



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS DE
ADSORCIÓN DE MERCURIO SOBRE BIOMASA OBTENIDA DE
CÁSCARA DE PITAHAYA**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: ARIANA MABEL CHUQUISALA LIGUA

DIRECTOR: Ing. CARLOS ALCIBAR MEDINA SERRANO Msc.

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Ariana Mabel Chuquisala Ligua

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

Yo, Ariana Mabel Chuquisala Ligua, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 16 de septiembre de 2021

Ariana Mabel Chuquisala Ligua

1726474859

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación Tipo: Proyecto de Investigación, “**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS DE ADSORCIÓN DE MERCURIO SOBRE BIOMASA OBTENIDA DE CÁSCARA DE PITAHAYA**”, realizado por la señorita: **ARIANA MABEL CHUQUISALA LIGUA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Fabian Ernesto Arias Arias. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	16/09/2021 _____
Ing. Carlos Alcibar Medina Serrano. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	16/09/2021 _____
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera. MIEMBRO DE TRIBUNAL	_____	16/09/2021 _____

DEDICATORIA

En este trabajo final de grado se ve reflejado el esfuerzo de un arduo camino de estudio con altos y bajos que sin duda han sido necesarios para concretar este logro, no reconocer el apoyo, la motivación y el sacrificio por parte de mis padres no sería justo, pues han sido ellos quienes han recorrido este camino conmigo, siendo mi sustento diario y brindándome su amor profundo, han solventado cada necesidad que se me ha presentado y me enseñaron las lecciones más difíciles, las lecciones de la vida. Por esta razón a ellos va dedicado este trabajo a Bismark Chuquisala y Brixia Ligua; mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud infinita va dirigida a todas las personas que desinteresadamente han aportado con mi formación personal y académica entre las que destaco: Mis padres quienes día a día, me han brindado su colaboración, apoyo y entrega para hacer realidad este sueño de convertirme en una profesional, a mis hermanos quienes me alentaron a no desistir ante cada adversidad que se me presentó, a mis amigos quienes fueron parte y testigos de toda esta aventura llamada universidad, a mis queridos docentes quienes impartieron en mí la semilla del conocimiento y el saber.

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE ECUACIONES	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	5
OBJETIVOS.....	6

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
1.1. Antecedentes de la Investigación	7
1.2. Marco Teórico	8
1.2.1. <i>Mercurio</i>	8
1.2.2. <i>Pitahaya</i>	9
1.2.3. <i>Adsorción</i>	10
1.2.4. <i>Relación entre tensión superficial y adsorción</i>	11
1.2.5. <i>Isotermas de adsorción</i>	12
1.2.6. <i>Factores que influyen en el proceso de adsorción</i>	14
1.2.7. <i>Espectroscopia por absorción Atómica</i>	16
1.2.8. <i>Cinética de adsorción</i>	16
1.2.9. <i>Tiempo de Equilibrio de Adsorción</i>	18

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	19
2.1. Hipótesis y especificación de variables	19
2.1.1. <i>Hipótesis general</i>	19
2.1.2. <i>Hipótesis específicas</i>	19
2.1.3. <i>Identificación de Variables</i>	20

2.1.4.	<i>Operacionalización de variables</i>	21
2.1.5.	<i>Matriz de consistencia</i>	22
2.2.	Tipo y Diseño de Investigación	26
2.2.1.	<i>Tipo de Investigación</i>	26
2.3.	Unidad de Análisis	26
2.4.	Población de Estudio	26
2.5.	Tamaño de Muestra	26
2.6.	Selección de la Muestra	27
2.7.	Técnicas de Recolección de datos	27
2.7.1.	<i>Obtención de la biomasa adsorbente</i>	27
2.7.2.	<i>Caracterización de la biomasa adsorbente</i>	27
2.7.3.	<i>Preparación de las soluciones de mercurio</i>	30
2.7.4.	<i>Calibración del Equipo – Espectrofotómetro de Absorción Atómica</i>	30
2.7.5.	<i>Determinación del Tiempo de Equilibrio</i>	30
2.7.6.	<i>Determinación de la dosificación del adsorbente</i>	31
2.7.7.	<i>Determinación de la capacidad de adsorción de mercurio</i>	31
2.7.8.	<i>Ajuste de los datos obtenidos a los Modelos Matemáticos de Pseudo Primer y Pseudo Segundo Orden</i>	31
2.7.9.	<i>Ajuste de los datos obtenidos a los modelos matemáticos de Freundlich y Langmuir</i>	32

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
3.1.	Resultados	33
3.1.1.	<i>Resultados de la obtención de la Biomasa Adsorbente</i>	33
3.1.2.	<i>Resultados de la Caracterización de la Biomasa Adsorbente</i>	33
3.1.3.	<i>Determinación del Tiempo de Equilibrio</i>	35
3.1.4.	<i>Determinación de la Dosificación del adsorbente</i>	36
3.1.5.	<i>Determinación de parámetros cinéticos de adsorción</i>	37
3.1.6.	<i>Determinación de la Capacidad de Adsorción</i>	39

CONCLUSIONES	42
--------------	----

RECOMENDACIONES	43
-----------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Diferencias entre Adsorción Física y Química.....	11
Tabla 2-2:	Identificación de Variables.....	20
Tabla 3-2:	Operacionalización de Variables.....	21
Tabla 4-2:	Matriz de Consistencia.....	22
Tabla 5-3:	Análisis de Resultados FT-IR.....	34
Tabla 6-3:	Resultados de la Caracterización de la Biomasa.....	35
Tabla 7-3:	Resultados Cinética de Adsorción.....	37
Tabla 8-3:	Resultados Isotermas.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Mercurio.....	8
Figura 2-1: Pitahaya (<i>Hylocereus sp.</i>)	9
Figura 3-1: Representación esquemática Isoterma de Freundlich	12
Figura 4-1: Representación esquemática Isoterma de Langmuir.....	13

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Espectro de Adsorción IR de Biomasa de Cáscara de Pitahaya	33
Gráfico 2-3:	Tiempo de Equilibrio.....	35
Gráfico 3-3:	Dosificación de Bioadsorbente.....	36
Gráfico 4-3:	Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden	38
Gráfico 5-3:	Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden	38
Gráfico 6-3:	Isoterma de Freundlich a 25 C, 40 C, y 60 C.	40
Gráfico 7-3:	Isoterma de Langmuir a 25 C, 40 C, y 60 C.....	40

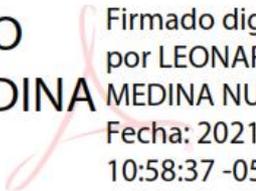
ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Modelo Matemático de Freundlich.....	13
Ecuación 2-1:	Modelo Matemático de Freundlich.....	14
Ecuación 3-1:	Modelo Matemático de Freundlich.....	14
Ecuación 4-1:	Modelo Matemático de Freundlich.....	14
Ecuación 5-1:	Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden.....	17
Ecuación 6-1:	Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden.....	17
Ecuación 7-1:	Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden.....	17
Ecuación 8-1:	Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden.....	17
Ecuación 9-1:	Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden.....	17
Ecuación 10-2:	Porcentaje de Cenizas Totales.	28
Ecuación 11-2:	Densidad Aparente.....	29
Ecuación 12-2:	Masa del agua desplazada.....	29
Ecuación 13-2:	Densidad real	29
Ecuación 14-1:	Porosidad del Adsorbente	30

RESUMEN

El siguiente trabajo de titulación hace un estudio de la cinética de adsorción de mercurio en biomasa obtenida de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*). El mercurio es un metal sumamente contaminante cuyos riesgos para la salud y el ecosistema si no es controlado, puede llegar a ser devastador. Por otro lado, la cáscara de Pitahaya es un residuo agroindustrial de gran demanda que no ha sido aprovechado y su implementación en sistemas de tratamiento de aguas podría resultar propicia, ya que la adsorción es una alternativa de bajo costo que puede ser implementada a pequeña y mediana escala. La biomasa obtenida se caracterizó mediante un análisis de espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) y diferentes pruebas fisicoquímicas. La cuantificación del mercurio en solución se realizó mediante espectroscopia de Absorción atómica por Generación de Hidruros (Espectrofotómetro-Thermo Scientific, ICE 3000 Series), usando Boro hidruro de Sodio al 6% y ácido clorhídrico al 1.53%, con Argón como gas de corriente. Con respecto a la capacidad de adsorción se hizo uso de las isothermas de Freundlich y Langmuir, en las cuales se determinó que los datos experimentales se ajustan mejor al modelo matemático de Langmuir, destacando que la adsorción se ve favorecida a 40 grados Celsius, en cuanto a su cinética se ajustaron los datos a los modelos matemáticos de pseudo primer y segundo orden, logrando que los datos se acoplaran al modelo matemático de Ho Pseudo segundo orden, los cálculos matemáticos se realizaron mediante el uso del software Microsoft Excel. Para la implementación de un sistema de adsorción a una escala mayor resultaría propicio realizar un estudio Dinámico de las condiciones que se manejen.

Palabras claves: <MERCURIO>, <PITAHAYA (*Hylocereus undatus*)>, <ADSORCIÓN>, <ISOTERMAS>, <CINÉTICA>.


LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.20
10:58:37 -05'00'



1928-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The following graduationwork studies the kinetics of mercury adsorption in biomass obtained from pitahaya (*Hylocereus undatus*) peel. Mercury is a highly polluting metal whose risks to health and the ecosystem, if not controlled, can be devastating. On the other hand, Pitahaya peel is a highly demanded agro-industrialwaste that has not been exploited and its implementation in water treatment systems could be propitious, since adsorption is a low-cost alternative that can be implemented at a small and medium scale. The biomass obtained was characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis and different physicochemical tests. The quantification of mercury in solution was performed by Hydride Generation Atomic Absorption Spectroscopy (Thermo Scientific Spectrophotometer, ICE 3000 Series), using 6% sodium boron hydride and 1.53% hydrochloric acid, with Argon as a streamgas. Regarding the adsorption capacity, the Freundlich and Langmuir isotherms were used, in which it was determined that the experimental data fit better to the Langmuir mathematical model, highlighting that the adsorption is favored at 40 degrees Celsius;as for its kinetics, the data were adjusted to the pseudo first and second order mathematical models, achieving that the data were coupled to the Ho Pseudo second order mathematical model;the mathematical calculations were performed using Microsoft Excel software. For the implementation of an adsorption system at a larger scale it would benecessaryto carry out a Dynamic study of the conditions to be handled.

Keywords: <MERCURY>, <PITAHAYA (*Hylocereus undatus*)>, <ADSORPTION>, <ISOTHERMALS>, <KINETICS>.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de aguas a causa de mercurio es uno de los grandes problemas que atraviesa el mundo, su ingesta y presencia en el ecosistema produce daños irreparables, tanto en la salud del hombre como en animales, sembríos, etc. El mercurio es un metal que puede encontrarse principalmente de tres formas diferentes: como mercurio metálico, mercurio inorgánico y mercurio orgánico (Weinberg, 2007 p. 16).

El mercurio inorgánico puede encontrarse en el aire, durante el trabajo minero, en la quema de carbones, basura, y en la industria, que a su vez puede ser trasladado a fuentes de agua y suelos por medio del desecho directo en estos efluentes y por medio de la actividad volcánica (Weinberg, 2007 p. 16).

El mercurio puede afectar directamente a la salud humana, en cuanto al sistema nervioso central, riñones, y en caso de gestación, puede producir malformaciones al feto. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha señalado a algunas sales de mercurio como carcinogénicos en seres humanos (Carabantes & Fernicola, 2003 p. 36)

La bioadsorción hoy en día se encuentra en su auge, ya que el uso de residuos agroindustriales para la remoción de metales pesados representa disminución de costos, optimización de recursos y eficiencia en cuanto a resultados. La cáscara de Pitahaya es un residuo de gran demanda en nuestro país, que no ha sido aprovechada en su totalidad.

La cáscara de pitahaya posee en su pared celular, diferentes polisacáridos como celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina que de acuerdo a su estructura son grupos que tienen cierta atracción a los iones de metales pesados con el mercurio, es esta la razón que llevo a la realización de este estudio (Oré, 2019 p. 96).

La biomasa obtenida de la cáscara de pitahaya no necesita de una activación ácida o básica, con un tratamiento físico-térmico es suficiente para no alterar ni distorsionar la estructura química de estos polisacáridos que son los encargados de atraer los iones de mercurio que se encuentran en suspensión.

En el proceso de Adsorción se ven involucrados diferentes parámetros que pueden potenciar el resultado, como puede ser la variación de la temperatura, el efecto del pH, la dosis del adsorbente entre otros, todos estos parámetros deben ser estudiados y verificados mediante la experimentación y pueden permutar de acuerdo al adsorbente (Ordoñez, 2017 p. 106).

La capacidad de adsorción se ve reflejada en el ajuste de los datos obtenidos experimentalmente a distintas isothermas que puedan describir el comportamiento de los iones adsorbidos y su distribución entre la fase líquida de la solución y la fase sólida del adsorbente cuando se llega a un equilibrio, entre las más comunes se encuentran las isothermas de Freundlich y Langmuir.

La isoterma de Langmuir es un modelo teórico válido para la adsorción en una monocapa sobre una superficie completamente homogénea con un número finito de sitios idénticos y específicos de adsorción y con una interacción despreciable entre las moléculas.

Mientras que la isoterma de Freundlich propone un modelo experimental, en el que se da una disposición en la monocapa con una complejidad energética de los sitios activos, junto a interacciones entre los iones adsorbidos (PASTRANA & MORA, 2017 p. 38).

Con todo lo mencionado se propone este estudio para determinar los parámetros cinéticos de adsorción de mercurio en biomasa obtenida de cáscara de Pitahaya, y a la par establecer la capacidad de adsorción de esta biomasa.

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La preocupación ambiental que el planeta entero mantiene debido a los niveles excesivos de contaminación tanto a raíz del suelo, agua o aire es realmente alarmante, y la búsqueda de alternativas ecológicas para mitigar estos efectos se encuentra entre las prioridades de los países industrializados. Entre las principales causas se encuentra el mal manejo de aguas residuales provenientes de dichas industrias que si bien son de suma importancia para brindar una mejor calidad de vida al hombre, estas han sido las causantes de miles de efectos adversos presentes hoy en la naturaleza (Carabantes & Fernicola, 2003 p. 7).

Los metales pesados como Cromo, Níquel, Mercurio, plomo y arsénico provenientes de industrias como la del cemento, la conservación de la madera, producción de acero, curtiduría, pinturas, fertilizantes, textiles, minería, etc, han sido catalogados como los principales contaminantes del agua y de mayor impacto debido a su toxicidad y difícil eliminación. Estos metales tienden a persistir indefinidamente en el medio ambiente, comprometiendo el equilibrio de la flora y la fauna (Tejada-Tovar et al., 2015 p. 6).

La contaminación de mercurio que hoy en día se evidencia es debida a tres principales fuentes entre ellas fuentes naturales que generalmente se da por la movilización natural del mercurio, tal como se encuentra en la corteza terrestre, ya sea por actividad volcánica o la erosión de grandes rocas. Así mismo, las fuentes antropogénicas son resultado de la presencia de mercurio en materias primas como la de combustibles fósiles. Por otra parte, las fuentes Industriales como industrias del papel, instrumental médico (termómetros, bujías, amalgamas dentales), termostatos, lámparas fluorescentes, etc. Los hospitales generan entre el 4-5% del total de mercurio presente en aguas residuales (Gaioli et al., 2012 p. 77).

La OMS establece un máximo de 0,001 mg/L de mercurio para el agua y 0,001 µg/m³ en promedio en el aire. En Ecuador la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes, Recurso Agua del año 2010, establece un límite de 0,001 mg/L para aguas de uso humano, uso doméstico y agrícola; y 0,18 µg/L para aguas subterráneas(Castelo, 2015 p. 21).

Los residuos de mercurio producen daños irreparables en el ecosistema, ya que las diferentes vertientes, generalmente desfogon en ríos y mares, afectando directamente a lo que es la flora y fauna marina y a través de ello llegar a producir efectos en la salud de personas que viven en sectores aledaños a estos vertientes reflejando daños irreversibles en el sistema nervioso central (Weinberg, 2007 p. 23)

Hoy en día existen plantas de tratamiento de aguas residuales en cada industria dependiendo la necesidad del residuo, muchas de estas incluyen diversos métodos físicos y químicos convencionales como: coagulación, filtración, evaporación, precipitación, tratamientos electroquímicos etc. Estos métodos suelen ser ineficaces cuando existen concentraciones mínimas

de estos metales, además de resultar sumamente costosos, y forman lodos que resultan ser más difíciles de desechar.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La adsorción es una buena alternativa para la eliminación de este metal pesado en soluciones acuosas, es una tecnología limpia, efectiva y de bajo costo si se implementa un buen adsorbente. Al hablar de bioadsorción se tiene un enfoque mucho más óptimo, ya que se proyecta una remoción de iones de metales pesados causantes de contaminación y a la vez se le da uso a desechos agroindustriales que antes no se les encontraba utilidad en el medio, además que generalmente son de bajo costo y de fácil adquisición (Arroyo & Ruiz, 2018 p. 14) (Tejada-Tovar et al., 2015 p. 35).

La pitahaya se encuentra dentro de la familia de las cactáceas, esta fruta es reconocida como una de las más exóticas del mundo, en el Ecuador se producen alrededor de 850 hectáreas entre las provincias de Guayas, Morona Santiago, Guayaquil, Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, y el Oro. El consumo nacional es muy elevado, por esta razón el uso de la cáscara de esta fruta, que comúnmente se desecha es una excelente alternativa descontaminante, además que lleva a este estudio a ser mucho más factible y viable (Ore, 2019 p. 66).

Si se realiza una comparación entre los métodos convencionales del tratamiento de aguas con la bioadsorción, esta presenta múltiples ventajas como el bajo costo de implementación, minimización en el uso de productos químicos y lodos biológicos, a más de presentar un alto rendimiento y de la posibilidad de recuperar dicho metal, para algún otro uso (Tejada-Tovar et al., 2015 p. 35).

La determinación de parámetros cinéticos de adsorción, en este residuo agroindustrial, es de suma importancia para determinar la factibilidad del uso de este adsorbente para eliminar en un máximo nivel estos iones de mercurio en las diferentes muestras de aguas a tratarse. El manejo de datos que se acoplen a un modelo matemático será fundamental para predecir la velocidad en la cual será removido el contaminante de la muestra tratada (De los Santos, Barajas Fernández, Pérez Hernández, Hernández Rivera, y Díaz Flores, 2019 p. 3).

OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar parámetros cinéticos de adsorción de mercurio sobre biomasa obtenida de cáscara de pitahaya.

