

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**BIOSORCIÓN DE CROMO (VI) DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE
POR LA SEMILLA ACTIVADA DE *PERSEA AMERICANA* VARIEDAD DE
PALTA FUERTE – CAJAMARCA 2020**

Autores:

Bach. María Silvia Terán Cueva

Bach. Tania Katherine Lezama Campos

Cajamarca – Perú

Octubre – 2021

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**BIOSORCIÓN DE CROMO (VI) DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE
POR LA SEMILLA ACTIVADA DE PERSEA AMERICANA VARIEDAD DE
PALTA FUERTE – CAJAMARCA 2020**

**Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el
Título Profesional Ambiental y Prevención de Riesgos de Ingeniero**

Autores:

Bach. María Silvia Terán Cueva

Bach. Tania Katherine Lezama Campos

Cajamarca - Perú

Octubre – 2021

COPYRIGHT © 2021 by

MARÍA SILVIA TERÁN CUEVA
TANIA KATHERINE LEZAMA CAMPOS

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE
RIESGOS**

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

BIOSORCIÓN DE CROMO (VI) DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE POR
LA SEMILLA ACTIVADA DE *PERSEA AMERICANA* VARIEDAD DE PALTA

FUERTE – CAJAMARCA 2020

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

A:

Este presente proyecto está dedicado primeramente a Dios por ser la fortaleza en nuestro día a día, a nuestros padres por su amor, paciencia y por su apoyo incondicional, por ser nuestra inspiración y motivación durante toda la lucha del camino de nuestra formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos, protegernos y fortalecernos en aquellos momentos de dificultades durante nuestro camino y darnos fuerzas para superar cada obstáculo a lo largo de nuestras vidas.

Agradecemos la confianza que han tenido nuestros padres: Rodrigo y Ysabel; Américo y Martha quienes han tenido la confianza en creer en nosotros, por los valores y los principios que nos han inculcado.

Agradecemos de manera especial a nuestro asesor de tesis al Mg. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez por su apoyo, experiencia y conocimientos brindados durante la elaboración de nuestro proyecto de investigación.

Finalmente, agradecemos a la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, plana docente de la carrera profesional de ingeniería ambiental y prevención de riesgos por habernos compartido sus conocimientos en nuestra formación profesional.

RESUMEN

La búsqueda de materiales de sorción es muy importante para la purificación de aguas contaminadas con diversas sustancias, dentro de dicha búsqueda se están orientando ciertas investigaciones a los materiales de residuos agrícolas, los cuales proviene de material orgánico por lo cual se les denomina biosorbentes.

En el laboratorio se analizó la concentración de cromo (VI) en la prueba de cinética midiendo 10 L de agua residual de curtiembre con cromo (VI) se mezcló con 250 g de semillas y se agitó a 200 RPM. Se tomó la muestra para análisis de metales con tiempo de contacto de 30; 60; 90; 120; 150 y 180 minutos. En la prueba de la isoterma se midió 1 L de muestra de agua con contenido de cromo (VI) en seis recipientes se pesó 10; 25; 50; 75; 100 y 150 g de semillas y se añadió a cada recipiente un 1 L de agua con contenido de cromo (VI).

Las semillas de *Persea americana* son efectivas como material de biosorción de cromo (VI) en aguas residuales. Ya que un modelo cinético de pseudo segundo orden dado que su linealidad o R^2 es 99.9 % mayor al del pseudo primer orden que tiene un valor R^2 de 67.1. El modelo isotérmico con mayor ajuste fue el de Langmuir, dado que, los resultados tuvieron un R^2 del 99.3% a diferencia de la isoterma de Freundlich que fue del 96.4 %.

Palabra claves: biosorción del cromo (VI), agua residual de curtiembre, *Persea americana*.

ABSTRACT

The search for sorption materials is very important for the purification of water contaminated with various substances, within this search certain investigations are directed to agricultural waste materials, which comes from organic material for which they are called biosorbents.

In the laboratory, the chromium (VI) concentration was analyzed in the kinetic test by measuring 10 L of residual water from tanning with chromium (VI), mixed with 250 g of seeds and stirred at 200 RPM. The sample was taken for metal analysis with a contact time of 30; 60; 90; 120; 150 and 180 minutes. In the isotherm test, 1 L of water sample with chromium (VI) content was measured in six containers, 10 was weighed; 25; fifty; 75; 100 and 150 g of seeds and 1 L of water containing chromium (VI) was added to each container.

Persea americana seeds are effective as a chromium (VI) biosorption material in wastewater. Since a pseudo-second order kinetic model given that its linearity or R² is 99.9% greater than that of the pseudo-first order that has an R² value of 67.1. The isothermal model with the best fit was Langmuir's, since the results had an R² of 99.3%, unlike the Freundlich isotherm, which was 96.4%.

Keywords: chromium (VI) biosorption, tannery wastewater, *Persea americana*.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
<i>LISTA DE TABLAS</i>	vii
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	ix
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1. El problema de investigación.....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.4. Justificación de la investigación.....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2. Fundamentos teóricos de la investigación	5
2.1. Antecedentes teóricos.....	5
2.2. Marco Histórico	10
2.3. Marco Teórico.....	10
2.4. Marco conceptual.....	36
2.5. Hipótesis de la investigación	38
CAPITULO III: MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	40
3. Metodología de la investigación.....	40
3.1. Tipo de investigación	40
3.2. Diseño de investigación	40
3.3. Área de la investigación.....	41
3.4. Población	41
3.5. Muestra.....	42
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	42
3.7. Técnicas para el procedimiento y análisis de datos	43

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	45
4.1. Análisis estadístico.....	45
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
5.1. Conclusiones:.....	67
5.2. Recomendaciones.....	68
REFERENCIAS	69
LISTA DE ABREVIATURAS	73
ANEXOS.....	74

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Toxonómica de la palta Persea Americana</i>	31
<i>Tabla 2 Composición química y nutricional de dos cultivares de palto</i>	32
<i>Tabla 3 Composición química de la semilla de la palta Fuerte en base húmeda por cada 100g</i>	35
<i>Tabla 4 Contenido de ácidos grasos entre la pulpa y la semilla de la palta variedad Fuerte</i>	36
<i>Tabla 5 Operacionalización de variables</i>	39
<i>Tabla 6 Resultados de la concentración del Cr VI (mg/L) en diferentes pesos (g)</i>	45
<i>Tabla 7 Resultados de la concentración del Cr VI (mg/L) en diferentes tiempos (min)</i> . 46	
<i>Tabla 8 Análisis de varianza de un factor para la concentración de Cr VI en diferentes pesos (g)</i>	49
<i>Tabla 9 Comparaciones en parejas de Tukey para el Cr VI en diferentes pesos (g)</i>	49
<i>Tabla 10 Comparaciones en parejas de Fisher para el Cr VI en diferentes pesos (g)</i> ...49	
<i>Tabla 11 Análisis de varianza de un factor para la concentración de Cr VI en diferentes tiempos (min)</i>	52
<i>Tabla 12 Comparaciones en parejas de Tukey para el Cr VI en diferentes tiempos (min)</i>	53
<i>Tabla 13 Comparaciones en parejas de Fisher para el Cr VI en diferentes tiempos (min)</i>	53
<i>Tabla 14 Comparación de la capacidad de adsorción (q) de las tres pruebas para las Isotermas</i>	57

<i>Tabla 15 Comparación de la capacidad de adsorción (q) de las tres pruebas para la cinética.</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 16 Linealización de la isoterma de Langmuir.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 17 Linealización de la isoterma de Freundlich.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 18 Linealización de la cinética de adsorción para pseudo primer orden.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 19 Linealización de la cinética de adsorción para pseudo segundo orden</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 20 Efectividad de adsorción de las semillas Persea americana</i>	<i>64</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Sistema de clasificación de isothermas (Fuente: (Giles, Maceva, Nakwa, & Smith, 1960).....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2. Partes de la semilla de la palta</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3. Diseño del experimento</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4: Prueba de normalidad a la capacidad de adsorción ($q_{Cr VI}$) para los diferentes pesos (g).....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5: Prueba de normalidad a la capacidad de adsorción ($q_{Cr VI}$) para los diferentes tiempos (min).</i>	<i>47</i>
<i>Figura 14: Comparación de la capacidad de adsorción (q) vs. el tiempo de reacción de las tres pruebas experimentales para la cinética.</i>	<i>58</i>

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. El problema de investigación

1.1. Descripción de la realidad problemática

Los compuestos de cromo se utilizan en varios procesos industriales, como el cromado, la fabricación de tintes y pigmentos, el proceso de curtido del cuero, la conservación de la madera, etc. Las aguas residuales que surgen de estos procesos contienen un alto nivel de cromo que es perjudicial para el medio ambiente y la salud humana. El uso extensivo de cromo ha provocado graves problemas de contaminación del agua (Zayed & Terry, 2003, pág. 139). En nuestro país una las industrias que generan mayores efluentes con contenido de cromo son la industria galvanoplastia y la curtiduría.

El cromo existe en el medio ambiente en dos estados de oxidación estables de cromo hexavalente, Cr (VI) y cromo trivalente, Cr (III). El Cr (VI) se produce generalmente mediante procesos industriales. Los estudios demuestran que el Cr (VI) es altamente tóxico y está clasificado como carcinógeno humano por la Organización Mundial de la Salud debido a su rápida permeabilidad a través de las membranas biológicas y la posterior interacción con proteínas intracelulares y ácidos nucleicos. Por otro lado, el Cr (III) se encuentra naturalmente en el medio ambiente y es un nutriente esencial que ayuda en el metabolismo de grasas, azúcares y proteínas por el cuerpo humano (Aggarwal & Arora, 2020, pág. 1540).

Las técnicas comúnmente utilizadas para la eliminación de cromo de medios acuosos incluyen precipitación química, deposición electroquímica, evaporación,

cementación, proceso de membrana, intercambio de iones y adsorción, etc. Sin embargo, estos métodos tienen limitaciones como baja eficiencia, altos costos operativos y mayores cantidades de generación de lodos. Se ha informado de métodos alternativos como la biosorción y la reducción de cromo que implican el uso de biomateriales vivos y muertos que tienen ventajas añadidas de bajo costo, fácil disponibilidad y eliminación (Aggarwal & Arora, 2020, pág. 1540). Por lo tanto, podemos decir que la adsorción puede ser un método eficaz para el tratamiento de aguas residuales que contienen metales como el Cromo (VI). La bioadsorción aparece como una alternativa interesante en la eliminación de estos iones, ya que es una tecnología que permite no solo eliminarlos, sino también, darles una utilidad adicional. Otras ventajas de la bioadsorción frente a las técnicas convencionales serían: bajo costo, alta eficiencia, minimización de lodos biológicos, regeneración de biosorbentes y recuperación de metales.

Un estudio realizado por Boeykens, Redondo, Alvarado Obeso, Caracciolo y Vázquez (2019) sobre la adsorción de cromo y plomo mediante estudio de biomasa de semilla de aguacate mediante el uso de análisis de fluorescencia de rayos X de reflexión total en agua sintética en donde concluyeron que se removieron de forma considerable el plomo (II) y el cromo (VI) con biomasa activada. En base a dicho estudio, en la presente propuesta se busca estudiar la biosorción del cromo (VI) en aguas residuales provenientes de la industria de curtiembre haciendo uso de las semillas de *persea americana*, mas conocida en nuestro país como la pepa de Palta.

1.2. Formulación del problema

¿Es efectivo como material de biosorción de cromo (VI) en las aguas residuales de curtiembre las semillas activadas de *Persea americana* en su variedad de “Palta Fuerte”?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la biosorción del cromo (VI) del agua residual de curtiembre por la semilla activada de *Persea americana* en su variedad de palta fuerte.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la disminución de cromo (VI) al estar en contacto con las semillas activadas de *Persea americana* en su variedad de palta fuerte.
- Determinar los parámetros del modelo isotérmico de sorción que más se ajusta en la interacción de cromo (VI) con las semillas activas de *Persea americana* en su variedad de palta fuerte.
- Determinar los parámetros del modelo cinético de sorción que más se ajusta en la interacción del cromo (VI) con las semillas activas de *Persea americana* en su variedad de palta fuerte.

1.4. Justificación de la investigación

La importancia de la presente investigación dará un aporte en la ingeniería ambiental dentro del desarrollo de conocimiento científico para identificar los tipos de procesos que se desarrollan en el uso de materiales absorbentes, así como para la aplicación tecnológica en la búsqueda de alternativas para el tratamiento de aguas contaminadas de cromo (VI).

El vertido incontrolado de residuos químicos como el Cr(VI), como sucede con las aguas residuales de curtiembre está causando serios problemas a los recursos hídricos, poniendo en peligro en muchos casos el equilibrio de los distintos ecosistemas y la salud pública de habitantes de los mismos.

Desde el punto de vista ambiental, el uso de residuos del consumo de palta para ser utilizados en la remoción de metales presentes en agua, es una alternativa viable para disminuir la contaminación del agua con especies metálicas. Técnicamente, la biosorción es una alternativa a los métodos convencionales de tratamiento de aguas, considerando el empleo de sorbentes naturales relativamente fáciles de encontrar, renovar, manipular.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1. Antecedentes teóricos

En particular, el proceso de adsorción ha sido reconocido como una tecnología viable para el saneamiento del agua. Los procesos de adsorción se utilizan ampliamente para el tratamiento de aguas residuales, aguas subterráneas y efluentes industriales, incluida la producción de agua potable. Este método de tratamiento puede ofrecer varias ventajas para la purificación del agua porque se puede operar en diferentes escenarios además de su fácil uso, flexibilidad, diseño versátil, requisitos de baja energía y compensación de costo-efectividad. En general, la viabilidad económica y técnica de los procesos de adsorción depende de varios factores, incluidos el tipo de adsorbente, las propiedades de los fluidos y los contaminantes que se eliminarán, las condiciones de operación, la configuración del proceso, la regeneración y la eliminación de desechos. (Bonilla, Mendoza, & Reynel, 2017)

El proceso de adsorción ha demostrado ser una de las mejores tecnologías de tratamiento de agua en todo el mundo y, sin duda, el carbón activado se considera un adsorbente universal para la eliminación de diversos tipos de contaminantes. Sin embargo, el carbón activado tiene algunas restricciones debido a sus altos costos. Se han realizado intentos para desarrollar adsorbentes económicos utilizando numerosas pruebas con los residuos agroindustriales. El uso de desecho como material absorbente sería muy atractivo debido a su

contribución en la reducción de los contaminantes del agua y la reducción de los costos tanto en la eliminación de residuos como en el tratamiento del agua, contribuyendo así a la protección del medio ambiente. (Bhatnagar y Sillanpää, 2010)

Dentro de esta búsqueda de nuevos materiales absorbentes (Tejada, Herrera, & Núñez, 2016) de Colombia investigaron sobre la “Remoción de plomo por biomasas residuales de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*)” en la cual hicieron una comparación entre las biomasas utilizadas, variando el tamaño de partícula y el pH, con el fin de determinar las mejores condiciones de adsorción, de lo cual encontraron que las biomasas con mayor capacidad de adsorción se dio para un tamaño de partícula de 0.5mm para el zuro de maíz y 1mm para la cáscara de naranja, a un pH de 6, con valores de remoción de 67.5% y 99.2%, respectivamente.

En el Perú no es ajeno a la búsqueda de materiales absorbente provenientes de los residuos agroindustriales, en el año 2015, se desarrolló una investigación por (Oré, Lavado, & Bendezú, 2015) sobre “Biosorción de Pb (II) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz *Zea mays*”, en la cual determinaron que la capacidad máxima de biosorción para el plomo fue de 7.9 mg/g logrando remover 97% en un sistema batch (por lotes) con 4g/L de material bio absorbente, el pH al cual se hizo la prueba fue de 5. Otra investigación desarrollada por (Balseca, 2017) como tesis de pregrado intitulada “Capacidad del zuro de maíz *Zea mays* como bioadsorbente para remover Plomo divalente en aguas

contaminadas a nivel laboratorio”, lo cual lo determinó que la capacidad máxima de adsorción fue de 65.14 mg/L para una dosis de adsorbente de 4 g/L a un pH de 4.

En Cajamarca también se han desarrollado investigaciones con bioadsorbentes por ejemplo la realiza por (Collantes, Lisette, 2019) en su tesis intitulada “Capacidad biosorbente de Plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)” la cual fue desarrollada en un sistema continuo manteniéndose constante la masa de biosorbente 60 g, tamaño de partículas entre 0.630 mm y 0.400 mm, pH 4.5, velocidad de flujo 5 ml/min y duración del proceso de 120 min; cuyos resultados fue obtener remoción superior al 95 % para la cáscara de naranja y superior al 80 % para la vaina de taya. En otra tesis desarrollada por (Bautista & Jiménez, 2019) intitulada “Influencia del tiempo de retención y proporción del Zuro de *Zea mays* en el drenaje ácido de mina para la remoción de Hierro y Plomo Total del río Hualgayoc – Arascorgue” la cual obtuvieron una mayor remoción para el hierro a una concentración de 25 g/L de adsorbente y de 75g/L para el Plomo. No se logró determinar la influencia del tiempo de retención a los evaluados (4; 8 y 12 horas), según sus recomendaciones se debe evaluar a menor tiempos para verificar su significancia.

