr VI en bentonita termoactivada decrece con el incremento del pH alto a pH bajo (1-2), la superficie de la arcilla podría estar altamente protonada, lo cual favorece la adsorción del ión metálico en su forma aniónica predominante anión  $\text{HCrO}_4^-$ . Así mismo se observó que la relación adsorbente-adsorbato óptima fue de 0.08 g adsorbente/mL de solución. La velocidad de agitación fue la variable más influyente durante esta etapa observándose % de adsorción incrementaba drásticamente al aumentar la velocidad a 200 rpm. Las isothermas de adsorción se ajustaron de mejor manera al modelo de Freundlich, lo que indica que el proceso de adsorción se da en multicapas sobre superficies heterogéneas, donde los sitios de adsorción tienen distintas afinidades. (González y Gutiérrez, 2014).

✓ **Universidad Nacional de Ingeniería, UNI, en el año 2018.**

Los estudiantes Romero y Sánchez desarrollaron una investigación titulada: “Estudio comparativo de la aplicación de quitosano modificado con cobre y con cinc, para la adsorción de cromo hexavalente en el tratamiento de aguas residuales de tenerías”. Este estudio tuvo como objetivo comparar la capacidad de adsorción de cromo VI en quitosano modificado

con cobre (Quitosano–Cu) y en quitosano modificado con cinc (Quitosano–Zn), y su aplicación en las aguas residuales de tenería. Para el desarrollo del trabajo, el quitosano obtenido a nivel de laboratorio fue primeramente modificado empleando soluciones de cobre y soluciones de cinc, donde la adsorción de Cr VI en Quitosano–Cu y Quitosano–Zn depende fuertemente del pH de la solución, donde la máxima capacidad de adsorción ( $q_e$ ) de cromo VI en ambos adsorbente se alcanzó a pH 3, considerando solamente el % de remoción en el agua residual. El estudio comparativo refleja que el Quitosano–Cu es un mejor adsorbente para la remoción de cromo hexavalente de aguas residuales de tenería (Romero y Sánchez, 2018).

✓ **Universidad de Manizales, Colombia en el año 2015.**

Espinoza y Mera realizaron un estudio titulado: “Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño”, con el objetivo de evaluar dos alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de laboratorio. El primero fue: la fotocatalisis heterogénea empleando  $TiO_2$  como catalizador, para este proceso se optimizó un nivel de pH (1,5), cantidad fotocatalizador (0,5 g) y tiempo de irradiación (60 minutos). Se obtuvieron porcentajes de remoción del  $96,07 \pm 0,65$  %. Y la segunda fue: la bioadsorción utilizando cáscara de plátano verde como bioadsorbente, y para este proceso se optimizaron las variables pH (1,5), cantidad de bioadsorbente (1 g) y tiempo de contacto (60 minutos), lográndose un porcentaje de remoción de  $99,94\% \pm 0,01$ , obteniendo un mejor desempeño la bioadsorción con un nivel de confianza del 95%. De igual forma, esta alternativa presentó la mejor viabilidad técnica y ambiental con un 89% comparada con un 62% de la fotocatalisis, así como los menores costos. Ambos procesos se presentan como una opción ambientalmente sostenible para la eliminación de Cr (VI) dentro de la gestión de residuos peligrosos (Espinoza, y Mera, 2015).

✓ **Universidad de Guayaquil, Ecuador en el año 2015**

El Dr. Bismark Castro Pastor realizó un estudio titulado: “Uso de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas” con el objetivo de evaluar la capacidad de bioadsorción de Pb (II) y Cr (VI) por la cáscara de banano maduro que desecha

la empresa ecuatoriana CONFOCO S.A. en este estudio se variaron dos parámetros, el tamaño de partícula (845  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$  y 250  $\mu\text{m}$ ) y la cantidad del polvo de cáscara de banano (10, 15, 20 g/L) con una concentración de las soluciones de 50 ppm para cada metal. Los resultados mostraron que el porcentaje máximo de bioadsorción para el Pb (II) fue de 80% y para el Cr (VI) de 51.2%, determinando así que a mayor cantidad de cáscara mayor el % de bioadsorción y que el pH ligeramente ácido (5.4 – 6.9) favoreció la bioadsorción debido a que el grado de protonación de la superficie de la cáscara aumenta y por ende aumenta la adsorción de los metales (Castro, 2015).



## 2.2 Marco Teórico

### 2.2.1 Generalidades del cromo

#### 2.2.1.1 Cromo:

El cromo (Cr) es un elemento natural, que se encuentra en rocas, plantas, suelos, gases volcánicos, animales y en los humanos. Su nombre cromo (derivado del griego chroma, 'color') se debe a los distintos colores que presentan sus compuestos. Puede funcionar con distintas valencias y en el ambiente se encuentran en varias formas, que bajo ciertas condiciones químicas, el cromo puede cambiar de una forma a otra; las más comunes son las derivadas del cromo trivalente, o cromo (III) y las del cromo hexavalente, o cromo (VI) (Albert, 2017).

El cromo se encuentra en la tabla periódica clasificado como un metal de transición:

- Número atómico: 24
- Números de oxidación son 2, 3, 6
- Peso atómico es de 51.9961 g/mol
- Grupo 6
- Periodo 4

#### 2.2.1.2 El cromo y su efecto en la salud humana y en la naturaleza

##### a) Cromo hexavalente

Óxido de cromo (VI), es el estado de oxidación del cromo más inestable y extremadamente oxidante, se le puede encontrar como un compuesto de polvo negro insoluble y un compuesto rojo. Por otro lado cabe resaltar que el óxido de cromo (VI) puede llegar a ser inflamable siempre y cuando se encuentre en presencia con el etanol (Albert, 1997).

##### b) Su efecto en la salud humana:

El Cr (III) es un nutriente esencial para los humanos y la falta de este puede causar condiciones del corazón, trastornos metabólicos y diabetes; pero el consumo elevado puede causar efectos sobre la salud. El cromo hexavalente es más tóxico que el cromo trivalente ya que este tiene un alto índice de absorción a través del tracto intestinal, mayormente hay probabilidad de una exposición más alta para las personas que trabaja en las industrias metalúrgicas y de curtido puesto que estas están en contacto directo.

Hay muchos factores que determinan si la exposición al cromo tiene un efecto en la salud tales como, la dosis (la cantidad), la duración (por cuanto tiempo) y la manera como entró en contacto con esta sustancia.

El ser humano puede estar expuesto al cromo al respirar aire que lo contiene, dado que cuando esta sustancia se libera, entra al ambiente ya sea al quemar gas natural, petróleo o carbón, o el humo de cigarro, Cuando la comida es almacenada en recipientes de acero o latas las concentraciones de Cromo pueden aumentar. Las personas que fuma tabaco también pueden tener un grado alto de exposición al cromo. Basados en evidencia experimental el cromo hexavalente posee propiedades mutagénicas. Sales solubles de cromo hexavalente, específicamente el cromato de calcio, son potentemente carcinógenos.

Otros problemas de salud muy comunes causados por el cromo (VI) son; erupciones cutáneas, problemas intestinales, problemas respiratorios, reducción del sistema inmune, daños renales y hepáticos, alteración del material genético, cáncer de pulmón, muerte, entre otras enfermedades (ATSDR, 2016).

#### c) Efecto en la naturaleza

El cromo se puede encontrar en el aire, en el suelo y en el agua aunque generalmente no permanece en la atmósfera, sino que se deposita en el suelo y el agua después de ser liberado por las industrias que usan cromo, tales como galvanoplastia, curtido de cuero, producción de textiles, y en la manufactura de productos en base a cromo.

Cuando el suelo está contaminado por cromo, la concentración aumenta y por ende las concentraciones de cromo en los cultivos. La disminución de los valores de pH del suelo influye en la captación de cromo por los cultivos. Las plantas usualmente absorben sólo cromo (III), pero los efectos tóxicos debido al cromo (VI) se evidencian en un mal desarrollo de las raíces, coloración pálida en las hojas y falta de crecimiento, además de lesiones en el sistema radicular de la planta.

No es conocido que el cromo se acumule en los peces, pero concentraciones altas de cromo, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido. En animales, el cromo puede causar

enfermedades como problemas respiratorios, defectos de nacimiento, infertilidad y la formación de tumores (Lenntech, 2013).

### 2.2.2 Generalidades del plátano

El plátano es una fruta tropical originada en el sudoeste asiático.

“El nombre científico del plátano de seda es *Musa paradisiaca* y los nombres comunes banano, plátano, topocho, entre otros; hacen referencia a un gran número de plantas herbáceas del género *Musa*, tanto híbridos obtenidos horticulturalmente a partir de las especies silvestres como cultivares genéticamente puros de estas especies. Clasificado originalmente por Carlos Linneo como *Musa paradisiaca* en 1753” (UNAM, 2012) citado en (Baca, 2016, pág. 11).

En Nicaragua, el plátano tiene una importancia significativa en la economía nicaragüense dado que es uno de los productos básicos de la dieta familiar. Su cultivo y producción son actividades generadoras de ingresos y empleo.

La producción de plátano en Nicaragua se realiza durante todo el año. Esta actividad, se concentra en la región del Pacífico principalmente en los departamentos de Rivas y Chinandega, debido fundamentalmente a la disponibilidad de infraestructura. Se estima que en el 2002, se contaba con un área sembrada de plátano de 6.3 mil manzanas distribuidas en los departamentos de Granada, Rivas, Carazo, Masaya, León y Chinandega.

#### ➤ Consumo nacional

El consumo nacional de plátano es bajo, debido a la cultura de utilizar como bastimento la tortilla de maíz, utilizándose únicamente como tostones, cocido o procesado, llegando a un consumo por persona de 9 gr al día. El plátano es notoriamente consumido en Nicaragua y la Región Centroamericana, en estos últimos años Nicaragua ha estado logrando autosatisfacer la demanda nacional que no está calculada técnicamente. En primer lugar los más grandes consumidores de las musáceas son las familias rurales, seguidos por los hogares consumidores urbanos, restaurantes, negocios gastronómicos informales (MIFIC, 2007).

### 2.2.3 La biomasa como método de remoción de cromo

A esto se le conoce como bioadsorción que es el proceso de eliminación de metales pesados mediante la unión de estos a biomasa (muerta o viva) a partir de soluciones acuosas, que no está controlado por el metabolismo. Este proceso es de bajo costo puesto que se utilizan biomateriales como desechos agrícolas (cáscara de banano, de naranja, de limón, de arroz, entre otros). Estos biomateriales actúan en tiempos de contacto cortos y permiten que se trabaje en un amplio nivel de condiciones (Sala, 2010) citado en (Arias, 2019).

En la actualidad, el método con mayor eficiencia para la descontaminación del agua con metales pesados (plomo, níquel, cromo, entre otros), se realiza mediante carbón activado, un producto industrial adsorbente que retiene sobre su superficie, un porcentaje de estos metales; pero que también ofrece un alto costo para su realización.

No obstante, la cáscara de plátano es una alternativa, para remover iones de metales pesados de aguas contaminadas, dada la capacidad de los residuos lignocelulósicos de adsorber iones de los metales, siendo de gran importancia para el desarrollo de una tecnología eficaz, limpia y barata para el tratamiento de las aguas residuales.