Objetivos específicos

- Obtener biomasa a partir de residuos de cáscara de pitahaya, a través de un tratamiento físico-químico, para retener mercurio.
- Caracterizar la biomasa obtenida, para evidenciar la presencia de grupos funcionales adsorbentes de mercurio.
- Determinar la capacidad de adsorción de mercurio en soluciones acuosas a través de isothermas de Freundlich, y Langmuir.
- Evaluar la cinética de adsorción de mercurio en soluciones acuosas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la Investigación

Debido a los altos índices de contaminación fluvial que padece el planeta entero, por causa del aumento de actividades industriales, estudios recientes han determinado que la bioadsorción es una alternativa limpia, factible y viable, ya que esta operación consiste en la remoción de iones metálicos por medio del uso de un adsorbente de origen biológico tal como: algas, hongos, bacterias, cáscaras de frutas, productos agrícolas y algunos biopolímeros (Arroyo & Ruiz, 2018 p. 34). La cáscara de pitahaya está conformada por celulosa, hemicelulosa, pectina, y lignina, que son polímeros de largas cadenas que tienen cierta atracción con iones metálicos. Es necesario caracterizar esta biomasa para conocer los grupos funcionales que estas presentan y así conocer a ciencia cierta la afinidad que esta presenta por los iones de mercurio, que es el metal que se quiere remover. La eficiencia de este proceso dependerá de dicha afinidad, ya que la calidad del adsorbente está ligada a la cantidad de sorbato (metal) que pueda atraer y retener (Ore, 2019 p.13). La cáscara de pitahaya como adsorbente ha sido utilizada para remover plomo y cadmio de soluciones acuosas, y ha presentado buenos resultados en cuanto al tiempo de equilibrio y al porcentaje de remoción, llegando a remover hasta un 64,4 % de plomo y un 72% de Cadmio en soluciones acuosas en un Ph de 4 y 6 respectivamente (Ore, 2019 p. 13).

Se ha determinado que la biomasa seca tiene un mayor rendimiento que la biomasa húmeda, ya que retiene un mayor porcentaje de metal en su bicapa y además, emplea un menor tiempo variando de 15 a 30 minutos hasta alcanzar el equilibrio para el caso de la pitahaya. Es por esta razón que la preparación del adsorbente generalmente no necesita largos y tediosos procesos, basta con un tratamiento físico y térmico. Para el uso de la cáscara de Pitahaya como adsorbente para retener iones de mercurio, el tratamiento básicamente se basaría en el secado, la molienda y el tamizado de este residuo hasta obtener la biomasa que será utilizada como adsorbente (González-Muñoz et al., 1997 p. 19).

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Mercurio

1.2.1.1. Propiedades Físicas y Químicas del mercurio

El Mercurio es un elemento químico de símbolo (Hg) con un número atómico de 80 y un peso atómico de 200.59, en su estado natural es un líquido platinado, con un punto de fusión de -38.4 C y de ebullición de 357 C a presión atmosférica. El mercurio es un metal noble muy soluble en soluciones oxidantes, cuando llega a su estado sólido suele ser muy maleable como el plomo, Es un compuesto sumamente tóxico y forma amalgamas con otros metales como oro, plata. Cobre. Plomo etc. (Castelo, 2015 p. 63).



Figura 1-1: Mercurio

Fuente: Montenegro Agudo, 2002.

Comúnmente el mercurio forma dos enlaces covalentes por ejemplo, Cl-Hg-Cl o Cl-Hg-Hg-Cl . Algunas sales de mercurio (II), por ejemplo, $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ o $\text{Hg}(\text{ClO}_4)_2$, son muy solubles en agua y se encuentran separadas en iones (Monteagudo, 2001 p. 103).

1.2.1.2. El mercurio en el medio ambiente

Este metal es considerado uno de los metales pesados que causa mayor preocupación en el mundo, debido a su toxicidad para todo organismo vivo, esta toxicidad aumenta al formar compuestos organometálicos (Sánchez, J.Cameselle, 2017 p. 96).

El Hg es un compuesto vital para los procesos de excavación de oro de sedimentos y suelos. Este es añadido a dichos sedimentos formando una amalgama que será después separada por sedimentación, esta amalgama es llevada a altísimas temperaturas hasta convertir el mercurio en gas y como consecuencia este entra en la atmosfera en su valencia (+2). El mercurio con las condiciones que le aporta el ozono, la luz solar y el vapor de agua, es nuevamente limpiado por

los diluvios y es asentado en la capa terrestre y arrastrado por mares y ríos, es por esta razón que debido a la presencia de bacterias y material orgánico el mercurio forma compuestos organometálicos contaminando todo a su paso, siendo el mayor y más común contaminante el metilmercurio (ATSDR, 2016 p. 2).

1.2.1.3. Efectos del Mercurio en la salud

Los vapores de mercurio son absorbidos de una manera sumamente veloz en los pulmones de los seres humanos, el mercurio cambia de estado al oxidarse, disminuyendo su capacidad de difundirse, quedando así restos de mercurio en los glóbulos rojos afectando a todo el sistema nervioso central, riñones y otros órganos causando diversos efectos como: neumonitis química, síndrome nefrótico, hipertensión arterial, efectos gastrointestinales, problemas dermatológicos (Acrodinia). Además la exposición prolongada puede causar cáncer, alteraciones cognitivas, sensoriales y motoras y un sinnúmero de efectos inmunológicos y reproductivos (Gaioli et al., 2012 p. 10).

1.2.2. Pitahaya

Entre las características de la pitahaya destacan que es una planta permanente, rampante, epífita tiene la particularidad de nacer sobre cualquier superficie, debido a que no tiene la capacidad de ser autosuficiente (Montesinos et al., 2015 p. 2).



Figura 2-1: Pitahaya (*Hylocereus sp.*)

Fuente: Esquivel, Patricia, 2012.

La pitahaya es reconocida por su riqueza en nutrientes y por sus beneficios para la salud, por lo que se ha considerado un potente alimento nutraceutico. Así mismo, cuenta con la presencia de oligosacáridos que muestran propiedades prebióticas, la pulpa y la cáscara son ricas en polifenoles y buenas fuentes de antioxidantes, e inhiben el crecimiento de las células de melanomas, los extractos de las cáscaras muestran mayor actividad anti proliferativa, convirtiéndola así, en un fruto con propiedades anti cancerígenas. Los numerosos estudios relacionados con la pitahaya demuestran el creciente interés por aprovechar sus beneficios (Montesinos et al., 2015 p. 2).

1.2.2.1. Composición Físico- química de la Pitahaya

En cuanto a su composición físico química se puede destacar del mesocarpio, que se ha descrito que contiene alrededor de 82-88 % de agua, con un contenido de sólidos solubles totales de 7 a 11 % estos sólidos solubles son constituidos básicamente por glucosa y fructosa variando desde 30 a 55 g/L y 4 a 20 g/l (Esquivel & Quesada, 2012 p. 6).

Respecto al contenido de oligosacáridos de distintos pesos moleculares se encuentra de 86,2 y 89,6 g/kg. Las fracciones de pectina de la pulpa de pitahaya están compuestas principalmente por arabinosa y galactosa, mientras que la fracción de hemicelulosa consiste principalmente de glucosa, xilosa y galactosa. El contenido de polifenoles totales y de flavonoides totales es mayor en las cáscaras que en la pulpa de 36,1 mg/100 mL y 34,8 mg/100 mL (Montesinos et al., 2015 p. 2). La cualidad más notable de los frutos de pitahaya es la presencia de pigmentos betalaínicos, que parecen estar relacionados con una elevada actividad antioxidante (Montesinos et al., 2015 p. 2).

1.2.3. Adsorción

El proceso de adsorción ocurre cuando una sustancia presente en una fase fluida es retenida sobre una superficie sólida y de esta manera eliminada de la fase líquida (Andrade, 2007 p. 95).

Este proceso cuenta con una serie de fases. Al momento que el fluido circula alrededor de la partícula de un lecho fijo, el soluto en primera instancia se difunde desde el volumen del fluido hasta la superficie exterior de la partícula, después, el soluto se difunde desde el centro del poro hasta la superficie del mismo y finalmente, el soluto se adsorbe sobre la superficie.

La acumulación que existe es pequeña, así pues, se prioriza los sólidos altamente porosos con superficies internas muy amplias por unidad de volumen. Comúnmente las superficies son irregulares y las energías de enlace son debidas básicamente a las fuerzas de Van der Waals. La cota del proceso de adsorción se fundamenta en la concentración de la sustancia a remover en el agua, la temperatura del medio y la polaridad de la sustancia (Fernández Pino, 2018 pág. 2).

1.2.3.1. Adsorción Física

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

1.2.3.2. Adsorción Química

Este tipo de adsorción se restringe a la formación de una monocapa, esto es por causa de la disminución de las fuerzas de las moléculas por acción de la distancia, una característica de esta adsorción es la necesidad de una energía de activación alta para que la adsorción se produzca a bajas velocidades (Sanchez, 2018 p. 55) .

Tabla 1-1: Diferencias entre Adsorción Física y Química

	Adsorción Física	Adsorción Química
Adsorbente	Todos los sólidos	Algunos sólidos
Adsorbato	Todos los gases por debajo de la temperatura crítica	Algunos gases químicamente reactivos
Intervalo de Temperatura	Temperaturas bajas	Temperaturas altas
Entalpia de Adsorción	Bajas	Elevada del orden de una entalpia de reacción
Velocidad, energía de activación	Muy rápida, muy pequeña	Activada, elevada. No activada, pequeña
Recubrimiento	Puede darse en multicapa	Monocapa
Reversibilidad	Extremadamente reversible	A menudo irreversible

Fuente: Sánchez, Chica, 2018; *Adsorción De Arsénico y Antimonio en soluciones acuosas mediante Aplicación de Biomasa Lignocelulósica de Cáscara de Cacao.*

1.2.4. Relación entre tensión superficial y adsorción

La adsorción es un proceso mediante el cual se extrae material de una fase y se concentra en otra fase y por ello se considera apropiadamente como un fenómeno superficial. Las reacciones superficiales de este tipo pueden ocurrir al menos parcialmente, como resultado de las fuerzas activas que existen dentro de los límites de la fase, o como características.