Hasta la fecha, la gran cantidad de estudios realizados sobre la sorción de contaminantes acuáticos se ha centrado principalmente en el análisis y la comprensión de soluciones individuales (es decir, un adsorbato en solución). Sin

embargo, la adsorción multicomponente es relevante para el diseño, optimización y operación de sistemas de la vida real para la purificación de aguas residuales, efluentes industriales y aguas subterráneas. La adsorción simultánea de varios adsorbatos puede implicar efectos sinérgicos, antagónicos o de no interacción dependiendo del adsorbente, el número y tipo de adsorbatos (es decir, contaminantes) y sus concentraciones, además de las propiedades del fluido, como la temperatura y el pH. La presencia de varios contaminantes en la misma solución puede afectar significativamente el rendimiento del adsorbente. Por ejemplo, la adsorción de iones de metales pesados en sistemas multimetálicos se ve afectada por las propiedades y concentraciones de los otros iones (Choy y McKay, 2005), mientras que algunos tintes pueden favorecer la adsorción de especies metálicas en mezclas de tinte de metal (Hernandez-Eudave, Bonilla-Petriciolet, Moreno-Virgen, Rojas-Mayorga, y Tovar-Gómez, 2016). La naturaleza fisicoquímica compleja de los sistemas multicomponentes de la vida real impone nuevos desafíos para las tecnologías de tratamiento de aguas, incluidos los procesos de adsorción.

Aunque la adsorción es una tecnología consolidada, está claro que existen áreas de oportunidad para mejorar su desempeño para enfrentar los problemas actuales de contaminación de las aguas subterráneas y residuales, incluido el tratamiento de los efluentes industriales (Bonilla-Petriciolet, Mendoza-Castillo, y Reynel-Ávila, 2017).

La biomasa de semillas de *Persea americana*, ya sea natural o activada, ha demostrado ser un material prometedor y de bajo costo para la preparación de nuevos adsorbentes para el control de la contaminación del agua. Se observó una alta capacidad de adsorción tanto de iones positivos como negativos (Pb (II) y Cr (VI)) para la forma de biomasa activada con ácido fosfórico (AB) y para el carbón activado (AC) (Boeykens, Redondo, Alvarado, Caracciolo, & Vázquez, 2019, pág. 6). Sin embargo, estos experimentos se realizaron en agua sintética es decir preparada a nivel de laboratorio.

El mecanismo de adsorción de metales pesados utilizando biomasa natural de la semilla de *Persea americana* y activada podría ser a través de procesos de intercambio iónico y de formación compleja donde podrían estar involucradas interacciones con los grupos –OH, carboxilo, amina y amida de la superficie absorbente (Boeykens, Redondo, Alvarado, Caracciolo, & Vázquez, 2019, pág. 6).

Según Boeykens et al (2019) “Los datos de equilibrio ajustaron mejor el modelo de isoterma de adsorción de Langmuir, que coincide con la hipótesis del intercambio iónico como mecanismo participativo en la adsorción” (pág. 6).

2.2. Marco Histórico

Shukla y Sakhardande, (1991), llevaron a cabo estudios sobre la adsorción de diferentes cationes metálicos (Fe, Pb, Hg, Cr y Cd) sobre materiales celulósicos como fibras de algodón, pulpa de bambú blanqueada, fibra de yute, aserrín, pieles de almendras, comprobándose niveles de bioadsorción de hasta 96% en algunos casos.

Dambies., et al, (2001) logró reducir cerca del 55% de Cr (VI) a Cr (III) en quitosan. Informó también que los iones Cr (III) cargados positivamente se unen por interacción electrostática con la carga negativa de la superficie de quitosan, a través de ligandos carboxílicos.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Los metales pesados

Los metales pesados (por ejemplo, plomo, cobre, cadmio, cinc, cromo, etc.) tienen un alto índice de toxicidad y son no biodegradables. (Collantes, 2019)

Son elementos con elevados pesos atómico, superiores a 44,956 y una densidad superior a 5 g/cm³, excluyendo a los grupos alcalino y alcalinotérreo. Aunque algunos metales son importantes para los organismos vivos como, hierro, cobalto, vanadio, cobre, manganeso, molibdeno, zinc y estroncio. Aquellos metales pesados no esenciales, que

contaminan el agua son: cromo, cadmio, mercurio, plomo, arsénico y antimonio. (Valensuela & Canto, 2017, pág. 7)

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos. (Méndez, Ramírez, & Gutiérrez, 2009, pág. 29)

2.3.2. Cromo

El cromo es un elemento que se encuentra normalmente en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en formas diferentes y éstas determinan su estado líquido, sólido o gas. El cromo (0), cromo (III) y cromo (VI) son las formas más comunes en las que se encuentra este elemento. El cromo (0), también denominado cromo metálico, se usa en la fabricación de acero y el cromo (III) y (VI) se utilizan en el cromado, en colorantes y pigmentos, en curtido del cuero y en la preservación de la madera y, en cantidades pequeñas, en barrenas para la extracción de petróleo, inhibidores de corrosión, en la industria textil y en el tóner para copadoras. El cromo hexavalente (CrVI) y el cromo (Cr0) son formas producidas normalmente por procesos industriales, mientras que las formas trivalentes predominan en organismos vivos. El cromo trivalente (CrIII) es un elemento residual necesario para mantener un buen estado de salud, ya

que ayuda al cuerpo a utilizar el azúcar, la grasa y las proteínas. (Montoya, Casas, & Wandurraga, 2010, pág. 4)

La contaminación de las aguas ocurre por la descarga de desechos derivados de la manufactura de colorantes y pigmentos para el curtido de cueros; la mayor parte de las veces, el cromo se va al fondo y sólo una pequeña parte se diluye en el agua. (Montoya, Casas, & Wandurraga, 2010, pág. 5)

2.3.3. Sorción:

La transición de una sustancia a una fase determinada desde otra fase en el proceso de establecimiento de la distribución en interfase de las sustancias puede considerarse como un proceso de sorción de sustancias por la fase determinada. Dado que las sustancias del sistema se distribuyen en un grado u otro entre todas las fases del sistema heterogéneo, el proceso de sorción se lleva a cabo en cada una de las fases [...]. El curso y carácter de la interacción de las fases de un sistema heterogéneo y, en consecuencia, el curso y carácter de los procesos de sorción, dependen del estado de agregación de las fases, propiedades y composición de todos los componentes del sistema. (Vatslavovich, 1965)

Desde el punto de vista de la distribución espacial de las sustancias a sorber podemos indicar dos tipos de sorción: adsorción y absorción. La adsorción es un proceso de sorción en el que las sustancias que se van a absorber se concentran solo en la interfaz (superficie). La absorción es un proceso de sorción en el que las

sustancias a sorber se distribuyen en el volumen de las fases que interactúan. Los fenómenos de adsorción ocurren, por regla general, cuando las fases sólidas participan en el proceso de sorción. Las condiciones geométricas estéricas, que dificultan la penetración por difusión de la sustancia a absorber en la fase sólida, obstaculizan la extensión del proceso de sorción al volumen de toda la fase sólida. Sin embargo, hay que tener en cuenta que incluso en el caso de absorción, no siempre se produce una distribución uniforme de la sustancia a sorber en el volumen de las fases del sistema heterogéneo. En vista del aumento de la actividad de sorción de las capas límite de las fases, las sustancias a sorber se pueden concentrar en gran medida en la interfase. En ciertos casos, cerca de la interfaz se forman capas de difusión con concentraciones de las sustancias a sorber que varían gradualmente dentro de las fases. (Vatslavovich, 1965)

En el proceso de interacción de fase operan dos tipos básicos de fuerzas de interacción atómico-molecular: intermolecular (enlace de Van der Waals) y química (enlace químico). El enlace molecular posee tres variedades básicas: orientación, inducción y dispersión. El enlace químico posee dos variedades básicas: enlaces heteropolares (iónicos) y homeopolares (covalentes). Se pueden distinguir tres tipos básicos de sorción según la naturaleza de las fuerzas de interacción atómico-molecular: molecular, heteropolar (iónica) y homeopolar (covalente). Las sorciones heteropolares y homeopolares se pueden denominar por el único término común de sorción química. (Vatslavovich, 1965)

Dado que las capas límite poseen la mayor actividad en interacción de fase en la práctica, es conveniente crear el área más grande de la superficie de separación de fases para lograr la absorción de sustancias más eficaz en los aspectos cuantitativo y cinemático (alta tasa de establecimiento del equilibrio de absorción). Esto se logra mediante la dispersión de las fases. (Vatslavovich, 1965)

En la naturaleza y en los procesos tecnológicos de sorción, la interacción de las fases de un sistema heterogéneo puede ocurrir tanto en condiciones de reposo relativo como en condiciones de movimiento relativo. El carácter del movimiento relativo de las fases que interactúan puede ser dual: mezcla aleatoria y caótica de las fases o su movimiento relativo dirigido. En el caso de reposo relativo o mezcla aleatoria, se produce la denominada sorción estática, mientras que, en el caso del movimiento relativo dirigido, se produce la sorción dinámica. Demos definiciones más completas de estos conceptos. (Vatslavovich, 1965)

La sorción estática (estática de sorción) representa un proceso de sorción que tiene lugar en presencia de reposo relativo o mezcla mecánica aleatoria de las fases de un sistema heterogéneo y finaliza en el establecimiento del equilibrio de sorción entre las fases que interactúan, Sorción dinámica (dinámica de sorción) representa un proceso de sorción realizado en condiciones de movimiento relativo dirigido de las fases que interactúan. La configuración de los experimentos de sorción o la utilización tecnológica de la sorción se logra en dos variaciones básicas: sorción estática y dinámica. (Vatslavovich, 1965)

Los procesos de estática y dinámica de sorción han encontrado una aplicación práctica en las técnicas de sorción desde hace mucho tiempo. El fenómeno de la dinámica de sorción se encuentra en la base de los métodos cromatográficos de separación de mezclas de sustancias. Cualquier fenómeno natural en el mundo viviente y no viviente se logra sobre la base de las leyes de la dinámica de sorción. (Vatslavovich, 1965).

2.3.4. Absorción

La absorción es una operación básica que consiste en la transferencia de materia entre una fase gaseosa o de vapor y una fase líquida constituida por una sustancia pura o por una mezcla de sustancias. En ambas fases existe un componente volátil y soluble en concentraciones diferentes a la de equilibrio por lo que la transferencia de materia (dicho componente) se desarrolla espontáneamente desde la fase gaseosa a la líquida (absorción) o desde la líquida a la gaseosa (desabsorción). Esta última consiste realmente en la recuperación de la sustancia disuelta en el líquido durante la absorción. (Muñoz & Graus, 2013, pág. 153)

2.3.5. Adsorción

Hay que distinguir aquí la adsorción, que es un fenómeno distinto del de la absorción. Por adsorción se entiende la concentración de moléculas iones, átomos e incluso partículas coloidales, sobre la superficie de un sólido (también un líquido) inmerso en un medio gaseoso. En este sentido es una operación de separación por transferencia de materia. La diferencia con la absorción es precisamente que ésta última tiene lugar en toda la masa del absorbente (disolvente) mientras que aquí se

trata de un fenómeno exclusivamente de superficie (Muñoz & Graus, 2013, pág. 156). Se puede distinguir tres tipos principales de adsorción:

- La adsorción de un gas puro por un adsorbente lo que se traduce en una caída de la presión del gas al ponerse en contacto con la superficie del adsorbente. (Muñoz & Graus, 2013, pág. 156)
- La adsorción de una mezcla gaseosa binaria en la que un componente o los dos puede ser adsorbidos por un determinado adsorbente. (Muñoz & Graus, 2013, pág. 156)
- La adsorción de una mezcla líquida de varios componentes. (Muñoz & Graus, 2013, pág. 156)

Hay que advertir que es muy diferente la adsorción de gases permanentes (por encima de su temperatura crítica) y de vapores, cuya presión parcial no puede superar la presión de saturación. (Muñoz & Graus, 2013, pág. 156).

2.3.5.1. Proceso de adsorción

Como proceso de separación, la adsorción se aplica ampliamente en nuestra economía de fabricación y en nuestra vida diaria. Las operaciones de adsorción aprovechan la capacidad de ciertos sólidos para concentrar preferentemente sustancias específicas de soluciones (gaseosas o líquidas) en sus superficies. Por lo tanto, al poner en contacto

fluidos con tales sólidos, se puede lograr el objetivo deseado de purificación o separación (Tien, 2019, pág. 1). El grado de adsorción de una situación dada se alcanza una vez que se establece el equilibrio entre el adsorbente y su solución de contacto. En la práctica, el rendimiento de adsorción también está fuertemente influenciado por la transferencia de masa de las especies entre la solución y las superficies adsorbentes y la velocidad de reacción de adsorción. Técnicamente, la adsorción es, por lo tanto, un proceso de equilibrio-difusión-reacción. (Tien, 2019, pág. 1)

Adsorción como proceso de sorción

El principio operativo básico de la adsorción: la concentración preferencial de especies sobre superficies de sólidos adsorbentes también opera en otros dos procesos; a saber, cromatografía e intercambio iónico. De hecho, la adsorción, el intercambio iónico y la cromatografía a menudo se agrupan bajo el título de "procesos de sorción" en los libros de texto de ingeniería. Similar a la mayoría de las operaciones de adsorción, la cromatografía opera en modo de lecho fijo, pero está diseñada para separar mezclas líquidas a través de una alimentación intermitente de la solución a separar, seguido por el paso de una solución de elución. En el intercambio iónico, la sustancia sólida utilizada contiene grupos cargados que interactúan con los iones cargados presentes en la solución líquida. Si uno ve la adsorción como un proceso de intercambio que involucra una especie ficticia, la equivalencia entre

la adsorción y el intercambio iónico se vuelve obvia. De hecho, gran parte de la información presentada en este volumen puede aplicarse también al intercambio iónico (Tien, 2019, pág. 1).

Adsorción versus Absorción

Debido a su similitud en la ortografía, los dos términos; adsorción y absorción, a menudo se utilizan indistintamente por los laicos. Sin embargo, hay diferencias significativas entre ellos. La absorción de gas es una operación en la que una mezcla de gases se pone en contacto con un líquido con el fin de disolver uno o más componentes de la mezcla en el líquido. La absorción, por lo tanto, es un fenómeno a granel, y el grado de separación está limitado por la solubilidad de los gases involucrados. Por el contrario, la adsorción es un fenómeno superficial, y la extensión de la adsorción está limitada por la relación de isoterma de adsorción relevante (Tien, 2019, págs. 1-2)

La absorción puede llevarse a cabo haciendo pasar las corrientes de gas y líquido a través de una columna empaquetada simultáneamente o en contracorriente. La operación consta de dos fases móviles (gas y líquido) y una fase estacionaria (relleno de columna), que proporciona el área de interfaz para el contacto líquido / gas. En la adsorción de lecho fijo, el fluido a tratar pasa a través de un lecho lleno de adsorbente. El proceso involucra dos fases, un fluido en movimiento y una fase sólida

estacionaria de adsorbentes. La absorción, por lo tanto, puede tratarse como un proceso de estado estacionario, mientras que la adsorción en una operación de lecho fijo es un estado inherentemente no estable. Como resultado, el esfuerzo computacional requerido para el diseño de la adsorción de lecho fijo es más extenso que el de la absorción (Tien, 2019, pág. 2).

Adsorción versus filtración de lecho profundo

La filtración en lecho profundo es un proceso diseñado para la eliminación de partículas finas de suspensiones de fluidos diluidos. Su funcionamiento se lleva a cabo pasando la suspensión a tratar a través de una columna llena de sustancias granulares o fibrosas (medios filtrantes). En términos generales, la filtración de lecho profundo y la adsorción de lecho fijo comparten muchas características comunes, como la configuración del equipo y los modos de operación (Tien, 2019, pág. 3).

A pesar de estas similitudes, la analogía entre la filtración en lecho profundo y la adsorción en lecho fijo es limitada. Una diferencia importante entre ellos reside en el hecho de que, en la filtración en lecho profundo, la eliminación de partículas de la suspensión a tratar da como resultado la deposición de partículas sobre las superficies exteriores de los medios de filtro. En contraste, las especies disueltas adsorbidas en la adsorción de lecho fijo cubren principalmente las superficies interiores

de los adsorbentes. Como se indicó anteriormente, el grado de separación logrado en la adsorción está limitado por la relación de equilibrio de adsorción. Por otro lado, la retención de partículas en la filtración de lecho profundo depende en gran medida de la naturaleza de las fuerzas de interacción del colector de partículas, pero no existe un límite claro sobre el alcance de la deposición. Como los procesos de adsorción pueden dejar de funcionar una vez que los adsorbentes se saturan, para la filtración en lecho profundo, debido al aumento de la retención de partículas, las caídas de presión requeridas para mantener un rendimiento específico aumentan con el tiempo. La duración de la operación está limitada por la caída de presión máxima permitida. (Tien, 2019, pág. 3).