Este además de ser un residuo barato y altamente disponible en Nicaragua tiene la capacidad de remover el cromo en las aguas de una manera eficaz, debido a que posee un gran número de moléculas con carga negativa como carbonil, carboxil, sulfidril, fosfato e hidroxilo, elementos que son capaces de adsorber metales pesados por fisisorción ya que la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química (Conde, Dávila, & Rojano).

### 2.2.4 Parámetros que influyen en la remoción de cromo

Los procesos de sorción dependen de la naturaleza de la sustancia a eliminar (adsorbato/sorbato), de la estructura y características del sólido sorbente y de las condiciones experimentales como el pH, tiempo de equilibrio, la concentración del metal, la competencia con otros iones, cantidad del adsorbente y del tamaño de la partícula (Martín, 2008) de los cuales se debe tener un control de estos con el fin de que el proceso de adsorción sea eficiente y cumpla con el objetivo.

Los factores que influyen notablemente en la remoción de cromo son:

✓ **Tipo de especies químicas que se desea eliminar:**

Aniones, cationes, especies neutras, contaminantes con bajo peso molecular, compuestos con solubilidad alta, compuestos polares, entre otras.

✓ **pH:**

El pH (potencial de Hidrogeno), es el parámetro más importante en la adsorción de metales pesados. El valor del pH influencia significativamente los sitios de disociación sobre la superficie de la biomasa y el comportamiento químico del metal pesado, puesto que dependiendo de la naturaleza del metal tiene un comportamiento distinto. Para el caso de los cationes la adsorción es más favorable con un valor de pH bajo en un rango de 1.5 y 4; mientras que los aniones son adsorbidos con mayor facilidad cuando el pH se encuentra por encima de 4.5 (Arias, 2019).

✓ **Tiempo de equilibrio:**

Se considera como el instante a partir del cual se satura el biosorbente; en otras palabras es el tiempo en el que el adsorbente, por más que se mantenga en contacto con la solución, ya no produce más adsorción. Es necesario evaluar el efecto del tiempo de contacto antes del estudio de la cinética de bioadsorción de metales pesados, debido a que contribuye a determinar, en la mayoría de los casos, la naturaleza del proceso. En un gran número de investigaciones se establece que este es un proceso rápido, con tiempos de operación entre quince y treinta minutos para la remoción de un porcentaje considerable del metal. Los modelos de Langmuir y Freundlich son los más utilizados para describir con éxito el equilibrio de adsorción; cuando se trabaja con residuos lignocelulósicos (Kuyucak & Volesky, 2008, citado en (Romero y Sánchez, 2018)).

✓ **Masa de adsorbente en la adsorción**

La cantidad de adsorbente es el factor que va a limitar hasta cierto punto la concentración de metal que se adsorbe, pero esta se recomienda a un tamaño de partícula en el intervalo de 300 a 600  $\mu\text{m}$ , para la remoción eficiente de cromo. A mayor cantidad de adsorbente, se obtiene una mayor adsorción, pero lo ideal es llegar a una relación de equilibrio, entre la cantidad de adsorbente y la concentración de metal, para un óptimo resultado de adsorción. Es por ello que la cantidad de adsorbente es muy importante para que se produzca en menos tiempo la

adsorción, pues si se tiene pocos sitios puede existir la saturación de los mismos y no llevar a cabo una completa adsorción de toda la concentración que se encuentre del metal. Sin embargo gran cantidad de biosorbente puede afectar la biosorción, debido a que puede darse una agregación de la biomasa la cual causa una disminución en el área efectiva de la biosorción (Rios, 2014, pág. 14).

### 2.2.5 Diseño de experimentos

El diseño de experimentos es la forma más eficaz de hacer pruebas y este consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras (Gutiérrez & De la Vara, 2012).

### 2.2.6 Principios básicos de diseño de experimentos

El diseño de experimentos trata de fenómenos que son observables y repetibles. Cualquier cosa observada se aprecia con variabilidad; nada ocurre exactamente de la misma forma dos veces, incluso las mediciones del mismo evento varían.

El punto de partida para una correcta planeación es aplicar los principios básicos del diseño de experimentos, los cuales tienen que ver directamente con que los datos obtenidos sean útiles para responder a las preguntas planeadas.

Los tres principios básicos del diseño experimental son: la realización de réplicas, la aleatorización y la formación de bloques.

#### ✓ La realización de réplicas:

Es la repetición del experimento básico. La realización de réplicas posee dos propiedades importantes.

1. Permite al experimentador obtener una estimación del error experimental. Esta estimación del error se convierte en una unidad de mediciones básicas para determinar si las diferentes observaciones en los datos son en realidad estadísticamente diferentes.

2. Si se usa la media muestral (por ejemplo,  $\bar{y}$ ) para estimar el efecto de un factor en el experimento, la realización de réplicas permite al experimentador obtener una estimación más precisa de este efecto. Por ejemplo, si la  $\sigma^2$  es la varianza de un observación individual y hay n replicas, la varianza de la media muestral es:  $\sigma_y^2 = \frac{\sigma^2}{n}$

✓ La aleatorización:

Es la piedra angular en la que se fundamenta el uso de los métodos estadísticos en el diseño experimental. Por aleatorización se entiende que tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizarán las corridas o ensayos individuales del experimento se determinan al azar.

✓ La formación de bloques:

Es una técnica de diseño que se utiliza para mejorar la precisión de las comparaciones que se hacen entre los factores de interés. Muchas veces la formación de bloques se emplea para reducir o eliminar la variabilidad transmitida por factores perturbadores, es decir aquellos factores que puedan influir en la respuesta experimental pero en los que no hay interés específico.

### 2.2.7 Análisis de Varianza (ANOVA)

El análisis de varianza (ANOVA) es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento.

El análisis de varianza se puede definir como una técnica mediante la cual la variación total presente en un conjunto de datos se divide en varias componentes, cada una de las cuales tiene asociada una fuente de variación específica, de manera que en el análisis es posible conocer la magnitud de las contribuciones de cada fuente de variación a la variación total.

El análisis de varianza se aplica ampliamente en la investigación, pues está íntimamente relacionado con el diseño de experimentos.

El análisis de varianza puede ser usado para dos tipos de análisis:

- a. Para estimar y contrastar hipótesis acerca de varianzas, y

- b. Para estimar y contrastar hipótesis acerca de medias.

En el análisis de varianza a las variables se les suele llamar factores y a los diferentes niveles de cada variable o factor se les llama tratamientos o categorías (Marques De Cantú, 1990).

### 2.2.8 Supuestos en el análisis de varianza

Antes de emprender un ANOVA debe verificarse el cumplimiento de una serie de supuestos estadísticos exigentes, cuya violación puede conducir a resultados equívocos. La validez de los resultados obtenidos en cualquier análisis de varianza queda sujeto a que los supuestos del modelo se cumplan. Estos supuestos son: *normalidad, homoscedasticidad (igualdad de varianza de los tratamientos) e independencia (no presentan correlación)*. Esto es, la respuesta (Y) en cada tratamiento se debe distribuir de manera normal, con la misma varianza en cada tratamiento, y en las mediciones deben ser independientes.

- **Normalidad de la distribución**

Los errores  $e_{ij}$  tienen distribución normal (o están normalmente distribuidos). “Si se satisface el supuesto de  $N \sim (0, \sigma^2)$  para los errores, el gráfico deberá aparecer como una muestra de una distribución normal con centro en cero. Desafortunadamente, cuando se trabaja con muestras pequeñas, suelen ocurrir fluctuaciones significativas, por lo que la aparición de una desviación moderada de normalidad no implica necesariamente una violación seria de los supuestos. Las desviaciones marcadas de la normalidad son potencialmente serias y requieren análisis adicional” (Montgomery, 2004, pág. 77).

- **Homocedasticidad**

Los errores ( $e_{ij}$ ) tienen la misma variancia  $\sigma^2$  (a esto se le conoce como homocedasticidad u homogeneidad de varianzas). Cuando las varianzas no son homogéneas, se dice que existe heterocedasticidad. Para evaluar la heterogeneidad (o la homogeneidad) de varianzas, se utiliza la prueba de Levene, esta prueba es útil aun cuando no se cumple con el supuesto de normalidad y además, no requiere que los tamaños de muestras sean los mismos para todos los tratamientos.

- **Independencia**



Los errores o desvíos ( $e_{ij}$ ) son independientes, esto es, la probabilidad de que el error de una observación cualquiera tenga un determinado valor, no debe depender de los valores de los otros errores. De donde resulta, que los errores no son correlacionados. El cumplimiento de esta suposición se garantiza, hasta cierto punto, por la aleatorización de los tratamientos en las unidades experimentales y mediante una buena técnica experimental (López, 2008, pág. 58).

### 2.2.9 Porcentaje de remoción y capacidad de adsorción

El Porcentaje de Remoción (%R) se determinó aplicando la ecuación (1):

$$(1) \quad \%R = \frac{C_0 - C_{eq}}{C_0} * 100$$

Donde  $C_0$  es la concentración inicial de cromo hexavalente y  $C_{eq}$  es la concentración final de cromo hexavalente.

Y la cantidad de iones absorbidos en la cáscara de plátano o capacidad de adsorción ( $q_e$ ) fue calculada mediante la ecuación (2):

$$(2) \quad q_e = \frac{(C_0 - C_{eq})V}{m}$$

Donde  $C_0$  y  $C_{eq}$  son las concentraciones iniciales y finales del ion metálico en la solución,  $V$  el volumen de la solución (L),  $m$  es la masa de la cáscara de plátano (g) y  $q_e$  es la capacidad de adsorción de la biomasa.

### 2.2.10 Modelos de adsorción

#### **Adsorción**

La adsorción es el proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida). Por ello se considera un fenómeno sub-superficial. El sólido que retiene átomos, iones o moléculas es mayormente conocido como adsorbente y las partículas que quedan retenidas en la superficie del sólido se conocen comúnmente como adsorbato. La adsorción se da debido a las fuerzas de atracción entre las partículas del fluido y de la superficie del sólido (Adsorción, s.f.). La adsorción de los metales pesados ha sido evaluada mediante la utilización de modelos ideales que describen el equilibrio del proceso, de los cuales existen 5 tipos de isothermas, pero el Modelo de Langmuir

(Isoterma tipo I) y modelo de Freundlich (Isoterma tipo II) son los más utilizados para describir con éxito el equilibrio de biosorción.