Para que un material sea adsorbido tiene que tener la propiedad de ser tenso activo. Cualquier soluto que disminuya la tensión superficial del líquido en que esta disuelto, se adsorberá en el contorno de la fase líquida, es decir. El soluto se desplaza desde la superficie hacia el centro de la fase líquida (Treybal, 2007 págs. 629-675).

1.2.5. Isotermas de adsorción

La cantidad de adsorbato retenido se encuentra en función de sus características, la función resultante es lo que se conoce como isoterma de adsorción, cada proceso de adsorción tiene su propia isoterma según las condiciones en las que ocurre; Freundlich, Langmuir y Temkin desarrollaron modelos de isotermas basados en datos experimentales en sistemas sólido-gas (Ordoñez, 2017 p. 106).

El estudio de la capacidad de bioadsorción de un metal se puede realizar a través de ensayos en modo discontinuo, ya que de esta manera se puede encontrar el dominio producido por factores externos como pueden ser: la concentración de iones de Hidrogeno, la T, la concentración del adsorbente, las propiedades de este y la existencia de impurezas, el tiempo de contacto corto y la relación ion-electrón (PASTRANA & MORA, 2017 p. 209).

1.2.5.1. Isotherma de Freundlich

El uso de isotermas de Freundlich será posible cuando la adsorción se dé mediante un proceso físico y no haya cabida a alguna modificación en la disposición de las moléculas cuando han sido absorbidas. Este modelo es una curva que asocia la concentración del metal que se superpone en el adsorbente con la concentración del metal en la solución acuosa con la que se encuentra en contacto (Arroyo & Ruiz, 2018 p. 301).

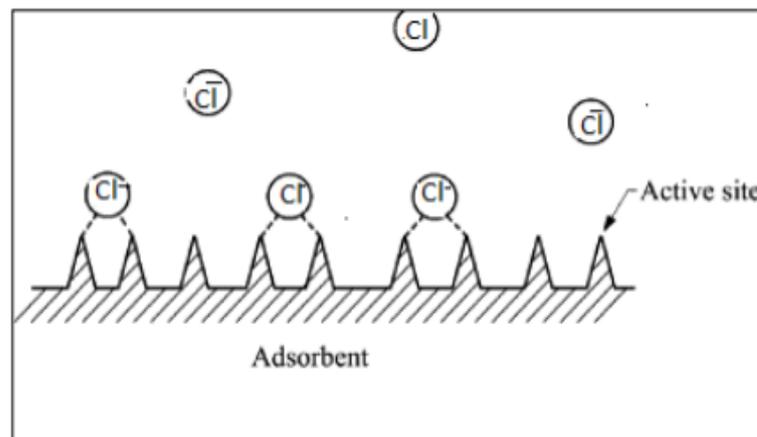


Figura 3-1: Representación esquemática Isotherma de Freundlich

Fuente: Arroyo Laura, Ruiz Diana, 2018.

Los ejes involucrados son el $\log C_e$ vs. $\log q$ que al hacer una regresión lineal se obtendrá una ecuación de tipo

$$\log q = \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e + \log K_d$$

Ecuación 1-1: Modelo Matemático de Freundlich

Fuente: Ordoñez, Ochoa, 2017.

Dónde:

N = Constante de intensidad de sorción

K_d = Constante de Freundlich

$n > 1$ = Afinidad por el metal

$k > 1$ =Capacidad significativa de adsorción del biosorbente (Ordoñez, 2017 p. 106).

1.2.5.2. Isoterma de Langmuir

La isoterma de Langmuir es un modelo que ha logrado describir con buenas aproximaciones el proceso de adsorción. Langmuir dedujo la isoterma empleando un modelo simplificado de la superficie de un sólido en el que describe una adsorción en la monocapa de moléculas sobre una superficie, en el que la adsorción es reversible. Así mismo la superficie proporciona un cierto número de posiciones para la adsorción, todas son equivalentes y no reaccionan entre sí (Arroyo & Ruiz, 2018 p.50).

La isoterma de Langmuir ayuda al cálculo de la energía de adsorción sin necesidad de constantes empíricas, la energía de adsorción se considera constante en todos los sitios, esta isoterma es construida con el balance de materia entre la fase sólida y líquida. Esta isoterma explica que las moléculas adsorbidas no logran migrar a través de la superficie, por lo tanto, no existe interacción con las moléculas vecinas, por tanto se reconoce a la interface como una región bidimensional y homogénea (Vera Alatrística, 2006 págs. 33-35) (Arroyo & Ruiz, 2018).

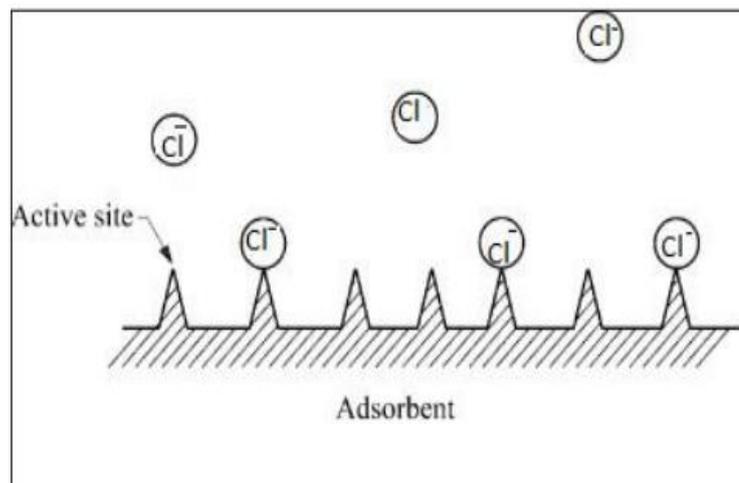


Figura 4-1: Representación esquemática Isoterma de Langmuir

Fuente: Arroyo Laura, Ruiz Diana, 2018.

Los ejes involucrados son el log Ce vs. Log q que al hacer una regresión lineal se obtendrá una ecuación de tipo:

$$\frac{Ce}{q} = \frac{1}{bCe} + \frac{1}{Kb}$$

Ecuación 2-1: Modelo Matemático de Langmuir

Fuente: Ordoñez, Ochoa 2017.

Dónde:

$$q = \frac{x}{m}$$

Ecuación 3-1: Modelo Matemático de Langmuir

Fuente: Ordoñez, Ochoa, 2017.

$$x = Co - Ce$$

Ecuación 4-1: Modelo Matemático de Langmuir

Fuente: Ordoñez, Ochoa, 2017.

Dónde:

q = Cantidad adsorbida

c = Cantidad sin adsorber

k = constante de la fuerza de unión

b = Cantidad máxima adsorbida

x = masa adsorbato (contaminante) adsorbida

m = masa del adsorbente

Co= Concentración inicial

Ce= Concentración en el equilibrio

1.2.6. Factores que influyen en el proceso de adsorción

1.2.6.1. Área superficial

El proceso de adsorción surge de un evento superficial, así que, el porcentaje adsorbido es proporcional al área superficial específica, al área superficial específica se la denomina como la parte del área total que está vacante para la adsorción. Así que, la muestra adsorbida por cantidad de adsorbente es superior mientras más delgado y poroso esté el adsorbente. Como la condición de una reacción superficial se renueva con el área superficial libre, la velocidad de adsorción tendría que exponer un incremento proporcional del diámetro de los iones adsorbentes.

1.2.6.2. Efecto del Ph

La concentración de iones de H que es conocido como la acidez es un parámetro fundamental que ejerce un dominio en los procesos de adsorción en elementos metálicos con diferentes tipos de adsorbentes como causa primordial que los iones H⁺ estas en función de un adsorbato que sea competente. La separación de los cationes del metal está relacionada a las propiedades naturales del área superficial de la materia adsorbente como también de la distribución en la fase acuosa de la solución. El grado de acidez de la fase líquida es un parámetro fundamental en el proceso de adsorción de cationes como de aniones, resultando ser diferente en cada uno de ellos. Entonces, para que la adsorción de iones metálicos se encuentre favorecida el rango debe variar desde pH de 4,5 a 7 (Tejada-Tovar et al., 2015 p. 39).

1.2.6.3. Efecto de la Temperatura

La variación de la temperatura es un parámetro sumamente valioso y determinante, que influye en doble proporción al proceso de adsorción; ya que primero provoca un incremento de la tasa de adsorción y también a la concentración del equilibrio. Por otro lado un incremento exagerado de la temperatura podría ocasionar una deformación en la contextura del adsorbente y además una disminución del mismo y esto a su vez converge en un deterioro de la capacidad de adsorción, es por esta razón que es necesario encontrar la temperatura óptima en la que ocurre la mayor adsorción para la obtención de mejores resultados (Ordoñez, 2017 p. 106).

1.2.6.4. Naturaleza del Adsorbato

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

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

1.2.6.5. Naturaleza del adsorbente

La naturaleza del área estructural de la superficie del material adsorbente y las propiedades químicas son indispensables en el estudio en un proceso de adsorción en fase líquida, esta tendrá una repercusión en la formación de enlaces entre el material bioadsorbente y el metal. Y por otra

parte las propiedades texturales como la porosidad, el tamaño de partícula tendrán predominio en la dosis de material adsorbente conservada en el equilibrio como en la cinética del sistema.

1.2.7. Espectroscopia por absorción Atómica

1.2.7.1. Espectroscopia

La palabra espectroscopia hace mención a la observación y a el estudio de un espectro, o algún tipo de patrón que se posea de alguna especie ya sea una molécula, un ion o un átomo, a partir de la excitación de esta especie por algún medio de energía que sea apto para el caso.

