



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

**ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD DE LA GOMA  
DE TARA (*Caesalpinia spinosa*) PARA LA REMOCIÓN DE  
CADMIO Y PLOMO**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA:** GABRIELA ELIZABETH CAMINO NUÑEZ

**DIRECTOR:** Ing. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA, Ph.D.

Riobamba – Ecuador

2022

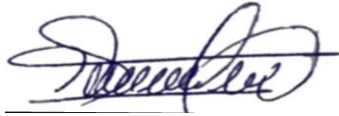
© 2022, **Gabriela Elizabeth Camino Nuñez**

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

Yo, GABRIELA ELIZABETH CAMINO NUÑEZ, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 14 de abril de 2022



**Gabriela Elizabeth Camino Nuñez**

**0604653451**

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD DE LA GOMA DE TARA (*Caesalpinia Spinosa*) PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO**, realizado por la señorita **GABRIELA ELIZABETH CAMINO NUÑEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán, Mgs. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2022-04-14
Ing. Juan Carlos González García, Ph.D. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 _____	2022-04-14
Dra. Jaqueline Elizabeth Balseca Castro, Mgs. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2022-04-14

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Plomo.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.1. <i>Propiedades físicas y químicas del plomo</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.1.1. <i>Propiedades físicas</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.1.2. <i>Propiedades químicas</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.2. <i>Plomo en el medio ambiente</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.3. <i>Efectos del plomo en la salud</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Cadmio.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1. <i>Propiedades físicas y químicas del cadmio</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1.1. <i>Propiedades físicas</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1.2. <i>Propiedades químicas</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2. <i>Cadmio en el medio ambiente</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3. <i>Efectos del cadmio en la salud</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Polímeros.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1. <i>Polímeros en el tratamiento del agua</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1.1. <i>Beneficios del uso polímeros en el tratamiento de agua</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1.2. <i>Modo de Acción de los Polímeros</i>.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.2. <i>Polímeros Naturales</i>.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4. La Tara.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.1. <i>Características de la Tara</i>.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.1.1. <i>Taxonomía de la Tara</i>.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.2. <i>Goma de Tara o Hidrocoloides</i>.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.2.1. <i>Procesamiento de la goma de tara</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5. Adsorción.....</b>	<b>12</b>

1.5.1.	<i>Adsorción Física</i> .....	13
1.5.2.	<i>Adsorción Química</i> .....	13
1.5.3.	<i>Relación entre tensión superficial y adsorción</i> .....	13
1.5.4.	<i>Componentes que influyen en el proceso de adsorción</i> .....	13
1.5.4.1.	<i>Área superficial</i> .....	13
1.5.4.2.	<i>Efectos del pH</i> .....	14
1.5.4.3.	<i>Efecto de la Temperatura</i> .....	14
1.5.4.4.	<i>Naturaleza del Adsorbato</i> .....	14
1.5.4.5.	<i>Naturaleza del adsorbente</i> .....	14
1.6.	<b>Colorimetría</b> .....	15
1.7.	<b>Fotocolorimetría</b> .....	15
1.7.1.	<i>Principio de Fotocolorimetría</i> .....	15
1.7.2.	<i>Espectrofotocolorimetría</i> .....	15
1.7.3.	<i>Fotocolorímetro de Merck SQ21 118</i> .....	15
1.7.3.1.	<i>Características</i> .....	15
1.8.	<b>Cinética de adsorción</b> .....	16
1.8.1.	<i>Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden</i> .....	16
1.8.2.	<i>Modelo Matemático de Pseudo segundo Orden</i> .....	17
1.8.3.	<i>Tiempo de Equilibrio de Adsorción</i> .....	17
1.9.	<b>Tratamiento de Aguas Residuales</b> .....	18
1.9.1.	<i>Planta de tratamiento</i> .....	18
1.9.1.1.	<i>Coagulación</i> .....	18
1.9.1.2.	<i>Floculación</i> .....	18
1.9.1.3.	<i>Sedimentación</i> .....	19

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	20
2.1.	<b>Diseño experimental</b> .....	20
2.1.1.	<i>Tamaño de muestra</i> .....	20
2.2.	<b>Preparación de la muestra</b> .....	21
2.2.1.	<i>Selección de la muestra</i> .....	21
2.2.2.	<i>Elaboración de la biomasa adsorbente</i> .....	21
2.3.	<b>Caracterización de la biomasa adsorbente</b> .....	21
2.3.1.	<i>Determinación del espectro FT-IR de la biomasa obtenida</i> .....	21
2.3.2.	<i>Determinación del tamaño de partícula</i> .....	22
2.3.3.	<i>Determinación de la humedad del adsorbente</i> .....	22

2.3.4.	<i>Determinación de pH del adsorbente</i> .....	22
2.3.5.	<i>Prueba de cenizas totales</i> .....	22
2.4.	<b>Preparación de soluciones de plomo</b> .....	23
2.5.	<b>Preparación de soluciones de Cadmio</b> .....	23
2.6.	<b>Determinación del tiempo de Equilibrio</b> .....	24
2.6.1.	<i>Tiempo de Equilibrio de plomo</i> .....	24
2.6.2.	<i>Tiempo de Equilibrio de cadmio</i> .....	24
2.7.	<b>Determinación de la dosificación del adsorbente</b> .....	24
2.8.	<b>Determinación de la capacidad de adsorción de Plomo y Cadmio</b> .....	25
2.9.	<b>Determinación de la cinética de adsorción</b> .....	25
2.10.	<i>Determinación del porcentaje de efectividad de remoción</i> .....	25

### CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	27
3.1.	<b>Resultados de la obtención de la biomasa adsorbente</b> .....	27
3.2.	<b>caracterización de la Biomasa Adsorbente</b> .....	27
3.2.1.	<i>Análisis FT-IR</i> .....	27
3.2.2.	<i>Características fisicoquímicas</i> .....	28
3.3.	<b>Determinación del tiempo de Equilibrio</b> .....	29
3.4.	<b>Determinación de parámetros cinéticos de adsorción</b> .....	30
3.4.1.	<i>Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden</i> .....	31
3.4.2.	<i>Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden</i> .....	32
3.5.	<b>Determinación de la capacidad de adsorción</b> .....	33

**CONCLUSIONES**..... 35

**RECOMENDACIONES**..... 36

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Polímeros naturales que tiene propiedades coagulantes o floculantes en el agua ...	8
<b>Tabla 2-1:</b>	Especificaciones de la goma de tara.....	11
<b>Tabla 3-3:</b>	Especificaciones técnicas.....	28
<b>Tabla 4-3:</b>	Resultados cinética de adsorción cadmio .....	30
<b>Tabla 5-3:</b>	Resultados cinética de adsorción plomo .....	31



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b> Árbol de Tara.....	10
<b>Figura 2-1.</b> Fruto de la Tara. ....	10
<b>Figura 3-1.</b> Transformación a la goma de tara.....	11
<b>Figura 4-1.</b> Partes de la semilla de tara.....	12
<b>Figura 5-1.</b> Fotocolorímetro de Merck SQ21 118. ....	16
<b>Figura 6-2.</b> Diseño del modelo experimental .....	20

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Espectro de adsorción IR de biomasa de la goma de tara, <i>Caesalpinia spinosa</i>	27
<b>Gráfico 2-3:</b>	Tiempo de equilibrio plomo.....	29
<b>Gráfico 3-3:</b>	Tiempo de equilibrio cadmio .....	30
<b>Gráfico 4-3:</b>	Modelo matemático de Pseudo primer orden cadmio .....	31
<b>Gráfico 5-3:</b>	Modelo matemático de Pseudo primer orden plomo .....	31
<b>Gráfico 6-3:</b>	Modelo matemático de Pseudo segundo orden plomo .....	32
<b>Gráfico 7-3:</b>	Modelo matemático de Pseudo segundo orden plomo .....	32
<b>Gráfico 8-3:</b>	Capacidad de adsorción de cadmio. ....	33
<b>Gráfico 9-3:</b>	Capacidad de adsorción de plomo.....	34

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b>	Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden.....	16
<b>Ecuación 2-1:</b>	Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden Tomando en Cuenta Límites ..	16
<b>Ecuación 3-1:</b>	Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden al Linealizar .....	16
<b>Ecuación 4-1:</b>	Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden.....	17
<b>Ecuación 5-1:</b>	Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden Final.....	17
<b>Ecuación 6-2:</b>	Prueba de cenizas totales.....	22
<b>Ecuación 7-2:</b>	Diluciones .....	23
<b>Ecuación 8-2:</b>	efectividad de remoción .....	25
<b>Ecuación 10-3:</b>	Efectividad para la adsorción de Cadmio. ....	33
<b>Ecuación 11-3:</b>	Efectividad para la adsorción de Plomo .....	34

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** OBTENCIÓN DE LA BIOMASA ADSORBENTE

**ANEXO B:** MEDIDA DE LA BIOMASA

**ANEXO C:** TOMA DE ALÍCUOTAS

**ANEXO D:** PREPARACIÓN DE MUESTRAS

**ANEXO E:** PREPARACIÓN DEL EQUIPO

**ANEXO F:** PREPARACIÓN DE SOLUCIONES PARA SER LEÍDAS

**ANEXO G:** REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

## RESUMEN

En la presente investigación se analizó experimentalmente la capacidad de la goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) para la remoción de cadmio y plomo en muestras de aguas contaminadas en condiciones de laboratorio, las concentraciones fueron de 1 ppm de Cd y de 3ppm de Pb; se realizaron soluciones madre de 100ppm diluyendo 0,159g de  $Pb(NO_3)_2$  y 0,163g de  $CdCl_2$  en 1 litro de agua destilada y posteriormente se diluyeron las soluciones madre para alcanzar las concentraciones deseadas. Inicialmente, la biomasa se caracterizó mediante un análisis de FT-IR y pruebas fisicoquímicas: color, olor, textura, humedad, pH y ceniza. En cuanto a la cuantificación del cadmio y del plomo adsorbido, se lo determinó a través de muestras tomadas en un lapso de establecido una vez se adicionaba la biomasa a las soluciones, manteniendo una agitación constante de 400rpm, las muestras se analizaron mediante el uso de pruebas de cubetas con el fotocolorímetro de marca Merck SQ21 118. Con respecto a la capacidad de adsorción, los datos fueron evaluados aplicando los modelos matemáticos de pseudo de primer y segundo orden. Según los resultados, se ajustaron al modelo matemático de pseudo segundo orden para los dos elementos, se evaluó el tiempo de remoción dando un punto de saturación con plomo y cadmio de 0,5g con una capacidad de remoción máxima de 79,6% en un tiempo de 20 minutos para cadmio y para plomo 69,33% de capacidad de remoción en 40 minutos de tiempo de contacto, llegaron a la conclusión que la biomasa, presenta una capacidad de adsorción superior para cadmio que para plomo sin embargo para los dos metales funciona de manera natural. Se recomienda que para la implementación de un sistema de adsorción a pequeña y mediana escala resultaría propicio realizar un estudio dinámico de las condiciones que se manejen.

**Palabras clave:** <GOMA DE TARA>, <(*Caesalpinia spinosa*)>, <BIOMASA>, <CADMIO>, <PLOMO>, < ADSORCIÓN>, <REMOCIÓN DE CONTAMINANTE>.