2.2.5.2. Equilibrio de adsorción

En operaciones prácticas, la capacidad máxima de adsorbente no se puede utilizar por completo debido a los efectos de transferencia de masa involucrados en los procesos reales de contacto fluido-sólido. Sin embargo, para estimar la capacidad de adsorción práctica o dinámica, es esencial, en primer lugar, tener información sobre el equilibrio de adsorción. Luego, los análisis cinéticos se realizan en base a procesos de velocidad que dependen de los tipos de procesos de contacto. El más típico de los pasos de velocidad en adsorbentes sólidos es la difusión intrapartícula (Suzuky, 1990, pág. 35).

Dado que el equilibrio de adsorción es la propiedad más fundamental, se han realizado varios estudios para determinar: 1) la cantidad de especies adsorbidas en un conjunto de condiciones (concentración y temperatura) o 2) cómo se produce la adsorción selectiva cuando dos o más componentes adsorbibles coexisten. Hay muchos enfoques empíricos y teóricos. Sin embargo, solo se pueden aplicar varias relaciones simples en tratamientos posteriores en la descripción cinética de la adsorción. Estas relaciones son a veces insuficientes para predecir las isothermas de adsorción bajo un nuevo conjunto de condiciones de operación. Por lo tanto, muchos autores han propuesto ensayos más sofisticados sobre termodinámica del sonido o sobre modelos sustanciales (Suzuky, 1990, pág. 35).

Relaciones de equilibrio de adsorción

Según Bonilla-Petriciolet, Mendoza-Castillo, & Reynel-Ávila (2017) las isothermas de equilibrio muestran la cantidad de adsorbato que puede ser adsorbido por el adsorbente (q_e) en relación con la concentración de equilibrio de la fase en el fluido de adsorbato (C_e). Estos son parámetros críticos en el diseño del sistema de adsorción. Además, la forma de la curva de equilibrio ayuda a explicar ciertos fenómenos asociados con la interacción entre el adsorbato y el adsorbente. Por lo tanto, la forma de la isoterma no solo proporciona información sobre la afinidad entre las moléculas, sino que también

refleja el posible modo de interacción entre el adsorbato y el adsorbente (págs. 26-27).

La clasificación de las isothermas de adsorción líquido-sólido describe un sistema y sugiere cómo se puede usar su forma para diagnosticar el mecanismo de adsorción, a fin de obtener información sobre la naturaleza física del adsorbato y la superficie adsorbente y también para medir el área de superficie específica del adsorbente. En esta clasificación, las curvas de equilibrio se identifican de acuerdo con la pendiente inicial en cuatro clases principales, y se describen subgrupos para cada clase, en función de las formas de las partes superiores y los cambios de pendiente. La figura 2.3 muestra la clasificación propuesta por Giles et al. (1960)

Las clases principales son (i) curvas S o isoterma de orientación vertical, (ii) curvas L o isothermas normales o "Langmuir", (iii) curvas H o isothermas de alta afinidad, y (iv) curvas C o isoterma de partición constante.

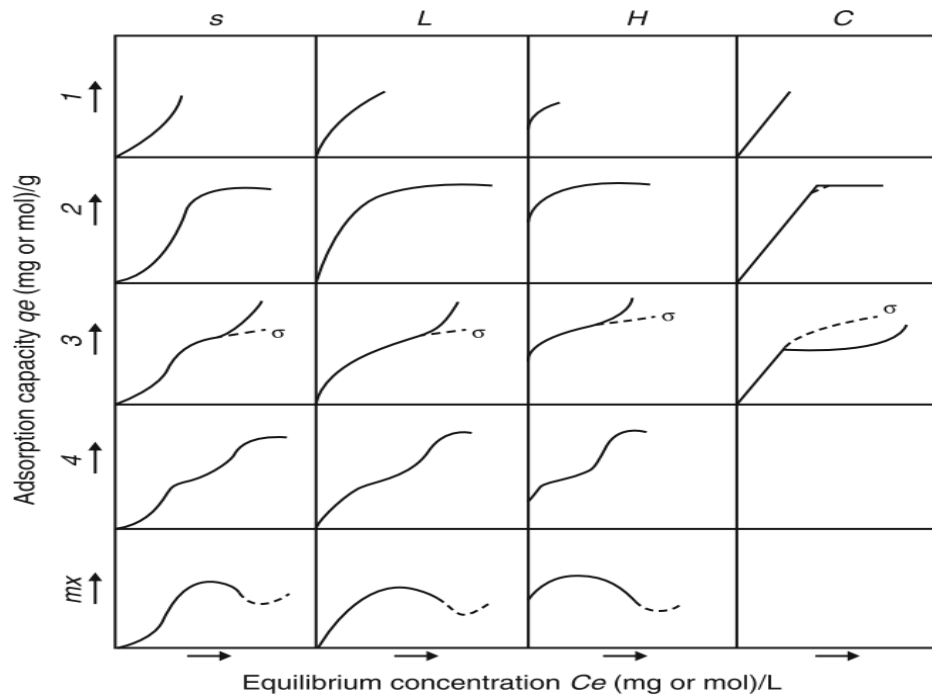


Figura 1. Sistema de clasificación de isoterma (Fuente: (Giles, Maceva, Nakwa, & Smith, 1960))

2.3.6. Modelo Isotherma

Una isoterma de sorción puede ser obtenida en dos direcciones: adsorción y desorción. La primera es obtenida cuando un material seco es colocado en varias atmósferas, aumentando la humedad relativa y midiendo el aumento de peso debido a la ganancia de agua. En la segunda, el material inicialmente húmedo es colocado bajo las mismas condiciones ambientales utilizadas en la adsorción, siendo medida la pérdida de peso, debido a la salida de agua. (Huillica, 2011, pág. 15)

$$q = \frac{q_m b C}{(1 + b \cdot C)} \quad (1)$$

Siendo:

C: concentración del adsorbato en el equilibrio (mg/L),

q_m : capacidad máxima de adsorción (mg/g)

b: constante de Langmüir de afinidad o energética en unidades de L/mg.

2.3.6.1. Isoterma de Freundlich

En la que se asume que la superficie del adsorbente es energéticamente heterogénea, conformada por grupos de sitios de adsorción de energías características. También en esta isoterma se considera que no existen interacciones laterales entre las moléculas adsorbidas y que sólo se adsorbe una monocapa. (Lazo & Navarro, 2008, pág. 4)

$$q = k_f \cdot C^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Donde:

k: constante de capacidad de adsorción

n: constante de intensidad de adsorción.

2.3.6.2. Isoterma de Langmüir:

Se basa en la hipótesis que todos los centros activos de adsorción son equivalentes y que la capacidad de una molécula para unirse a la superficie es independiente de si hay o no posiciones próximas ocupadas. Además, la adsorción se restringe a una monocapa y no existen interacciones laterales entre las moléculas del adsorbato. (Lazo & Navarro, 2008, pág. 5)

$$q = \frac{q_m b C}{(1 + b \cdot C)} \quad (3)$$

Siendo:

C la concentración del adsorbato en el equilibrio (en mg/L),

q la capacidad máxima m de adsorción (en mg/g) y

b es la constante de Langmüir de afinidad o energética en unidades de L/mg.

2.3.7. Modelo Cinéticas

La cinética de la adsorción describe la velocidad de atrapamiento del adsorbato, lo cual controla el tiempo de residencia de éste en la interfase sólido-disolución y además su conocimiento permite predecir la velocidad a la cual el contaminante se remueve del efluente tratado, por tal razón se requiere el conocimiento de las leyes de velocidad que describen el sistema de adsorción (Pinzon, 2009, pág. 3), las cuales se determinan por experimentación y no pueden ser inferidas en ningún caso.

2.3.7.1. Modelo Pseudo de Primer Orden

El modelo de la cinética de Pseudo primer orden reversible se basa en la suposición de que a cada ión metálico se le asigna un sitio de adsorción del material adsorbente. (Valensuela & Canto, 2017, pág. 45)

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t) \quad (4)$$

Donde:

q_t : Cantidad adsorbida en un tiempo t (mg/g).

q_e : Cantidad adsorbida en el equilibrio (mg/g).

k_1 : Constante cinética de pseudo primer orden (min^{-1}).

Integrando la ecuación y aplicando como condiciones de contorno a $t=0$,

$q_t=0$ y a $t=t$, $q_t=q_t$

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (5)$$

2.3.7.2. Modelo Pseudo de Segundo Orden

En este modelo se supone que el adsorbato se adsorbe en dos sitios activos del adsorbente. (Valensuela & Canto, 2017, pág. 46)

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2 \quad (6)$$

Integrando la ecuación anterior y manteniendo constantes las condiciones de contorno descritas para el modelo anterior, se tiene:

$$q_t = \frac{K_2 q_e^2 t}{1 + K_2 q_e t} \quad (7)$$

Donde:

q_t : Cantidad adsorbida en un tiempo t (mg/g).

q_e : Cantidad adsorbida en el equilibrio (mg/g).

k_2 : Constante cinética de Pseudo segundo orden (g/g.min).

$h = k_2(q_e^2)$: Velocidad inicial de adsorción (mg/g.min).

2.3.8. Biosorbentes

Los biosorbentes son capaces de adsorber especies iónicas de metales en soluciones acuosas, esta propiedad es bien utilizada en la bioremediación y recuperación de efluentes industriales contaminados con metales pesados. (Escobedo, 2008, pág. 19)

2.3.8.1. Biosorción

Inicialmente, debe señalarse que el término "biosorción" representa solo un proceso en particular. La sorción incluye tanto la absorción como la adsorción, que suelen confundirse. La absorción es la incorporación de una sustancia que se presenta en un estado de agregación particular a otra con diferente estado de agregación (Gadd, 2009). Por ejemplo, los líquidos pueden ser absorbidos por un sólido o los gases pueden ser

absorbidos por líquidos. Por otro lado, la adsorción es la adherencia o unión física de iones y moléculas sobre la superficie de un biomaterial sólido. En este caso, el material acumulado en la interfaz es el adsorbato y la superficie sólida es el adsorbente (Gadd 2009).

La biosorción es uno de los pilares de la biorremediación, junto con la bioacumulación y la fitorremediación (Gavrilescu, 2004). El concepto de biosorción ha sido definido por uno de los pioneros en este campo, el profesor Bohumil Volesky, como la propiedad de ciertas biomoléculas o biomasas para unirse y concentrar iones seleccionados u otras moléculas de soluciones acuosas (Volesky, 2007). A diferencia de los procesos de bioacumulación, que implican un transporte metabólico activo, la biosorción se basa en el uso de biomasas no vivas o biomoléculas. Por lo tanto, un tratamiento de remediación pasiva se verifica principalmente, debido a la afinidad entre el biosorbente y el adsorbato, que representan la superficie sólida del biosustrato y el contaminante químico que se acumula en la interfase. (Volesky, 2007).

Aunque el potencial de los sustratos biológicos para la eliminación de metales y metaloides se ha estudiado desde el siglo XVIII, solo durante el último medio siglo se han utilizado los biosorbentes para la eliminación de metales y metaloides contaminantes de soluciones acuosas (Crini & Lichtfouse, 2018, pág. 40). En la literatura sobre la historia de la biosorción, se ha informado del primer estudio cuantitativo

sobre la biosorción de metales en 1902 (Muraleedharan, Iyengar, & Venkobachar, 1991). En otra contribución, Hecke utilizó esporas de dos cepas de hongos para la absorción de Cu de soluciones acuosas. En los años siguientes, algunos estudios que utilizaron desechos agrícolas Kumar y Dara en 1982; Suemitsu et al. En 1986, microorganismos aislados fueron usado por Tsezos y Volesky en 1981; y de Rome y Gadd en 1987 y consorcios de microorganismos por Steen y Karickhoff en 1981 para metales se informó la eliminación. Más tarde, el campo de biosorción creció y se volvió más complejo debido a un profundo conocimiento de los mecanismos de biosorción, los métodos de caracterización y cuantificación, y se requirieron estudios de equilibrio, termodinámicos y cinéticos. Esto facilitó la innovación de procesos adicionales basados en la biosorción como alternativas eficientes para la eliminación de contaminantes del medio ambiente. (Crini & Lichtfouse, 2018, pág. 40)

Aunque la biosorción es muy utilizada debido a su bajo costo, ofrece otras ventajas sobre las tecnologías de remediación clásicas, como una alta eficiencia, la reducción de lodos químicos o biológicos, la posibilidad de reutilización biosorbente y la recuperación de metal después del proceso de biosorción. De hecho, la biosorción ha sido catalogada como un método de biorremediación comparable a los

tratamientos basados en resinas de intercambio iónico para remediar los iones metálicos (Volesky 2007).

En base a lo descrito se puede definir que la biosorción es el uso de materiales provenientes de materia orgánica ya se dé microorganismos como de plantas, encontrándose dentro de esto los residuos agrícolas.

2.3.9. Palta (persea americana)

La palta o aguacate es una planta originaria del continente americano específicamente de Guatemala y México. En el mundo existen alrededor de 500 variedades de paltas, que difieren en la forma de la fruta y el color.

La palta es uno de los alimentos más valiosos que la naturaleza ha dado al hombre. Es una fruta rica en aceite que varía entre 15 a 30%, comparativamente tiene contenidos más altos que otros frutos. La firmeza y el color de piel del fruto de palta son fuertemente determinados por el proceso de maduración, es muy conocido que estos cambios son desencadenados por reacciones enzimáticas. (Escobedo, 2008, pág. 27)

2.3.9.1. Aspectos Botánica de la palta

El aguacate (*Persea americana*) es una planta leñosa de tronco recto que alcanza alturas entre 8 y 12 metros, se considera que este árbol es perennifolio, aun cuando algunas variedades pierden totalmente sus hojas 9 antes de la floración. Existe opiniones diferentes con respecto a su nombre científico exacto, mientras que algunos autores declaran que

todas las variedades o tipos de aguacate pertenecen a una única especie *Persea americana*, otros autores opinan que existen tres especies una por cada grupo ecológico. (Huaman, 2014, pág. 8)

El fruto del aguacate (*Persea americana*) es una baya con mesocarpio y endocarpio carnosos que contiene una sola semilla. (Huaman, 2014, pág. 9)

2.3.9.2. Taxonómica de la palta.

La identificación taxonómica de *Persea americana*, se utilizó el sistema planteado por Cronquist (1988).

Tabla 1

Toxonomica de la palta Persea Americana

Reino	Vegetal
Phylum	Fanerógama
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Laurales
Familia	Lauraceae
Genero	Persea
Nombre científico	Persea Americana
Nombre común	Palta

Fuente: (Ugarte, 2017)

2.3.9.3. Características Químicas y Nutricionales

El aguacate o palta (*Persea americana*) es la más completa de las frutas y verduras, **de** gran valor alimenticio, contiene todas, contiene todas las vitaminas del reino vegetal (A, B, C, D, E, K), minerales (potasio, magnesio, hierro y fósforo), y proteínas. (Huaman, 2014, pág. 11)

La palta es un fruto (baya) con una corteza desde fina y sensible a gruesa, granulosa y resistente, el color varía de verde a violáceo oscuro, pudiendo tener una forma ovoide, esférica o piriforme y el peso oscila entre 50 g a 3 kg dependiendo de la variedad, en cuanto al tamaño variable que se presenta son debidas principalmente a diferencias en la tasa de división celular durante el desarrollo del fruto. (Sullcaray, 2014, pág. 6)

Tabla 2

Composición química y nutricional de dos cultivares de palto

Cultivares		
Componentes	Has	Fuerte
Agua (%)	74,6	71,2
Grasa (%)	20,6	23,4
Proteínas (%)	1,8	2
Fibra (%)	1,4	1,9
Cenizas (%)	1,2	1,2

Ac. Ascórbico (mg)	11	6
Niacina (mg)	1,9	1,5
Vitamina B6 (mg)	0,62	0,61
Potasio (mg)	480	460
Fosforo (mg)	14	29
Magnesio (mg)	23	23

Fuente: (Huaman, 2014)

2.3.10. Semilla de la palta

La semilla juega un papel muy importante en el desarrollo del fruto y existe una relación entre el tamaño de la semilla y el tamaño final del fruto. (sullcaray, 2014, pág. 7)

2.3.10.1. Estructura y Forma

La semilla ovoide ocupa parte del fruto; está compuesta por dos cotiledones carnosos y un embrión pequeño y no contiene endosperma. La testa está constituida por una a cinco capas externas de esclerénquima y varias de parénquimas; la más externa inmediata a las capas de esclerénquima, esta rellena de taninos, que le dan el color oscuro característico. Los cotiledones se forman principalmente de parénquima que contiene almidón y taninos. (Huaman, 2014, pág. 13)

La semilla presenta metabolitos secundarios como taninos, alcaloides, flavonoides, 2 triterpenos, saponinas y esteroides (20). Los metabolitos secundarios son sustancias naturales producidas por los seres

vivos en respuesta a su adaptación al medioambiente y se relacionan con las actividades biológicas de las plantas (21). Por otro lado, el proceso de regeneración y curación de una herida se divide en cicatrización por primera intención (herida con borde cercano) y segunda intención (herida abierta con borde distanciado). (Guisela & Vega, 2020, pág. 10)

La semilla de aguacate está compuesta por cubierta seminal y embrión, carente de endospermo en la madurez. También forma parte de esta una plúmula, hipocotilo y radícula que están adheridas centralmente a los cotiledones, rodeadas por dos cubiertas seminales adheridas estrechamente, no existiendo endospermo en la madurez del fruto. (Huaman, 2014, pág. 14)