1.2.7.2. Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA)

En la espectrometría atómica de masa, las muestras se atomizan, pero en este caso, los átomos gaseosos se convierten en iones positivos por lo general con una sola carga y se separan de acuerdo con sus relaciones masa - carga. Los datos cuantitativos se obtienen entonces contando los iones separados.

1.2.7.3. Espectroscopia de Absorción Atómica por Generación de Hidruros

La espectroscopia de absorción atómica por generación de hidruros es muy utilizada hoy en día y se debe básicamente por el principio del método ya que este parte desde una pre-concentración del analito y su separación de la matriz de la muestra. Esto da como resultado una superior sensibilidad, y, sobre todo, una fuerte supresión de interferencias durante la atomización. Otra razón de importancia es la de su fácil aplicación y los bajos costos operativos (De la Cruz Toribio, 2002 p. 89).

1.2.8. Cinética de adsorción

La cinética de adsorción interpreta la rapidez de captamiento del adsorbato, a consecuencia de ello se puede detallar la tasa de adsorción y el tiempo de residencia de éste en la interface sólido-liquido. Además, permite estimar la rapidez a la que el contaminante es retirado del efluente tratado .

1.2.8.1. Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden

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

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

Ecuación 5-1: Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden

Fuente: Castro, S, 2013.

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

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

Ecuación 6-1: Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden

Fuente: Castro, S, 2013.

Al linealizar la ecuación se obtiene:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \left(\frac{k_1}{2.303t}\right)$$

Ecuación 7-1: Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden

Fuente: Castro, S, 2013.

En donde:

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

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

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

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

1.2.8.2. Modelo matemático de pseudo segundo Orden

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

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

Ecuación 8-1: Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden

Fuente: Castro, S, 2013.

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

Ecuación 9-1: Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden

Fuente: Castro, S, 2013.

Dónde:

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

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

1.2.9. Tiempo de Equilibrio de Adsorción

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

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Hipótesis y especificación de variables

2.1.1. *Hipótesis general*

➤ El uso de biomasa obtenida de cáscara de pitahaya en diferentes concentraciones permitirá la adsorción de iones de mercurio presentes en aguas contaminadas.

2.1.2. *Hipótesis específicas*

➤ Se obtendrá el material adsorbente mediante un tratamiento físico-químico sobre los residuos de cáscara de pitahaya.

➤ Se comprobará la presencia de Lignina, celulosa, y hemicelulosa en la cáscara de pitahaya mediante la determinación de los grupos funcionales característicos de estos biopolímeros adsorbentes de mercurio mediante técnicas de espectrofotometría IR.

➤ Se debe conocer los datos de concentración de las diferentes soluciones a prepararse para determinar la capacidad de adsorción de mercurio de la cáscara de pitahaya, a más de eso el ajuste de estos datos a los modelos de Freundlich y Langmuir serán útiles para la determinación de la capacidad de adsorción de mercurio, su extensión y factibilidad.

➤ La concentración de mercurio en las soluciones preparadas disminuirá al poco tiempo de agregar el material adsorbente.

2.1.3. Identificación de Variables

Tabla 2-2: Identificación de Variables

Etapas del Proceso	Variables Independientes	Variables Dependientes
Obtención del material adsorbente	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cantidad de la muestra ➤ Temperatura ➤ Tamaño de partícula. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cenizas ➤ Humedad
Caracterización del material adsorbente	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Presencia de Lignina ➤ Presencia de hemicelulosa ➤ Presencia de celulosa
Preparación de las soluciones	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Concentración de Mercurio ➤ Temperatura 	
Determinación de la capacidad de adsorción de mercurio en cáscara de Pitahaya	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Temperatura ➤ Concentración ➤ Dosificación del adsorbente 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Concentración de mercurio después del proceso de adsorción

Realizado por: Chuquisala Ariana, 2020.

2.1.4. Operacionalización de variables

Tabla 3-2: Operacionalización de Variables

Variable	Tipo de Variable	Definición Operacional	Categorización	Indicadores	Instrumento de Medición
Cantidad de Adsorbente	Independiente, cuantitativa, unidimensional, continua	Porción del residuo de cáscara de pitahaya que se va a someter al tratamiento.	-	Peso	➤ Balanza Analítica
Temperatura	Independiente, unidimensional, continua	Magnitud física-escalar que hace referencia al calor presente en un cuerpo	-	Calor	➤ Termómetro
Concentración	Independiente, cuantitativa, unidimensional, continua	Proporción de soluto disuelto en un disolvente.	-	Ppm/ppb	➤ Equipo de espectroscopia de absorción atómica
Dosificación	Independiente, cuantitativa, unidimensional, continua	Cantidad del material adsorbente que se va a agregar a la solución de mercurio.	-	Peso	➤ Balanza Analítica

Realizado por: Chuquisala Ariana, 2020.

2.1.5. *Matriz de consistencia*

Tabla 4-2: Matriz de Consistencia

ASPECTOS GENERALES				
Problema General		Objetivo General		Hipótesis General
		Determinar parámetros cinéticos de adsorción de mercurio sobre biomasa obtenida de cáscara de pitahaya.		El uso de biomasa obtenida de cáscara de pitahaya en diferentes concentraciones permitirá la adsorción de iones de mercurio presentes en aguas contaminadas.
ASPECTOS ESPECIFICOS				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables de las Hipótesis específicas	Técnicas de Recolección de datos
En el Ecuador se producen alrededor de 850 hectáreas entre las provincias de Guayas, Morona Santiago, Guayaquil, Manabí,	Obtener biomasa a partir de residuos de cáscara de pitahaya, a través de un tratamiento físico-químico, para retener mercurio.	Se llegará a obtener el material adsorbente mediante un tratamiento físico-químico sobre los residuos de	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cantidad de la muestra ➤ Temperatura ➤ Tamaño de partícula. 	Tratamiento Físico-químico

<p>Santo Domingo de los Tsáchilas, y el Oro. El consumo nacional es muy elevado, y por ende el desecho de este residuo es muy grande.</p>		<p>cáscara de pitahaya.</p>		
<p>Se presume que al ser una materia fibrosa esta consta de Celulosa, hemicelulosa y Lignina que son polímeros que tienen cierta afinidad por iones metálicos pesados, lo que llevaría a una fácil remoción del contaminante.</p>	<p>Caracterizar la biomasa obtenida, para evidenciar la presencia de grupos funcionales adsorbentes de mercurio.</p>	<p>Se comprobará la presencia de Lignina, celulosa, y hemicelulosa en la cáscara de pitahaya mediante la determinación de los grupos funcionales característicos de estos biopolímeros adsorbentes de mercurio mediante técnicas de</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ph ➤ Cenizas ➤ Densidad ➤ Humedad 	<p>Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR)</p>

		espectrofotometría IR.		
El manejo de datos que se acoplen a un modelo matemático será fundamental para predecir la velocidad en la cual será removido el contaminante de la muestra tratada.	Determinar la capacidad de adsorción de mercurio en soluciones acuosas a través de isothermas de Freundlich, y Langmuir.	Se debe conocer los datos de concentración de las diferentes soluciones a prepararse para determinar la capacidad de adsorción de mercurio de la cáscara de pitahaya, a más de eso el ajuste de estos datos a los modelos de Freundlich y Langmuir serán útiles para la	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Temperatura ➤ Concentración ➤ Dosificación 	Espectroscopia de absorción atómica

		determinación de la capacidad de adsorción de mercurio, su extensión y factibilidad.		
La eficiencia de este proceso dependerá de la cinética de adsorción, ya que la calidad del adsorbente está ligada a la cantidad de sorbato (metal) que pueda atraer y retener.	Evaluar la cinética de adsorción de mercurio en soluciones acuosas	La concentración de mercurio en las soluciones preparadas disminuirá al poco tiempo de agregar el material adsorbente.	➤ Concentración	Ajuste de los datos a un modelo matemático

Realizado por: Chuquisala Ariana, 2020.

2.2. Tipo y Diseño de Investigación

2.2.1. Tipo de Investigación

La investigación que se llevará a cabo es de tipo Correlacional ya que se trabajará variando lo que es la concentración de la muestra, la concentración del material adsorbente, la temperatura, el Ph y otras variables independientes para llegar a un estudio convincente y prometedor en lo que respecta a la remoción de este contaminante (mercurio) en soluciones acuosas.

El diseño de la investigación es de tipo experimental, ya que el estudio contempla 5 etapas básicas en las que se manipularán y someterán a cambios físicos y químicos las diferentes variables de estudio

Obtención y caracterización de la biomasa

Preparación de las soluciones de mercurio

Determinación del tiempo de Equilibrio

Determinación de la Dosificación de Adsorbente.

Determinación de la capacidad de Adsorción de mercurio en la biomasa obtenida, mediante el uso de isotermas

2.3. Unidad de Análisis

La unidad de análisis del presente estudio es la *Capacidad de Adsorción de Mercurio en biomasa de cáscara de Pitahaya* para su implementación como alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas con este metal pesado

2.4. Población de Estudio

La población de estudio son las diferentes soluciones preparadas con concentraciones conocidas de sales de mercurio.

2.5. Tamaño de Muestra

En lo que respecta al tamaño de la muestra, se realizó la lectura de 85 soluciones de mercurio de 100 ml que están divididas de la siguiente manera: 21 muestras para el tiempo de equilibrio, 10 muestras para la dosificación, y 54 muestras en las isotermas, estas soluciones fueron elaboradas con un estándar de Mercurio, (Óxido de Mercurio) además se utilizó 0.5 g del adsorbente por cada muestra, dando un total de 42.5 g del material adsorbente.