LEONARDO  
FABIO  
MEDINA  
NUSTE

Firmado digitalmente por  
LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL  
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE  
CERTIFICACION DE INFORMACION-  
ECIBCE, i=QUITO,  
serialNumber=0000621485,  
cn=LEONARDO FABIO MEDINA  
NUSTE  
Fecha: 2022.04.13 09:19:51 -05'00'



0671-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

In the current research, the capacity of tara gum (*Caesalpinia spinosa*) for the removal of cadmium and lead in samples of contaminated water under laboratory conditions was experimentally analyzed, the concentrations were 1 ppm of Cd and 3 ppm of Pb. Moreover, stock solutions of 100ppm were made by diluting 0.159g of Pb (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> and 0.163g of CdCl<sub>2</sub> in 1 liter of distilled water; then, the stock solutions were diluted to reach the required concentrations. Initially, the biomass was characterized by means of a FTIR analysis and physicochemical tests: color, odor, texture, moisture, pH, and ash. Regarding the quantification of adsorbed cadmium and lead, it was determined through samples taken in a set period once the biomass was added to the solutions, maintaining a constant agitation of 400rpm, the samples were analyzed by using cuvette tests with the Merck SQ21 118 photocolormeter. Regarding the adsorption capacity, the data were evaluated by applying the mathematical models of pseudo first and second order. According to the results, the pseudo second order mathematical model was adjusted for the two elements, the removal time was evaluated resulting in a saturation point with lead and cadmium of 0.5g with a maximum removal capacity of 79.6% in 20 minutes for cadmium and for lead 69.33% removal capacity in 40 minutes of contact time. It was concluded that biomass has a higher adsorption capacity for cadmium than for lead, however for the two metals it works naturally. It is recommended that for the implementation of a small and medium-scale adsorption system, it would be appropriate to carry out a dynamic study of the conditions.

**Keywords:** <TARA GUM>, <(Caesalpinia spinosa)>, <BIOMAS>, <CADMIUM>, <LEAD>, <ADSORPTION>, <POLLUTION REMOVAL>.



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

## INTRODUCCIÓN

Los procesos Biotecnológicos Ambientales han atraído la atención de la comunidad científica debido a la variedad de métodos para limpiar los sistemas naturales contaminados, uno de ellos es la desintoxicación de metales pesados presentes en el agua, por un lado, propone por ejemplo, bioacumular la toxicidad a través de procesos de remoción de metales pesados utilizando los mecanismos metabólicos que involucran uso de biomasa viva; por otro lado, bioabsorber los metales pesados a través de un proceso pasivo gracias a mecanismos fisicoquímicos, usando biomasa muerta, por lo que se consideran como tecnologías limpias en la eliminación de metales pesados de aguas residuales (Ángeles & Lara, 2010, p. 9). Los metales y especialmente los metales pesados como Cd, Zn, Pb, Cu y Mn son potencialmente mortales si contaminan el agua, aire y los alimentos en cantidades superiores a los valores permitidos. La normativa oficial vigente de Ecuador, TULSMA en el libro VI anexo 1, controla los límites máximos permisibles para descargas al sistema de alcantarillado y cuerpos de agua dulce de estos metales antes mencionados. Los metales pesados son más peligrosos porque no son biodegradables, una vez liberados pueden permanecer en el medio ambiente durante cientos de años, su concentración aumenta en los seres vivos cuando son ingeridos por otros es decir por la ingesta de plantas o animales contaminados pueden causar envenenamiento, ceguera, pérdida de memoria, raquitismo, miastenia etc., y en el peor de los casos la muerte. El plomo es un elemento químico tóxico con la propiedad de que se acumula y afecta a numerosas partes del cuerpo que incluso con poca exposición al plomo, pueden causar graves daños neurológicos y, en algunos casos, son irreversibles. El cadmio tiene efectos tóxicos en los riñones y en los huesos y el tracto respiratorio y es catalogado como cancerígeno para los seres humanos. Actualmente en el país no existe información ni estudios importantes en cuanto a evaluaciones de especies no tóxicas para el ser humano que permitan sustituir parcial o totalmente a productos químicos para el tratamiento de aguas residuales que contengan metales pesados. Por lo que en la presente investigación pretende evaluar la capacidad de remoción de Pb y Cd en aguas contaminadas todo a escala de laboratorio básicamente es evaluar la capacidad de un coagulante natural como es la goma de tara que tiene como objetivo desestabilizar las partículas en suspensión para luego ser aglomeradas con la ayuda de la formación de flóculos los cuales pueden ser eliminados por procedimientos de decantación para tratar aguas contaminadas manipulando diferentes dosis de biomasa y de esta manera determinar la dosis óptima de goma. La goma de tara posee varios polisacáridos entre los más importantes están la hemicelulosa, lignina y finalmente la pectina todos grupos atraen iones de metales pesados, sin contar que la biomasa obtenida no requiere activación ácida o básica, siendo suficiente un tratamiento termo físico para no cambiar ni deformar la estructura química. del polisacárido encargado de atraer los iones de Pb y Cd que se encuentran en soluciones acuosas.

## JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial el agua contaminada independientemente de su origen es una problemática constante y palpable, el agua contaminada con metales pesados causa un gran impacto negativo con la salud humana y en general con toda la biota debido a su alta toxicidad.

Este trabajo de investigación puede servir a nivel de industrias como tratamientos previos para descargas de sus aguas residuales bajo los límites máximos permisibles establecidos en la legislación ecuatoriana, y así evitar una alteración de ecosistemas acuáticos. Según el Reglamento Ambiental De Actividades Mineras, Ministerio de Ambiente Ecuatoriano vigente menciona que el Ministerio del Ambiente tiene la facultad de suspender las actividades mineras legales o ilegales e imponer motivadamente, las medidas preventivas y/o correctivas, sanciones y multas, cuando existan incumplimientos de las obligaciones ambientales, conforme a lo establecido en el Art. 396 de la Constitución de la República del Ecuador y en concordancia a lo dispuesto en la Quinta Disposición General de la Ley Orgánica Reformatoria de la Ley de Minería (Tapia, 2016, p.4-6).

La tecnología avanza día a día permitiendo la existencia de tecnologías basadas en el uso de coagulantes naturales como es la Goma de tara, una alternativa con ventajas competitivas sobre tecnologías químicas para el tratamiento de la gestión de aguas contaminadas.

La goma de tara proveniente de la *Tara spinosa* (Molina) Britton & Rose que entre sus características vegetales ayuda a la recuperación de los suelos erosionados, al igual que se conoce que su fruto contiene taninos, y goma de uso industrial (Jim Villena Velásquez, 2019, p.5)., que permiten su utilización como absorbente para el secuestro y remoción del cadmio y plomo.

A nivel económico y ecológico este es un punto a favor de este producto debido a que la extracción de la goma como tal no conlleva mayor proceso productivo y mucho menor aportes a nivel económico, de igual manera darle un valor agregado a una especie arbórea que se produce sin problema en nuestro país y está distribuida principalmente en el callejón interandino, en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Loja (Torre, 2018, p.23).



## ANTECEDENTES

A nivel mundial, la goma de tara *Caesalpinia spinosa*, proveniente del guarango o taya ha sido utilizada como coagulante o a su vez como ayudante en procesos de tratamientos de remediación en aguas residuales; en el cual se ha estudiado su capacidad de remoción con influencia de varios parámetros como por ejemplo el pH según (TAPIA, 2010, p. 5-6), dio como resultado que su óptimo para obtener una mejor coagulación es de 5 a una concentración de goma de tara de 0,1 por cada 75 ml de agua, la cinética de la coagulación fue rápida y terminó después de 5 minutos.

(Rojas, 2019, p. 4), En su investigación “Dosis óptima de goma de tara, *Caesalpinia spinosa*, para la remoción de arsénico en aguas subterráneas del Distrito de Mórrope”, propone el uso de *Caesalpinia spinosa* coagulante natural utilizando la metodología de prueba de jarras para la formación de flóculos para después ser eliminados por medio de procedimientos de decantación. Todo esto con el objetivo de remoción de arsénico en el agua para consumo humano.

En los análisis realizados se pudo medir una concentración inicial de arsénico de 0.5 mg / L, por lo que se utilizaron diferentes dosis de goma de tara de 1 a 5 g / L., Por lo que se midieron cuatro factores como pH, concentración, turbidez, conductividad y remoción de arsénico, relacionado a diferentes factores, se determinó que con la dosis más baja de goma de tara fue la que mejor resultado dio al dar un valor de concentración de arsénico a niveles no detectables (BANCHÓN, 2016, p. 5-9), En su artículo relacionado con “Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales”, en el cual destaca los últimos avances en cuanto a coagulantes naturales es decir una tecnología ancestral utilizada para descontaminar el agua. Su probada eficacia basada en el mecanismo de desestabilización electrodinámica elimina hasta un 99% de turbidez. Evidencia experimental incidental de que la concentración de taninos y mucílagos permite la recuperación de aguas residuales de industrias químicas como la textil y la curtiduría.

Dentro del territorio ecuatoriano también se han llevado a cabo limitadas investigaciones; por ejemplo, según (REVELO, 2016, p. 29-35), realizó una investigación “Biocoagulación de aguas residuales de industrias textiles mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*”, este estudio tuvo como objetivo “La evaluación de un proceso de remediación de aguas residuales de textiles”. De igual manera “La evaluación de factores operacionales para la dosificación de extractos biocoagulantes obtenidos a partir de *Caesalpinia spinosa*.” La metodología utilizada fue realizar una caracterización físico-químico del agua de estudio, una extracción de *Caesalpinia spinosa*. El proceso de remediación consistió en operaciones de coagulación-floculación y filtración en lecho de zeolita activa, los resultados finales reflejaron que la remoción de turbidez fue del 24% y DQO hasta el 52% con 45.0 g/L de biocoagulante y 5.7 g/L de PA 0.1% sugieren una optimización del proceso de extracción de taninos del guarango.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Analizar la capacidad de la goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) para la remoción de cadmio y plomo de muestras de agua contaminadas en condiciones de laboratorio.

### **Objetivos Específicos**

- Caracterizar la goma obtenida de las semillas del árbol de tara.
- Construir las curvas de adsorción de la goma de tara para cadmio y plomo.
- Determinar la efectividad de la goma de tara para la remoción de cadmio y plomo.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Plomo

##### *1.1.1. Propiedades físicas y químicas del plomo*

El plomo es un metal pesado de símbolo (Pb), con un número atómico de 82 y un peso atómico de 207.2 g/mol, de color azulado que se pierde su brillo al exponerse al aire, es muy suave y maleable con gran facilidad para ser fundido y es el menos tenaz de todos los metales, posee gran densidad y punto de fusión bajo, cristaliza en octaedros (Chavarría, 2019, p. 7).

##### *1.1.1.1. Propiedades físicas*

- Densidad: 11,85
- Solubilidad: Poco soluble en agua
- Sistema cristalino: Regular
- Estado físico: Sólido grisáceo
- Punto de fusión: 326.9 °C

##### *1.1.1.2. Propiedades químicas*

- En presencia de agua de lluvia y de CO<sub>2</sub> del aire, el plomo se altera cubriéndose de una capa de carbonato hidratado, esta sal se disuelve poco en el agua comunicándoles propiedades tóxicas.
- El plomo forma compuestos en los que su estado de oxidación es de 2+ y 4+, el más común es de 2+.
- Tiene una excelente resistencia a la corrosión en el aire, agua y suelo. (Pabón, 2020, p. 8).

##### *1.1.2. Plomo en el medio ambiente*

El plomo es el gran contaminante químico de los lugares de trabajo y, por lo tanto, un grave e importante riesgo para la salud de los trabajadores.

La exposición ambiental se debe fundamentalmente a la contaminación del suelo, aire, y agua proveniente de las fundidoras de plomo y en las zonas urbanas a los escapes de automóviles con nafta con aditivo con tetraetilo de plomo.