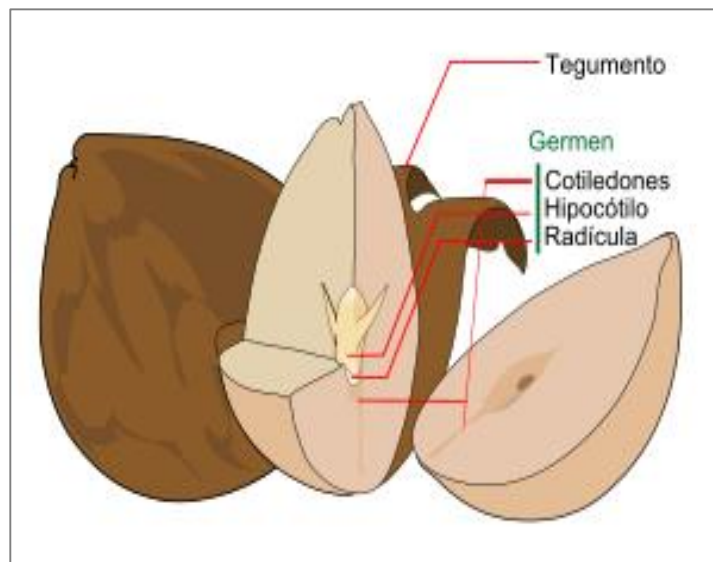


Figura 2. Partes de la semilla de la palta

La semilla representa entre 15 a 16% del peso en relación al fruto.
(Huaman, 2014, pág. 14)

2.3.10.2. Composición química

El porcentaje que representa la semilla de la palta frente al fruto de acuerdo a Bressani (2009) esta se encuentra entre el 12% – 28% del peso de la fruta, dependiendo de la variedad. Este rango contiene todos los valores informados por otros autores. El nivel de almidón en la semilla, se incrementa durante el proceso de madurez del fruto, llegando en el caso de palta Hass constituir el 30% de la semilla. (sullcaray, 2014, pág. 10)

Tabla 3

Composición química de la semilla de la palta Fuerte en base húmeda por cada 100g

Composición	Porcentaje (%)
Agua	56.04 ± 2.58 %
Lípidos	1.87 ± 0.31%
Proteína	1.95 ± 0.16
cenizas	1.87 ± 0.24
Fibra	5.10 ± 1.11
carbohidratos	33.17 ± 2.73%

Fuente: (sullcaray, 2014)

1.1.1.1. Contenido de ácidos grasos

La semilla de palta contiene en base seca entre 4 a 5% de aceite. Estas son cantidades relativamente pequeñas, sin embargo, es de interés práctico conocer más sobre este recurso. (sullcaray, 2014)

Tabla 4

Contenido de ácidos grasos entre la pulpa y la semilla de la palta variedad Fuerte

Composición	Pulpa (%)	Semilla (%)
Ácidos grasos saturados	22.93	32.49
Ácidos grasos monoinsaturados	67.43	32.49
Ácidos grasos poliinsaturados	9.61	32.49
linoléico (C18:2)	9.14	38.9
Linolénico (C18:3)	0.46	6.57

Fuente: (sullcaray, 2014)

2.4. Marco conceptual

Aguas residuales de curtido

Son aguas residuales generadas en la industria de curtido de pieles que tienen un alto contenido de materia orgánica, sólidos, salinidad, grasas y contaminantes específicos tales como cromo, sulfuros y amoníaco. (Portada, 2016, pág. 61)

Biosorción

La biosorción es como un proceso de concentración de sorbato, el prefijo “bio” indica que el sorbente es de origen biológico, de esta manera la superficie de adsorción tiene una composición química biológica determinada que dependerá de las características físicas y funcionales del material empleado. (Muñiz, 2016, pág. 29)

Remoción

Es la reducción de la cantidad de contaminante de un efluente. La reducción puede obtenerse por medios físicos, químicos o biológicos. (Portada, 2016)

Ácido fosfórico

El ácido fosfórico es un sólido incoloro e inodoro y un líquido espeso y transparente. Se utiliza para proteger los metales contra la corrosión, y en fertilizantes, detergentes, alimentos, bebidas y el tratamiento del agua. (salud, 2004, pág. 1)

2.5. Hipótesis de la investigación

Si usamos la proposición lógica para el desarrollo de la propuesta de investigación a desarrollar sería: “Si la concentración de cromo (VI) del agua disminuye hasta límites menores a los VMA al entrar en contacto con las semillas activadas de *Persea americana*, entonces es efectiva la biosorción del cromo (VI) de las aguas residuales provenientes de la curtiembre mediante la semilla activada de *Persea americana*”. Por lo tanto, la hipótesis sería la siguiente:

Las semillas activadas de *Persea americana* son efectivas como material de biosorción de cromo (VI) en las aguas residuales de curtiembre.

2.5.1. Operacionalización de variables

Tabla 5

Operacionalización de variables

Variable	Definición	Indicadores	Dimensiones	Instrumentos
Dependiente				
Biosorción de cromo (VI)	La biosorción de cromo (VI) es la disminución de la concentración de dicho elemento que está presente en agua, al entrar en contacto con las semillas activas de <i>Persea americana</i> .	Cambio de la concentración de cromo (VI).	mg Cr/Kg semilla	Reportes de Laboratorio
Independientes				
Semillas activadas de <i>Persea americana</i>	Son las semillas trituradas en forma granular con tamaños menores a 5 mm activado con ácido fosfórico y lavado posteriormente con NaOH al 0.5 N y agua.	Concentración peso/volumen.	g semilla/L solución	Uso de balanza y material volumétrico.

CAPITULO III: MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3. Metodología de la investigación

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental ya que se manipula dos variables de estudio. Este tipo de investigación permite seguir la secuencia completa de los pasos que se debe tomar para asegurar la obtención de toda la información relevante y adecuada con respecto a los variables.

La investigación experimental consiste en la manipulación de una (o más) variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. El experimento provocado por el investigador, le permite introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. (Grajales, 2000, pág. 01)

3.2. Diseño de investigación

El diseño para la presente investigación fue experimental debido a que se manipuló intencionalmente una de las variables independientes, en este caso la cantidad de semilla activada de *Persea americana* en su variedad de palta fuerte, para analizar las consecuencias que tiene sobre la variable dependiente que es la remoción del cromo (VI) presentes en el agua residual de curtiembre. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

El término experimento tiene al menos dos acepciones, una general y otra particular. La general se refiere a “elegir o realizar una acción” y después observar las consecuencias (Babbie, 2014). Este uso del término es bastante coloquial; así, hablamos de “experimentar” cuando mezclamos sustancias químicas y vemos la reacción provocada, o cuando nos cambiamos de peinado y observamos el efecto que causa en nuestras amistades. La esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados. (Fernandez Sampieri, 2014, pág. 29)

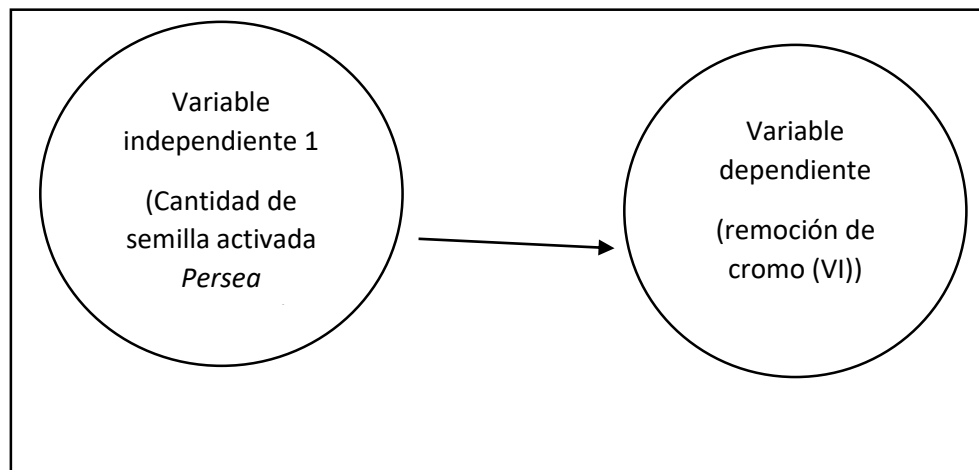


Figura 3. Diseño del experimento

3.3. Área de la investigación

Esta investigación se realizó en el laboratorio.

3.4. Población

Aguas residuales de una curtiembre.

4.00 kilogramos de pepa de palta fuerte proveniente del Valle de Condebamba.

3.5. Muestra

20 litros de aguas residuales de aguas residuales de una curtiembre - 2 kilogramos de semilla de *Persea americana*.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Preparación de las semillas activadas de *Persea americana*.

La preparación de las semillas fueron las siguientes: 1) Se adquirió 2 kg de semillas de *Persea americana*, se trituró y adicionó ácido fosfórico al 10% hasta sumergirlo por un período de 24 h. 2) Se adicionó NaOH 0.5 N hasta sumergirlo por un período de 30 min. 3) Se enjuagó con agua por tres veces dejando 15 minutos cada uno. 4) Se dejó secar a 104°C hasta peso constante.

Pruebas para la cinética de adsorción

Los siguientes pasos fueron: 1) Se midió 10 L de muestra de agua residual de curtiembre con cromo (VI). 2) Se Pesó 250 g de semillas activadas de *Persea americana* y se mezcló con los 10 L de agua y se agitó a 200 rpm. 3) Se tomó la muestra para análisis de metales con tiempo de contacto de 30; 60; 90; 120; 150 y 180 minutos.

Pruebas para la isoterma de adsorción

Los siguientes pasos fueron: 1) Se midió 1 L de muestra de agua con contenido de cromo (VI) en seis recipientes. 2) Se pesó 10; 25; 50; 75; 100 y 150 g de semillas activadas de *Persea americana* y se añadió a cada recipiente que

contuvo un 1 L de agua con contenido de cromo (VI) con un tiempo de contacto de 30 min.

Instrumentos de recolección de datos

- Estufa
- Equipo de Jar test.
- Vasos de precipitación.
- Medidor de pH
- Conductímetro
- Reportes de laboratorio

3.7. Técnicas para el procedimiento y análisis de datos

La correlación cuantifica como de relacionadas están dos variables, mientras que la regresión lineal consiste en generar una ecuación (modelo) que, basándose en la relación existente entre ambas variables, permita predecir el valor de una a partir de la otra. El cálculo de la correlación entre dos variables es independiente del orden o asignación de cada variable a X e Y, mide únicamente la relación entre ambas sin considerar dependencias. En el caso de la regresión lineal, el modelo varía según qué variable se considere dependiente de la otra (lo cual no implica causa-efecto).

A nivel experimental, la correlación se suele emplear cuando ninguna de las variables se ha controlado, simplemente se han medido ambas y se desea saber si están relacionadas. En el caso de estudios de regresión lineal, es más común que una de las variables se controle (tiempo, concentración de reactivo, temperatura...) y se mida la

otra. Por lo tanto, para el presente proyecto se hará uso de las pruebas de regresión y correlación para determinar las cinéticas e isotermas del proceso de sorción.

El análisis de la varianza (ANOVA) es una potente herramienta estadística, de gran utilidad tanto en la industria, para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos. (Boqué & Maroto, 2004, pág. 01)

La prueba F (igualdad de varianzas) La prueba F fue introducida en el capítulo sobre prueba de hipótesis y se utilizó para probar la igualdad entre varianzas obtenidas de dos muestras independientes. El estadístico —F_l se denominó así en honor de R. A. Fisher, quien creó el método de análisis de varianza en los años 20s. (Fallas, 2012, pág. 11)

Método de Fisher es el estadístico F pretende determinar si de entre un grupo de variables independientes, al menos una tiene capacidad de explicar una parte significativa de la variación de la variable dependiente.

La prueba de Tukey, nombrado después Juan Tukey, es una prueba estadística utilizada general y conjuntamente con ANOVA, La prueba Tukey se usa en experimentos que implican un número elevado de comparaciones. Dado que el análisis de varianza acuse un efecto significativo, la prueba de Tukey provee un nivel de significancia global de α cuando los tamaños de las muestras son iguales y de α a lo sumo a cuando no son iguales. (hoc, pág. 01)

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.1. Análisis estadístico

La hipótesis planteada: “Las semillas activadas de *Persea americana* son efectivas como material de biosorción de cromo (VI) en las aguas residuales de curtiembre.” se demuestra siguiendo las premisas en mención: a) Las semillas *Persea americana* disminuyen la concentración de cromo (VI) en las aguas residuales de curtiembre, b) Las semillas *Persea americana* contienen una alta capacidad de adsorción (q), y c) Las semillas *Persea americana* son efectivas dado que remueven la concentración de cromo (VI) en las aguas residuales de curtiembre a niveles de los valores máximos admisibles (VMA). En efecto, estas premisas son analizadas de manera exhaustiva.

Tabla 6

Resultados de la concentración del Cr VI (mg/L) en diferentes pesos (g).

Peso Semilla (g)	Cr VI (mg/L)	Cr VI (mg/L)	Cr VI (mg/L)
0	133.6	133.6	133.6
5	82.3	78.9	88.4
10	21.4	30.7	26.3
25	5.91	6.81	7.47
50	1.46	1.54	1.58
75	0.94	0.74	1.05
150	0.15	0.07	0.12

Nota: Las pruebas se realizaron por duplicado y los valores máximos admisibles para Cr VI es 0.5 mg/L.

Tabla 7

Resultados de la concentración del Cr VI (mg/L) en diferentes tiempos (min).

Tiempo (min)	Cr VI (mg/L)	Cr VI (mg/L)	Cr VI (mg/L)
0	133.6	133.6	133.6
30	34.59	38.52	27.64
60	16.61	14.57	11.09
90	8.54	7.23	9.25
120	5.51	5.64	5.36
150	5.01	4.93	5.57
180	4.92	4.36	4.68

Nota: Las pruebas se realizaron por duplicado y los valores máximos admisibles para Cr VI es 0.5 mg/L.

PRUEBA DE NORMALIDAD

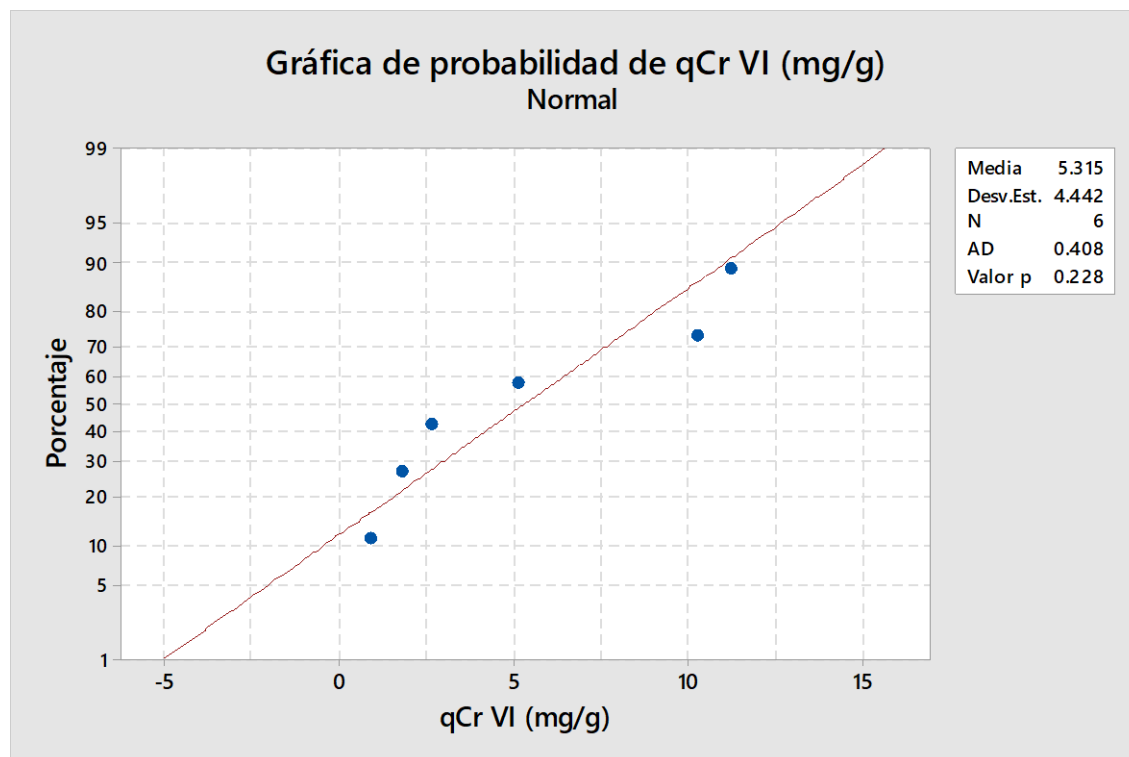


Figura 4: Prueba de normalidad a la capacidad de adsorción (qCr VI) para los diferentes pesos (g).