2.6. Selección de la Muestra

La recolección de la muestra se hará mediante la compra directa de pitahaya en el cantón Palora ubicado al Noroccidente de la provincia de Morona Santiago, exactamente en la parroquia Arapicos ubicada a 4 km de la cabecera cantonal. Después se procederá a la extracción de la pulpa, para otros fines y se empezará el tratamiento de la cáscara.

2.7. Técnicas de Recolección de datos

2.7.1. Obtención de la biomasa adsorbente

Para la obtención de la Biomasa adsorbente, se adquirió la fruta y se desprendió la cáscara de la pulpa, se lavó muy bien las cáscaras con agua convencional y la última lavada con agua destilada, después se procedió al secado durante 24 horas a temperatura ambiente, y luego en un secador de bandejas durante 24 horas a una temperatura de 50° C, se pasó la muestra seca a un molino de bolas y después se la tamizo, llegando a un tamaño de partícula de 0.3 um.

2.7.2. Caracterización de la biomasa adsorbente

2.7.2.1. Determinación del espectro FT-IR de la biomasa obtenida

Para la obtención del espectro de la biomasa de cáscara de Pitahaya, se prendió el equipo y se ejecutó el software Spectra Manager, se limpió con un algodón y alcohol el área de la muestra, y se realizó un Background para verificar que no existe ninguna sustancia. Seguido a esto se colocó 3 g de la muestra y se realizó el barrido espectral de la muestra, se revisó el espectro con ayuda del software Spectra Analysis, y aquí se marcó los picos más relevantes, que más adelante serán útiles para la determinación de los grupos funcionales, se generaron líneas auxiliares y se guardó el espectro. Finalmente se limpió el área de la muestra, se apagó y desconectó el equipo.

2.7.2.2. Determinación del tamaño de partícula

Para la determinación del tamaño de partícula se realizó un análisis granulométrico de 500 g de cáscara de pitahaya pulverizada, se tomó un peso de tamizado de 100 g, se realizó un tamizado progresivo de 0.6 um, 0.475 um y 0.3 um, el proceso de tamizado demora alrededor de 35 minutos y este procedimiento se lo repitió 5 veces hasta alcanzar los 500 g. Finalmente se recolectaron y pesaron las muestras en cada tamiz y con los resultados obtenidos se realizó un análisis

granulométrico basado en histogramas que indiquen las fracciones separadas por tamaño de partícula.

2.7.2.3. *Determinación de la Humedad del Adsorbente*

Para obtener el porcentaje de humedad de la biomasa obtenida se prendió y calibró la balanza de humedad, luego se colocó el plato de muestras dentro de la balanza y se cerró para tarar el equipo, seguido se colocó 5 gramos de la muestra del material adsorbente en el plato para analizar, se cerró la balanza y se esperó alrededor de 5 minutos. Finalmente se leyó el porcentaje de humedad que se despliega en la pantalla del equipo, se retiró la muestra, se limpió y se apagó el equipo.

2.7.2.4. *Determinación del pH del Adsorbente*

El ph del adsorbente se determinó mediante un pH metro; se preparó una solución del adsorbente con 10 g de la biomasa en 100 ml de agua destilada, luego se homogeneizó la muestra con la ayuda de un agitador magnético por un tiempo de 15 minutos, luego se introdujo el electrodo del Ph metro en la solución y se observó la lectura en la pantalla del equipo, el proceso se repitió 5 veces y se realizó un promedio.

2.7.2.5. *Prueba de Cenizas Totales*

Para encontrar el porcentaje de cenizas que existen en el material adsorbente, lo primero en realizarse fue pesar 3 crisoles vacíos, luego se colocó 2 gramos del material adsorbente con granulometría de 0.3 um en los crisoles, luego se los peso nuevamente, en la mufla se incineró la muestra hasta que termine la combustión que es un tiempo aproximado de 2 horas aproximadamente a 200 C. seguido a esto se elevó la temperatura a 550 C por 12 horas, pasado este tiempo se sacaron los crisoles y se colocaron en el desecador hasta que la temperatura se estabilice, Finalmente se pesó nuevamente los crisoles, y se ajustó los datos a la siguiente fórmula, y se hizo un promedio.

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

Ecuación 10-2: Porcentaje de Cenizas Totales.

Fuente: Juárez, A, 2014.

En dónde:

P1= Peso del Crisol con la muestra

P2= Peso del Crisol vacío

M= Masa de la muestra

2.7.2.6. Determinación de la densidad Aparente del Adsorbente

La densidad aparente del adsorbente fue encontrada pesando una probeta vacía de 10 ml, luego se agregó el material adsorbente con un tamaño de partícula de 0.3 μm hasta los 10 ml, luego se dió un golpe ligero hasta que se compacte la muestra, después de esto se pesó nuevamente la probeta y se ajustó los datos a la siguiente fórmula, se repitió el procedimiento 3 veces y se hizo un promedio.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{P1 - P2}{V \text{ aparente}}$$

Ecuación 11-2: Densidad Aparente.

Fuente: Juárez, A, 2014.

En donde:

P1 = Peso de la probeta con la muestra

P2 = Peso de la Probeta vacía

V aparente = Volumen de la Probeta

2.7.2.7. Determinación de la Densidad real

Se determinó la densidad Real del adsorbente mediante el uso de picnómetros, lo primero que se hizo fue pesar los picnómetros vacíos, luego se agregó 2 gramos del material adsorbente con un tamaño de partícula de 0.3 μm en cada picnómetro, luego se los peso nuevamente con la muestra, y se anotaron los datos obtenidos. Al finalizar, se llenaron los picnómetros con agua destilada y se desalojó el aire que podría estar presente, se pesó y se anotó los datos y luego de esto se ajustó todos los datos obtenidos a las siguientes fórmulas, se repitió el proceso 3 veces y se realizó un promedio.

$$m = m_{p+a+w} - (m_{p+a} - m_p)$$

Ecuación 12-2: Masa del agua desplazada

Fuente: Juárez, A, 2014.

$$\text{Densidad real} = \frac{m}{v}$$

Ecuación 13-2: Densidad real

Fuente: Juárez, A, 2014.

En donde:

m= Peso del agua desplazada

m_{p+a+w} = Peso del picnómetro con el agua destilada y el adsorbente

m_{p+a} = Peso del Picnómetro con agua destilada

m_p = Peso del Picnómetro

2.7.2.8. *Determinación de la Porosidad del Adsorbente*

Con los datos obtenidos de la densidad real y densidad aparente se ajustan los datos a la siguiente ecuación, se hace un promedio con las 3 repeticiones realizadas.

$$\%P = 100 \times \left(1 - \frac{\delta A}{\delta R}\right)$$

Ecuación 14-1: Porosidad del Adsorbente

Fuente: Pastrana Muñoz, J. M., & Mora Alvarez, N. M. 2017.

En donde:

δA = Densidad Aparente

δR = Densidad Real

2.7.3. *Preparación de las soluciones de mercurio*

Se realizarán los cálculos pertinentes para la elaboración de cada una de las soluciones, se lavarán y secarán muy bien todos los materiales, el último enjuague debe ser con agua destilada debido a la sensibilidad del equipo, para que no existan interferencias con otros metales, luego colocar en un balón de aforo, una cama de agua destilada tipo 1 (ultra pura), se tomará una alícuota del reactivo y se mezclará muy bien para su respectivo uso.

2.7.4. *Calibración del Equipo – Espectrofotómetro de Absorción Atómica*

Para la calibración del equipo y para la lectura de las muestras posteriores, se necesitará preparar dos soluciones de HCl 1.53% y de NaBH₄ al 6% que son necesarias para la generación del hidruro de mercurio, que es la especie que el equipo va a leer, luego de esto se prepararán los estándares para la curva de calibración que serán en base al rango de las concentraciones aproximadas de las muestras que se desean leer, se leerán los estándares y luego con el software del equipo se elaborará la curva y si el r² es aceptable se procederá a la lectura de las muestras.

2.7.5. *Determinación del Tiempo de Equilibrio*

En la determinación del tiempo de Equilibrio se elaboró una solución de 4 ppm de concentración de Hg, a lo que se le agregó 2 g de la biomasa adsorbente de cáscara de Pitahaya, en agitación constante con la ayuda de un agitador magnético y un magneto, se fueron sacando alícuotas de en los tiempos de : 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 minutos ; 1, 2, 3, 4,5, 6, 7, 8 horas que fueron filtradas al instante con la ayuda de un filtro de jeringa de 0.45 um, estas alícuotas fueron aciduladas con Ácido nítrico concentrado y leídas en el espectrómetro posteriormente. Con los datos obtenidos se encontrará el tiempo en que la biomasa adsorbió todo el mercurio posible, esto se lo deducirá a partir del tiempo en el que la concentración emitida por el equipo se mantenga constante o con muy poca variación (Arias Arias et al., 2017 p. 21).

2.7.6. Determinación de la dosificación del adsorbente

Para encontrar la dosis adecuada de biomasa adsorbente se preparó una solución de mercurio de 2 ppm que se dividió en diferentes vasos de precipitación de 50 ml, a cada muestra se le agrego 0.1; 0.15; 0.2; 0.25; 0.3; 0.35; 0.4; 0.45; 0.5 y 1 g de la biomasa adsorbente, luego se llevaron las diferentes muestras al agitador durante un tiempo de 20 minutos, seguido a esto se filtraron las muestras al vacío y se leyeron las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica. Con los datos obtenidos se podrá encontrar la relación adecuada de biomasa-solución, cuando los resultados no disminuyan de acuerdo al incremento de adsorbente (Arias Arias et al., 2017 p. 22).