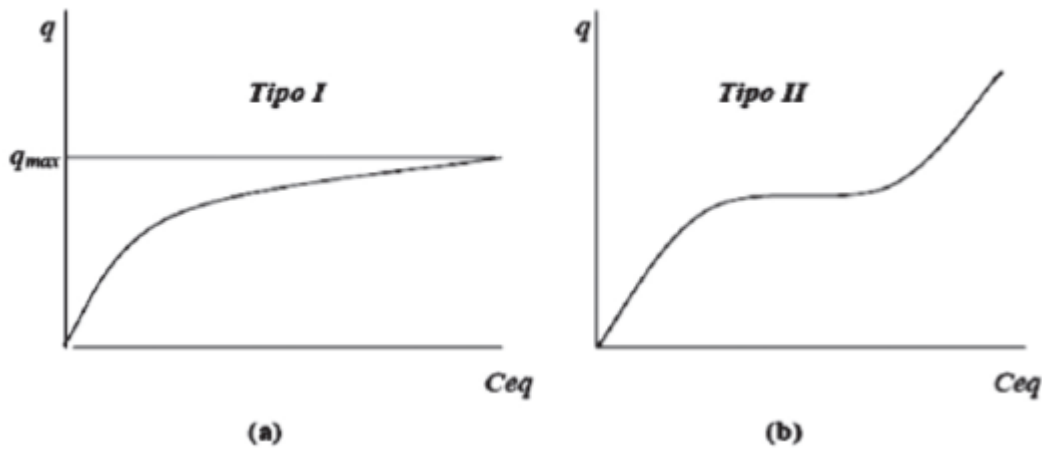


Figura 1. Isotermas básicas de adsorción; a) Isoterma tipo I, b) Isoterma tipo II.

Según sus características la adsorción puede clasificarse en dos tipos:

- 1. Adsorción química:** conocida como quimisorción, proceso que considera la adsorción en monocapa, es la fuerzas análogas al enlace químico (atracción entre iones opuestos, coordinadas o covalentes, el proceso es irreversible, no hay desorción a menos que sean cambios muy drásticos, es de naturaleza específica (sitios activos), el adsorbato puede perder su identidad. se estudia a través del modelo de isotermas tipo I (Figura 1, a)).
  - 2. Adsorción física:** también conocida como fisorción, proceso que describe la adsorción en multicapas, el proceso es reversible (hay desorción), no es de naturaleza específica, el adsorbato conserva su identidad. Se estudia a través del modelo de isoterma tipo II (Figura 1, b)).
- **El modelo de Adsorción de Langmuir**

Su modelo supone que la superficie es homogénea, tiene un número específico donde se puede adsorber una molécula, cuando todos los sitios están ocupados no es posible que continúe la adsorción (el sistema se satura), el calor de adsorción es independiente del grado de recubrimiento y todos los sitios son equivalentes y la energía de las moléculas adsorbidas es independiente de la presencia de otras moléculas (Ortega y Núñez, 2012).

Una característica esencial de la isoterma de Langmuir se encuentra en la constante adimensional denominada factor de separación o parámetro de equilibrio,  $R_L$ , definida mediante la siguiente expresión:

$$R_L = \frac{1}{1bC_0}$$

Donde  $b$  es la constante de equilibrio de Langmuir, y  $C_0$  es la concentración inicial de  $Cr$  (VI) en [mg/L]. De la constante  $R_L$  se puede inferir si la adsorción sobre superficies homogéneas es favorable o no. El valor de  $R_L$  indica que la forma de las isotermas es: favorable si  $0 < R_L < 1$ , desfavorable si  $R_L > 1$ , irreversible  $R_L = 0$  o lineal si  $R_L = 1$ .

- ***El modelo de Adsorción de Freundlich***

Es una isoterma que consiste en una curva que relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto. Esta se describe por medio de una ecuación exponencial, que tiene un origen empírico. En esta isoterma no hay un recubrimiento límite ni se propone una adsorción monomolecular, sino multimolecular (Romero y Sánchez, 2018).

Tabla 1

*Ecuaciones de los modelos de isotermas que describen el equilibrio del proceso de biosorción para un único metal.*

| Isoterma              | Modelo matemático no lineal                     | Modelo Linealizado  |
|-----------------------|---|---|
| (3) <b>Langmuir</b>   | $q_e = \frac{q_{e,max} b C_{eq}}{1 + b C_{eq}}$ | $\frac{C_{eq}}{q_e} = \frac{1}{q_{e,max}} C_{eq} + \frac{1}{q_{e,max} b}$ |
| (4) <b>Freundlich</b> | $q_e = a_F C_{eq}^{b_f}$                        | $Log q_e = b_f * Log C_{eq} + Log a_f$                                    |

$q_e$  = Capacidad de adsorción (mg/g)  
 $q_{e,max}$  = Máxima capacidad de adsorción para una monocapa completa mg/g  
 $C_{eq}$  = Concentración final mg/L  
 $b$  = Constante de Langmuir relacionada con la afinidad entre el sorbente y el sorbato L/mg  
 $a_f$  = Constante de equilibrio de Freundlich (mg/g).(L/mg)  
 $b_f$  = Constante relacioanda con la afinidad entre el sorbente y el sorbato

(Martin, 2008, pág. 52)

## 2.3 Marco Legal

### 2.3.1 Ley General de Aguas Nacionales (Ley 620)

Arto.1.- La presente Ley tiene por objeto establecer el marco jurídico institucional para la administración, conservación, desarrollo, uso, aprovechamiento sostenible, equitativo y de preservación en cantidad y calidad de todos los recursos hídricos existentes en el país, sean estos superficiales, subterráneos, residuales y de cualquier otra naturaleza, garantizando a su vez la protección de los demás recursos naturales, los ecosistemas y el ambiente.

### 2.3.2 Regulaciones Ambientales

En Nicaragua, el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) está directamente encargado de la normalización y regulación del uso del recurso hídrico así como de su monitoreo, control de calidad y uso adecuado (MARENA, s.f.).

Además, tiene la misión de controlar la contaminación a través de la dirección de Calidad Ambiental la cual es la responsable de vigilar el cumplimiento del Decreto ejecutivo N°. 21-2017, que es el Reglamento en el que se establecen las “Disposiciones para el vertido de aguas residuales” que en su arto. 47 fija los valores máximos permisibles para de los vertidos líquidos de cromo hacia los cuerpos receptores, los cuales son para Cromo total debe ser menor a  $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$  y para Cromo hexavalente  $0.1 \text{ mg.l}^{-1}$  (Asamblea Nacional, 2017).

## 2.4 Hipótesis

La biomasa (*Musa paradisiaca*), disminuye los niveles de cromo hexavalente presente en las aguas.

## Capítulo III

### 3. Diseño metodológico

#### 3.1 Tipo de Investigación

De acuerdo con la clasificación de Hernández, Fernández y Baptista 2006, el tipo de estudio es experimental. Según el método de estudio es observacional (Piura, 2006). En relación con el enfoque de la investigación, este es cuantitativo. Según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo. Por el período y secuencia del estudio este es transversal, según el análisis y alcance de los resultados el estudio es analítico (Canales, Alvarado y Pineda, 1996).

#### 3.2 Área de estudio

El estudio experimental de este proceso investigativo se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua en el periodo de junio 2019 a junio de 2020.

#### 3.3 Muestra

La muestra química está comprendida de una solución de 100 ml de agua contaminada con una concentración de 20, 40 y 80 mg/L de cromo hexavalente respectivamente. En cuanto a las muestras utilizadas de pH en este estudio se incluyeron niveles de pH 3, 3.5, 5, 7, utilizando 1g de cáscara de plátano por cada 100ml.

De acuerdo a los resultados obtenidos después de las pruebas químicas, para una concentración de 20mg/L de cromo se obtuvieron 72 muestras, para el caso de 40mg/L de cromo donde solo se utilizaron los pH 3 y 3.5 se obtuvieron 36 muestras y a una conc. de 80mg/L también se obtuvieron 36 muestras, teniendo en total 144 datos.

Tabla 2  
*Número de observaciones por cada concentración de cromo hexavalente con respecto al pH y tiempo*

| Conc.<br>mg/L | pH  | Tiempo |       |       |       |        |        | Observaciones | Total |
|---------------|-----|--------|-------|-------|-------|--------|--------|---------------|-------|
|               |     | 0 min  | 2 min | 4 min | 6 min | 10 min | 15 min |               |       |
| 20            | 3   | 3      | 3     | 3     | 3     | 3      | 3      | 18            | 72    |
|               | 3.5 | 3      | 3     | 3     | 3     | 3      | 3      | 18            |       |
|               | 5   | 3      | 3     | 3     | 3     | 3      | 3      | 18            |       |
|               | 7   | 3      | 3     | 3     | 3     | 3      | 3      | 18            |       |
| 40            | 3   | 3      | 3     | 3     | 3     | 3      | 3      | 18            | 36    |
|               | 3.5 | 3      | 3     | 3     | 3     | 3      | 3      | 18            |       |

|           |            |   |   |   |   |   |   |              |            |
|-----------|------------|---|---|---|---|---|---|--------------|------------|
| <b>80</b> | <b>3</b>   | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 18           | 36         |
|           | <b>3.5</b> | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 18           |            |
|           |            |   |   |   |   |   |   | <b>Total</b> | <b>144</b> |

Ya que estos datos se realizaron por triplicado se procedió a calcular las medias de las medias de cada concentración quedando como resultados 48 datos, de los cuales 24 datos para 20mg/L de cromo, 12 para 40 mg/L de cromo y 12 para 80mg/L de cromo respectivamente.

Tabla 3

*Número de datos por cada concentración de cromo con respecto al pH.*

| <b>Conc. mg/L</b> | <b>pH</b>  | <b>Observaciones</b> | <b>Total</b> |
|-------------------|------------|----------------------|--------------|
| <b>20</b>         | <b>3</b>   | 6                    | 24           |
|                   | <b>3.5</b> | 6                    |              |
|                   | <b>5</b>   | 6                    |              |
|                   | <b>7</b>   | 6                    |              |
| <b>40</b>         | <b>3</b>   | 6                    | 12           |
|                   | <b>3.5</b> | 6                    |              |
| <b>80</b>         | <b>3</b>   | 6                    | 12           |
|                   | <b>3.5</b> | 6                    |              |
| <b>Total</b>      |            |                      | <b>48</b>    |

### 3.4 Variables y Operacionalización de las variables

#### 3.4.1 Variables

##### a) Variable independiente

- Nivel de pH
- Tiempo de contacto
- Concentraciones de cromo

##### b) Variable dependiente

- Remoción de cromo

### 3.4.2 Operacionalización de las variables

Tabla 4.