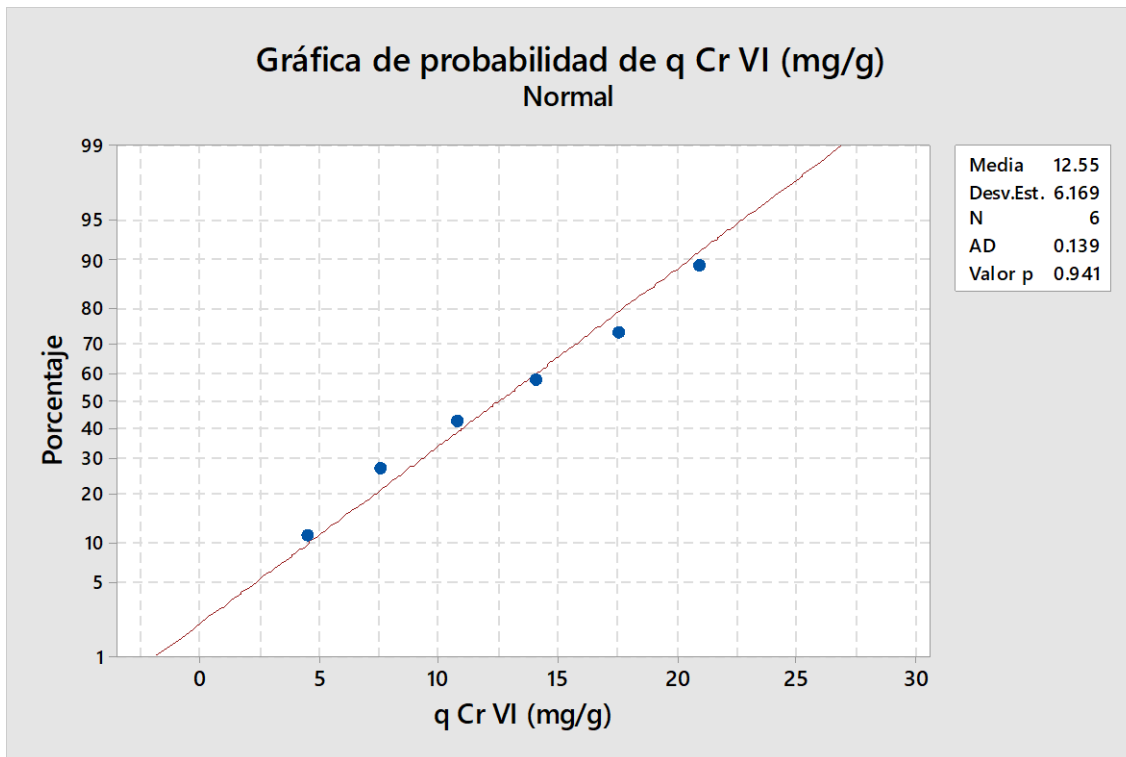


Figura 5: Prueba de normalidad a la capacidad de adsorción (qCr VI) para los diferentes tiempos (min).

Interpretación:

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los diferentes pesos y tiempos es mayor al valor p 0.05; lo que indica que los datos tienen una distribución normal, pues el valor de p calculado es: 0.228 y 0.941 respectivamente. En consecuencia, se utiliza una prueba paramétrica para la comparación de cada dato independiente.

Las semillas *Persea americana* disminuyen la concentración de cromo (VI) en las aguas residuales de curtiembre. Previo a desarrollar y calcular la capacidad de adsorción (q) es relevante la demostración de varias medias para identificar la diferencia significativa de los resultados y por ende la disminución del Cr VI. por tal razón, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA)

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGIA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	Mg/l	Al	10
Arsénico	Mg/l	As	0.5
Boro	Mg/l	B	4
Cadmio	Mg/l	Cd	0.2
Cianuro	Mg/l	CN-	1
Cobre	Mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	Mg/l	Cr+6	0.5
Cromo total	Mg/l	Cr	10
Manganeso	Mg/l	Mn	4
Mercurio	Mg/l	Hg	0.02
Niquel	Mg/l	Ni	4
Plomo	Mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	Mg/l	S04-2	1000
Sulfuros	Mg/l	S-2	5
Zinc	Mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	Mg/l	NH+4	80
Potencial Hidrogeno	unidad	pH	6-9

Decreto Supremo N° 010_2019_VIVIENDA

Efecto de los pesos de la semilla sobre el Cr VI.

Tabla 8

Análisis de varianza de un factor para la concentración de Cr VI en diferentes pesos (g)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	49245.75	6	8207.62	1263.92	2.59E-18	2.85
Dentro de los grupos	90.91	14	6.49			
Total	49336.66	20				

Tabla 9

Comparaciones en parejas de Tukey para el Cr VI en diferentes pesos (g)

Peso Semilla (g)	N	Media	Agrupación
0	3	133.60	A
5	3	83.20	B
10	3	26.13	C
25	3	6.73	D
50	3	1.53	D
75	3	0.91	D
150	3	0.11	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Tabla 10

Comparaciones en parejas de Fisher para el Cr VI en diferentes pesos (g)

Peso Semilla (g)	N	Media	Agrupación
0	3	133.6	A
5	3	83.20	B
10	3	26.13	C
25	3	6.730	D
50	3	1.5267	E
75	3	0.9100	E
150	3	0.1133	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

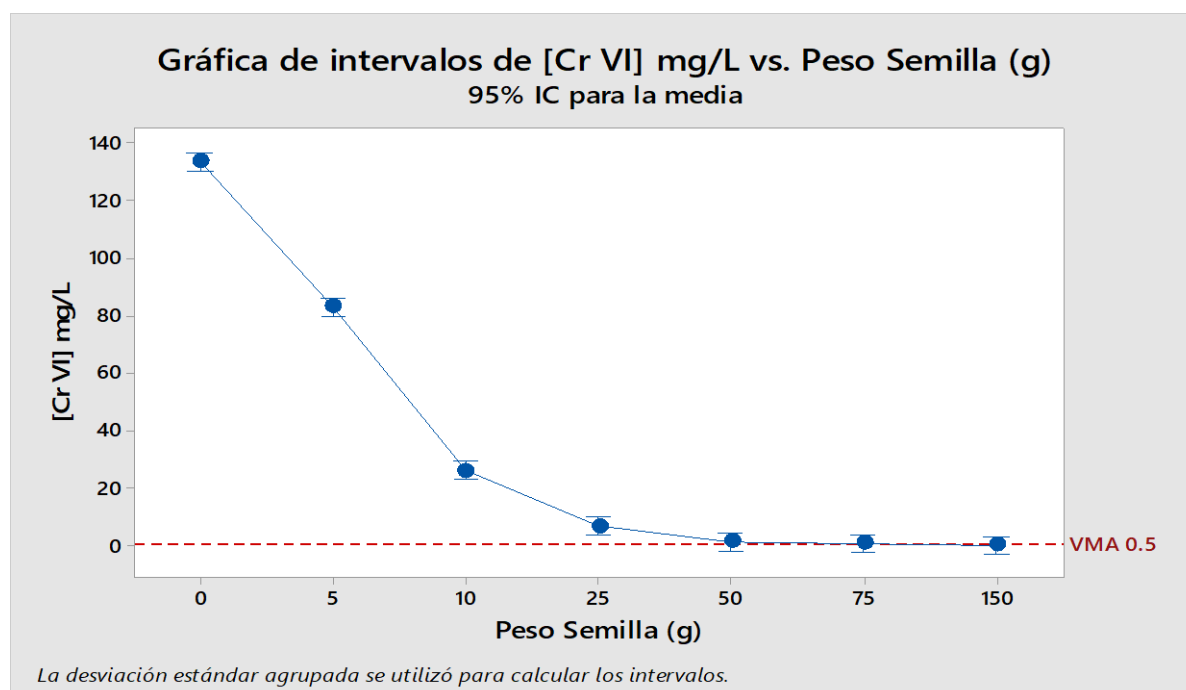


Figura 6: Efecto de la concentración de Cr VI (mg/L) en diferentes pesos de las semillas de *Persea americana*.

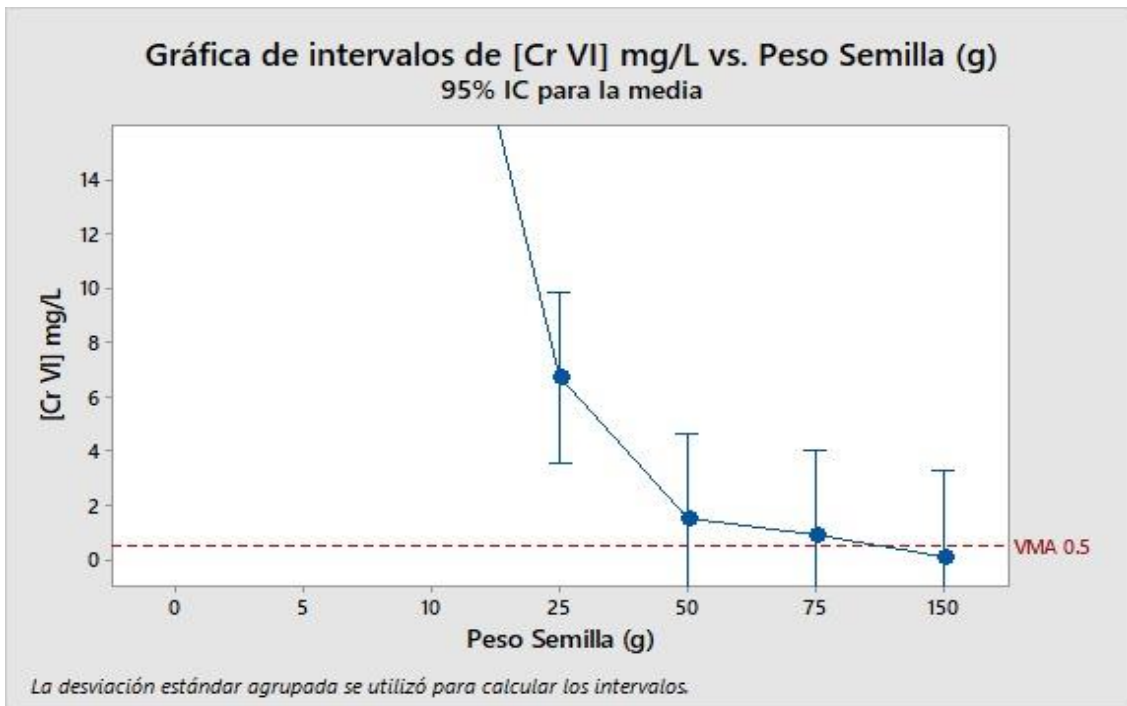


Figura 7. Efecto de la concentración de Cr VI (mg/l) a diferente escala numérica, en distintos pesos de las semillas.

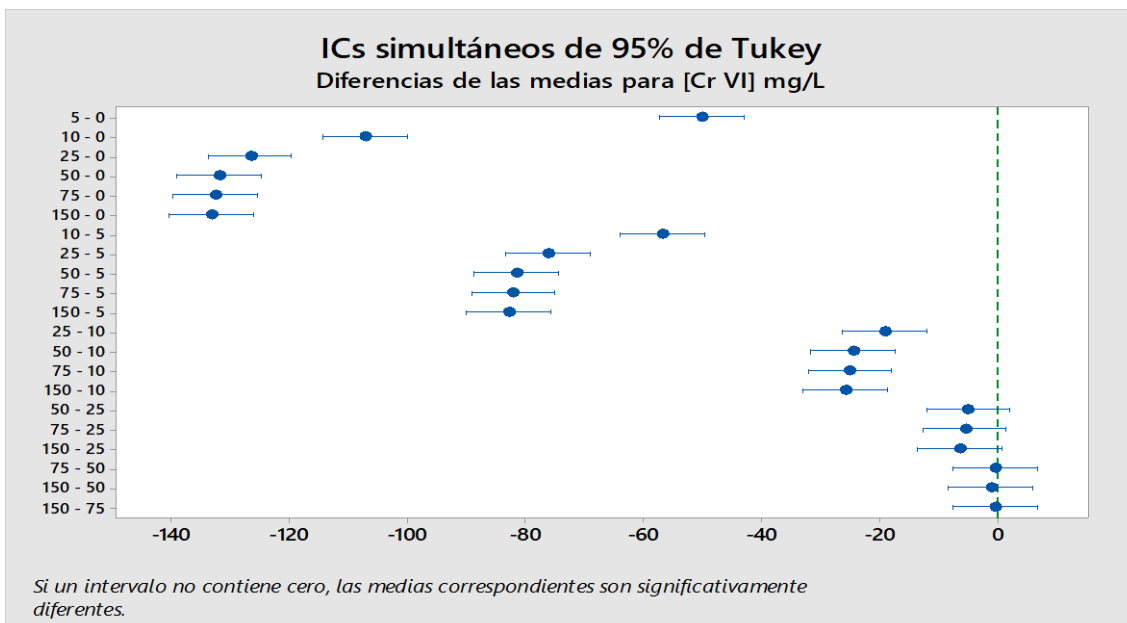


Figura 8: Comparación de Tukey para la concentración de Cr VI (mg/L) en diferentes pesos de las semillas de Persea americana.

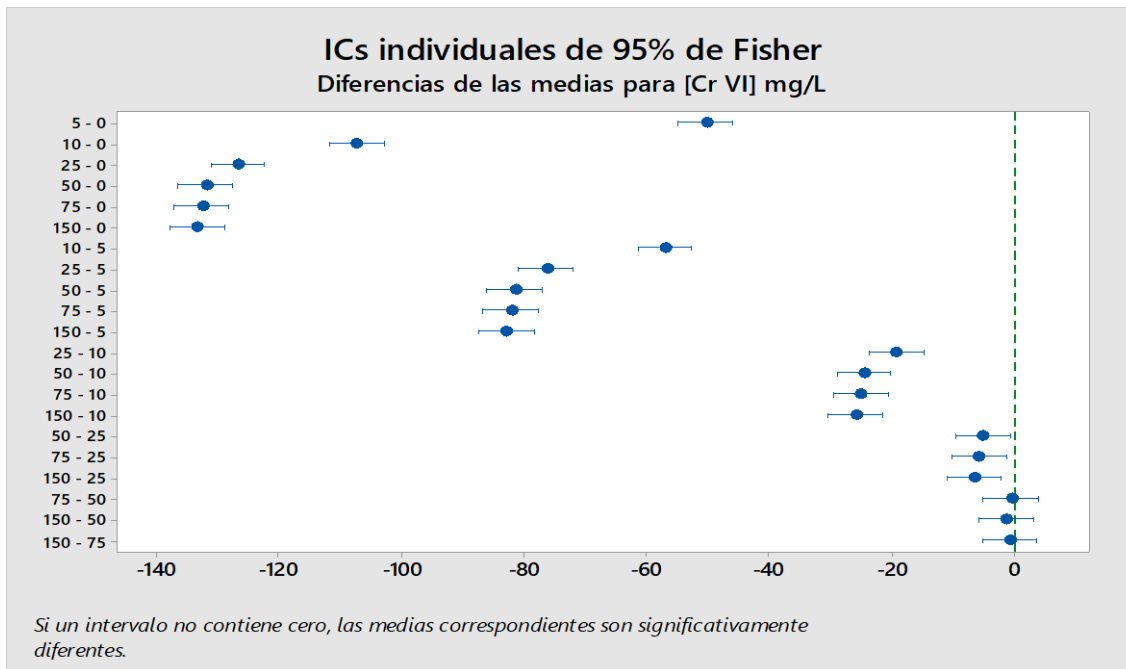


Figura 9: Comparación de Tukey para la concentración de Cr VI (mg/L) en diferentes pesos de las semillas de Persea americana.

Efecto del tiempo de reacción sobre el Cr VI.