### ***1.1.3. Efectos del plomo en la salud***

El plomo es un metal altamente tóxico que está presente en gran parte de las actividades que desempeña el hombre en su diario vivir como son fundiciones, agricultura, fábricas de baterías, pintura y combustibles como aditivos. La salud ocupacional es la encargada de controlar los riesgos por exposición a este metal capaz de producir alteraciones en diversos sistemas del organismo: nervios, renal, circulatorio, inmunológico reproductivo y hematopoyético.

Efectos por el plomo inorgánico se acumula en el organismo preferentemente en los huesos, hígado, riñones y músculo.

## **1.2. Cadmio**

### ***1.2.1. Propiedades físicas y químicas del cadmio***

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48, tiene una masa atómica de 112,4110 g/mol. El cadmio es un elemento poco abundante en el planeta y generalmente se obtiene como subproducto del zinc, el uso más común de este elemento es la fabricación de baterías de cadmio y níquel.

#### ***1.2.1.1. Propiedades físicas***

- Organolépticamente, el cadmio es un metal de color blanquecino azulado, blando, inodoro y textura cristalina.
- Punto de ebullición: 767 °C
- Punto de fusión: 321 °C
- Buen conductor térmico y eléctrico
- Densidad: 8650 kg/m<sup>3</sup>

#### ***1.2.1.2. Propiedades químicas***

- Metal pesado altamente tóxico y bioacumulable
- Es usual que el cadmio llegue a un estado de oxidación con 2+, sin embargo, también se puede oxidar en un estado 1+.
- Atómicamente posee 48 protones, 48 electrones y 64 neutrones.
- Las sustancias más comunes que contienen cadmio son el hidróxido de cadmio, cloruro de cadmio, óxido de cadmio.

### ***1.2.2. Cadmio en el medio ambiente***

En el medio ambiente, el cadmio es tóxico para las plantas, animales y los microorganismos. Al ser un elemento químico simple, es persistente, es decir no puede descomponerse en sustancias menos tóxicas en el medio ambiente.

El cadmio es emitido a la atmósfera y los medios acuáticos y terrestres a partir de fuentes naturales como volcanes, erosión de rocas y antropogénicas como la minería y la producción, uso y eliminación de productos que contienen estas sustancias, en forma de partículas.

### ***1.2.3. Efectos del cadmio en la salud***

El cadmio ocasiona principalmente daños renales, afectando al sistema de filtración de la sangre de los riñones y provocando la excreción de proteínas en la orina. Los daños óseos son un efecto a largo plazo a este metal, inhalación de cadmio puede producir cáncer de pulmón. (LENNTECH, 2015, p. 8-12).

## **1.3. Polímeros**

### ***1.3.1. Polímeros en el tratamiento del agua***

La importancia de los polímeros en el tratamiento del agua está vinculada a su capacidad de clarificación, o sea, eliminación de gran parte de la materia orgánica sólida a través de coagulación o floculación de las partículas en suspensión convirtiéndolos en partículas más grandes retiradas posteriormente por decantación, flotación o filtración. Los polímeros catiónicos y aniónicos, aumentan la densidad de las partículas promover la sedimentación rápida y floculación de lodos, por lo que es fácil de quitar (MANCHESTER, 2015, p. 7-9).

#### ***1.3.1.1. Beneficios del uso polímeros en el tratamiento de agua***

- Forman flóculos más grandes que facilitan el proceso de sedimentación.
- Una pequeña dosis de polímero coagulante puede reemplazar una gran dosis de coagulante de aluminio o hierro, reduciendo así la cantidad de lodo. También mejora sus propiedades para un mejor manejo y un menor tiempo de eliminación.
- Los polímeros utilizados como acondicionadores de lodos reducen la masa de lodos.
- Mayor flexibilidad operativa de la planta de tratamiento de aguas residuales (CHOQUE-QUISPE, CHOQUE-QUISPE, & SOLANO-REYNOSO, 2018, p. 25-31).


### 1.3.1.2. Modo de Acción de los Polímeros

Compuestos orgánicos que tienen la capacidad de generar inestabilidad eléctrica de partículas y la floculación, como la fusión de partículas idénticas para formar flóculos. Con esta definición, se pueden añadir polímeros al agua de tres formas diferentes: Como coagulantes, como ayudantes de coagulación y por último como ayudante de floculación.

### 1.3.2. Polímeros Naturales

**Tabla 1-1.** Polímeros naturales que tiene propiedades coagulantes o floculantes en el agua

Nombre común	Imagen	Parte y fragmento de donde se extrae
Alginato de sodio		Algas pardas marinas se extrae: de toda la planta
Goma de tuna		Tuna o nopal se extrae: de las hojas o pencas
Almidones solubles en agua fría		Maíz, papa, yuca, o mandioca, trigo se extrae: del grano o tubérculo
Goma de semilla de nirmali		Nirmali Se extrae: semillas
Pulpa de algarrobo		Algarrobo Se extrae: Corteza de árbol
Gelatina común		Animales Se extrae: Huesos
Carboximetil celulosa		Árboles Se extrae: Corteza de árbol
Goma de tara		Árboles Se extrae: Semilla

Goma de red sorrela		Red Sorrel Se extrae: Semilla
Silica activada		Silicato de Sodio Se extrae: Activación de un ácido
Floccotan		Quebracho Se extrae: Corteza de árbol
Lentejas		Lana esculenta Se extrae: Semilla
Tamarindo		Árbol de fruto tropical Se extrae: Semilla
Fenogracio, albolva		Trigonella Se extrae: Semilla

**Fuente:** (Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación, 2006).

**Elaborado por:** Gabriela, Camino, 2021.

## 1.4. La Tara

### 1.4.1. Características de la Tara

Su nombre científico es *Caesalpinia spinosa*, es un árbol que pertenece a la familia de las leguminosas (Torre, 2018, p. 6).

Mide de 4 a 8 m de altura y en condiciones favorables hasta 12 m, sus flores están dispuestas en racimos y sus frutos son vainas aplanadas que con pasar del tiempo cambian de color: verde cuando están inmaduras, rosado conforme va madurando y rojo pardo o café rojizo cuando ya están maduras. Las vainas contienen hasta 10 semillas algo aplanadas y café negruzcas cuando maduran. (Torre, 2018, p. 8).



**Figura 1-1.** Árbol de Tara

Fuente: (BASURTO, 2018).



**Figura 2-1.** Fruto de la Tara.

Fuente: (BASURTO, 2018).

#### *1.4.1.1. Taxonomía de la Tara*

- Nombre Científico: *Caesalpinia spinosa*
- Reino: Plantae
- División: Fanerógamas
- Clase: Dicotiledóneas
- Familia: Fabaceae
- Orden: Rosales
- Género: Caesalpinia

#### *1.4.2. Goma de Tara o Hidrocoloides*

También conocidos como agentes formadores de biopelículas, son polisacáridos, a menudo unidos a cationes metálicos como Ca, K, Mg, se clasifican como goma natural, modificado o sintético, dan un efecto de suspensión viscosa a una concentración mejor que el 1% por lo que se usa como adhesivos. Tiene un amplio campo de aplicación en la industria, los hidrocoloides con acción coagulante, lubricante y formadora de películas aun en concentraciones muy bajas.

La goma de tara en la INDUSTRIA MINERA, se utiliza como coagulante en la separación de líquidos de sólidos por filtración, sedimentación y clarificación. Esta biomasa como tal acelera la



decantación de los lodos en suspensión de esta manera facilitando su rápida eliminación, sin contar también que es un reductor de talco en operaciones mineras. (BASURTO & ALNICOLSA del Perú S.A.C., 2009, p. 56).



**Figura 3-1.** Transformación a la goma de tara.

Fuente: ((BASURTO, 2018).

**Tabla 2-1.** Especificaciones de la goma de tara.

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Apariencia	Polvo blanco
Olor	Inodoro
Humedad	Máximo 15%
Grasas	Máximo 0.75%
Cenizas	Máximo 1.5%
Almidones	No detectable
<b>Características químicas y físicas</b>	
pH	3.4%
Taninos	57-60%
No taninos	4%
Insolubles	Máximo 2,5 %
Insolubles en acido	Máximo 2%
Agua	3.5%
<b>Tamaño de partículas</b>	
Malla 100	>80%
Solubilidad a 20°C	Parcialmente soluble en agua fría, soluble en agua caliente
Viscosidad a 20°C	Solución al 1%, 25°C, 20 rpm, spindle # 4: 5000-6800 cps
<b>Metales pesados</b>	
Plomo	Máximo 5 ppm
Arsénico	Máximo 3 ppm
Mercurio	Máximo 1 ppm
Cadmio	Máximo 1 ppm
<b>Especificaciones microbiológicos</b>	
Conteo total	<500 ufc/g

Hongos y levaduras	<500 ufc/g
E.coli y coliformes	<1 ufc/g
Salmonella	Negativo en 25 g

Fuente: ((BASURTO, 2018).

Elaborado por: Gabriela, Camino, 2021.

#### 1.4.2.1. Procesamiento de la goma de tara

En el procesamiento comercial de la goma de Tara, se utiliza una variedad de métodos para separar eficazmente el endospermo de la cáscara y del germen, la cáscara, el germen y el endospermo se separan por un proceso térmico-mecánico usándose una molienda diferencial ya que hay una diferencia en la dureza de cada componente. Luego se clasifica e ingresa a un selector óptico: saliendo con una limpieza del 98%, después la limpieza final a un 100%. El endospermo separado, que contiene 80% galactomanano, se muele finalmente a un tamaño de partícula fino y se vende como goma de Tara. Esta molienda se hace en varias fases y cernido. (BASURTO & ALNICOLSA del Perú S.A.C., 2009, p. 56).

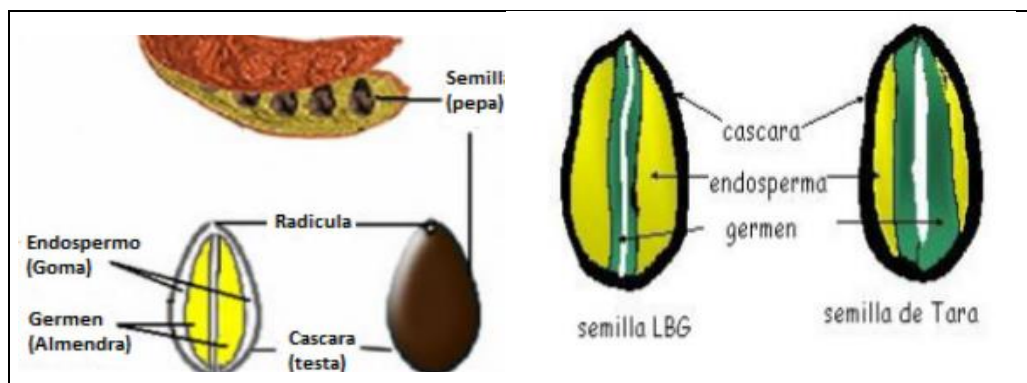


Figura 4-1. Partes de la semilla de tara.

Fuente: ((BASURTO, 2018).

### 1.5. Adsorción

La adsorción ocurre cuando una sustancia presente en la fase líquida se retiene en la superficie del sólido y, por lo tanto, se elimina de la fase líquida (Andrade, 2007 p. 95). Este proceso incluye una serie de etapas. A medida que el líquido circula alrededor de la partícula en una capa fina, el soluto primero se difunde desde el volumen del líquido hacia la superficie exterior de la partícula, luego el soluto se difunde desde el centro del orificio hasta la superficie del orificio mismo y, finalmente, el soluto se adsorbe en la superficie.

La acumulación es baja, por lo que se prefieren sólidos muy porosos con áreas superficiales internas muy grandes y por unidad de volumen. En general, las superficies son irregulares y la energía de enlace se debe principalmente a las fuerzas de Van der Waals. El grado de adsorción

se basa en la concentración de la sustancia a reducir en el agua, la temperatura del medio y la polaridad de la sustancia. (Fernández Pino, 2018 pág. 2).