*Matriz de Operacionalización de variables.*

| Objetivo 1. • Identificar el nivel de pH, tiempo de contacto y concentración de cromo que mayor influye en la remoción de cromo. |                                      |                       |                                   |                                   |
|--|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Variables Conceptual   | Subvariables                         | Variables Operativas  | Escala de Medición                | Técnica de Recolección            |
| Nivel de pH, Tiempo de contacto y Concentración de cromo   | Nivel de pH                          | pH 3                  | Nominal                           | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | pH 3.1                | Nominal                           | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | pH 5                  | Nominal                           | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | pH 7                  | Nominal                           | Informe Análisis de Concentración |
|  | Tiempo de contacto                   | min 0                 | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | min 2                 | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | min 4                 | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | min 6                 | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | min 10                | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | min 15                | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  | Concentración de cromo               | 20                    | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | 40                    | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
| 80   |                                      | Numérico              | Informe Análisis de Concentración |                                   |
| Objetivo 2. • Determinar el porcentaje de remoción y la capacidad de adsorción de la biomasa.                                    |                                      |                       |                                   |                                   |
| Variables Conceptual   | Subvariables                         | Variables Operativas  | Escala de Medición                | Técnica de Recolección            |
| % de remoción y la capacidad de adsorción de la biomasa  | % de remoción                        | Concentración Inicial | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | Concentración Final   | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | Volumen               | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | Masa                  | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  | Capacidad de adsorción de la biomasa | Volumen               | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
|  |                                      | Masa                  | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |
| Objetivos 3. • Desarrollar un diseño experimental para el estudio en la remoción de cromo hexavalente.                           |                                      |                       |                                   |                                   |
| Variables Conceptual   | Subvariables                         | Variables Operativas  | Escala de Medición                | Técnica de Recolección            |
| Remoción de cromo  | Remoción de cromo                    |                       | Numérico                          | Informe Análisis de Concentración |



### 3.5 Técnica e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos son las distintas formas de obtener la información; en este estudio se utilizó la técnica, informe de análisis de concentración, que es una técnica que consiste en obtener información acerca de las variables que se investiga. Dentro de esta, el instrumento que se utilizó es el espectrofotómetro UV-vis marca Varian Cary 50 para la recolección de la información.

### 3.6 Procedimiento para la recolección de datos

Preparación de la cáscara de plátano

La cáscara de plátano fue obtenida del comedor Central de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua) y del comedor del Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN-Managua) el cual fueron recolectadas en sacos y llevadas al Laboratorio de Biotecnología donde fueron limpiadas con agua desionizada y cortadas en partes más pequeñas. Las cáscaras fueron puestas a secar a temperatura ambiente por 3 días, luego introducidas al horno marca Thermo Scientific a 60°C por 2 horas y finalmente trituradas con un molino manual casero, marca Victor para obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 600  $\mu\text{m}$ . La harina de cáscara de plátano fue almacenada en bolsas Ziploc dentro de un frasco hermético para su posterior uso (López, 2019)

#### **Fase experimental**

Los ensayos experimentales se realizaron a escala de laboratorio por triplicado. En la primera etapa, se trabajó con pH de 3, 3.5, 5 y 7 con un 1 g de cáscara de plátano por cada 100 ml agua contaminada a una concentración de 20  $\text{mg.l}^{-1}$  de cromo hexavalente durante 15 minutos en agitación constante de aproximadamente 600 rpm en un plato de agitación marca Cimarec. En la segunda etapa, se trabajó con concentraciones de 20, 40, y 80  $\text{mg.l}^{-1}$  de cromo hexavalente a pH 3 y 3.5 durante 15 minutos en agitación constante. En cada etapa, se tomaron alícuotas al 0, 2, 4, 6, 10 y 15 minutos de contacto con la cáscara de plátano, la cual serán pasadas a través de un filtro Whatman 110 mm.

La determinación del cromo hexavalente se realizó en un espectrofotómetro UV-vis marca Varian Cary 50 a una absorbancia de 540 nm, mediante el método colorimétrico de la 1,5 difenilcarbazida descrito en el 3500-Cr B Standard Methods (López, 2019).

### 3.7 Plan de análisis de estadístico de los datos

A partir de los datos obtenidos mediante el informe de análisis de concentración se procedió a crear la base de datos utilizando el software estadístico IBM SPSS Statistics (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales), v 23 para Windows, Microsoft Office 365 Excel, serán realizados los análisis estadísticos pertinentes.

De acuerdo con la naturaleza de cada una de las variables (cuantitativas o cualitativas) y guiados por el compromiso definido en cada uno de los objetivos específicos, se realizó los análisis de los supuestos correspondientes, a la variable concentración de cromo, para probar estos supuestos se tiene, prueba de Kolmogorov-Smirnov para probar normalidad de los datos, prueba de Levene para probar la igualdad de varianzas, prueba de Chi cuadrado para probar la independencia de los datos. Una vez se verifiquen los supuestos se procedió a realizar transformaciones, además se aplicaran pruebas de estadística no paramétricas como: (Friedman) a fin de darle solución a la problemática de esta investigación. Luego se determinó el porcentaje de remoción y la capacidad de adsorción (Ecuaciones (1) y (2)). Las isothermas de adsorción para la remoción de cromo hexavalente fueron determinadas con los pH óptimos y los datos fueron ajustados por medio de los modelos de Langmuir (Ecuación (3)) y Freundlich (Ecuación (4)).

## Capítulo IV

### 4. Análisis y discusión de resultados

Para determinar las condiciones experimentales para la remoción de cromo hexavalente utilizando la biomasa, se evaluaron tres variables: pH (3, 3.5, 5 y 7), tiempo de contacto de 0 a 15 min y una concentración inicial de 20 mg/L de cromo hexavalente con 1g de biomasa.

En la tabla 5 se muestra el promedio de la concentración de cromo hexavalente (mg/l) que quedo luego de ser removido en cada pH analizado. Los resultados obtenidos muestran que

Tabla 5

*Concentraciones finales promedio de la remoción de 20mg/l de Cr<sup>+6</sup> en los diferentes pH del agua contaminada*

| pH     | Medias |
|--------|--------|
| pH 3   | 0.10   |
| pH 3.5 | 0.15   |
| pH 5   | 3.37   |
| pH 7   | 5.60   |

a medida que disminuye el pH, aumenta la capacidad de remoción de la cáscara de plátano, observándose que el pH 3 es el que obtuvo una mayor remoción seguido del pH 3.5 para remover los 20 mg/l de Cr<sup>+6</sup> del agua contaminada al ser tratada con la biomasa. Para el pH 5 y 7 la remoción fue menor, no obstante, aún sigue siendo

satisfactoria con respecto a la concentración inicial.

En la figura 2, se muestra el gráfico de medias donde se puede tener una mejor visualización de la tabla anterior.

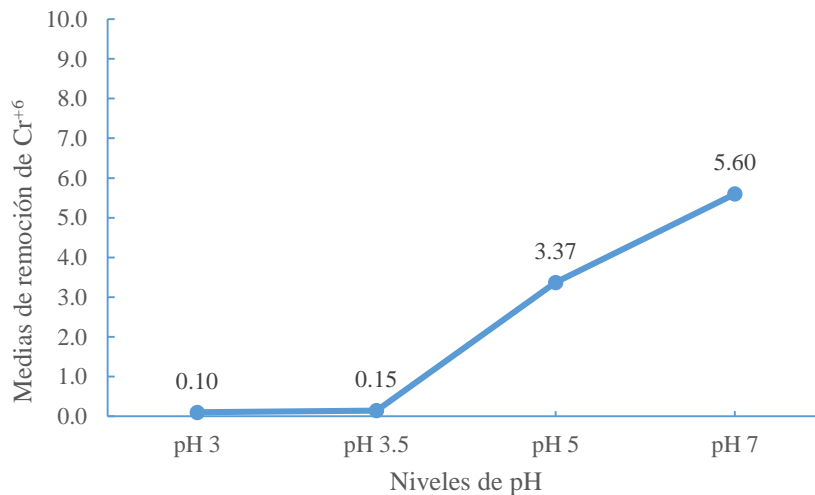


Figura 2. Concentración final promedio de la remoción de 20mg/L de Cr<sup>+6</sup> en los diferentes pH

## PRUEBAS PARAMÉTRICAS

### Validación de los supuestos del modelo para la variable pH

- Supuesto de Normalidad

Con el objetivo de determinar la normalidad de los resultados obtenidos con respecto a la eficiencia de la cáscara de plátano para remover  $\text{Cr}^{+6}$ , se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significancia de 0.05, probándose la siguiente hipótesis: **H<sub>0</sub>** : Los datos de la remoción de cromo hexavalente en cada pH representan una distribución normal.

Tabla 6

*Prueba de Normalidad para la variable pH*

| Niveles de pH | Kolmogorov-Smirnov |    |         |
|---------------|--------------------|----|---------|
|               | Estadístico        | gl | valor-p |
| pH 3          | 0.492              | 6  | 0.000   |
| pH 3.5        | 0.491              | 6  | 0.000   |
| pH 5          | 0.479              | 6  | 0.000   |
| pH 7          | 0.477              | 6  | 0.000   |

En la tabla 6, muestra los resultados obtenidos por la prueba donde los valores-p son menores que el nivel de significancia, por lo tanto no se acepta la hipótesis nula y se concluye con un 95% de confiabilidad que los datos de la remoción de cromo hexavalente en cada pH no presentan una distribución normal.

- Supuesto Homogeneidad de varianza

Para el supuesto de igualdad de varianza se usa el estadístico de Levene comprobando la siguiente hipótesis: **H<sub>0</sub>**: Los datos de la remoción de cromo según la variable pH presentan varianzas homogéneas.

Tabla 7

*Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable pH*

| Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | valor-p |
|-----------------------|-----|-----|---------|
| 0.141                 | 3   | 20  | 0.934   |

En la tabla 7, se observa que de acuerdo con la prueba del estadístico de Levene, los resultados muestran que el valor-p es mayor al nivel de significancia (0.05), por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se concluye con un 95% de confiabilidad que los datos de la remoción de cromo según la variable pH presentan varianzas homogéneas.

- Supuesto de independencia

Para el supuesto de independencia se utiliza la prueba de Chi-Cuadrado comprobando la siguiente hipótesis: **H<sub>0</sub>**: Los niveles de pH son independientes en cuanto a la remoción de cromo hexavalente (no están relacionados).

Tabla 8

*Prueba de Chi-Cuadrado para la independencia de la variable pH*

| Chi-Cuadrado de Pearson | gl | valor-p |
|-------------------------|----|---------|
| 60.000 <sup>a</sup>     | 33 | 0.003   |

a. 48 casillas (100.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 0.25.

En la tabla 8, se muestra el resultado de la prueba de Chi-Cuadrado, obteniéndose que el valor-p es menor a 0,05, y por lo tanto no se acepta la hipótesis nula y se concluye con un 95% de confiabilidad que los niveles

de pH no son independientes en cuanto a la remoción de cromo hexavalente, es decir que están relacionados.

### **Validación de los supuestos del modelo para la variable Tiempo de contacto.**

- Supuesto de Normalidad

Para el supuesto de normalidad también se usa la prueba de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la siguiente hipótesis: **H<sub>0</sub>**: Los datos de la remoción de cromo hexavalente en los distintos tiempos presentan una distribución normal.

Tabla 9

*Prueba de Normalidad para la variable Tiempo de contacto*

| Tiempo de contacto | Kolmogorov-Smirnov |    |         |
|--------------------|--------------------|----|---------|
|                    | Estadístico        | gl | valor-p |
| 2 min              | 0.861              | 4  | 0.263   |
| 4 min              | 0.871              | 4  | 0.302   |
| 6 min              | 0.860              | 4  | 0.262   |
| 10 min             | 0.862              | 4  | 0.268   |
| 15 min             | 0.867              | 4  | 0.287   |

En la tabla 9, se muestran los valores obtenidos en la prueba Kolmogorov-Smirnov indicando que los valores-p son mayor a 0,05, por lo tanto se acepta la hipótesis nula y concluimos con un 95% de confiabilidad que los datos de la remoción de cromo hexavalente en los distintos tiempos presentan una distribución normal.