2.7.7. Determinación de la capacidad de adsorción de mercurio

Se prepararon soluciones de mercurio de 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1000 ppb luego a cada solución se le agregó la dosis encontrada del bioadsorbente, seguido a esto se llevaron las diferentes muestras al Shaker y se programó la temperatura a 25 grados Celsius, con 250 rpm por un tiempo de 20 minutos que fue el tiempo de equilibrio encontrado anteriormente, luego se filtraron las muestras al vacío y se leyeron en el espectrofotómetro de absorción atómica. Se repitió el procedimiento con las temperaturas de 40 y 60 grados Celsius. Con los datos obtenidos se realizaron las isothermas planteadas, estos resultados determinaran la capacidad de adsorción de la cáscara de pitahaya y a su vez determinarán las condiciones óptimas para que ocurra el proceso de adsorción (Arias Arias et al., 2017 p. 23).

2.7.8. Ajuste de los datos obtenidos a los Modelos Matemáticos de Pseudo Primer y Pseudo Segundo Orden

Con los datos obtenidos del tiempo de contacto realizar una regresión lineal utilizando las ecuaciones linealizadas de los modelos matemáticos de Pseudo Primer y Pseudo Segundo Orden.

Para el modelo de Pseudo Primer orden en el eje x se tendrá el tiempo (t) y en el eje y $\text{Log}(q_e - qt)$ que hace referencia a la diferencia de la concentración en el equilibrio y la concentración en cada alícuota de tiempo, obteniendo como resultado el valor de R

Para el modelo de Pseudo Segundo Orden se propone el mismo gráfico con la diferencia de que los valores de y se ven reemplazados por el cociente del tiempo y la concentración de cada alícuota en los diferentes tiempos consiguiendo como resultado el valor de " r^2 ". El modelo que obtenga el r^2 más cercano a 1 será el que mejor represente la cinética de la adsorción de mercurio en biomasa de cascara de pitahaya.

2.7.9. Ajuste de los datos obtenidos a los modelos matemáticos de Freundlich y Langmuir

Con los datos obtenidos en el punto **2.7.7.**, realizar una regresión lineal utilizando las ecuaciones linealizadas de Langmuir y Freundlich. Para el modelo de Langmuir en el eje x se tendrá (C_e) que hace referencia a la cantidad de Hg en el líquido sin absorber y en el eje y (C_e/q) que hace referencia al cociente entre la cantidad de mercurio absorbida y la cantidad sin absorber, obteniendo como resultado los valores de R y los diferentes parámetros de la isoterma.

Para el modelo de Freundlich se propone el mismo gráfico con la diferencia de que los valores de x se ven reemplazados por el $\text{Log}(C_e)$ como también los valores de y que se reemplazaran por los valores de $\text{Log}(q)$ consiguiendo como resultado los valores de "R" y los parámetros propios de la isoterma.

Con los valores de r^2 se encontrará la isoterma a la cual se ajustan los datos obtenidos experimentalmente.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resultados

3.1.1. Resultados de la obtención de la Biomasa Adsorbente

El secado de las cáscaras de pitahaya tomó un tiempo aproximado de 24 horas a temperatura ambiente y 24 horas a una temperatura de 50° C, después de esto se la paso por un molino de bolas y al terminar se tamizó, haciendo uso de un tamiz de 0.3 um de tamaño de partícula según bibliografía el idóneo para la remoción de iones de mercurio, esta biomasa, tenía apariencia de harina, el color que tomó era anaranjado debido al secado de las cáscaras de pitahaya, y se obtuvo alrededor de 2 kg de biomasa, de una muestra cruda de cáscara de pitahaya de 5 kg.

3.1.2. Resultados de la Caracterización de la Biomasa Adsorbente

3.1.2.1. Análisis FTIR

Una vez que ya se obtuvo el espectro de la muestra, el siguiente paso a realizarse es el análisis de este espectro para descubrir los grupos funcionales presentes en la biomasa y de esta manera predecir la atracción que estos radicales podrían tener frente al metal en cuestión (mercurio), para llegar al objetivo que es la adsorción de este metal en soluciones acuosas.

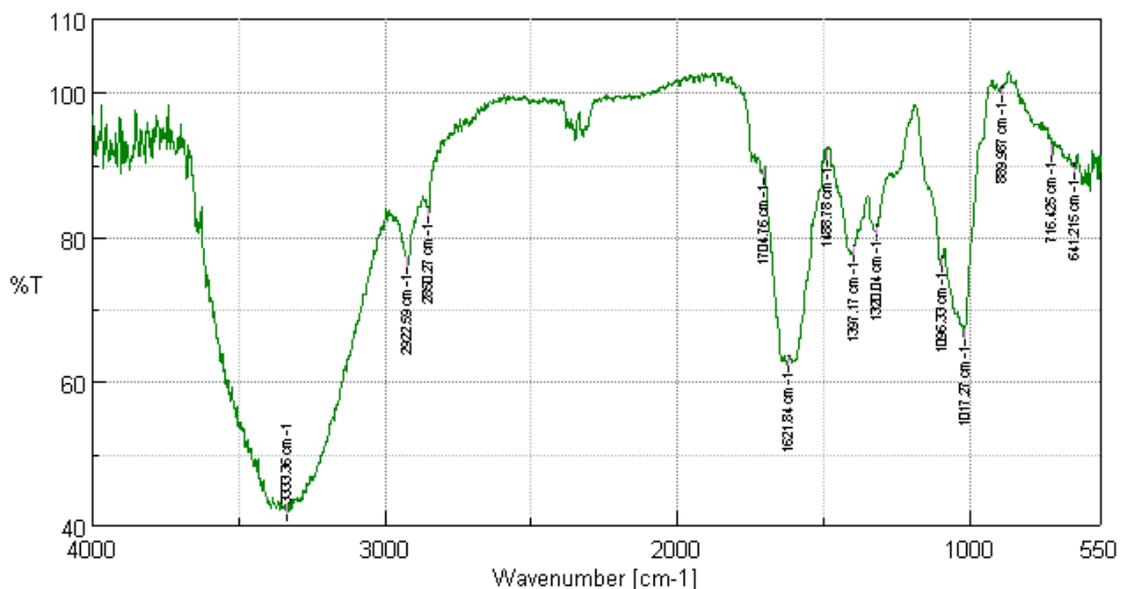


Gráfico 1-3. Espectro de Adsorción IR de Biomasa de Cáscara de Pitahaya

Realizado por: Chuquisala, Ariana., 2021-

Con la identificación de los picos más relevantes de este espectro junto con los valores de los números de onda y el porcentaje de transmitancia, arrojados por el equipo se encontrará los principales grupos funcionales de la biomasa.

Al hacer uso de tablas de Espectroscopia Infrarroja se pudo predecir la presencia de grupos funcionales como: grupos hidroxilos y grupos amino debido a los picos que se escogió en el espectro. En el pico 3333.36 [cm⁻¹] se podría apreciar una tensión del grupo hidroxilo y en 2922.59 [cm⁻¹] una tensión por estiramiento de los grupos metilo. Los picos entre 1621.84 [cm⁻¹] pueden atribuirse a una flexión de los grupos hidroxilos, en el pico de 1397.17 [cm⁻¹] se podría aproximar una flexión en el plano de los grupos CH proveniente de las cadenas de ácidos grasos y grupos metilos, y a partir de los picos 1096.33 a 1017.27 [cm⁻¹] se puede determinar una vibración en el anillo C-C C-OH, C-H de grupos funcionales de hidratos de carbono como polisacáridos extracelulares, a continuación se presenta una tabla de resumen con todos los grupos funcionales a los que pertenecen los picos más relevantes del espectro.

Tabla 5-3: Análisis de Resultados FT-IR

Numero de onda	Vibración	Grupo funcional
3333.36	Tensión	-O-H
2922.59	Tensión	-C-H
2850.27	Tensión	-C-H
1704.76	Flexión	-O-H
1621.84	Flexión	-O-H
1488.78	Flexión en el plano	-H-C-H y -O-C-H
1397.17	Flexión en el plano	-C-H
1320.04	Vibración oscilante en C6	-C-H ₂
1096.33	Tensión simétrica	-C-O-C
1017.27	Tensión asimétrica	-C-O-C
889.987	Vibración en el anillo	-C-C, -C-O-H, -C-H
716.425	Deformación y tensión	C-O-C, -C-C-O, y -C-C-H
641.215	Deformación y tensión	C-O-C, -C-C-O, y -C-C-H

Realizado por: Chuquisala Ariana, 2021.

De acuerdo al análisis FT-IR se pudo evidenciar en el espectro, la presencia de grupos funcionales representativos de biopolímeros comunes como hemicelulosa y lignina que generalmente se encuentran en cáscaras fibrosas como lo es la cáscara de Pitahaya. Según Esquivel Patricia (2012), la pitahaya en su estructura morfológica posee un porcentaje alrededor del 60% de celulosa, 16% de Lignina y 23% de Hemicelulosa y minerales, que son compuestos con radicales atrayentes de

iones de metales pesados como lo es el mercurio, es esta la razón por la cual la biomasa de cáscara de Pitahaya, resulta eficiente en cuanto a la remoción de mercurio.

3.1.2.2. Resultados de las diferentes pruebas a la biomasa Adsorbente

Todos los datos expresados en la siguiente tabla son el resultado del promedio de 5 repeticiones por experimento, esto para la obtención de datos más exactos.

Tabla 6-3: Resultados de la Caracterización de la Biomasa

Prueba	Resultado
Tamaño de Partícula	0.3 um
% de Humedad	0.7%
Ph	6.366
% de Cenizas	18.46%
Densidad Real	0.39 g/ml
Densidad Aparente	0.408 g/ml
Porosidad	4.6153

Realizado por: Chuquisala Ariana, 2021.