### ***1.5.1. Adsorción Física***

El tiempo en llegar al equilibrio es pronto y sencillo ya que los valores de las fuerzas no son mayores. La adsorción no se restringe a una monocapa en la superficie del sólido y puede alcanzar valores altos cerca de la temperatura de condensación (Sánchez, 2018 p. 55).

### ***1.5.2. Adsorción Química***

Este tipo de adsorción se limita a la formación de monocapas, esto se debe a que las fuerzas de las moléculas se reducen por efecto de la distancia, una característica de esta adsorción es que se requiere una alta energía de activación para que se produzca la adsorción. ocurre a baja velocidad (Sánchez, 2018 p. 55).

### ***1.5.3. Relación entre tensión superficial y adsorción***

La adsorción es un proceso por el cual la materia se elimina de una fase y se concentra en otra, por lo que se considera correctamente un fenómeno de superficie. Las reacciones superficiales de este tipo pueden ocurrir, al menos en parte, debido a las fuerzas activas que existen en los límites de fase o como características. Para que un material sea adsorbido, debe tener la propiedad de ser un surfactante. Cualquier soluto que disminuya la tensión superficial del líquido en el que se disuelve se adsorberá en el borde de la fase líquida, es decir, el soluto se mueve desde la superficie hacia el centro de la fase líquida. (Treybal, 2007 p. 629-675).

### ***1.5.4. Componentes que influyen en el proceso de adsorción***

#### ***1.5.4.1. Área superficial***

La adsorción es un proceso por el cual la materia se elimina de una fase y se concentra en otra, por lo que se considera correctamente un fenómeno de superficie. Las reacciones superficiales de este tipo pueden ocurrir, al menos en parte, debido a las fuerzas activas que existen en los límites de fase o como características. Para que un material sea adsorbido, debe tener la propiedad de ser un surfactante. Cualquier soluto que disminuya la tensión superficial del líquido en el que se disuelve se adsorberá en el borde de la fase líquida, es decir, el soluto se mueve desde la superficie hacia el centro de la fase líquida.

#### *1.5.4.2. Efectos del pH*

La concentración de iones de H, conocida como acidez, es un parámetro fundamental que crea un dominio en el proceso de adsorción en elementos metálicos con diferentes tipos de adsorbentes siendo la causa principal de los iones de H basados en adsorbente competente. La separación de cationes metálicos está relacionada con las propiedades naturales de la superficie del adsorbente, así como con la distribución en la fase acuosa de la solución. La acidez de la fase líquida es un parámetro fundamental en la adsorción tanto de cationes como de aniones, cada uno de los cuales es diferente. Por lo tanto, para que la adsorción de iones metálicos sea favorable, el rango debe variar de pH ,5 a 7. (Tejada & Tovar, 2015 p. 39).

#### *1.5.4.3. Efecto de la Temperatura*

La variación de temperatura es un parámetro extremadamente valioso y decisivo que afecta la adsorción de doble relación; porque primero provoca un aumento en la tasa de adsorción y también en la concentración de equilibrio. Por otro lado, un aumento excesivo de temperatura puede llevar a la deformación estructural del adsorbente y al mismo tiempo reducirlo y esto conduce a una disminución en la capacidad de adsorción, es por eso que la temperatura máxima es necesario buscar la máxima adsorción para obtener los mejores resultados. (Ordoñez, 2017 p. 106).

#### *1.5.4.4. Naturaleza del Adsorbato*

Al considerar la adsorción de una solución se debe tener en cuenta el hecho de que la solubilidad del soluto influye en gran parte en el control del equilibrio de adsorción. En general podemos anticipar una dependencia inversa entre el grado de adsorción de un soluto y su solubilidad en el disolvente a partir del cual ocurre la adsorción (Vera Alatrística, 2006, p. 78-90).

Para que la adsorción tenga lugar, es preciso romper una especie de posible enlace entre el soluto y el disolvente. Cuanto mayor es la solubilidad, más fuerte, es el enlace soluto-disolvente y menor el grado de adsorción (Vera Alantrística, 2006 p. 58).

#### *1.5.4.5. Naturaleza del adsorbente*

La naturaleza del área estructural de la superficie del material adsorbente y las propiedades químicas son indispensables en el estudio en un proceso de adsorción en fase líquida, esta tendrá una repercusión en la formación de enlaces entre el material bioadsorbente y el metal. Y por otra parte las propiedades texturales como la porosidad, el tamaño de partícula tendrán predominio en la dosis de material adsorbente conservada en el equilibrio como en la cinética del sistema.

## **1.6. Colorimetría**

Ciencia encargada de medir los colores para obtener la cuantificación de los mismos, el fundamento de la colorimetría se basa en que, si se pasa la luz blanca a través de una solución coloreada, algunas longitudes de onda se absorben con preferencia sobre las otras.

## **1.7. Fotocolorimetría**

### ***1.7.1. Principio de Fotocolorimetría***

Todas las sustancias pueden absorber energía radiante de longitud de ondas que no pertenece al espectro visible, el agua absorbe fuertemente en la región del infrarrojo. La absorción de las radiaciones ultravioletas, visibles e infrarrojas depende de la estructura de las moléculas, y es característica para cada sustancia química.

### ***1.7.2. Espectrofotocolorimetría***

La espectrofotocolorimetría es un método óptico de análisis que mide la cantidad de luz absorbida por una sustancia coloreada. Como cualquier otro método espectroscópico, se basa en la medida de la intensidad y la longitud de onda de la radiación electromagnética que ha atravesado la materia o su vez la que ésta emite, a esto se le llama espectro de absorbancia, y se fundamenta en la ley de Beer-Lambert.

### ***1.7.3. Fotocolorímetro de Merck SQ21 118***

Este equipo es un fotómetro, que cuantifica las muestras, por radiación emitida por la lámpara halogenada; que emite radiación de rango visible.

#### ***1.7.3.1. Características***

Entre sus características realiza lecturas desde 340 nm hasta 820 nm, realiza 253 métodos diferentes, de los cuales 234 métodos para medir concentraciones de sustancias específicas, 12 métodos para medir absorbancia y 12 métodos para medir transmitancia a diferentes longitudes de onda. (Montenegro, 2015, p. 23-27).



**Figura 5-1.** Fotocolorímetro de Merck SQ21 118.

**Fuente:** (Montenegro, 2015).

## 1.8. Cinética de adsorción

La cinética de adsorción explica la tasa de absorción del adsorbente, lo que permite detallar la tasa de adsorción y su tiempo de residencia en la interface sólido-líquido. Además, puede estimar la velocidad a la que se eliminan los contaminantes de las aguas residuales tratadas (Acosta, 2006, p. 7-9).

### 1.8.1. Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden

Este modelo asume la biosorción como una reacción de primer orden en cada uno de sus reactantes a partir de:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$$

**Ecuación 1-1.** Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden

**Fuente:** (Castro, S. 2013)

Al resolver la ecuación diferencial tomando en cuenta los límites de integración desde  $t = 0$  hasta  $t = t$  se tiene:

$$q_t = q_e (1 - e^{-k_1 t})$$

**Ecuación 2-1.** Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden Tomando con Límites

**Fuente:** Castro, S, 2013.

Al linealizar la ecuación se obtiene:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \left(\frac{k_1}{2.300t}\right)$$

**Ecuación 3-1** Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden al Linealizar

**Fuente:** Castro, S, 2013.

En donde:

$q_e$ : Cantidad de soluto adsorbido en el equilibrio por unidad de masa de adsorbente, ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ).

$q_t$ : Cantidad de soluto adsorbido en el equilibrio por unidad de masa de adsorbente al tiempo  $t$ , ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) (Ale Borja, y otros, 2015 p. 214).

$k_1$ : Constante de velocidad de pseudo primer orden, ( $\text{min}^{-1}$ ).

La constante  $k_1$  se puede determinar por análisis de regresión no lineal de la gráfica: ( $q_t$  vs  $t$ )

### **1.8.2. Modelo Matemático de Pseudo segundo Orden**

La ecuación de Velocidad de la cinética de adsorción de pseudo segundo orden se expresa como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$$

**Ecuación 4-1.** Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden

**Fuente:** Castro, S, 2013.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

**Ecuación 5-1:** Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden Final

**Fuente:** Castro, S, 2013.

Dónde:

$k_2$ : Constante de velocidad de pseudo segundo orden, ( $\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

Las constantes  $k_2$  y  $q_e$  se pueden determinar por análisis de regresión no lineal de la gráfica:  $q_t$  vs  $t$  (Ale Borja, y otros, 2015 p. 215).

### **1.8.3. Tiempo de Equilibrio de Adsorción**

Se llama tiempo de equilibrio al tiempo tomado durante el proceso de adsorción hasta que el material adsorbente se encuentre totalmente saturado y ya no aumente la captación del metal. Por esta razón es que se debe realizar un estudio completo del tiempo de contacto para llegar a determinar el tiempo de equilibrio y se confirma dicho tiempo con el empleo de un modelo cinético para saber a ciencia cierta la naturaleza del proceso. Idealmente el proceso de biosorción es un proceso rápido y oscila de 15 a 30 minutos (Ordoñez, 2017 p. 108).

## **1.9. Tratamiento de Aguas Residuales**

### **1.9.1. Planta de tratamiento**

Una planta de tratamiento de aguas residuales evacúa sólidos, reduce la materia orgánica y los contaminantes y restaura la presencia de oxígeno. Los sólidos incluyen todo, desde trapos y maderas, a arena y partículas pequeñas que se encuentran en las aguas residuales. La reducción de la materia orgánica y de los contaminantes es llevada a cabo usando bacterias útiles y otros microorganismos que se usan para consumir la materia orgánica en el agua residual. Las bacterias y los microorganismos son luego separados del agua. La restauración del oxígeno es importante ya que el agua debe tener suficiente oxígeno para sostener la vida (Herbert, 2010, p. 70-96).

#### **1.9.1.1. Coagulación**

La acción de un coagulante es desestabilizar las cargas de las partículas para facilitar la formación de flóculos. Los coagulantes son cargas opuestas a las de sólidos en suspensión, estas se agregan al agua para neutralizar las cargas negativas sobre sólidos dispersos no decantables tales como arcillas y sustancias orgánicas. Entre los agentes coagulantes más utilizados por sus características físico químicas, se encuentran la alúmina y el cloruro férrico (Bermúdez, Ramírez, Moya, & M, 2009, p. 67-81).

Entre los factores que influyen en el proceso de coagulación son:

- Relación del pH
- Influencia de las sales disueltas
- Temperatura del agua
- Dosis y tipo de coagulante
- Influencia de mezcla
- Influencia de la turbiedad

#### **1.9.1.2. Floculación**

El proceso de floculación se lo realiza continuamente del de coagulación debido a que consiste en la unión de los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que puede decantar o sedimentar fácilmente. Capacidad mecánica de partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. Considerando un aumento de tamaño y densidad de las partículas coaguladas, aumentando la velocidad de sedimentación de los flóculos. (Bermúdez, Ramírez, Moya, & M, 2009, p. 67-81)



La floculación es favorable cuando se realiza un mezclado lento que permita aglomerar poco a poco los flóculos, ya que un mezclado rápido los rompe y es poco común que se vuelvan a duplicar en tamaño y peso óptimos. Entre los factores que influyen en el proceso de floculación son:

- Naturaleza del agua
- Variación de caudal
- Intensidad de agitación
- Tiempo del proceso de floculación
- Número de unidades de comportamiento

#### *1.9.1.3. Sedimentación*

La sedimentación es un sencillo pretratamiento físico del agua que se realiza antes de la aplicación de otros tratamientos de purificación, como la filtración y la desinfección. Elimina tanto pequeñas partículas suspendidas no deseadas (arena, limo y arcilla) como algunos contaminantes biológicos del agua bajo la influencia de la gravedad (Bruni, 2010 , p. 6-9).