- Supuesto Homogeneidad de varianza

Para el supuesto de igualdad de varianza se usa el estadístico de Levene comprobando la siguiente hipótesis: **H<sub>0</sub>**: Los datos de la remoción de cromo según la variable Tiempo de contacto presentan varianzas homogéneas.

Tabla 10

*Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable tiempo de contacto*

| Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | valor-p |
|-----------------------|-----|-----|---------|
| 4.555                 | 5   | 18  | 0.007   |

En la tabla 10, se observa que para la prueba de homogeneidad de varianza el valor-p es mayor a 0,05, y por lo tanto no se acepta la hipótesis nula y se concluye con un 95% de confiabilidad que los datos de la remoción de cromo

según la variable Tiempo de contacto no presentan varianzas homogéneas.

- Supuesto de independencia

Para el supuesto de independencia se utiliza la prueba de Chi-Cuadrado comprobando la siguiente hipótesis: **H<sub>0</sub>**: Los tiempos de contacto son independientes en cuanto a la remoción de cromo hexavalente (no están relacionados).

Tabla 11

*Prueba de Chi-Cuadrado para la independencia de la variable tiempo de contacto*

| Chi-Cuadrado de Pearson | gl | valor-p |
|-------------------------|----|---------|
| 66.000 <sup>a</sup>     | 55 | 0.147   |

a. 72 casillas (100.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 0.17.

En la tabla 11 se muestra, la prueba de Chi-Cuadrado, obteniendo un valor-p mayor a 0,05, por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se concluye con un 95% de confiabilidad que los tiempos de contacto son

independientes en cuanto a la remoción de cromo hexavalente, es decir que no están relacionados.

Puesto que en las dos variables no se cumplen con los supuestos requeridos para el análisis de varianza en un diseño de experimentos, se procedió a realizar el análisis con pruebas no paramétricas, aplicando la prueba de Friedman (también conocida como **ANOVA de Friedman**) que es una alternativa no paramétrica al modelo ANOVA de una vía con medidas repetidas para comparar más de dos grupos dependientes.

## PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS

### a) Prueba de Friedman para el factor pH

Con el objetivo de determinar si hay diferencia en la remoción de  $\text{Cr}^{+6}$ , en los distintos pH se usó la prueba de Friedman con un nivel de significancia de 0.05, probando la siguiente hipótesis: **H<sub>0</sub>**: La mediana de remoción de cromo hexavalente es la misma entre los pH.

Tabla 12

*Prueba de Friedman para muestras relacionadas entre el pH*

| Estadístico | gl | valor-p |
|-------------|----|---------|
| 15          | 3  | 0.002   |

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es .05.

En la tabla 12 se muestra que el valor-p es menor a 0.05, y por lo tanto no se acepta la hipótesis nula y se afirma con un 95% de confiabilidad que la mediana de remoción de cromo hexavalente no es la misma en al menos uno de los niveles de pH.

Posteriormente para saber sobre que grupos se han encontrado diferencias hacemos un análisis post-hoc, en este caso a partir del test de Tukey dadas por la misma prueba Friedman para identificar cuáles de los niveles de pH son diferentes o no en cuanto a la remoción de cromo hexavalente.

Tabla 13

*Análisis Post-hoc; Test de Tukey*

| Niveles de pH | Subconjunto |       |       |
|---------------|-------------|-------|-------|
|               | 1           | 2     | 3     |
| pH 3          | 1.25        |       |       |
| pH 3.5        | 2.083       | 2.083 |       |
| pH 5          |             | 2.917 | 2.917 |
| pH 7          |             |       | 3.75  |

Los subconjuntos homogéneos se basan en significaciones asintóticas. El nivel de significación es .05.

1Cada casilla muestra el rango promedio de la muestra.

En la tabla 13 se muestran los rangos promedios de la muestra en el cual se da la formación de tres subconjuntos, donde el primer subconjunto nos indica que está formado por pH 3 y pH 3.5, demostrando que no se existe diferencia significativa en la remoción de cromo entre estos dos niveles de pH, siendo el pH 3 el que tiene una mejor remoción. En el segundo subconjunto está formado por los pH 3.5 y pH 5 donde no hay diferencia entre ellos y por último el pH 5 y pH 7 conforman el subconjunto 3 indicando que no hay diferencia

significativa entre ellos. Sin embargo, es importante resaltar que los cuatro valores de tiene una muy buena remoción.

a) Prueba de Friedman para el factor Tiempo de contacto.

En este caso para determinar si hay diferencia en la remoción de  $\text{Cr}^{+6}$  respecto al tiempo se prueba la hipótesis siguiente: **H<sub>0</sub>**: La mediana de remoción de cromo hexavalente es la misma entre los tiempos de contactos.

Para esta prueba se omite el tiempo inicial cero, puesto que este es un tiempo neutro, donde

Tabla 14

*Prueba de Friedman para muestras relacionadas entre el tiempo de contacto*

| Estadístico | gl | valor-p |
|-------------|----|---------|
| 1.283       | 4  | 0.864   |

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es 0.05.

la biomasa apenas está en contacto con el cromo y no ha surgido ningún efecto.

En la tabla 14 se muestra que el valor-p es mayor a 0.05, por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se afirma con un 95% de confiabilidad que la mediana de remoción de cromo hexavalente es

la misma entre los tiempos de contactos, indicando que la biomasa actúa efectivamente a los dos minutos de estar en contacto con el agua contaminada con cromo pasando de los 20mg/L a 2.2mg/L de  $\text{Cr}^{+6}$  siendo constante a través del tiempo a como se puede apreciar en el gráfico de la figura 3.

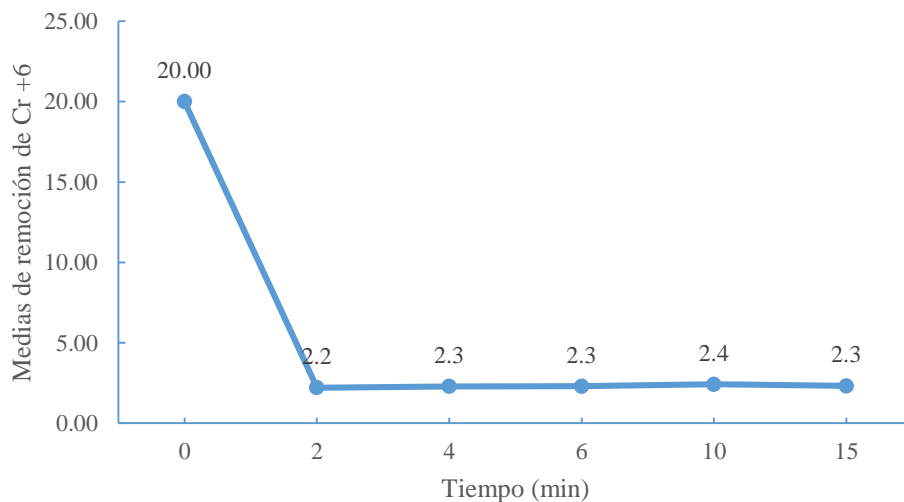


Figura 3. Concentración final promedio de la remoción de  $\text{Cr}^{+6}$  con respecto al Tiempo de contacto.



En el gráfico de la figura 4, se muestran cuatro líneas que indican los cuatro pH a través del tiempo, y se observa que las líneas no se intersectan entre ellas, por lo tanto, no hay interacción entre los factores. También se aprecia que los pH 3 y 3.5 presentan la mayor remoción.

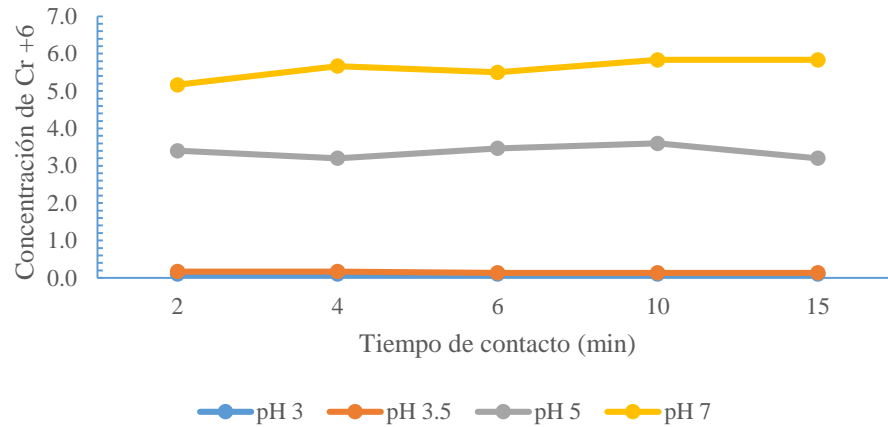


Figura 4. Influencia del pH en la remoción de cromo respecto al tiempo

### **PORCENTAJE DE REMOCIÓN**

En el gráfico de la figura 5 se muestra el porcentaje de remoción, donde se ve que el pH influye en gran manera en el porcentaje removido de Cr<sup>+6</sup>, el porcentaje de remoción aumenta al disminuir el pH, presentando el pH 3 el que tiene mejor remoción con un 99.50% seguido del pH 3.5 con un 99.27%, y el que tiene menor porcentaje de remoción el pH 7 con un 72.00% puesto que al aumentar el nivel de pH el grado de protonación de la superficie disminuye y en consecuencia también se reduce el porcentaje de adsorción del contaminante (González y Gutiérrez, 2014).

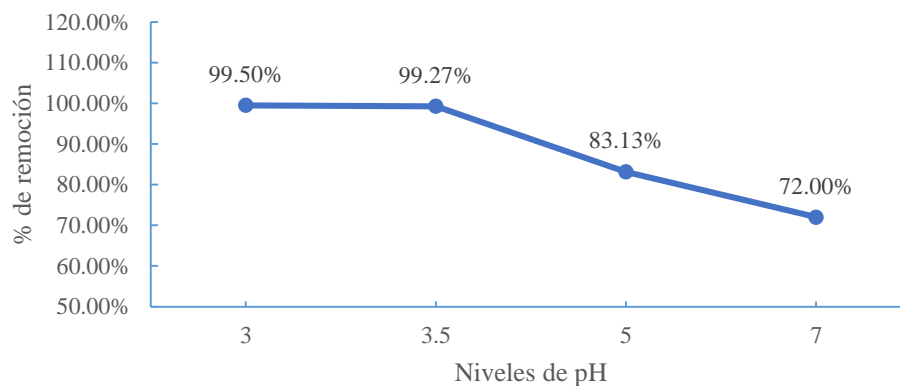


Figura 5. Porcentaje de remoción de Cr<sup>+6</sup> de acuerdo al nivel de pH

## CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LA BIOMASA

La capacidad de adsorción de la biomasa también puede estar relacionada con el pH que tenga el agua contaminada con cromo hexavalente. En la figura 6 muestra que al disminuir el pH incrementa la cantidad de iones adsorbidos por la cáscara de plátano lo que induce una fuerte atracción por los iones de cromo de la solución cargados negativamente, no obstante, al aumentar el pH, se incrementa las concentraciones de los iones  $\text{OH}^-$  induciendo cambios en la superficie del adsorbente, impidiendo la bioadsorción de los iones de cromo cargados negativamente. (López Hernández, 2019) por ende el pH 5 y 7 no se estudiaran.