Tabla 11

Análisis de varianza de un factor para la concentración de Cr VI en diferentes tiempos (min)

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	39970.49	6	6661.75	1183.13	4.11E-18	2.85
Dentro de los grupos	78.83	14	5.63			
Total	40049.31	20				

Tabla 12*Comparaciones en parejas de Tukey para el Cr VI en diferentes tiempos (min)*

Tiempo (min)	N	Media	Agrupación	
0	3	133.6	A	
30	3	33.58		B
60	3	14.09		C
90	3	8.340		C D
120	3	5.5033		D
150	3	5.170		D
180	3	4.653		D

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.***Tabla 13***Comparaciones en parejas de Fisher para el Cr VI en diferentes tiempos (min).*

Tiempo (min)	N	Media	Agrupación	
0	3	133.6	A	
30	3	33.58		B
60	3	14.09		C
90	3	8.340		D
120	3	5.5033		D
150	3	5.170		D
180	3	4.653		D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

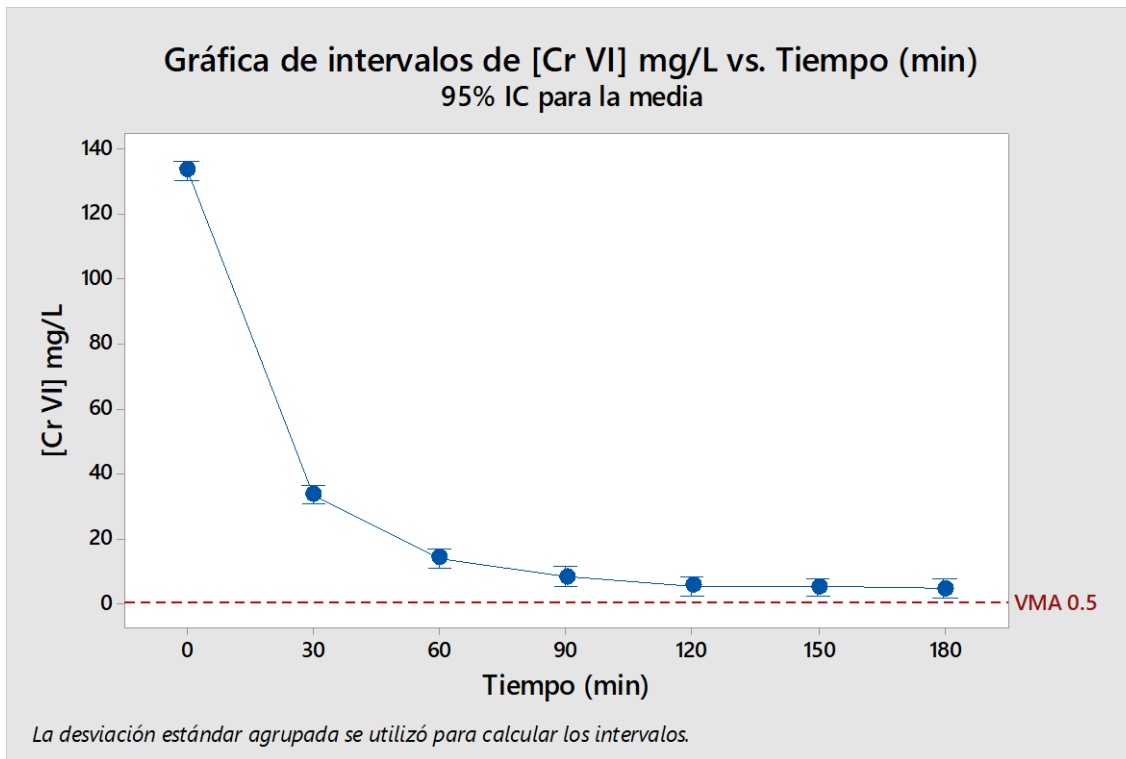


Figura 10: Efecto de la concentración de Cr VI (mg/L) en diferentes tiempos de reacción de las semillas de *Persea americana*.

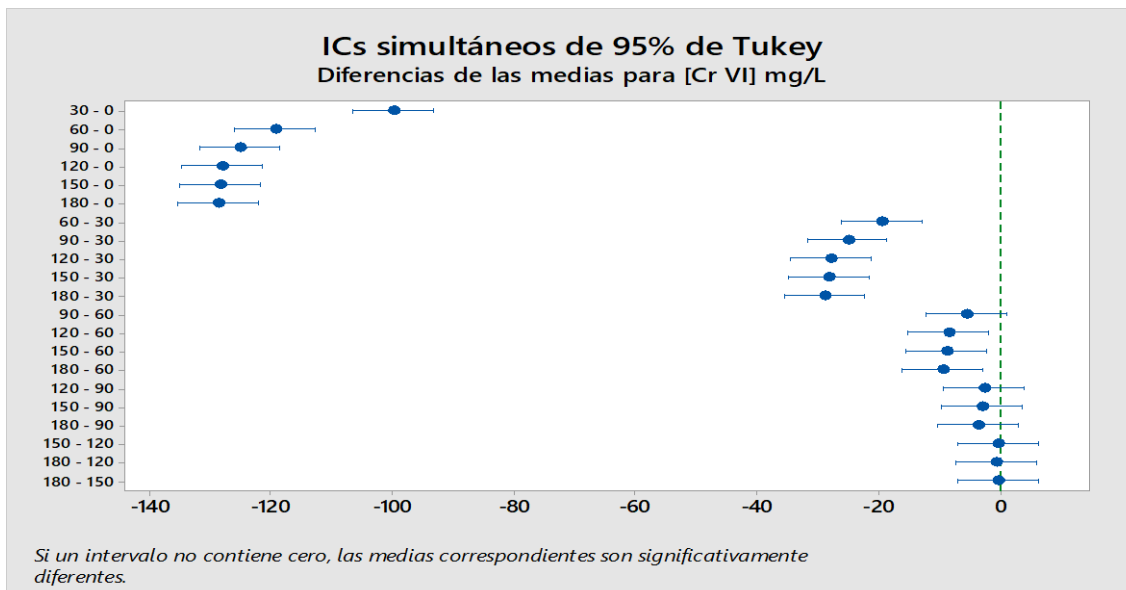


Figura 11: Comparación de Tukey para la concentración de Cr VI (mg/L) en diferentes tiempos de reacción de las semillas de *Persea americana*.

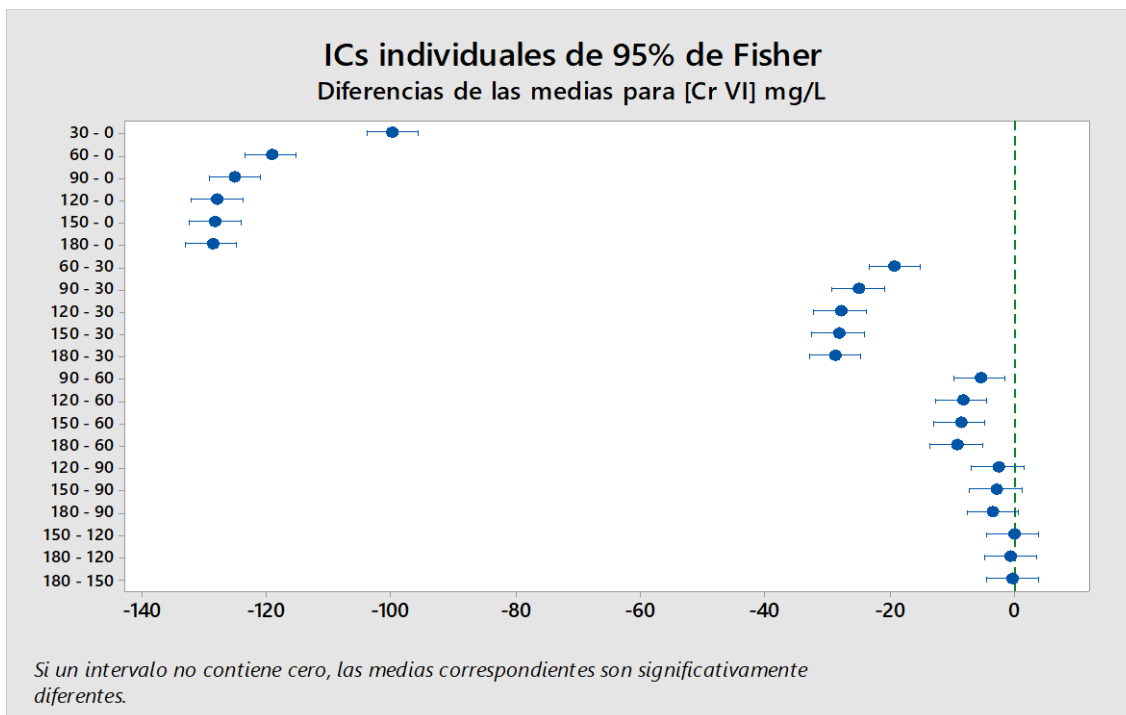


Figura 12: Comparación de Fisher para la concentración de Cr VI (mg/L) en diferentes tiempos de reacción de las semillas de *Persea americana*.

Interpretación:

Previo a realizar algún análisis matemático (isotermas y cinética) es importante realizar la diferencia que existe entre los resultados obtenidos de los experimentos, puesto que, algunos de ellos no muestran diferencias significativas. Por tal razón, las tablas 6 y 7 presentan los resultados con relación al peso de las semillas y al tiempo de reacción. Por ende, se visualiza en la tabla 8 el análisis ANOVA, la cual indica que el valor $p_{calculado}$ es $2.59E-18$ menor al valor p 0.05. Esto significa que las medias son diferentes significativamente, es decir, el peso de las semillas ha influido en la concentración de Cr VI, en este caso, disminuyéndolo. Adicionalmente, se analizó la comparación en parejas de Tukey y Fisher (tabla 9 y 10), es decir, se identificó los grupos que son diferentes a otros; esto nos muestran que Tukey identificó cuatro grupos (figura 5) y Fisher cinco

(figura 6). En este caso, Fisher es más preciso que Tukey indicando que en un peso de 50 g se llega a la máxima adsorción del contaminante (Cr VI).

Por otro lado, el efecto que tuvo la semilla para adsorber Cr VI es alta, ya que, la concentración Cr VI llega a niveles de 0.11 mg/L menor a los Valores Máximos Admisibles (VMA) 0.5 mg/L. En consecuencia, el peso de las semillas reduce la concentración del Cr VI a niveles normativos.

El efecto del tiempo de reacción sobre la concentración del Cr VI es también significativo, es decir, el valor $p_{\text{calculado}}$ 4.11E-18 es menor al valor p 0.05, lo que indica que las varianzas son diferentes significativamente (tabla 11) o, en otras palabras, el tiempo de reacción influye en la concentración del contaminante. Adicionalmente, se evaluó e identificó el tiempo con mayor efecto sobre el contaminante; según Tukey muestra cuatro grupos con mayor efecto y señala que a un tiempo de 120 minutos (tabla 12), el adsorbente ha tenido su máxima retención en comparación a Fisher que en 90 minutos tiene su máxima retención (tabla 13). Esto indica que los Tukey ha tenido mayor precisión (figura 8) sobre Fisher (figura 9).

Por último, el tiempo de reacción o tiempo de interfaz influye y reduce la concentración de Cr VI, pero no logra cumplir los VMA, debido a que, a un tiempo de 180 minutos ha reducido 4.653 como máximo de la concentración inicial, e incluso, desde el minuto 120 no se reduce significativamente (figura 7).

Por lo tanto, el peso de la semilla y el tiempo de reacción logran influir en la disminución de la concentración del Cr VI siendo el peso de la semilla el que logra cumplir los VMA, pero no así el tiempo.

Las semillas de *Persea americana* contienen una alta capacidad de adsorción (q).

Tabla 14

Comparación de la capacidad de adsorción (q) de las tres pruebas para las Isotermas.

Prueba	1	2	3
Peso (g)	q _{Cr VI} (mg/g)	q _{Cr VI} (mg/g)	q _{Cr VI} (mg/g)
5	10.26	10.94	9.04
10	11.22	10.29	10.73
25	5.11	5.07	5.05
50	2.64	2.64	2.64
75	1.77	1.77	1.77
150	0.89	0.89	0.89

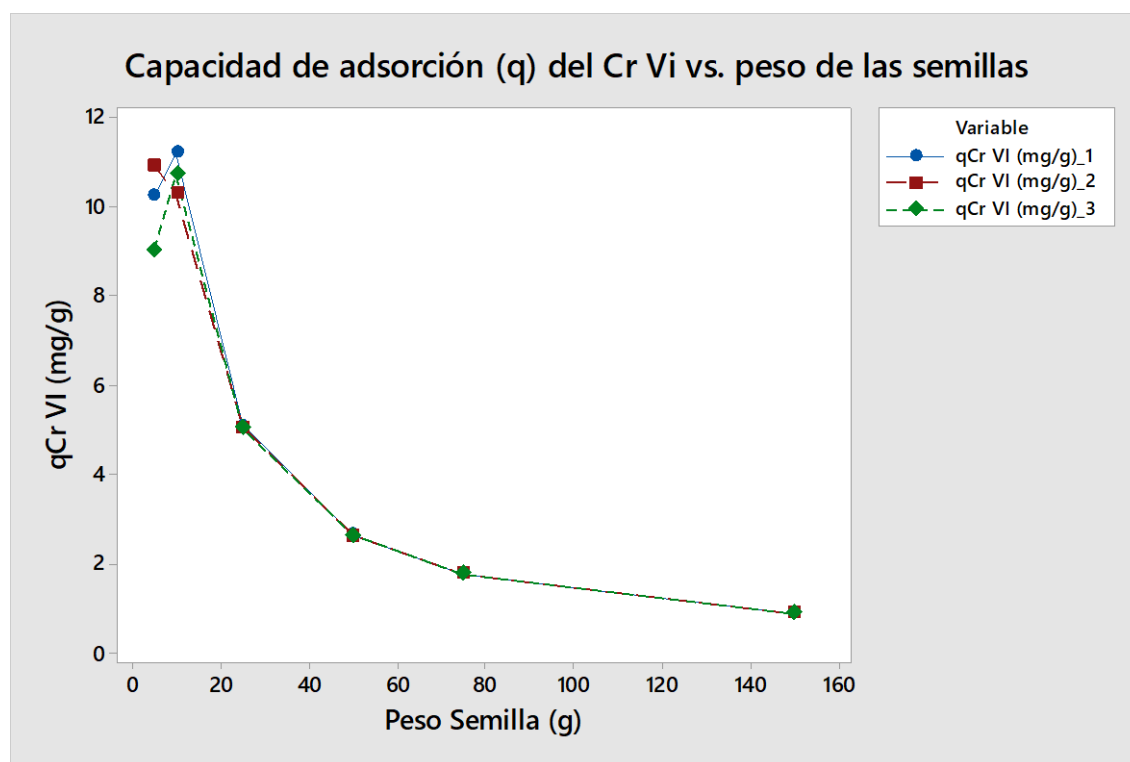
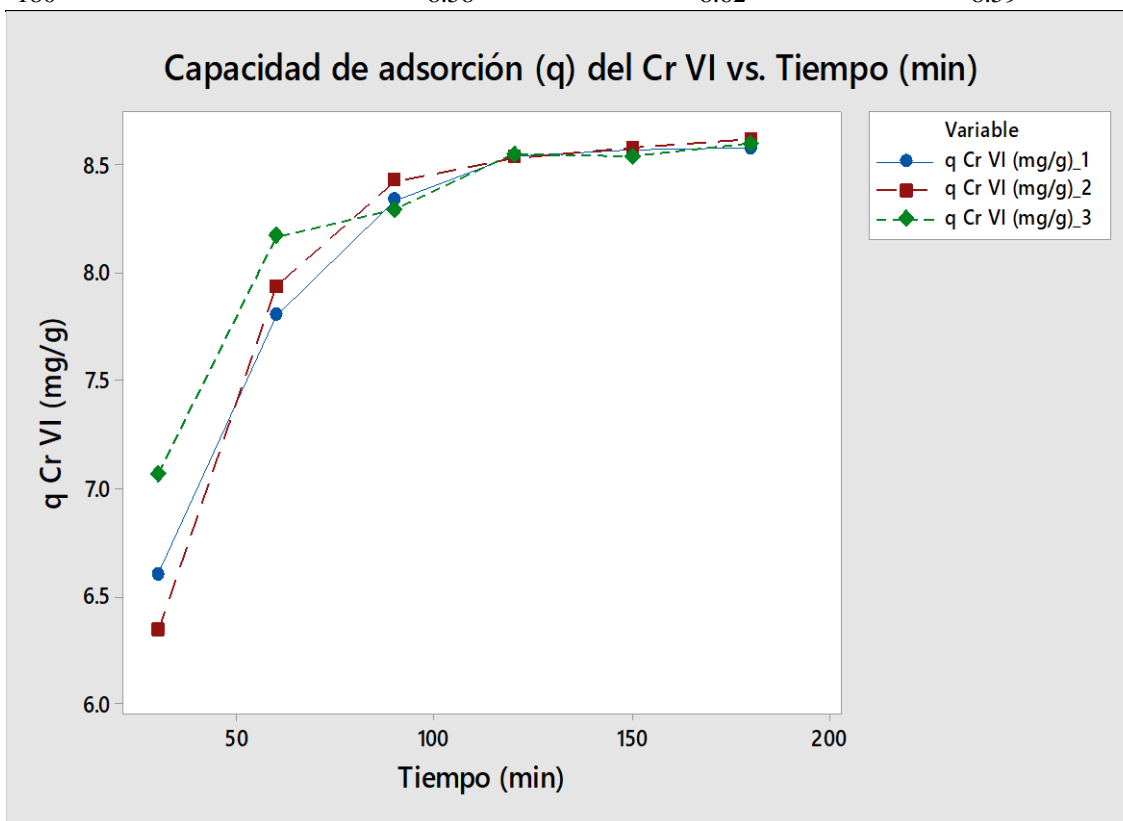


Figura 13: Comparación de la capacidad de adsorción (q) vs. el peso de las semillas de las tres pruebas experimentales para las isotermas.

Tabla 15Comparación de la capacidad de adsorción (q) de las tres pruebas para la cinética.

Prueba	1	2	3
Tiempo min)	$q_{\text{Cr VI}}$ (mg/g)	$q_{\text{Cr VI}}$ (mg/g)	$q_{\text{Cr VI}}$ (mg/g)
0	0.00	0.00	0.00
30	6.60	6.34	7.06
60	7.80	7.94	8.17
90	8.34	8.42	8.29
120	8.54	8.53	8.55
150	8.57	8.58	8.54
180	8.58	8.62	8.59

**Figura 64:** Comparación de la capacidad de adsorción (q) vs. el tiempo de reacción de las tres pruebas experimentales para la cinética.**Interpretación:**

Ahora el análisis radica en la capacidad de adsorción (q) de la semilla para adsorber al contaminante, para ello, se calculó la adsorción con la fórmula 1. La tabla 14 muestra los resultados de las tres pruebas y el análisis en relación con el peso de la semilla, es decir, se halló el peso que ha retenido mayor concentración de Cr VI. Tal como se visualiza en la figura 10, la adsorción con mayor intensidad se encuentra en el peso 150 g en comparación a los demás.