## **2.2. Preparación de la muestra**

### **2.2.1. Selección de la muestra**

La selección de muestra fue mediante una compra directa de la vaina seca del árbol de *Caesalpinia spinosa*, (Tara) en el cantón Guano en la provincia de Chimborazo, ubicado a 15 minutos en auto de la ciudad de Riobamba, exactamente en la parroquia Valparaíso que está ubicada 9,4 km de la cabecera cantonal.

### **2.2.2. Elaboración de la biomasa adsorbente**

Para la obtención de la biomasa a utilizar, se adquirió la vaina seca y se separó el pericarpio (cáscara ) de las vainas secas para obtener las semillas (biomasa), las cuales fueron previamente lavadas con agua del grifo y la última lavada con agua destilada, para eliminar cualquier impureza que se haya adherido a las semillas, posteriormente fueron llevadas a un secador de bandeja a 70 °C por un periodo de 24 horas, para finalmente ser molidas con la ayuda de un molino de bolas hasta obtener pequeños fragmentos y finalmente se tamizó para obtener partículas de tamaño entre 150 um hasta 106 um de tal manera que se obtuvieron partículas uniformes de 106 um para ser usado en los respectivos ensayos de bioadsorción . De igual manera se realiza la compra directa a Molinos Asociados, Lima-Perú, con el objetivo de procesar, generar y dar un valor agregado al fruto del árbol de tara. Se adquirió dos libras debido a cálculos previos según bibliografía para todos los ensayos.

## **2.3. Caracterización de la biomasa adsorbente**

### **2.3.1. Determinación del espectro FT-IR de la biomasa obtenida**

Se obtuvo el espectro de biomasa de la goma de tara *Caesalpinia spinosa*, de la siguiente manera; se encendió el instrumento y se corrió el software Spectra Manager, se limpió el área de muestreo con algodón y alcohol, y se realizó como fondo para verificar que la sustancia no estuviera presente. Luego, se colocaron 3 g de biomasa para realizar un barrido de espectro de la biomasa, luego se procesa de a verifica el espectro mediante el uso de software Spectral Analyzer, y es aquí donde se empieza a marcar los picos más significativos, que interesarán más adelante para la determinación de los grupos o elementos funcionales y finalmente se guarda la información en un USB, el área de muestreo se ha limpiado, el instrumento se apaga y se desenchufa.

### **2.3.2. Determinación del tamaño de partícula**

Este proceso se realizó mediante un análisis granulométrico de 500 g de goma de tara *Caesalpinia spinosa*, se tomó un peso de tamizado de 100 g de biomasa, posteriormente se realizó un tamizado continuo de 150 um hasta que por ultimo llego a 106 um, obteniendo la mayoría de biomasa en esta medida, este proceso se demoró alrededor de 40 minutos, este proceso se realizó 2 veces para poder adquirir 907 g de biomasa y finalmente se procedió a guardar las muestras sin antes ir pesando las muestras en cada tamiz.

### **2.3.3. Determinación de la humedad del adsorbente**

Para obtener el porcentaje de humedad de la biomasa obtenida, se encendió y calibró la balanza de humedad, luego se colocó el plato de muestra dentro de la balanza y se cerró para tarar el dispositivo, luego se colocaron 5 gramos de adsorbente de muestra para ser analizado. Luego se ha cerrado y en 5 minutos ya se tiene un resultado, se retiró la muestra, se limpió y se apagó el instrumento.

### **2.3.4. Determinación de pH del adsorbente**

El pH del adsorbente se determinó con un pH metro, la solución del adsorbente se preparó con 1 g de biomasa en 100 ml de agua destilada, luego la muestra se homogeneizó con un agitador magnético durante 15 min, el electrodo del pH metro se insertó en la solución y finalmente se obtuvo los resultados, este proceso se realizó tres veces para poder sacar un promedio aceptable.

### **2.3.5. Prueba de cenizas totales**

Para este procedimiento lo primero que se realizo fue conseguir el material a utilizar como son: 3 crisoles que posteriormente fueron pesados para luego colocar 2 g de biomasa adsorbente con 120 um de granulometría, esto se pesó nuevamente. La mufla se utilizó hasta dar por terminado el proceso de combustión, esto sucedió aproximadamente en un tiempo de 2 horas a una temperatura de 200 °C. Posteriormente se elevó la temperatura a 550 °C por 12 horas aproximadamente para finalmente colocarlos en el desecador hasta lograr una temperatura ambiente, se pesó nuevamente y se realizó los cálculos correspondientes.

$$\% \text{ cenizas} = \frac{P1-P2}{m} \times 100$$

**Ecuación 6-2.** Prueba de cenizas totales

**Fuente:** Castro, S, 2013.

Donde:

*P1*: Peso del crisol con la muestra

*P2*: Peso del crisol vacío

*M*: Masa de la muestra

#### **2.4. Preparación de soluciones de plomo**

Se preparó una solución patrón de plomo a 100 ppm partiendo de nitrato de plomo [ $Pb(NO_3)_2$ ], se consideró pesar 0,07 g del nitrato de plomo y disolverlo en 500 ml de agua destilada, a partir de esta solución se realizó una dilución de la solución madre de plomo con una concentración de 3 ppm y disolverlo en 500 ml de agua destilada, esto se realizó utilizando la fórmula de la ley de las diluciones mencionada por (Chang y College, 2002 p. 56-59).

#### **2.5. Preparación de soluciones de Cadmio**

Se preparó una solución patrón de cadmio a 100 ppm partiendo de cloruro de cadmio [ $CdCl_2$ ], se consideró pesar 0,08 g de cloruro de cadmio y disolverlo en 500 ml de agua destilada, a partir de esta solución se realizó una dilución de la solución madre del cloruro de cadmio con una concentración de 1 ppm y disolverlo en 500 ml de agua destilada, esto se realizó utilizando la fórmula de la ley de las diluciones mencionada por (Chang y College, 2002 p. 59-61).

#### **Disolución de la solución madre de Plomo y Cadmio**

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

**Ecuación 7-2.** Diluciones

**Fuente:** Chang y College (2002).

Dónde:

**C1**: Concentración de la solución patrón

**V1**: Volumen necesario a diluir

**C2**: Concentración a aplicar en el tratamiento

**V2**: Volumen necesario en el tratamiento

## **2.6. Determinación del tiempo de Equilibrio**

### **2.6.1. Tiempo de Equilibrio de plomo**

Para la determinación de este parámetro se elaboró una solución acuosa de 3 ppm de concentración de nitrato de plomo [ $Pb(NO_3)_2$ ], a la que se le agregó 0,5 g de biomasa adsorbente de la goma de tara *Caesalpinia spinosa*, para continuamente mantenerla en agitación constante en un agitador magnético, para posteriormente ir sacando alícuotas en tiempos determinados es decir en: 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 minutos que continuamente fueron filtradas con papel filtro de 0,45  $\mu m$ , cada una de estas alícuotas fueron aciduladas con una gota ácido nítrico concentrado para poder mantener las muestras en perfecto estado hasta realizar el proceso de lectura en el fotocolorímetro de Merck SQ21 118. Con los datos obtenidos en el proceso de lectura, se descubrirá el tiempo en que la biomasa adsorbió la mayor cantidad de plomo, todo esto lo logrará a partir que la concentración se mantenga constante y con variaciones poco significativas (Arias et al., 2017 p. 21).

### **2.6.2. Tiempo de Equilibrio de cadmio**

Para la determinación de este parámetro se elaboró una solución acuosa de 1 ppm de concentración de cloruro de cadmio [ $CdCl_2$ ], a la que se le agregó 0,5 g de biomasa adsorbente de la goma de tara *Caesalpinia spinosa*, para mantenerla una agitación constante con ayuda de un agitador magnético, para posteriormente tomar alícuotas en tiempos de: 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 minutos que posteriormente fueron filtradas al instante con la ayuda de un filtro de 0,45  $\mu m$ , estas alícuotas estuvieron aciduladas con una gota ácido nítrico concentrado para conservarlas el mayor tiempo posible hasta que continuamente sean leídas en el equipo fotocolorímetro de Merck SQ21 118. Con los datos obtenidos se encontrará el tiempo de equilibrio, es decir el tiempo en el que mayor absorción tuvo la biomasa con respecto al metal en cuestión.

## **2.7. Determinación de la dosificación del adsorbente**

La dosificación de la goma de tara se la determinó en base a la información establecida por (Soto, 2017), que explica la capacidad de la goma frente a la concentración de metales, es decir en base a los resultados mostrados por el mismo nos señala que la dosis de saturación de goma para un agua a una concentración de 30 ppm en un litro de muestra es de 0,7 gramos y la saturación de la goma de tara *Caesalpinia spinosa* en el recipiente de análisis que es de 500 ml para lo cual se determinó que la cantidad óptima de goma utilizada será de 0,5 g para el volumen escogido para

realizar el análisis experimental.

## 2.8. Determinación de la capacidad de adsorción de Plomo y Cadmio

Se preparó una solución de nitrato de plomo [Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] de 3 ppm, para posteriormente añadirle la dosis del bioadsorbente de goma tara *Caesalpinia spinosa*., mientras la muestra mantenía una agitación constante de 400 rpm a una temperatura ambiente, las muestras fueron tomadas en un tiempo de 1,3,5,10,15,20,25,30,40,50 minutos una vez agregado el adsorbente, cada alícuota fue filtrada al vacío con la ayuda de un kitasato y un embudo buchner y una bomba al vacío continuamente se adicionado una gota de ácido nítrico para su conservación por un rango de tiempo superior, el análisis se realizó en el fotocolorímetro de Merck SQ21 118. Mediante la técnica de cubetas.

Se repitió el procedimiento por triplicado a la misma concentración, temperatura, y dosis de bioadsorbente. Con los resultados obtenidos se determinó la capacidad de adsorción de la goma de tara *Caesalpinia spinosa*.

## 2.9. Determinación de la cinética de adsorción

Para la determinación de la cinética de adsorción nos ayudaremos con los datos experimentales obtenidos en el tiempo de equilibrio para poder realizar una regresión lineal empleando los modelos matemáticos de pseudo primer y segundo orden. Para el modelo matemático de primer orden, se colocó el tiempo en el eje x y el Log (q<sub>e</sub>-qt) en el eje y. Para el modelo de segundo orden se mantiene el tiempo en el eje x, y para el eje y se utiliza los valores de (t/qt).

El modelo matemático que tenga como resultado un R<sup>2</sup> más cercano a 1 será el que dicte la cinética de la adsorción de cadmio y plomo en biomasa de goma de tara *Caesalpinia spinosa* (Ho y McKay, 1999 citado por Puentes, 2010).

## 2.10. Determinación del porcentaje de efectividad de remoción

Para la determinación de la efectividad de la biomasa, se procedió a utilizar la ecuación planteada a continuación donde se puede obtener un valor aproximado del porcentaje de remoción de los metales en soluciones.

$$E_{Cd} = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} * 100$$

**Ecuación 8-2.** efectividad de remoción

Fuente: (Soto, 2017).

Donde

Co= Concentración inicial

Cf= Concentración final

E= Efectividad.