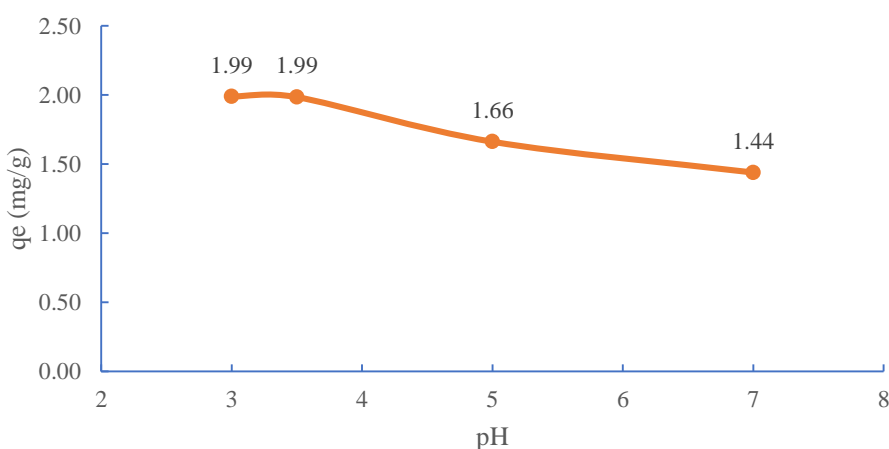


Figura 6. Cantidad de iones absorbidos en la cáscara de plátano ( $q_e$ ) en cuanto al pH

Una vez obtenido el pH óptimo para la remoción de  $\text{Cr}^{+6}$  (pH 3 y pH 3.5) y saber que la biomasa actúa a los dos minutos de estar en contacto con el metal, se procedió a subir las concentraciones de cromo y realizar las pruebas bajo las mismas condiciones, aumentando el cromo a una concentración de 40mg/L y 80 mg/L.

Tabla 15

*Concentración final promedio en la remoción de 40 y 80 mg/l de  $\text{Cr}^{+6}$*

| Nivel de pH   | Conc. De $\text{Cr}^{+6}$ |        |
|---------------|---------------------------|--------|
|               | 40mg/L                    | 80mg/L |
| <b>pH 3</b>   | 0.32                      | 2.1680 |
| <b>pH 3.5</b> | 0.61                      | 6.5660 |

En la tabla 15 se muestran los promedio de las concentraciones finales de cromo hexavalente (mg/l), removido por los dos pH. Donde se puede ver que el pH3 es el que en promedio tiene una mejor remoción de cromo a medida que se aumentan las concentraciones a 40 y 80 mg/L.

Con respecto al pH 3.5 aún sigue siendo satisfactoria con respecto a la concentración inicial de 80mg/L de Cr<sup>+6</sup>.

Al aumentar las concentraciones de cromo hexavalente se desea determinar estadísticamente si hay diferencia significativa en cuanto a la remoción de Cr<sup>+6</sup> con respecto a estos dos niveles de pH, por lo tanto se realiza la prueba de muestras emparejadas probándose la siguiente hipótesis: Ho: La remoción de cromo hexavalente es la misma al utilizar los pH 3 y 3.5 a una concentración de 40mg/L y 80mg/L de Cr<sup>+6</sup>.

Tabla 16

*Prueba de muestras emparejadas*

| Conc. de Cr <sup>+6</sup> | pH                 | t       | gl | Valor-p |
|---------------------------|--------------------|---------|----|---------|
| <b>40mg/L</b>             | <b>pH3 - pH3.5</b> | -6.692  | 4  | 0.003   |
| <b>80mg/L</b>             | <b>pH3 - pH3.5</b> | -19.243 | 4  | 0.000   |

En la tabla 16, los resultados muestran que los valores-p son menor que 0.05, por lo tanto no se acepta la hipótesis nula y se concluye con un 95% de confiabilidad que los pH3 y pH3.5

son diferentes en cuanto a la remoción de cromo hexavalente a medida que se aumentan las concentraciones a 40 y 80 mg/L.

En la figura 7 y figura 8 se muestran los gráficos de la remoción en los dos pH a medida que se aumentan las concentraciones.

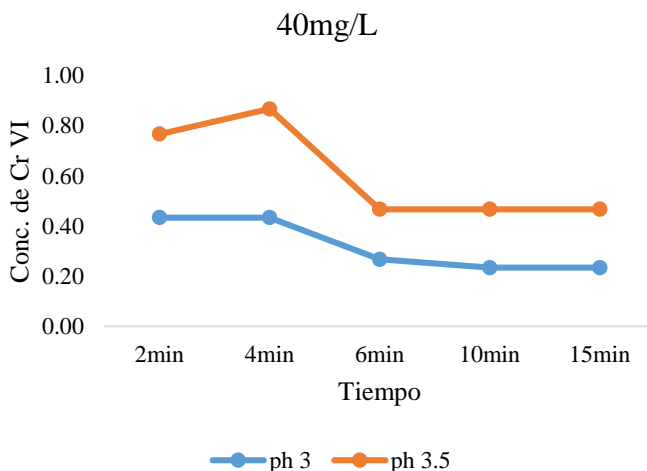


Figura 7. Remoción de 40mg/l de Cr<sup>+6</sup> con respecto al tiempo

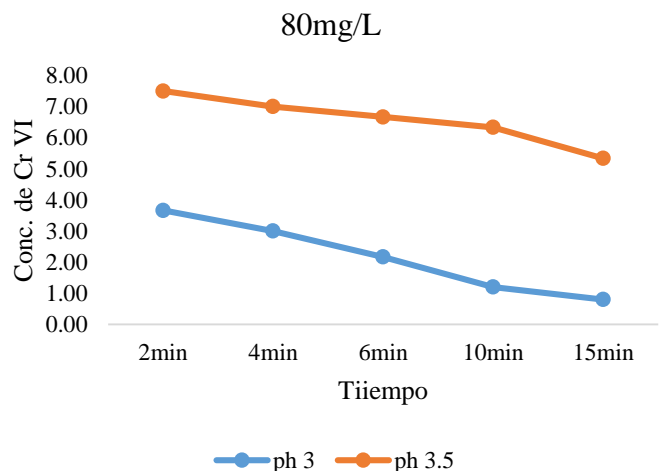


Figura 8. Remoción de 80mg/l de Cr<sup>+6</sup> con respecto al tiempo

En cuanto al porcentaje de remoción, en el gráfico de la figura 9 se muestra el comportamiento que tiene la remoción a medida que se incrementan las concentraciones de cromo VI en la solución acuosa con los dos niveles de pH, donde se puede ver que el porcentaje de remoción disminuye, ya que los sitios activos de adsorción se van saturando con el anión a medida que se aumentan la concentraciones, indicando que el pH 3 es el que tiene un mayor porcentaje de remoción de cromo.

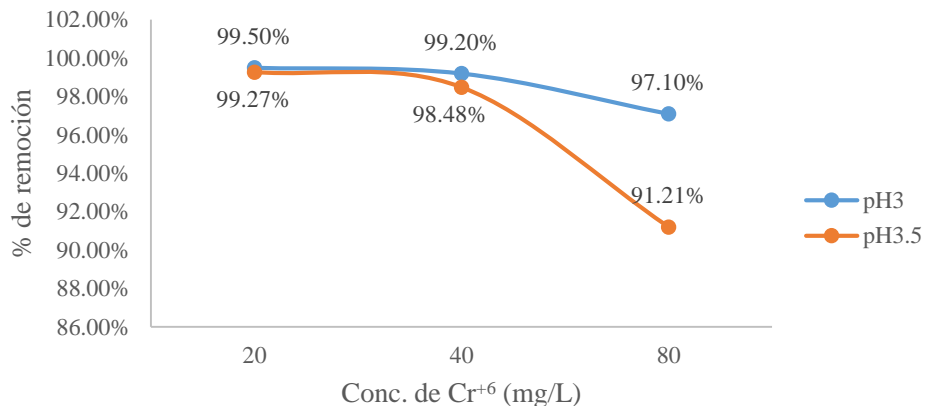


Figura 9. Porcentajes de remoción con las diferentes concentraciones de Cr<sup>+6</sup> con respecto a los pH

Analizando la capacidad de adsorción de la biomasa Figura 10, se puede observar que a medida que se aumentan las concentraciones de cromo, con los niveles de pH 3 y 3.5, hay una mayor capacidad de adsorción, siendo aún mejor a un pH 3.

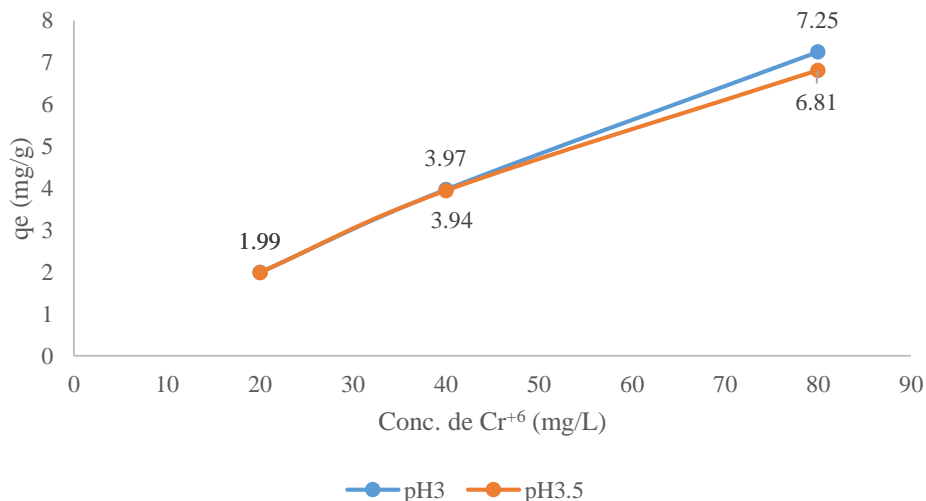


Figura 10. Capacidad de adsorción de la biomasa con diferentes concentraciones de Cr<sup>+6</sup> con respecto a los pH

## ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Las isotermas de adsorción para la remoción de cromo hexavalente fueron determinadas con los pH óptimos. En los siguientes gráficos se presentan las ecuaciones linealizadas de las isotermas de adsorción, que describen las relaciones de equilibrio entre el adsorbente y el adsorbato. Estos gráficos son necesario para obtener los valores de los parámetros tales como la máxima capacidad de adsorción y el coeficiente de correlación.

En la figura 11 y figura 12 se presentan la isoterma de Langmuir linealizada con los pH 3 y 3.5. Por medio de la gráfica de  $C_{eq}/q_e$  versus  $C_e$  se obtienen del intercepto y la pendiente, el término (b) la constante de equilibrio de Langmuir y el término ( $q_{max}$ ) que representa la cantidad máxima que puede ser adsorbida.