Por otro lado, la capacidad de adsorción en el tiempo (min) se halló en base al peso de 150 g (tabla 15) hallado anteriormente (tabla 15). Es decir, para realizar la prueba de cinética se requiere la capacidad máxima de adsorción (q_{max}) y esta se encuentra en los 150 g de semilla. Por consiguiente, se visualiza en la figura 8 el comportamiento uniforme de las tres pruebas, es decir, indican que tienen el mismo efecto.

En conclusión, la capacidad de adsorción de la semilla de Persea americana tiene una alta retención con mayor peso (150 g) y un tiempo de 120 minutos respectivamente.

Las semillas de Persea americana son efectivas dado que remueven la concentración de cromo (VI)

Isotermas de Langmuir

Tabla 16

Linealización de la isoterma de Langmuir

Peso (g)	[Cr VI] (mg/L)	q _{Cr VI} (mg/g)	[Cr VI]/q _{Cr VI}
5	83.20	10.08	8.254
10	26.13	10.75	2.432
25	6.73	5.07	1.326
50	1.53	2.64	0.578
75	0.91	1.77	0.514
150	0.11	0.89	0.127

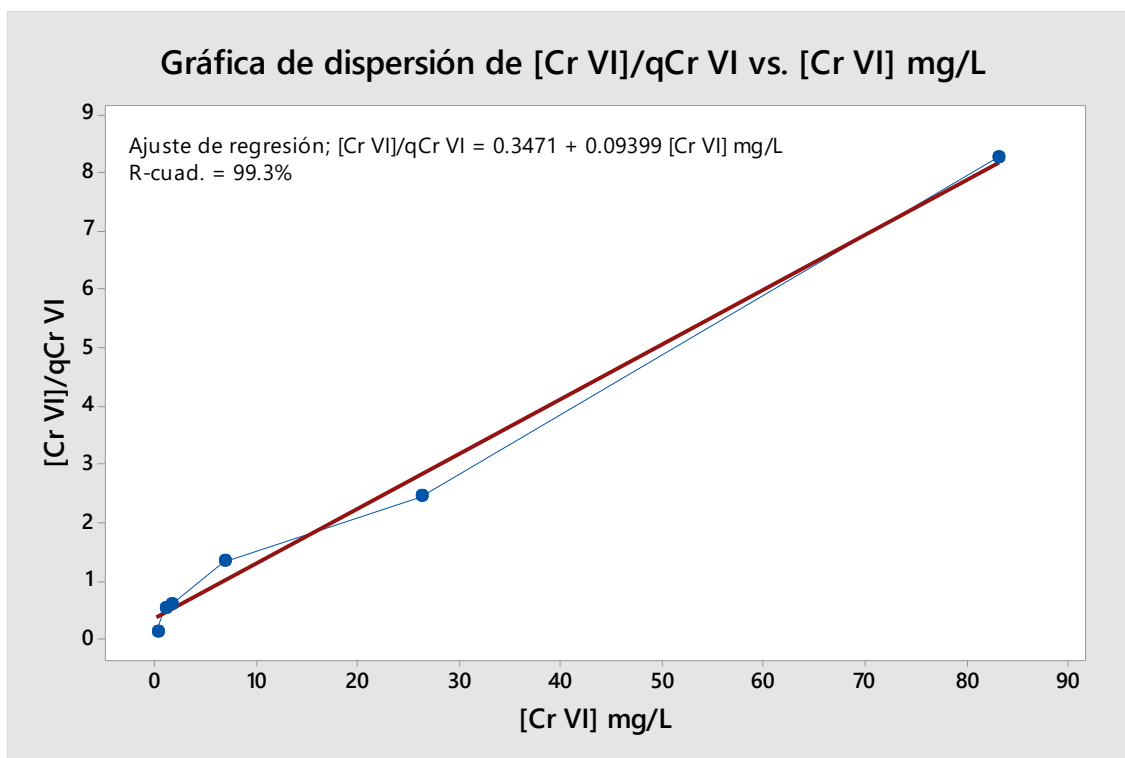


Figura 15: Linealización para la isoterma de Langmuir

Isoterma de Freundlich

Tabla 17

Linealización de la isoterma de Freundlich

Peso (g)	[Cr VI] (mg/L)	q _{Cr VI} (mg/g)	Ln [Cr VI]	Ln q _{Cr VI}
5	83.20	10.08	4.42	2.31
10	26.13	10.75	3.26	2.37
25	6.73	5.07	1.91	1.62
50	1.53	2.64	0.42	0.97
75	0.91	1.77	-0.09	0.57
150	0.11	0.89	-2.18	-0.12

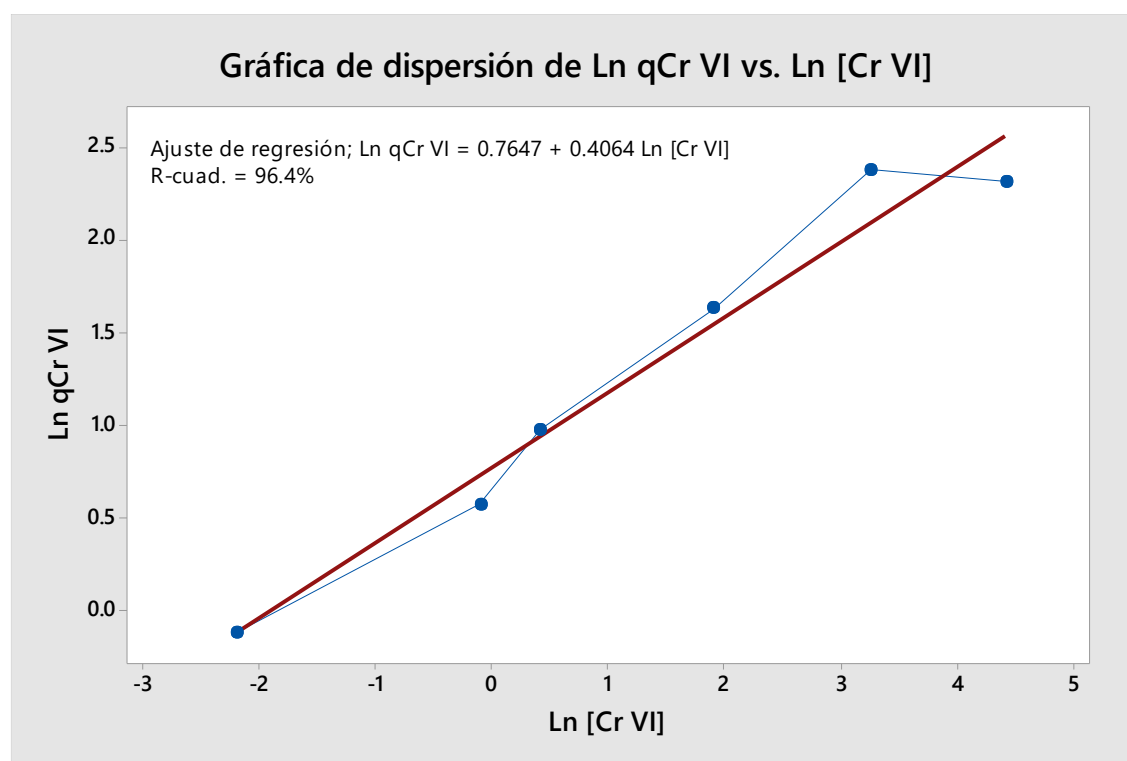


Figura 16: Linealización para la isoterma de Freundlich

Interpretación

Las Isotermas de Langmuir (tabla 16) y Freundlich (tabla 17) ayuda a predecir resultados que otras cantidades o pesos de semillas pueden proporcionar, es decir, pesos en gramos como

200, 300, etc, para concentraciones menores e incluso constantes; por tal razón, se evalúa la linealidad de los resultados.

La isoterma que mayor ajuste tiene en nuestros datos experimentales es el de Langmuir ya que según su linealidad (figura 12) y R² es del 99.3 % a diferencia de la isoterma de Freundlich que tiene un R² del 96.4 %. Esto quiere decir, que la semilla ofrece mayores ajustes y proyecciones a partir de la Isoterma de Langmuir.

Cinética de seudo primer orden

Tabla 18

Linealización de la cinética de adsorción para seudo primer orden

Tiempo (min)	q _{Cr VI} (mg/g)	q _{Cr VI} (mg/g)	q _{Cr VI} (mg/g)	Ln (q _{Cr VI})	Ln (q _{Cr VI})	Ln (q _{Cr VI})	Promedio Ln (q _{Cr VI})
30	6.601	6.339	7.064	1.887	1.847	1.955	1.896
60	7.799	7.935	8.167	2.054	2.071	2.100	2.075
90	8.337	8.425	8.290	2.121	2.131	2.115	2.122
120	8.539	8.531	8.549	2.145	2.144	2.146	2.145
150	8.573	8.578	8.535	2.149	2.149	2.144	2.147
180	8.579	8.616	8.595	2.149	2.154	2.151	2.151

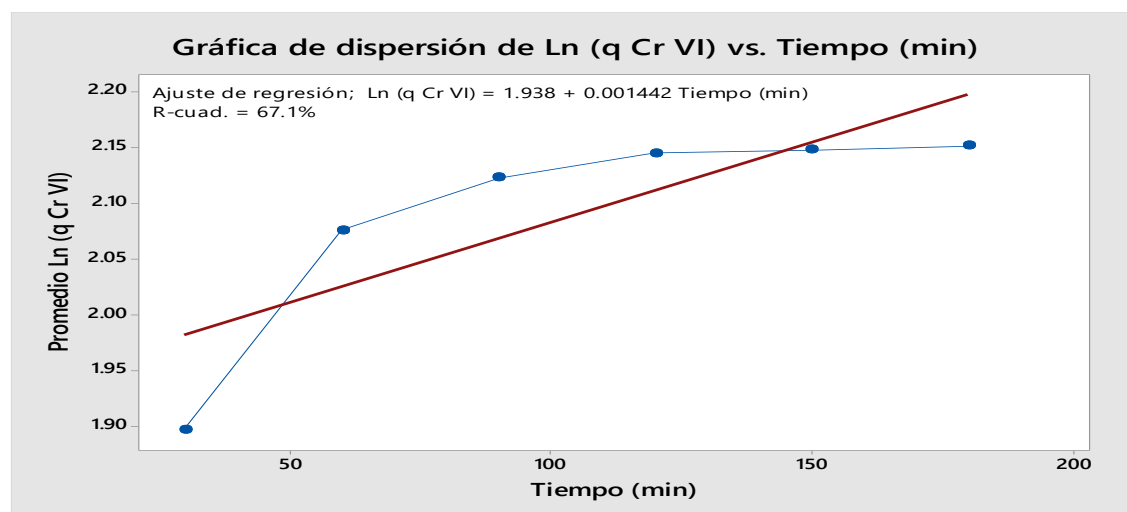


Figura 17: Linealización de la cinética de adsorción para seudo primer orden.

Cinética de seudo segundo orden

Tabla 19

Linealización de la cinética de adsorción para seudo segundo orden

Tiempo (min)	q _{Cr VI} (mg/g)	q _{Cr VI} (mg/g)	q _{Cr VI} (mg/g)	tiempo /q Cr VI (mg/g)	tiempo /q Cr VI (mg/g)	tiempo /q Cr VI (mg/g)	Promedio tiempo /q Cr VI (mg/g)
30	6.601	6.339	7.064	4.54	4.73	4.25	4.51
60	7.799	7.935	8.167	7.69	7.56	7.35	7.53
90	8.337	8.425	8.290	10.79	10.68	10.86	10.78
120	8.539	8.531	8.549	14.05	14.07	14.04	14.05
150	8.573	8.578	8.535	17.50	17.49	17.57	17.52
180	8.579	8.616	8.595	20.98	20.89	20.94	20.94

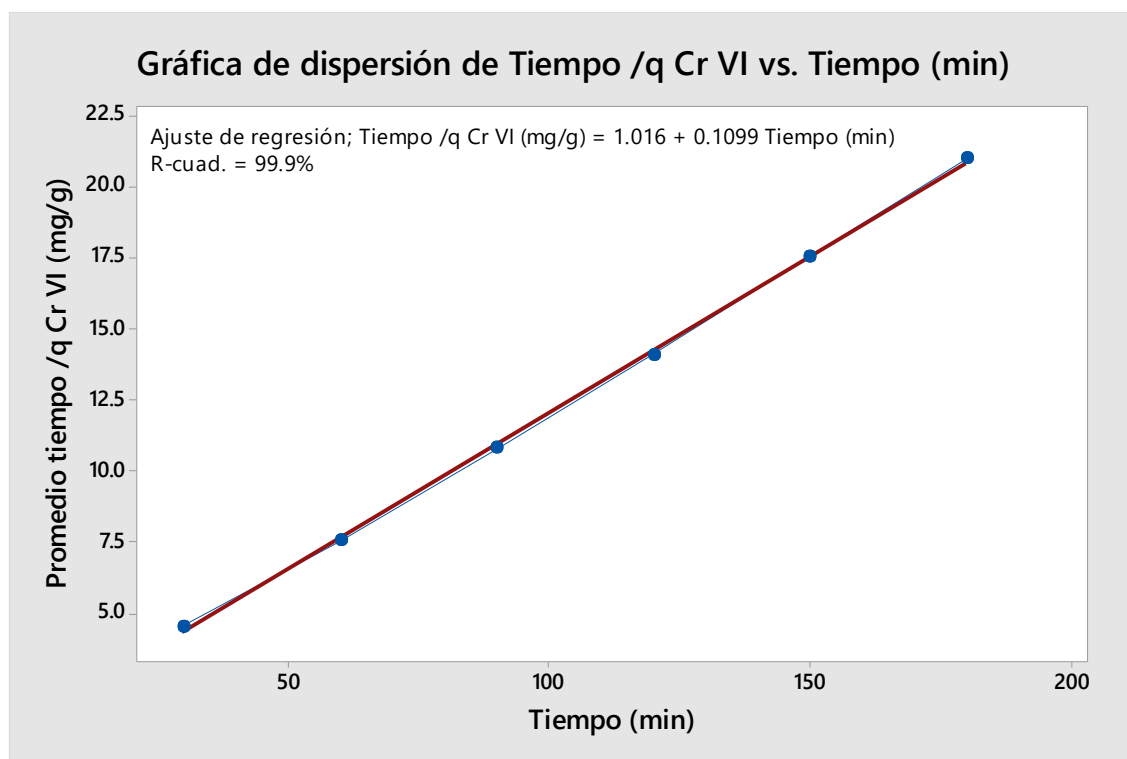


Figura 18: Linealización de la cinética de adsorción para seudo segundo orden.

Interpretación

Otra linealidad de resultados evaluados es el de la cinética de adsorción, para ello, existen dos modelos el seudo primer orden y el seudo segundo orden; entonces el modelo que mayor ajuste se tiene es el de seudo segundo orden, ya que, su linealidad o R^2 es 99.9 % mayor al del seudo primer orden que tiene un valor R^2 de 67.1 %, esto quiere decir, que la seudo segundo orden presenta mejores proyecciones que el primero.

Efectividad de la adsorción

Tabla 20

Efectividad de adsorción de las semillas Persea americana

Peso (g)	<i>Efectividad por peso</i>	Tiempo (min)	<i>Efectividad por tiempo</i>
0	0.00%	0	0.00%
5	37.72%	30	74.86%
10	80.44%	60	89.45%
25	94.96%	90	93.76%
50	98.86%	120	95.88%
75	99.32%	150	96.13%
150	99.92%	180	96.52%

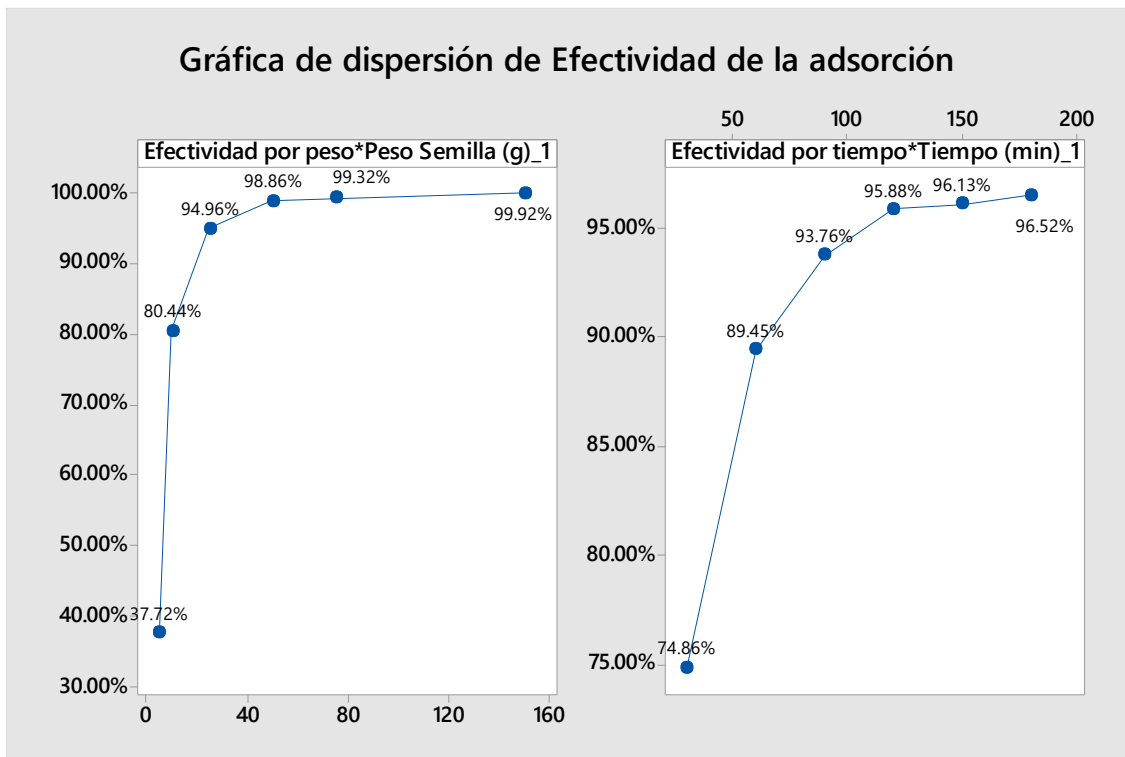


Figura 19: Comparación de la efectividad de adsorción de las semillas Persea americana (peso de las semillas y tiempo de reacción).