## CAPÍTULO III

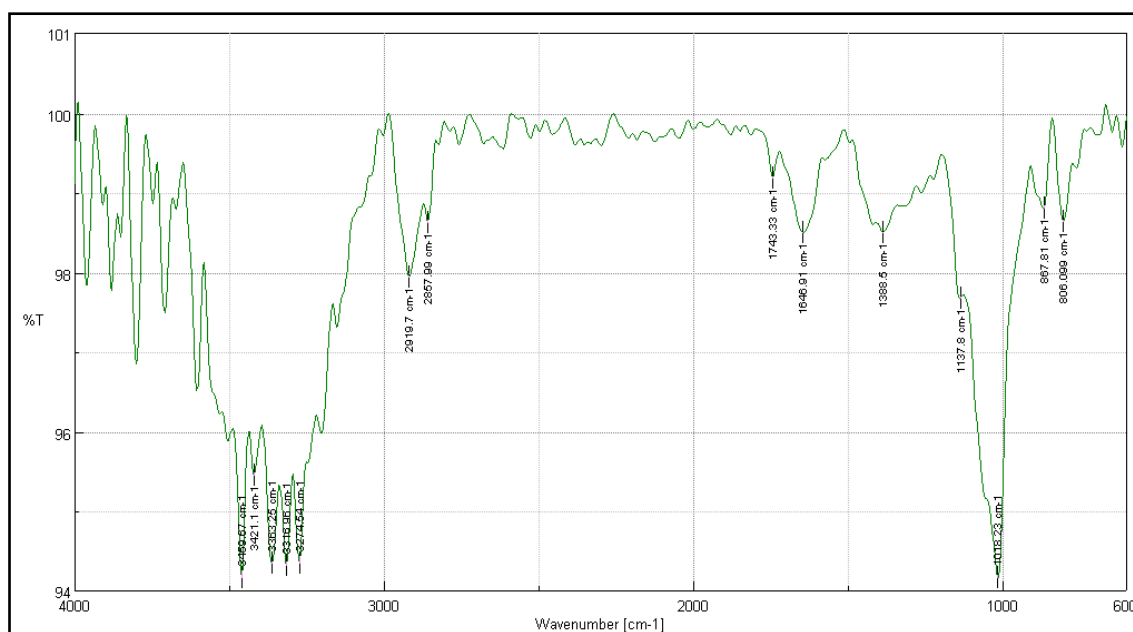
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados de la obtención de la biomasa adsorbente

Para la obtención de la biomasa se empezó con el secado de las semillas esto tomo un tiempo de 4 hora aproximadamente a temperatura ambiente y posteriormente en un tiempo 24 horas a una temperatura de 70° C, continuamente las semillas se pasaron por un molino de bolas y al terminar este proceso se tamizó, haciendo uso de un tamiz de 106 um de tamaño de partícula según bibliografía forma parte de tamaño idóneo para la remoción de metales. De contaminantes en el agua, esta biomasa, tenía apariencia de harina de color blanquecino o crema y se obtuvo alrededor de 2 kg de biomasa, de una muestra (semillas) entera de 5 kg.

#### 3.2. caracterización de la Biomasa Adsorbente

##### 3.2.1. Análisis FT-IR



**Gráfico 1-3.** Espectro de adsorción IR de biomasa de la goma de tara, *Caesalpinia spinosa*.

Realizado por: Camino, Gabriela, 2022.

Los resultados de la espectroscopia infrarroja para la goma de tara *Caesalpinia spinosa*, se realizó en la Facultad de Ciencias en el laboratorio de análisis instrumental de la ESPOCH. Se identificó los picos más significativos de este espectro al igual que los valores numéricos más reveladores de número de onda, de acuerdo a las tablas ya establecidas bibliográficamente se logró predecir

la presencia de grupos funcionales como: grupos hidroxilos OH en los picos 3459.67 [cm-1] y 3421.1 [cm-1] en el cual se pudo apreciar una tensión, en 3363.25 [cm-1] y 3316.96 [cm-1] que se consideró una tensión y se logró identificar como un grupos triple C-H, 3274.54 [cm-1] corresponde a las señales de C-H hasta 2857.99 [cm-1] se podría acercar a una tensión, los valores de 1137.8 [cm-1] hasta 1018.23[cm-1] pertenecen al C-N o C-O con una flexión y por último 867.81 [cm-1] y 806.099 [cm-1] que pertenecen al N-O =C-H COOH y se apreció una tensión simétrica.

Acorde al análisis FT-IR se pudo identificar grupos funcionales que son representativos de biopolímeros como galactosa y manosa combinados por enlaces glicosídicos (galactomananos). Según Basurto Lorenzo (2018), el componente principal de galactomananos consiste en una cadena lineal de unidades de (1->4)-  $\beta$  -D-manopiranososa con unidades de  $\alpha$ -D-galactopiranososa con enlaces (1->6). La proporción entre manosa y galactosa en la goma de tara es de 3:1. Según Soto Paul (2017), nos indica en su investigación que en la goma de tara predomina aceites esenciales, terpenos, serquiterpenos y sustancias aromáticas, y también que presenta una estructura química de hemicelulosa y lignina, además de grupos OH que corresponden a las moléculas ligno-celulósicas, pero se resalta a los radicales amino, debido a la presencia de nitrógeno en su estructura que hace que sea un agente quelante de metales pesados por lo que se puede suponer que los niveles altos de remoción de plomo con el biomaterial de *Caelsapinia spinosa*, pueden deberse en primera instancia a la presencia de grupo hidroxilo, carboxilo y fenol debido a la naturaleza lignocelulósica de la biomasa.

### 3.2.2. Características fisicoquímicas

**Tabla 3-3.** Especificaciones técnicas.

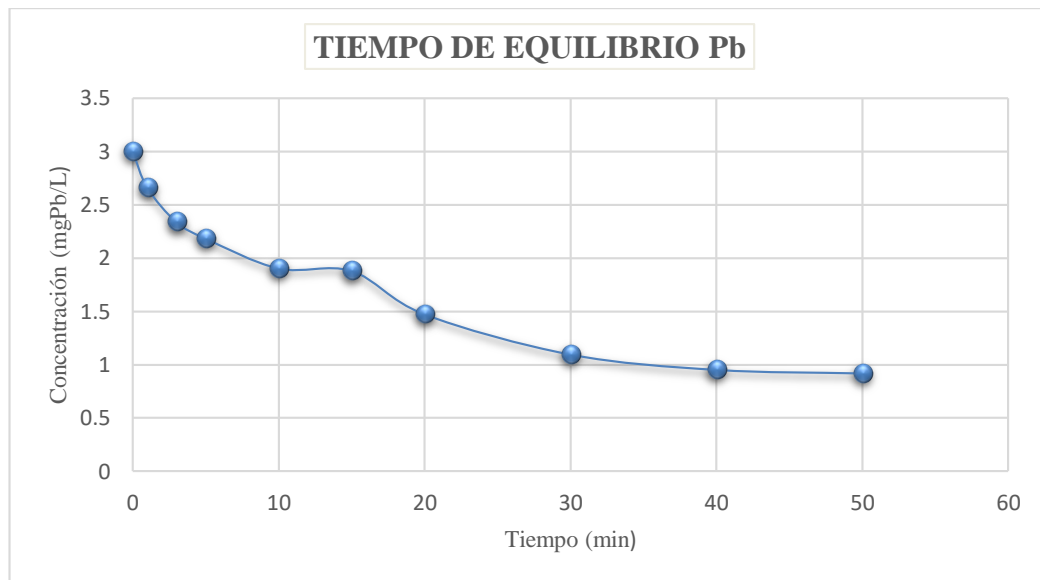
Características Sensoriales:	
Color	Blanco a blanco crema
Olor	Inoloro
Textura	Polvo fino
Características Fisicoquímicas	
Humedad	$\leq 12 \%$
pH	$\geq 4$
Cenizas	$\leq 1,5\%$
Tamaño de partículas	No menor que 97% pasante malla 120

**Elaborado por:** Gabriela, Camino, 2022.

### 3.3. Determinación del tiempo de Equilibrio

Plomo

El tiempo de equilibrio encontrado para plomo fue de 40 minutos, es decir que a los 40 minutos llega a su tope como adsorbente del metal en cuestión en todas las repeticiones realizadas, oscilando en valores cercanos a 0.95 ppm en promedio de una muestra inicial de 3 ppm.



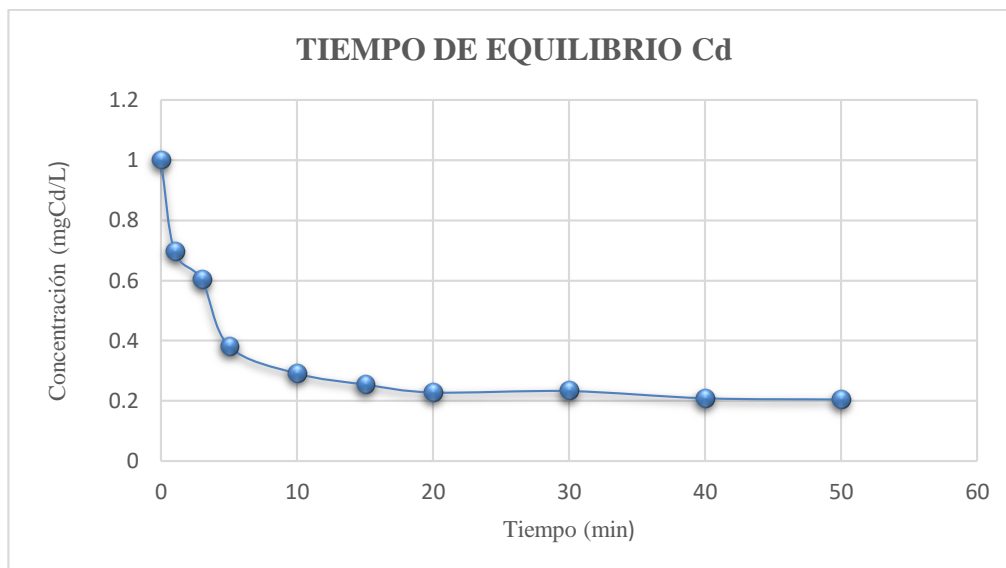
**Gráfico 2-3.** Tiempo de equilibrio plomo

**Realizado por:** Camino, Gabriela, 2022.

Cadmio

Para cadmio fue de 20 minutos, eso quiere decir que a partir de ese tiempo los valores restantes oscilaban entre 0,23 ppm de en promedio a todas las repeticiones del cloruro de cadmio de una muestra inicial de 1 ppm.

Este resultado nos indica que la biomasa ha llegado en ese momento su máxima absorbancia. Estudios previos han demostrado que la goma de tara es un adsorbente efectivo de metales pesados, ya que elimina una gran parte de los contaminantes en poco tiempo, como fue el caso en un estudio sugerido por (Medina Daniel, 2019 p. 67-92), en el cual se encontró un tiempo de equilibrio de 30 minutos a una temperatura ambiente logrando una eficiencia de adsorción superior al 90% de los metales en cuestión.



**Gráfico 3-3.** Tiempo de equilibrio cadmio

Realizado por: Camino, Gabriela, 2022.

### 3.4. Determinación de parámetros cinéticos de adsorción

Los datos obtenidos en el tiempo de equilibrio se aplicaron a modelos matemáticos pseudo-primeros y pseudo-orden para encontrar el modelo que mejor represente su cinética. Estos modelos cinéticos indicaran el comportamiento de los miligramos de plomo adsorbido por gramos de adsorbente ( $qt$ ) en un tiempo determinado de contacto, según (Soto, 2017, p. 43-47). el modelo cinético explica que para que el proceso se lleve a cabo debe existir afinidad de la biomasa (adsorbente) con el plomo (adsorbido); de tal manera que para el elemento químico sea transportado hacia la biomasa donde estuvo contenido por varios mecanismos cuya acción continuará hasta que se establezca un equilibrio entre ambos.