Su modelo tiene un número específico donde se puede adsorber una molécula, cuando todos los sitios están ocupados no es posible que continúe la adsorción, es decir cuando el sistema se satura (adsorción en monocapa) (Ortega y Núñez, 2012).

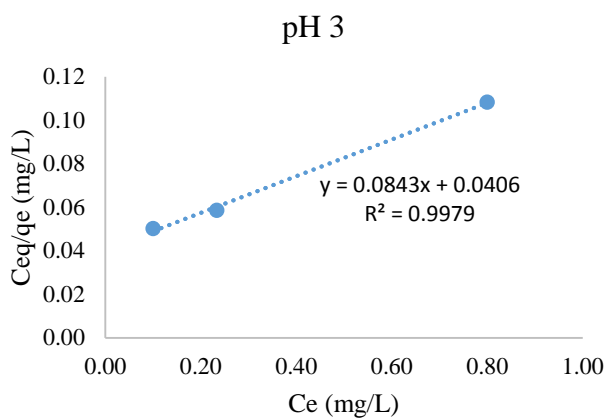


Figura 11. Ecuación linealizada de Langmuir  $C_{eq}$  Vrs  $C_e$

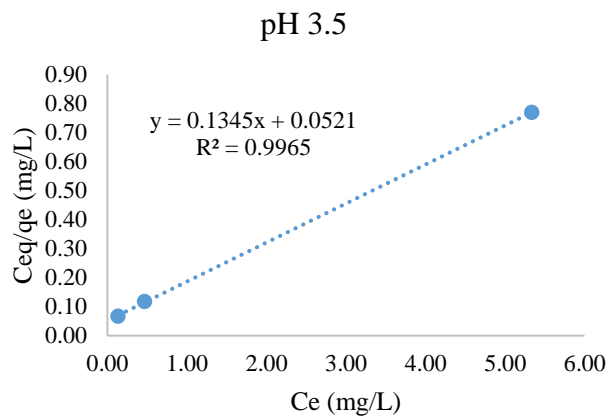


Figura 12. Ecuación linealizada de Langmuir  $C_{eq}$  Vrs  $C_e$

En la figura 13 y figura 14 se presentan la isoterma de Freundlich linealizada con los pH3 y 3.5. Graficando los logaritmos de capacidad de adsorción ( $\text{Log}q_e$ ) versus la concentración en equilibrio ( $\text{log}C_e$ ), se obtiene (b) la exponente de Freundlich y ( $a_F$ ) la constante de Freundlich En esta isoterma no hay un recubrimiento límite, y describe un proceso de adsorción multimolecular (Romero y Sánchez, 2018).

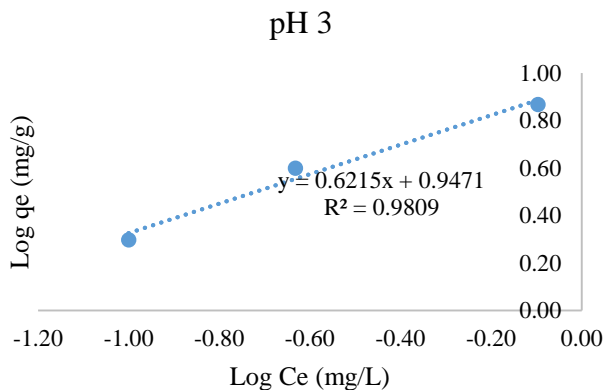


Figura 13. Ecuación linealizada de Freundlich

Log qe Vrs Log Ce

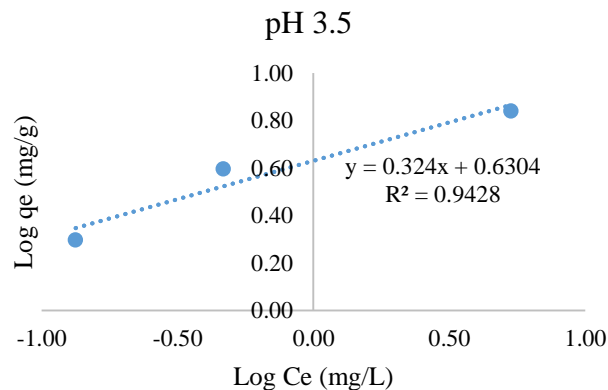


Figura 14. Ecuación linealizada de Freundlich

Log qe Vrs Log Ce

En la tabla 17 se presentan los valores de los principales parámetros de los isothermas de adsorción, obtenidos una vez realizados los gráficos linealizados, en este caso los valores de máxima capacidad de adsorción ( $a_f$ ) y ( $q_e, \text{máx}$ ) respectivamente para cada modelo de adsorción, constantes y los coeficiente de correlación ( $R^2$ ).

Tabla 17

Valores de la Isotermas de Freundlich y Langmuir para la adsorción de  $Cr^{+6}$  con cáscara de plátano.

| pH  | Isotherma Langmuir    |       |        | Isotherma Freundlich |       |        |
|-----|-----------------------|-------|--------|----------------------|-------|--------|
|     | $q_{\text{max}}$ mg/g | b     | $R^2$  | $a_f$ mg/g           | B     | $R^2$  |
| 3   | 11.862                | 2.076 | 0.9979 | 8.878                | 0.621 | 0.9809 |
| 3.5 | 7.435                 | 2.582 | 0.9965 | 4.303                | 0.324 | 0.9428 |

Los resultados muestran que a partir del ajuste lineal de las isothermas de Freundlich y Langmuir, el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) fue mayor en todos los casos, por lo que los datos se ajustan muy bien para cada modelo, también se encontró que en los dos modelos se ajustan mejor para un nivel de pH 3. Para el modelo de Langmuir se obtuvo un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0.9979, una capacidad máxima de adsorción ( $q_e, \text{máx}$ ) de 11.862 mg/g, describiendo un proceso de adsorción en monocapas.

Una característica esencial de la isoterma de Langmuir se encuentra en la constante adimensional denominada factor de separación o parámetro de equilibrio,  $R_L$ . Este valor indica que la forma de las isotermas es: favorable si  $0 < R_L < 1$ , desfavorable si  $R_L > 1$ , irreversible  $R_L = 0$  o lineal si  $R_L = 1$  (Ortega y Núñez, 2012).

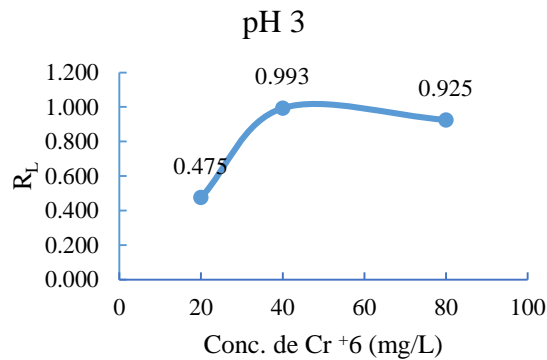


Figura 15. Factor de separación de la biomasa

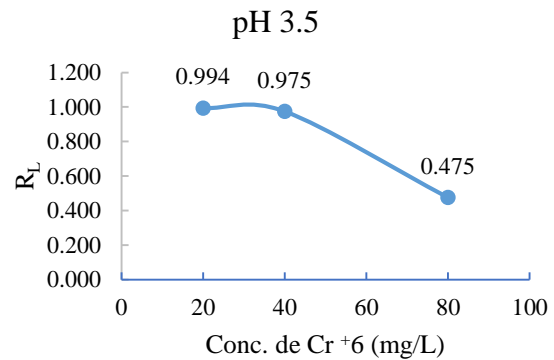


Figura 16. Factor de separación de la biomasa

En el gráfico de las figuras 15 se puede observar los valores del factor de separación con un nivel de pH 3, el cual refleja que a una concentración de 20mg/L de  $Cr^{+6}$  sus valores son favorables puesto que oscilan entre  $0 < R_L < 1$ . Este a medida que se aumentan las concentraciones de cromo se vuelve más alto su valor, acercándose a uno siendo un parámetro de equilibrio lineal cuando este toma el valor de 1.

En el gráfico de la figura 16, se puede observar los valores del factor de separación con un nivel de pH 3.5, el cual refleja que también sus valores son favorables, pero este a medida que se aumenta la concentración de cromo el valor del factor de separación decrece, aproximándose a 0, y por ende acercándose a un estado irreversible.

## Capítulo V

### 5.1 Conclusiones

- ✓ De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se comprobó que la cascara de plátano es eficaz para la remoción en aguas contaminadas con cromo hexavalente, puesto bajo ciertas condiciones disminuye los niveles de cromo presentes.
- ✓ En cuanto al nivel de pH se demostró que este es un factor que influye considerablemente en la remoción de cromo hexavalente, indicando que a menor pH mayor remoción, incluso a medida que se aumentaban la concentración de cromo. Con respecto al tiempo se comprobó que la biomasa logra remover efectivamente la mayor concentración de cromo a los 2 min de estar en contacto con él. Con respecto a la concentración de cromo se pudo observar que la biomasa es efectiva aun a concentraciones altas.
- ✓ En términos de porcentaje de remoción de cromo hexavalente utilizando la cascara de plátano se obtuvo que el mayor porcentaje de remoción alcanzado fue con el nivel de pH 3. La capacidad de adsorción de la biomasa también se ve influenciada con el pH que tenga el agua contaminada con cromo. Con un pH3 hay una mayor cantidad de iones adsorbidos por la cáscara de plátano, aun cuando las concentraciones de cromo se aumentan existe una mayor capacidad de adsorción, disminuyendo esta capacidad de adsorción con un nivel de pH 7.
- ✓ En las isotermas de adsorción se encontró que en los dos modelos Freundlich y Langmuir se obtuvieron mejor para un nivel de pH 3, y el modelo que mejor se ajusta a los datos es la isoterma de Langmuir indicando que el proceso de adsorción se da en monocapas, donde se obtuvo la capacidad máxima de adsorción y el coeficiente de correlación más alto. En cuanto al factor de separación se tiene que con un pH 3 la adsorción de cromo es favorable, aun cuando se aumentan las concentraciones de



cromo. Con un pH 3.5 también sus valores son favorables, pero cuando se aumentan las concentraciones de cromo va acercándose a un estado irreversible.

## 5.2 Recomendaciones

- ✓ Mediante la elaboración y resultados obtenidos en esta investigación se recomienda seguir investigando el proceso de remoción de cromo hexavalente.
- ✓ Puesto que a menor nivel de pH hay una mayor remoción, se recomienda realizar el estudio a nivel de pH menor a 3 con mayor tiempo de contacto para ver si al aumentar el tiempo hay fluctuaciones o se sigue manteniendo constante en el proceso de remoción.
- ✓ En cuanto a la biomasa, trabajar con una cantidad mayor a 1 g para ver si la cantidad del bioadsorbente influye en la remoción del cromo incluso a medida que se aumente las concentraciones.
- ✓ Evaluar el proceso con muestras que procedan de aguas residuales con altos contenidos de cromo, a fin de comprobar la efectividad de la biomasa en aguas residuales aun con presencia de otros metales.
- ✓ Realizar el estudio con otros metales pesados para ver si hay efectividad en su remoción.