Interpretación:

La adsorción de las semillas de Persea americana es efectiva debido a que remueve el 99.92 % del Cr VI inicial a un peso de 150 g. Además, en 180 minutos remueve el 96.52 % de Cr VI. En términos generales, las semillas de Persea americana tienen un alto potencial de adsorción para el metal de Cr VI.

Discusión

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo evaluar la efectividad de biosorción de la *Persea americana* en aguas de curtiembre, donde se determinó que el modelo cinético del seudo de segundo orden con R^2 es 99.9% es más efectiva la biosorción que el seudo de primer orden con un R^2 es 67.1% (figura 14 y 15). La biomasa residual de *Persea Americana* es un potencial absorbente, que tiene gran capacidad de absorción, demostrando eficiencia en la remoción, la curva de dosaje de la biomasa residual *Persea Americana*, tiene capacidad de absorción que oscila entre 62 a 97 por ciento, las curvas cinéticas del proceso de adsorción, tienen capacidad que oscila entre 4,26 a 19, 44 miligramos. (Preciado, 2017)

Según los resultados obtenidos se confirma la hipótesis: “ Si la concentración de cromo (VI) del agua disminuye al entrar en contacto con las semillas activadas de *Persea americana*, entonces es efectiva la biosorción del cromo (VI) de las aguas residuales provenientes de la curtiembre mediante la semilla activada de *Persea americana*”. debido a que ha mayor tiempo de contacto y mayor cantidad de semilla activada mejor retención de cromo se va obtener.

Según los resultados que se observan en la figura 9 , los datos experimentales de la biosorción de cromo (VI) con semillas activadas, son mejor representados por la isoterma de langmuir, ya que su aproximación es del 99,3% frente al de Freundlich que es del 96,4%.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones:

- Se confirma la hipótesis: “*Las semillas activadas de Persea americana son efectivas como material de biosorción de cromo (VI) en las aguas residuales de curtiembre*” dado que, tiene una alta capacidad de adsorción y logra remover al Cr VI a niveles de la normatividad (VMA).
- La adsorción de la semilla *Persea americana* es efectiva, debido a que remueve el 99.92 % del contaminante a un peso de 150 g.
- La adsorción de la semilla *Persea americana* es efectiva, debido a que remueve el 96.52 % del contaminante a un tiempo de 180 minutos.
- El modelo isotérmico con mayor ajuste fue el de Langmuir, dado que, los resultados tuvieron un R² del 99.3% a diferencia de la isoterma de Freundlich que fue del 96.4 %. Indicando, que los resultados se proyectan mejor en el primero.
- Las semillas activadas de *Persea americana*, tiene un modelo cinético de pseudo segundo orden dado que su linealidad o R² es 99.9 % mayor al del pseudo primer orden que tiene un valor R² de 67.1 %, esto quiere decir, que la pseudo segundo orden presenta mejores proyecciones que el primero.

5.2. Recomendaciones

- Elaborar un diseño de experimentos con pesos de semilla de Persea americana de mayor amplitud, es decir, superior a los 300 g.
- Elaborar filtros con biosorbentes de semilla de Persea americana para flujos continuos.
- Aplicar las semillas de Persea americana a la adsorción de otros tipos de metales, tales como: Al, Cu, Mg, Mn, Pb, Sb, etc. y/o otros tipos de aguas residuales no domésticas.
- Utilizar los residuos de las semillas Persea americana para estudiar su capacidad de adsorción dado que son residuos que beneficia al ambiente mediante el tratamiento de aguas residuales y la reutilización de residuos.

REFERENCIAS

- Aggarwal, R., & Arora, G. (2020). Assessment of biosorbents for chromium removal from aqueous media. *Materials Today: Proceedings*, 28, 1540-1545.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.837>
- Balseca, H. (2017). *Capacidad del zuro de maíz Zea mays como bioadsorbente para remover Plomo divalente en aguas contaminadas a nivel laboratorio*. SJL, Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Bautista, R., & Jiménez, A. (2019). *Influencia del tiempo de retención y proporción del Zuro de Zea Mays en drenaje ácido de mina para la remoción de Hierro y Plomo Total del Río Hualgayoc - Arascorgue*. Cajamarca: Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.
- Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2010). Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential. *Chemical Engineering Journal* 1157, 277–296.
- Boeykens, S. P., Redondo, N., Alvarado, R., Caracciolo, N., & Vázquez, C. (2019). Chromium and Lead adsorption by avocado seed biomass study through the use of Total Reflection X-Ray Fluorescence analysis. *Applied Radiation and Isotopes*(153), 1-7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2019.108809>
- Bonilla, A., Mendoza, D., & Reynel, H. (2017). *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification*. Aguas calientes, México: Springer International Publishing.
- Bonilla-Petriciolet, A., Mendoza-Castillo, D. I., & Reynel-Ávila, H. E. (2017). *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification*. Aguascalientes, México: Springer International Publishing .
- Boqué, R., & Maroto, A. (2004). *Análisis de Varianza (ANOVA)*.
- Campos Ventura, J. L. (2016). *Evaluación de la capacidad del MIL-101(Cr) para la remoción de Ni (II) y Co (II) en solución acuosa*. Repositorio de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- Choy, K. K., & McKay, G. (2005). Sorption of metal ions from aqueous solution using bone char. *Environment International* 31, 845 – 854.
- Collantes, L. (2019). *Capacidad biosorbente de plomo de la cascara de naranja (citrus sinensis(L.)Osbeck) y la vaina de taya (Caesalpinia Spinosa (molina) kuntze)*. Cajamarca-Peru.

- Collantes, Lissette. (2019). *Capacidad Biosorbente de Plomo de Casacara de Naranja (Citrus sinensis (L.) Osbeck) y la vaina de taya (Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze)*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2018). *Environmental Chemistry for a Sustainable World*. Suiza: Springer Nature Switzerland AG. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-92162-4>
- Escobedo, E. (2008). *Biosorción de Aluminio y Magnesio total, presentes en soluciones Acuósas, con cascaras de paltas (persea americana mill) tratada con Formaldehído*. Arequipa-Peru.
- Fallas, J. (2012). *Análisis De Varianza Comparando tres o más medias*.
- Fernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigacion*. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Gadd, G. M. (2009). Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *Chemical technology and biotechnology*, 84(1), 13-28. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/jctb.1999>
- Gavrilescu, M. (2004). Removal of Heavy Metals from the Environment by Biosorption. *Eng. Life Sci.*, 4(3), 219-232. doi:10.1002/elsc.200420026
- Giles, C. H., Maceva, T. H., Nakwa, N. S., & Smith, D. (1960). Studies in Adsorption. Part XI.* A System of Classification of Solution Adsorption Isotherms, and its Use in Diagnosis of Adsorption Mechanisms and in Measurement of Specific Surface Areas of Solids. . *J Chem Soc*, 3973-3993.
- Grajales, T. (27 de 03 de 2000). *Tipos de investigacion* . Obtenido de <https://cmaspublish2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>
- Guisela, V. S., & Vega, Y. G. (2020). *Efecto Cicatrizante De Una Pomada A Base De Extracto Etanólico De Semillas De Persea Americana (Palta Hass) En Ratones Albinos*. Lima-Peru.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernandez-Eudave, M., Bonilla-Petriciolet, A., Moreno-Virgen, M., Rojas-Mayorga, C., & Tovar-Gómez, R. (2016). Design analysis of fixed-bed synergic adsorption of heavy metals and acid blue 25 on activated carbon. *Desalination and Water Treatment*, 9824-9836.

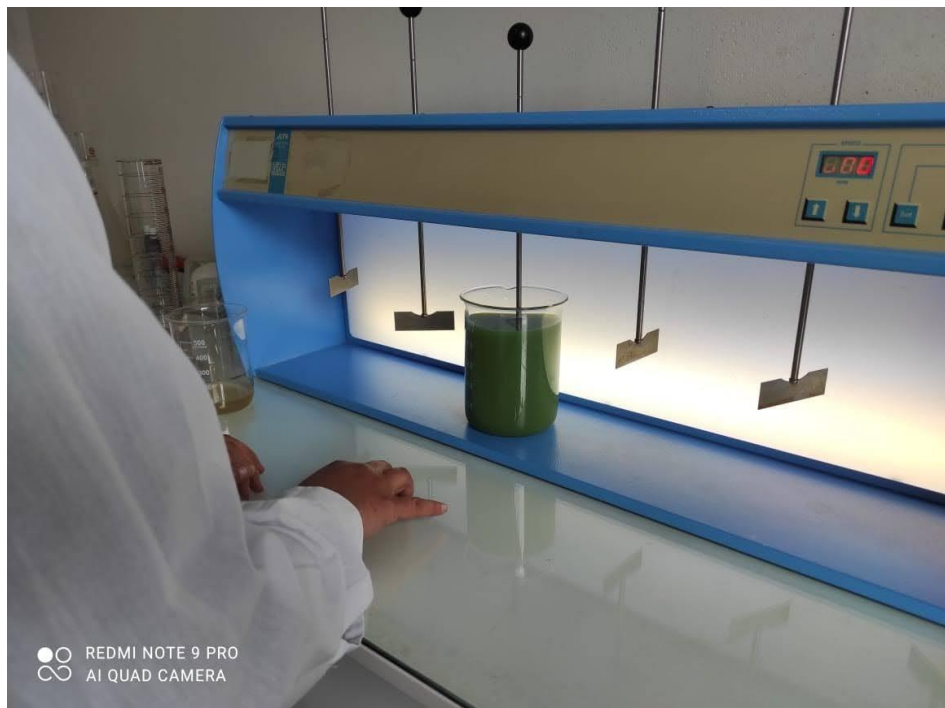
- hoc, P. (s.f.). Obtenido de <https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/PRUEBAS-POST-HOC.pdf>
- Huaman, M. (2014). *Evaluacion del efecto de tratamiento con solventes organicos, agua y tiempo de extraccion en el rendimiento de polifenoles totales de la harina de la semilla de palta (persea americana)*. Huancayo-Peru.
- Huillica, P. (2011). DETERMINACIÓN DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DEL AJÍ (*Capsicum annum* L.) SECO. PUERTO MALDONADO- PERÚ: <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/61/004-2-1-009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Lazo, J., & Navarro, A. M. (2008). *SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS ORGANOFÍLICAS Y SU APLICACIÓN COMO ADSORBENTES DEL FENOL*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v74n4/a02v74n1.pdf>
- Mayta, R., & Mayta, J. (2017). Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Scielo - Rev Soc Quím Perú.*, 83(3), 331-340.
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A., & Gutiérrez, A. D. (2009). *CONTAMINACIÓN Y FITOTOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS PROVENIENTES DE SUELOS Y AGUA*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Montoya, N. P., Casas, P. A., & Wandurraga, C. C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Dialnet*, 77-88.
- Muñiz, J. (2016). *“Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del*. Lima.
- Muñoz, E., & Graus, M. (2013). *Ingeniería Química*. Madrid: UNED.
- Muraleedharan, T. R., Iyengar, L., & Venkobachar, C. (1991). Biosorption: an attractive alternative for metal removal and recovery. *Curr Sci*, 379-385.
- Oré, F., Lavado, C., & Bendezú, S. (2015). Biosorción de Pb (II) de aguas residuales de mina usando marlo Maiz (*Zea mays*). *Scielo*, 122-134.
- Pinzon, M. (30 de Marzo de 2009). *MODELAMIENTO DE LA CINÉTICA DE BIOADSORCIÓN DE Cr (III) USANDO CÁSCARA DE NARANJA*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n160/a09v76n160.pdf>

- Portada, A. (2016). “*Tratamiento De Las Aguas Residuales Del Proceso De Curtido En Piel Por Procesos Físico-Químico De La Curtiembre De La Facultad De Ingeniería Química De La Unapuno*”. Puno.
- salud, D. d. (2004). hoja informativa sobre sustancias peligrosas. *Departamento de salud y servicio para personas mayores de new jersey*, 1.
- Schwarzenbach, R., Egli, T., Hofstetter, T., Von Gunten, U., & Wehrli, B. (2010). Global water pollution and human health. *Annu Rev Environ Resour* , 109-136.
- sullcaray, h. G. (2014). *Evaluación Del Efecto De La Temperatura De Esterilización Y De Extrusión En La Reducción De Taninos Presentes En La Semilla De Palta (Persea Americana).q*. Huancayo-Peru.
- Suzuky, M. (1990). *Adsorption Engineering*. Tokio: KODANSHA LTD. & ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B. V.
- Tejada, C., Herrera, A., & Núñez, J. (2016). Remoción de Plomo por Biomosas residuales de cáscara de Naranja (*Citrus sinensis*) y Zuro de Maiz (*Zea mays*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 19 (1)*, 169-178.
- Tien, C. (2019). *Introduction to Adsorption: Basics, Analysis, and Applications*. United States: Elsevier.
- Ugarte, M. G. (2017). Beneficios de la semilla de *Persea americana* Mill. (Palta). *Revista de Investigación e Información en Salud*, 5.
- Valensuela, M., & Canto, E. (2017). “*CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE Cd(II) EN SOLUCIONES ACUOSAS EMPLEANDO ESTIÉRCOL DE GANADO COMO ADSORBENTE*”. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3764/Camaremna%20Valenzuela-De%20La%20Cruz%20Ccanto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vatslavovich, V. (1965). *La teoría general de la dinpamica de sorción y cromatografía*. Nauka en Moscow: 1964.
- Volesky, B. (2007). Biosorption and me. *Water Research*, 41(18), 4017-4029. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.05.062>
- Zayed, A. M., & Terry, N. (2003). Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. *Plant and Soil*(249), 139-156. Obtenido de <https://doi.org/10.1023/A:1022504826342>

LISTA DE ABREVIATURAS

Cr:	Cromo
Cromo(VI):	Cromo hexavalente
N:	Normalidad
°C:	Grados Celsius
H ₃ PO ₄ :	Ácido fosfórico
mg/l:	Concentración en gramos/litros
X (mg/L):	La diferencia de la concentración inicial y final.
PH:	Potencial de hidrógeno.
VMA:	Valores Máximos Admisibles
NaOH:	Hidróxido de Sodio
AB:	Biomasa activada
Ln:	logaritmo neperiano

ANEXOS



Prueba de cinética adsorción

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Semillas (g)	249.8	250.4	250.3
Volúmen (L)	10	10	10
pH	4.56	4.65	4.59
rpm	150	150	150

Tiempo (min)	Cr VI (mg/L)	Cr VI (mg/L)	Cr VI (mg/L)
0	133.6	133.6	133.6
30	34.59	38.52	27.64
60	16.61	14.57	11.09
90	8.54	7.23	9.25
120	5.51	5.64	5.36
150	5.01	4.93	5.57
180	4.92	4.36	4.68
Fecha:	22/06/2021		

Prueba de isotermas adsorción

Datos iniciales

Cr VI (mg/L)	133.6	mg/L
rpm	150	
pH	4.58	

Grupo 01			Grupo 02			Grupo 03		
Volumen (mL)	Peso Semilla (g)	Cr VI (mg/L)	Volumen (mL)	Peso Semilla (g)	Cr VI (mg/L)	Volumen (mL)	Peso Semilla (g)	Cr VI (mg/L)
1000	5	82.3	1000	5	78.9	1000	5	88.4
1000	10	21.4	1000	10	30.7	1000	10	26.3
1000	25	5.91	1000	25	6.81	1000	25	7.47
1000	50	1.46	1000	50	1.54	1000	50	1.58
1000	75	0.94	1000	75	0.74	1000	75	1.05
1000	150	0.15	1000	150	0.07	1000	150	0.12
Fecha:	23/06/2021		Fecha:	24/06/2021		Fecha:	25/06/2021	

NOTA: El laboratorio solamente se hace responsable de los ensayos de Cromo VI y pH.



JOSÉ LUIS URIBE
Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos
Reg. CIP. N° 235778

Responsable de Laboratorio