Cadmio

**Tabla 4-3.** Resultados cinética de adsorción cadmio

	Pseudo Primer Orden	Pseudo Segundo Orden
$R^2$	0.1148	0.999
K	0.0205	4.8175

Realizado por: Camino, Gabriela, 2022.

Plomo

**Tabla 5-3.** Resultados cinética de adsorción plomo

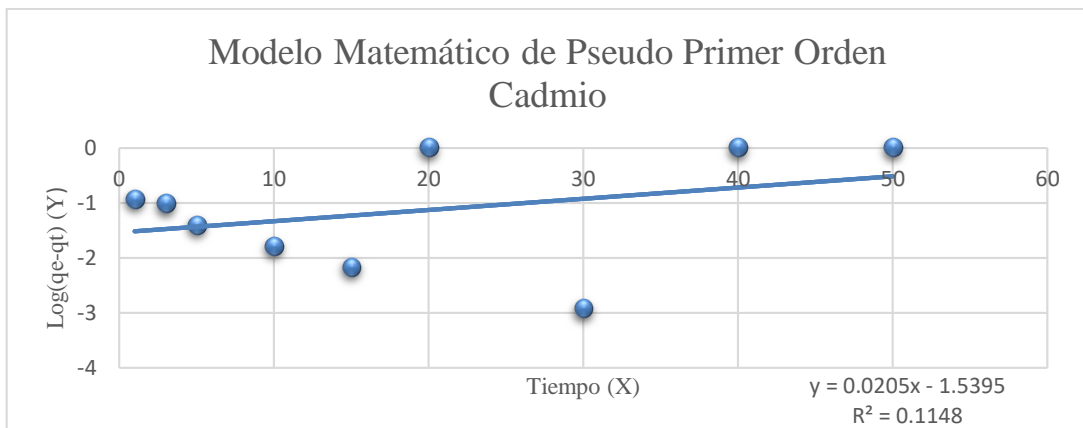
	Pseudo Primer Orden	Pseudo Segundo Orden
$R^2$	0.0163	0.8912
k	0.0048	1.3239

Realizado por: Camino, Gabriela, 2022.

### 3.4.1. Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden

Todos los datos fueron reemplazados en las ecuaciones linealizadas de pseudo primer orden.

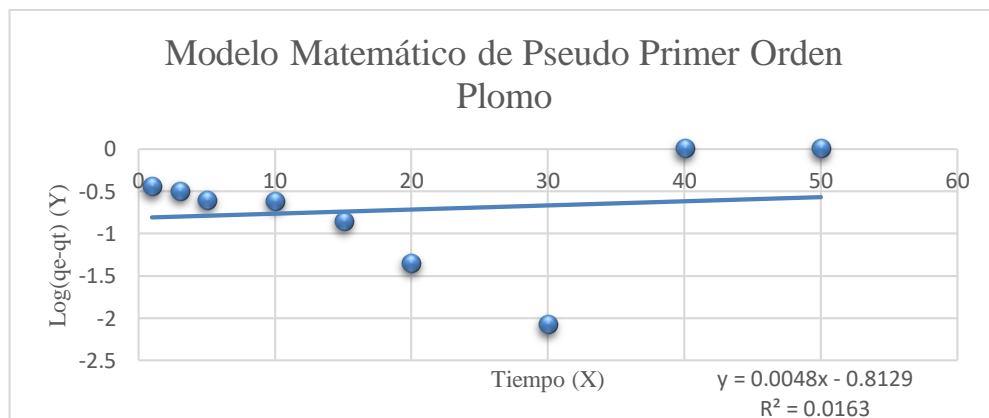
Cadmio



**Gráfico 4-3.** Modelo matemático de Pseudo primer orden cadmio

Realizado por: Camino, Gabriela, 2022

Plomo



**Gráfico 5-3.** Modelo matemático de Pseudo primer orden plomo

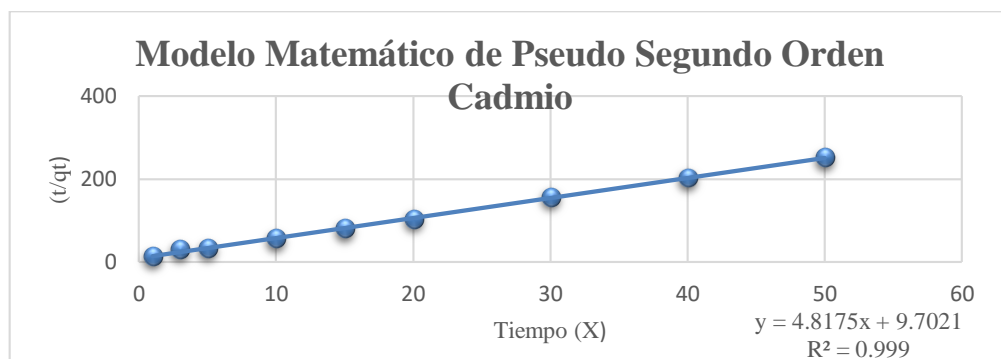
Realizado por: Camino, Gabriela, 2022.

Como se puede observar en los gráficos 4-3 y 5-3, los datos están muy dispersos de la línea de tendencia, además los coeficientes de correlación no son aceptables, por lo que se puede determinar que la cinética de adsorción tanto de Cadmio como de plomo en goma de tara, no encaja en lo absoluto en este modelo matemático de pseudo primer orden. Es decir, los datos experimentales no característicos de este modelo debido a que indica que la fase limitante en el proceso de adsorción es la transferencia de masa de los metales a la superficie del adsorbente, y en este caso, la etapa de control es el propio mecanismo de adsorción.

### 3.4.2. Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden

Todos los datos fueron reemplazados en las ecuaciones linealizadas de pseudo segundo orden.

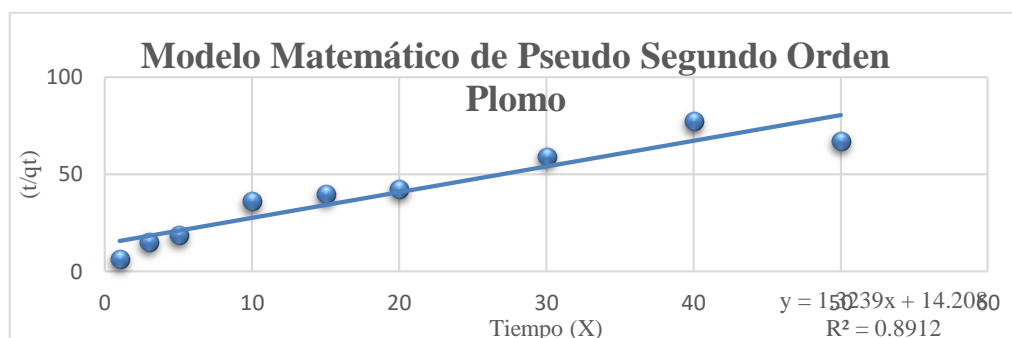
Cadmio



**Gráfico 6-3.** Modelo matemático de Pseudo segundo orden plomo

Realizado por: Camino, Gabriela, 2022.

Plomo



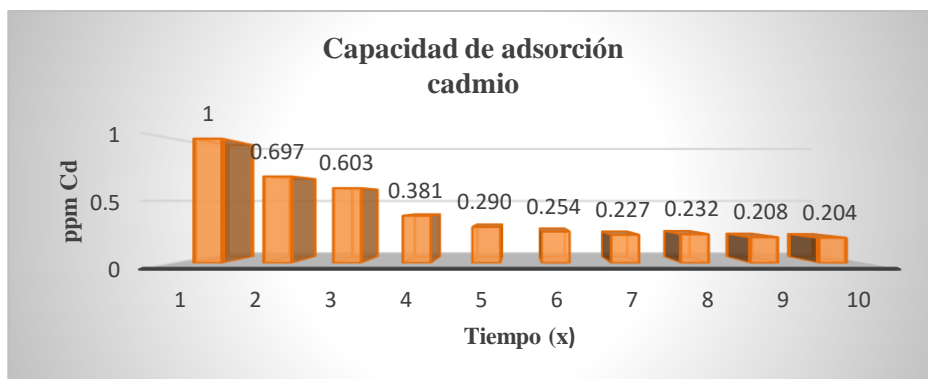
**Gráfico 7-3.** Modelo matemático de Pseudo segundo orden plomo

Realizado por: Camino, Gabriela, 2022.

A diferencia de los dos gráficos anteriores los gráficos 6-3 y 7-3, no contienen datos atípicos, la mayoría se ajusta perfectamente a la línea de tendencia, además el coeficiente de correlación es muy cercano a 1, por lo que se puede concluir que la cinética de la adsorción de cadmio y plomo con este tipo de biomasa se representó mejor con el modelo matemático pseudo de segundo orden. Esto significa que el paso limitante es un mecanismo de adsorción y no puede existir demasiada transferencia de masa entre, los metales en solución y la biomasa adsorbente. Estudios realizados por Soto Paul (2017), explica que en su investigación el modelo matemático de pseudo segundo orden obtuvo una mayor eficacia para la capacidad de adsorción de plomo por la biomasa a través del tiempo, y que cuyo trabajo son similares a los de (Fonseca, y col, 2014 p. 34-56) donde indicaron que los valores obtenidos en la correlación para el modelo de pseudo primero orden no demuestra ser los apropiados para la cinética de adsorción, sino que se ajusta al modelo de pseudo segundo orden.

### 3.5. Determinación de la capacidad de adsorción

Cadmio



**Gráfico 8-3.** Capacidad de adsorción de cadmio.

Realizado por: Camino, Gabriela, 2022.

### Cálculo de la efectividad de la goma de tara

Co= Concentración inicial

Cf= Concentración final

E= Efectividad

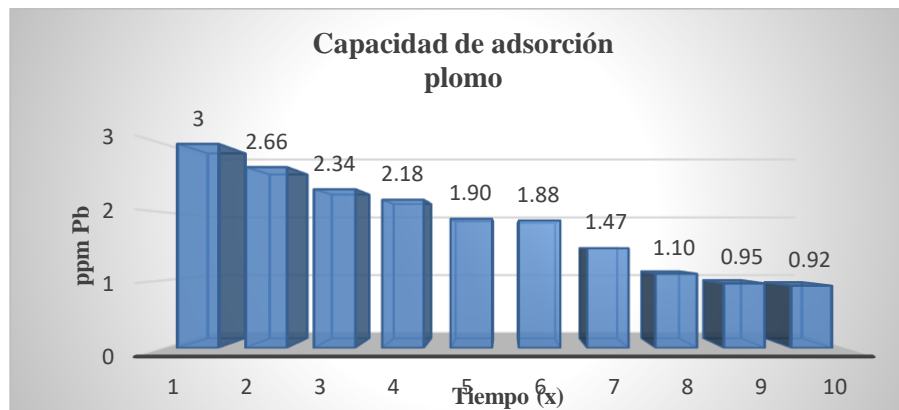
$$E_{Cd} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} * 100$$

$$E_{Cd} = \frac{(1 - 0,204)}{1} * 100$$

$$E_{Cd} = 79,6\%$$

**Ecuación 9-3.** Efectividad para la adsorción de Cadmio.

## Plomo



**Gráfico 9-3.** . Capacidad de adsorción de plomo.

**Realizado por:** Camino, Gabriela, 2022.

$$E_{Pb} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} * 100$$

$$E_{Pb} = \frac{(3 - 0,92)}{3} * 100$$

$$E_{Pb} = 69,33\%$$

### **Ecuación 10-3.** Efectividad para la adsorción de Plomo

El cadmio y plomo adsorbido y su porcentaje de adsorción por la biomasa goma de tara se expresa en los gráficos 8-3 y 9-3, en el cual nos indica que cuando existe la presencia tanto del cadmio como del plomo en solución la biomasa es capaz de remover los elementos químicos, de tal manera que a medida que aumenta el tiempo llega a un punto de saturación. Según el cálculo de la efectividad de adsorción de cadmio nos da un valor de 79,6% en un tiempo de 20 minutos y para plomo un valor de 69,33% después de los 40 minutos a temperatura ambiente.