## Bibliografía

- Albert, L. A. (1997). *Introducción a la toxicología ambiental*. México.
- Albert, L. A. (2017). Cromo. En A. X. Sociedad Mexicana de Toxicología (Ed.), *Introducción a la toxicología ambiental* (págs. 227 – 246). Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a14.pdf>
- Arias Patiño, L. C. (2019). *Evaluación de la capacidad de remoción de CR (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Asamblea Nacional. (30 de Noviembre de 2017). Decreto Ejecutivo N°. 21-2017. *LA GACETA-DIARIO OFICIAL*, pág. 48.
- ATSDR. (6 de Mayo de 2016). *Agencias para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs7.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html)
- Baca Silva, A. O. (2016). “*Efecto del polvo de cáscara de Musa paradisíaca en la remoción de cromo total de las aguas residuales de INVERSIONES HAROD S.A.C., Trujillo*”. Universidad Cesar Vallejos, Trujillo, Perú.
- Benavente Silva, M. (Diciembre de 2018). Aplicación de quitosano modificado en el tratamiento de aguas residuales de tenerías. *Nexo Revista Científica*, 31(02), 104-119.
- Castro, B. P. (2015). *Uso de la cáscara de banano (Musa paradisíaca) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas*. Tesis de grado, Universidad de Guayaquil.
- Conde Cruz, L., Dávila Ruíz, P., & Rojano Huerta, M. (s.f.). Cáscara de plátano como adsorbente de metales pesados. *3er Congreso Nacional de la Investigación en Cambio Climático*.
- Espinoza Narváez, y Mera Córdoba. (2015). *Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño*. Tesis Magister , Universidad de Manizales, Colombia.
- González Moreno y Gutiérrez Peña. (2014). *Estudio de adsorción de cromo hexavalente en bentonita termoactivada en lechos agitados*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Nicaragua, UNI, Managua.

- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos* (3ra ed.). México: McGraw Hill/InteramericanaEditores, S.A de C.V.
- Lenntech. (2013). Cromo Water Treatment Solutions. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>
- López Bautista, E. A. (2008). *Diseño de análisis de experimentos fundamentos y aplicaciones en Agronomía*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- López Hernández, M. (2019). Remoción de cromo hexavalente en aguas contaminadas utilizando cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) como adsorbente. *Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua* .
- MARENA. (s.f.). *Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales* . Obtenido de <http://www.marena.gob.ni>
- Marques De Cantú, M. J. (1990). *Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico-Biológicas*. México: McGraw-Hill Interamericana de México.
- Martín, M. L. (2008). *Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados*. Editorial de la Universidad de Granada.
- Mayta, R. (2017). Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Rev Soc Quím Perú*, 331-340.
- MIFIC, M. d. (Septiembre de 2007). Ficha del Plátano.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Analisis de Experimentos*. México: Limusa , S.A de CV. Grupo Noriega.
- Rios Elizalde, P. E. (2014). *Cinetica de bioadsorción de arsenico utilizando cáscara de banano maduro en polvo*. Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- Romero Sevilla y Sánchez Cuadra. (2018). *Estudio Comparativo de la Aplicación de Quitosano Modificado con Cobre y con Cinc, para la Adsorción de Cromo Hexavalente en el Tratamiento de Aguas Residuales de Tenerías*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, UNI, Managua.

# **Anexos**

## Anexo 1

Tabla 18.  
*Porcentajes de remoción de 20mg/L de Cr+6*

| <i>Tiempo de contacto (min)</i> | <i>Nivel de pH</i> |        |        |        |
|---------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|
|                                 | pH 3               | pH 3.5 | pH 5   | pH 7   |
| 2                               | 99.50%             | 99.20% | 83.00% | 74.20% |
| 4                               | 99.50%             | 99.20% | 84.00% | 71.70% |
| 6                               | 99.50%             | 99.30% | 82.70% | 72.50% |
| 10                              | 99.50%             | 99.30% | 82.00% | 70.80% |
| 15                              | 99.50%             | 99.30% | 84.00% | 70.80% |

## Anexo 2

Tabla 19.  
*Factor de separación, pH 3*

| B       | Co | R <sub>L</sub> |
|---------|----|----------------|
| 0.05518 | 20 | 0.4754         |
| 0.00018 | 40 | 0.9929         |
| 0.00101 | 80 | 0.9252         |

## Anexo 3

Tabla 20.  
*Factor de separación, pH 3.5*

| b       | Co | R <sub>L</sub> |
|---------|----|----------------|
| 0.00030 | 20 | 0.9939         |
| 0.00065 | 40 | 0.9748         |
| 0.01381 | 80 | 0.4751         |

Anexo 4

**Informe Análisis Concentración**

Hora de informe 30/09/2019 11:47:38 am.  
 Método C:/Varian/Cary Winuv/Concentration  
 File/Cr+6/2019/Curva de calibración.  
 MCN  
 Nombre de Lote  
 Aplicación Concentración 3.00  
 (339)  
 Operador

**Condiciones del Instrumento**

Instrumento Cary 50  
 N° Versión 3.00  
 Instrumento  
 Long. Onda (nm) 540.0  
 Modo Ordenadas Abs  
 T. Med (sec) 0.1000  
 Replicados 3  
 Media Patrón/Muestra Apag.  
 Correcciones de peso y volumen Apag  
 Tipo ajuste Lineal  
 Min R<sup>2</sup> 0.950000  
 Unidades Concentración mg/L

Comentarios

**Análisis**

| Tiempo de colección | 30/09/2019 11:47:38 am. |        |        | #RSD Lectura |
|---------------------|-------------------------|--------|--------|--------------|
| Muestra             | Concentración mg/L      | F      | Media  | SD           |
|                     |                         |        |        | 0.0002       |
|                     |                         |        |        | 0.0002       |
| BLM                 | 0.0                     | 0.0002 | 0.0000 | 24.3         |
|                     |                         |        |        | 0.7804       |
|                     |                         |        |        | 0.7815       |
| pH3 0min            | 1.0                     | 0.7808 | 0.0000 | 0.09         |
|                     |                         |        |        | 0.7803       |
|                     |                         |        |        | 0.0830       |
|                     |                         |        |        | 0.0831       |
| pH3 2min            | 0.1                     | 0.0830 | 0.0000 | 0.04         |
|                     |                         |        |        | 0.0875       |
|                     |                         |        |        | 0.0876       |
| pH3 4min            | 0.1                     | 0.0875 | 0.0000 | 0.09         |
|                     |                         |        |        | 0.0875       |
|                     |                         |        |        | 0.0874       |
|                     |                         |        |        | 0.0866       |
| pH3 6min            | 0.1                     | 0.0868 | 0.0000 | 0.59         |
|                     |                         |        |        | 0.0864       |

|           |     |        |        |      |        |
|-----------|-----|--------|--------|------|--------|
|           |     |        |        |      | 0.0772 |
|           |     |        |        |      | 0.0780 |
| pH3 10min | 0.1 | 0.0780 | 0.0000 | 0.01 | 0.0788 |
|           |     |        |        |      | 0.0788 |
| pH3 15min | 0.1 | 0.0789 | 0.0000 | 0.09 | 0.0789 |
|           |     |        |        |      | 0.0790 |
|           |     |        |        |      | 0.7766 |
| pH3 0min  | 1.0 | 0.7765 | 0.0000 | 0.02 | 0.7764 |
|           |     |        |        |      | 0.7764 |
|           |     |        |        |      | 0.0902 |
| pH3 2min  | 0.1 | 0.0905 | 0.0000 | 0.32 | 0.0907 |
|           |     |        |        |      | 0.0906 |
|           |     |        |        |      | 0.0822 |
| pH3 4min  | 0.1 | 0.082  | 0.0000 | 0.18 | 0.0820 |
|           |     |        |        |      | 0.0819 |
|           |     |        |        |      | 0.0831 |
| pH3 6min  | 0.1 | 0.0832 | 0.0000 | 0.02 | 0.0832 |
|           |     |        |        |      | 0.0832 |
|           |     |        |        |      | 0.0776 |
| pH3 10min | 0.1 | 0.777  | 0.0000 | 0.13 | 0.0778 |
|           |     |        |        |      | 0.0778 |
|           |     |        |        |      | 0.0757 |
| pH3 15min | 0.1 | 0.0756 | 0.0000 | 0.16 | 0.0755 |
|           |     |        |        |      | 0.0755 |

### Leyendas Marcas Resultados

U= Sin calibrar

O = Fuera de rango

N = No usado en calibración

R = Lectura repetida

*Figura 17.* Informe Análisis Concentración



Anexo 5



*Figura 18.* Cromo

Anexo 6



*Figura 19.* Pruebas de laboratorio en la remoción de cromo hexavalente utilizando cáscara de plátano.- Laboratorio de Biotecnología

## Anexo 7



*Figura 20.* Pruebas de laboratorio en la remoción de cromo hexavalente utilizando cáscara de plátano.- Laboratorio de Biotecnología

## Anexo 8



*Figura 21.* Área de trabajo para el estudio – Laboratorio de Biotecnología

Anexo 9



Figura 22. Área de trabajo para el estudio – Laboratorio de Biotecnología

Anexo 10

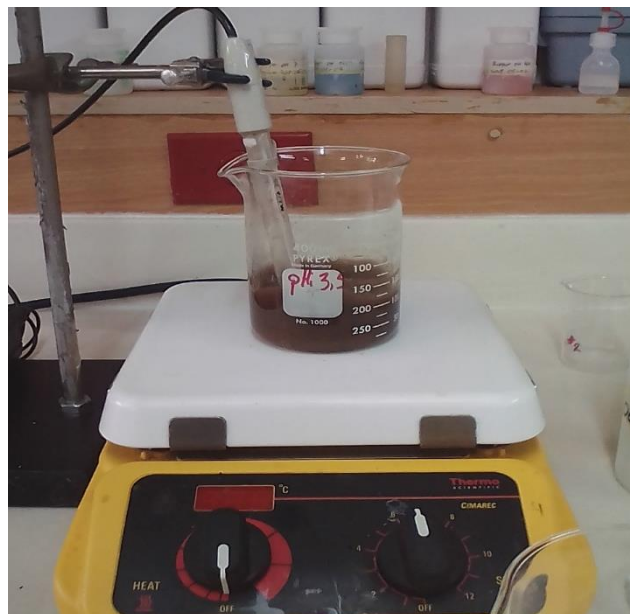


Figura 23. Peachímetro

Anexo 9



*Figura 24.* Pruebas de laboratorio en la remoción de cromo hexavalente utilizando cáscara de plátano - Laboratorio de Biotecnología

Anexo 10



*Figura 25.* Pruebas de laboratorio en la remoción de cromo hexavalente utilizando cáscara de plátano

## Anexo 11



*Figura 25.* Pruebas de laboratorio en la remoción de cromo hexavalente utilizando cáscara de plátano

## Anexo 12



*Figura 26.* Pruebas de laboratorio en la remoción de cromo hexavalente utilizando cáscara de plátano