Según (Steve Medina, 2019 p. 76-83), nos dice que el adsorbente preparado es capaz de remover 40,23 % de arsénico a 2 ppm en un tiempo de 30 minutos.



## CONCLUSIONES

- Se analizó la capacidad de remoción de Cd y Pb, a través de la variación de las concentraciones de los metales cuando se encuentran en contacto con la goma, estimando una remoción del 79,6% para Cd y 69,33 % para Pb. Atribuyendo una mejor adsorción de Cd debido a su mayor electronegatividad.
- La goma extraída de las semillas del árbol de tara presenta en cuanto a propiedades sensoriales: Color blanco, sabor insípido, olor inoloro, y una textura de polvo fino. En cuanto a sus propiedades fisicoquímicas una humedad del 12%, cenizas de 1,5%, pH de 6,8. Por último su espectro IR nos señala la presencia de grupos funcionales hidroxilo y ácido carboxílico, los cuales serían responsables de la atracción de los metales hacia la goma de tara para que realice su adsorción.
- Las curvas de adsorción de la goma de tara para cadmio y plomo evidencian que ambas describen una cinética de reacción de segundo orden, esto debido a que su coeficiente de correlación es más alto que al descrito por una reacción de primer orden, siendo de 0.999 para cadmio y 0.8912 para plomo.
- La goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) de acuerdo a los análisis realizados en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, demostró una efectividad para la remoción de cadmio y plomo del 79,6% y 69,33 % respectivamente, esto tras un contacto de 20 minutos con la solución de 1 ppm de Cd y 40 minutos con la solución 3 ppm de plomo a 400 rpm. Posterior a ese tiempo se puede observar que las curvas se aplanan y no existe un cambio significativo para considerar un tiempo superior a los ya establecidos.

## **RECOMENDACIONES**

- Preparar las soluciones con agua destilada ultra pura para disminuir la probabilidad de interferencias.
- Trabajar con pipetas automáticas de preferencia para evitar errores debido a que esas son más precisas.
- Las muestras preparadas acidularlas con una gota de ácido nítrico concentrado para presérvallas por un rango de tiempo mayor.
- Realizar estudios de prueba para poder tener todos los percances y evitarlos en los ensayos reales

## **BIBLIOGRAFÍA**

**APARICIO, M.; VILLEGAS, M. A.; DURÁN, A.** Protección antioxidante de materiales compuestos C/SiC mediante recubrimientos de sílice por sol-gel. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio*, 1997, vol. 36, p. 119-122.

**ARIAS, Fabian E. Arias, et al.** Study of the adsorption of mercury (II) on lignocellulosic materials under static and dynamic conditions. *Chemosphere*, 2017, vol. 180, p. 11-23.

**BASURTO, L.** (15 de Abril de 2018). *ALNICOLSA del Perú S.A.C.* . Obtenido de Callao-Ventanilla: <https://taninos.tripod.com/goma.htm>

**BERMÚDEZ, Xiomara Cabrera; RAMÍREZ, Marisol Fleites; MOYA, Ana M. Contreras.** Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "desembarco del Granma" a escala de laboratorio. *Tecnología química*, 2009, vol. 29, no 3, p. 64-73.

**Bruni, M.** (15 de Abril de 2010 ). *Gestión de agua y saneamiento sostenible*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/sedimentaci%C3%B3n->

**DE LA TORRE, L.** La tara, beneficios ambientales y recomendaciones para su manejo sostenible en relictos de bosque y sistemas agroforestales. *CONDESAN. Quito*, 2018.

**CHOQUE-QUISPE, David, et al.** Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 2018, vol. 38, no 2, p. 298-309.

**CRUZ HERBERT, Rosa Neri.** *Síntesis y caracterización de fibras híbridas jerárquicas de zeolita mordenita/alúmina mediante la técnica de electrohilado*. 2020. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León.

**LARA, María de los Ángeles Martín.** *Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados*. Universidad de Granada, 2008.

**LENNTECH, B. V. Lenntech.** *Water treatment and air purification*. [View Article], 2008.

**LORENZO-ACOSTA, Yaniris.** Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 2006, vol. 40, no 2, p. 10-17.

**MONTENEGRO, M. T.** (26 de Abril de 2015). *SCRIBD*. Obtenido de Manejo Del Fotocolorímetro de Merck SQ 118 : <https://es.scribd.com/doc/263159461/MANEJO-DEL-FOTOCOLORIMETRO-DE-MERCK-SQ-118>

**NAVARRO, N.** Ingeniería y Servicios Ambientales. *Obtenido de Prueba de Jarras: <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/prueba-de-jarras>*.

**PABÓN, S. E., et al.** Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 2020, vol. 14, no 27, p. 9-18.

**PALOMINO MARCELO, César Augusto Juniors; QUINTANA ROJAS, Daniel.** Diseño de sistema de riego por aspersión para el campus de la Universidad César Vallejo en la sede Lima Norte. 2017.

**RODRÍGUEZ HEREDIA, Dunia.** Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan*, 2017, vol. 21, no 12, p. 3372-3385.

**SAC, Molinos Asociados.** Molinos Asociados SAC (MASAC). 2012.

**SOTO TORRES, Rose Isabel.** Influencia de los factores económicos y laborales en el proceso de jubilación por edad legal de los docentes de la Universidad Nacional de Trujillo. distrito de Trujillo. Año 2017. 2018.

**TAPIA GARZOZI, Kathia Zulay, et al.** *Análisis de las exportaciones de los metales no ferrosos para el desarrollo de la matriz energética*. 2015. Tesis de Licenciatura. Guayaquil: ULVR, 2015.

**VILLENA VELÁSQUEZ, Jim J.; SEMINARIO CUNYA, Juan F.; VALDERRAMA CABRERA, Miguel A.** Variabilidad morfológica de la " tara" *Caesalpinia spinosa* (Molina.) Kuntze (Fabaceae), en poblaciones naturales de Cajamarca: descriptores de fruto y semilla. *Arnaldoa*, 2019, vol. 26, no 2, p. 555-574.

## ANEXOS

### ANEXO A. OBTENCIÓN DE LA BIOMASA ADSORBENTE

a)



b)



c)



a) Adquisición de la goma de tara

b) Presentación de la goma de tara

c) Membrete a cada frasco para las muestras de solución

## ANEXO B. MEDIDA DE LA BIOMASA

a)



b)



c)



a) Preparación para el filtrado al vacío

b) Medida de goma de tara

c) Colocación de la goma de tara en la solución

## ANEXO C. TOMA DE ALÍCUOTAS

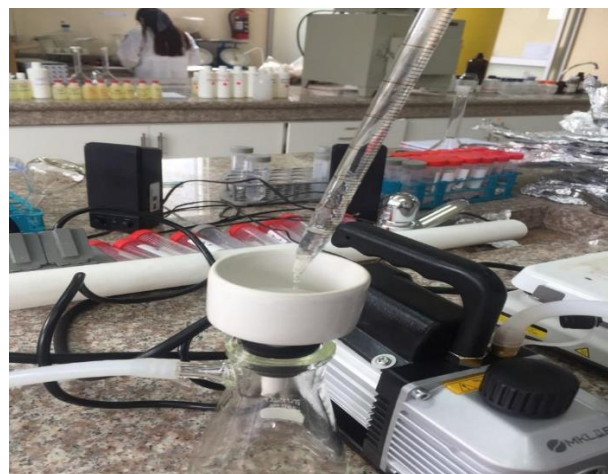
a)



b)



c)



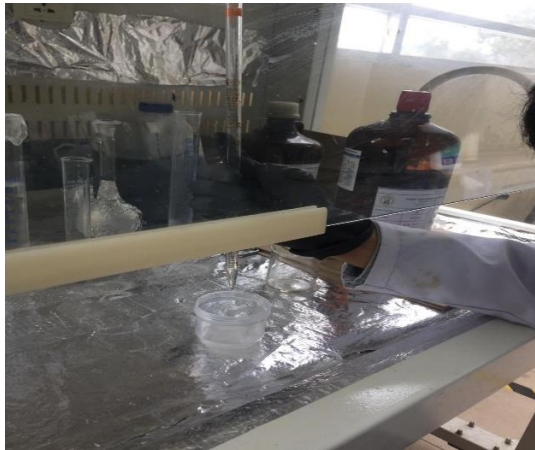
- a) Solución lista para empezar a tomar las alícuotas
- b) Toma de alícuotas de solución
- c) Muestra próxima a ser aforada

## ANEXO D. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

a)



b)



c)

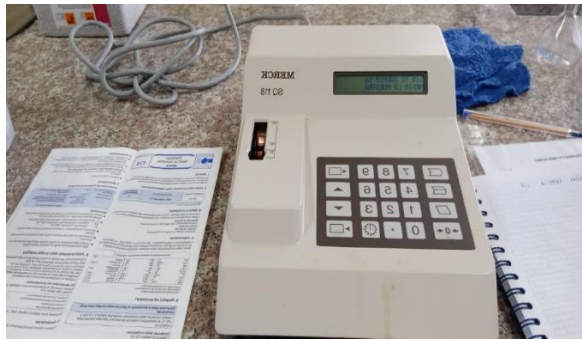


- a) Solución lista para ser filtrada
- b) Adición de la gota de ácido nítrico en las soluciones
- c) Muestras listas para ser leídas



## ANEXO E. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

a)



b)



c)



a) Fotocolorímetro de Merck SQ 118.

b) Test de cubetas de cadmio y plomo

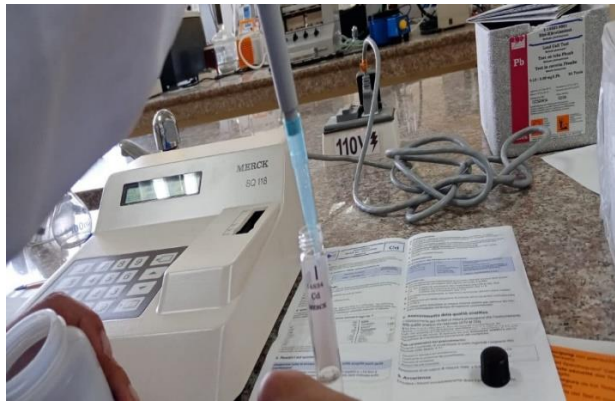
c) Adición de la solución A

## ANEXO F. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES PARA SER LEÍDAS

a)



b)



c)



- a) Adición de la solución B
- b) Adición de solución contaminada
- c) Muestra lista para ser leída

## ANEXO G. REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

### UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

### REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22 / 04 / 2022

#### INFORMACIÓN DEL AUTORA (S)

**Nombres – Apellidos:** *Gabriela Elizabeth Camino Nuñez*

#### INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

**Facultad:** *Ciencias*

**Carrera:** *Ingeniería en Biotecnología Ambiental*

**Título a optar:** *Ingeniera en Biotecnología Ambiental*

**f. Analista de Biblioteca responsable:** *Ing. Leonardo Medina Nuste MSc.*

LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE

Procedente digitalizado a por LEONARDO  
FABIO MEDINA NUSTE  
Instituto de Investigaciones y Estudios  
Banco Central del Ecuador  
por ENTIDAD DE CERTIFICACIONES  
INFORMACIONES ESPECIALES  
por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Fecha: 2022.04.22 15:11:44 -0500



0671-DBRA-UTP-2022