3.1.3. Determinación del Tiempo de Equilibrio

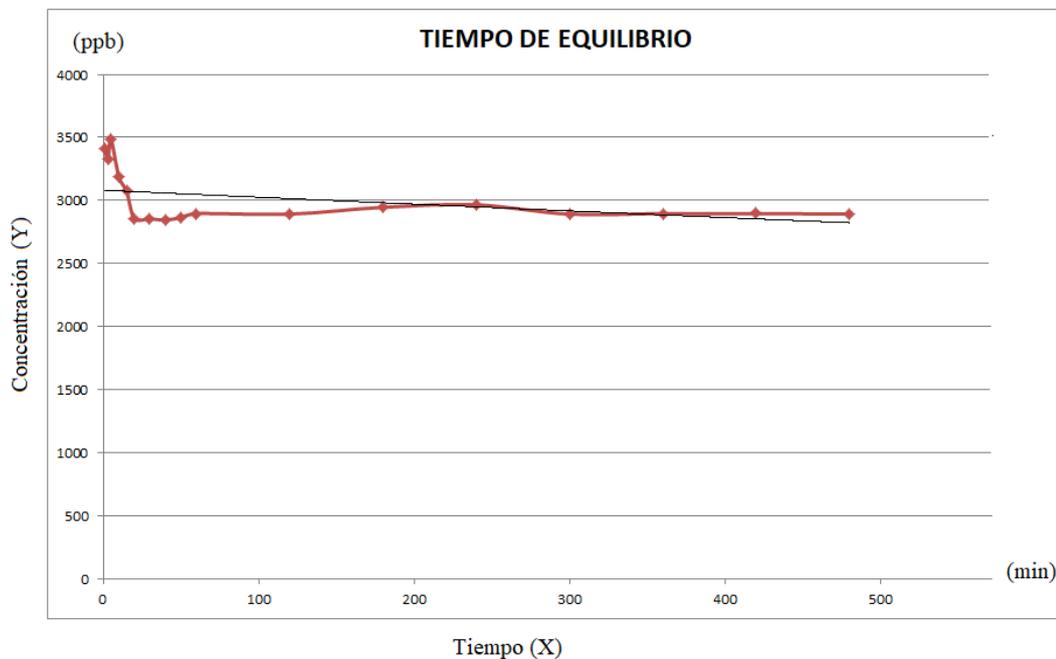


Gráfico 2-3: Tiempo de Equilibrio

Realizado por: Chuquisala, Ariana, 2021.

El tiempo de equilibrio encontrado fue de 20 minutos, es decir a partir del minuto 20 todas las alícuotas oscilaron en valores entre 2859 ppb de Hg, de una muestra inicial de 4000 ppb. Esto indica que la biomasa llega a su máxima adsorción en un tiempo de 20 minutos. Estudios anteriores han demostrado que el uso de la cáscara de pitahaya como adsorbente de metales pesados es eficiente, ya que remueve gran parte del contaminante en un corto tiempo, como es el caso de un estudio planteado por Ore Cordero, en el que remueve plomo con biomasa activada de cáscara de pitahaya, en este caso el tiempo de equilibrio encontrado fue de 15 minutos logrando una remoción del 99,4 % del metal en cuestión. La eficiencia de la biomasa radica en la presencia de componentes derivados de la celulosa en un 99 %, así como la presencia de grupos hidroxilos y carboxilos que favorecen la biosorción, mediante un mecanismo de intercambio iónico entre el metal y la superficie del adsorbente.

Estos valores también serán útiles para el estudio de su cinética (Arias Arias et al., 2017 p. 23) .

3.1.4. *Determinación de la Dosificación del adsorbente*

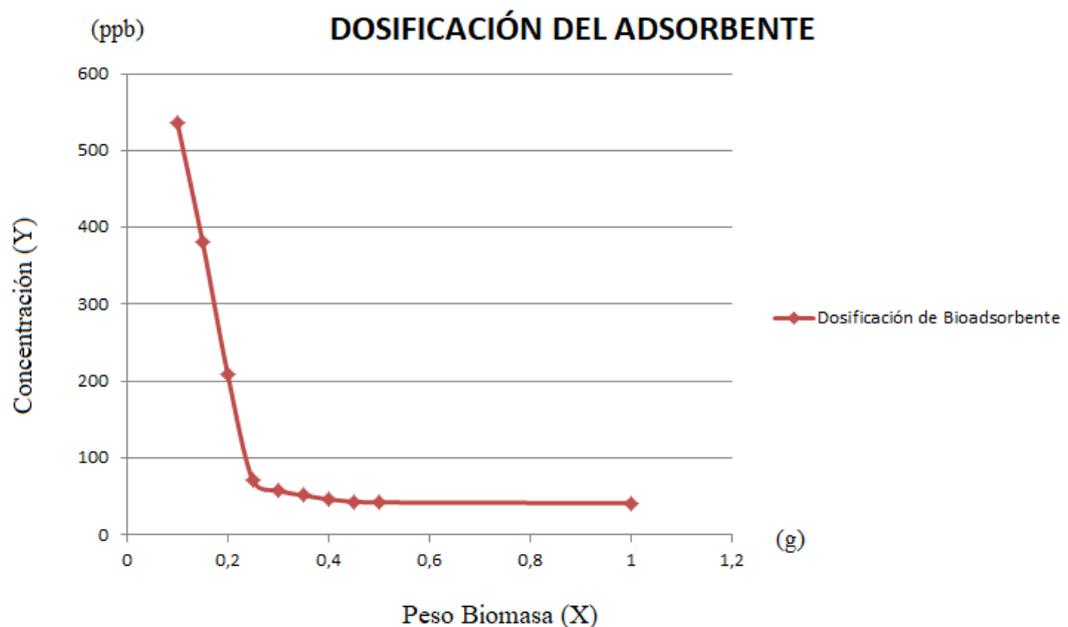


Gráfico 3-3: Dosificación de Bioadsorbente

Realizado por: Chuquisala, Ariana, 2021.

Los datos recolectados en la dosificación fueron graficados, y mediante este gráfico se pudo determinar que conforme aumenta la masa del material adsorbente la concentración de mercurio tiende a disminuir pero a partir del 0,25 g del adsorbente esta concentración tiende al equilibrio por lo que no representa gran cambio, en relación a la variación del adsorbente, este aumento en el porcentaje de adsorción se le puede atribuir según (Fernández Pino, 2018) a un aumento en el área superficial y por ende a la disposición de más lugares para que ocurra la adsorción, además que a

dosis menores a los 0.25 g, el área superficial de la biomasa se satura con mercurio provocando una concentración residual grande, mientras que en dosis superiores a los 0.3 g de biomasa la concentración de mercurio entre la solución y la capa superficial de la biomasa tiende al equilibrio, por lo que se concluyó que la dosis adecuada para la adsorción de mercurio en biomasa de cáscara de pitahaya es de 0.25 g de biomasa por cada 50 ml de solución. Es necesario tomar en cuenta que al agregar el adsorbente la solución se torna un tanto espesa, y esto dificulta el filtrado (Arias Arias et al., 2017 p. 23).

3.1.5. Determinación de parámetros cinéticos de adsorción.

Se llevó los datos recolectados en el tiempo de equilibrio a modelos matemáticos de pseudo primer y pseudo segundo orden para encontrar el modelo que mejor represente su cinética.

Tabla 7-3: Resultados Cinética de Adsorción

	Pseudo Primer Orden	Pseudo Segundo Orden
R²	0.0256	0.9992
K	0,0002303	0,00240212

Realizado por: Chuquisala, Ariana., 2021.

3.1.5.1. Modelo Matemático de Pseudo Primer Orden

Los datos fueron reemplazados en la ecuación linealizada de pseudo primer orden, o de Lagergren obteniéndose:

MODELO MATEMÁTICO DE PSEUDO PRIMER ORDEN

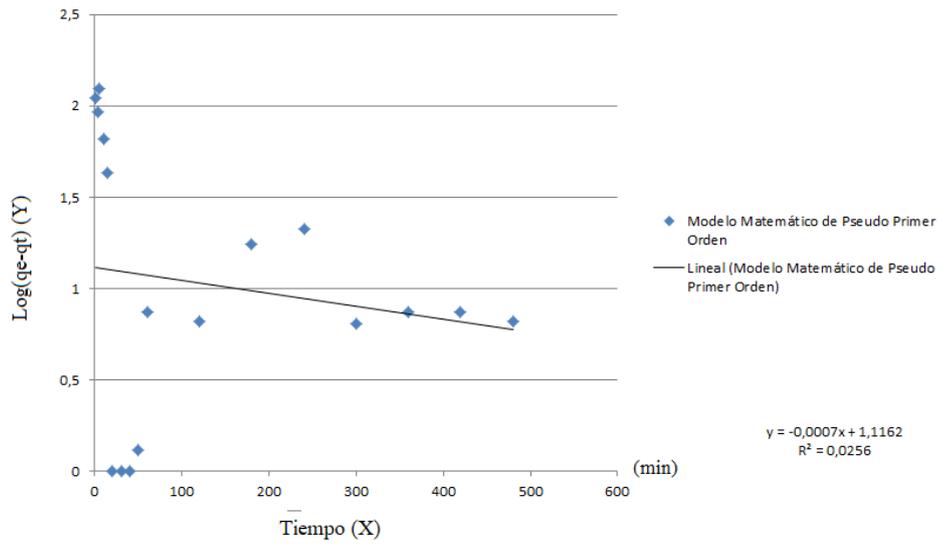


Gráfico 4-3: Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden

Realizado por: Chuquisala, Ariana.(2021)

3.1.5.2. Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden

Los datos fueron reemplazados en la ecuación linealizada de pseudo segundo orden obteniéndose:

MODELO MATEMÁTICO DE PSEUDO SEGUNDO ORDEN

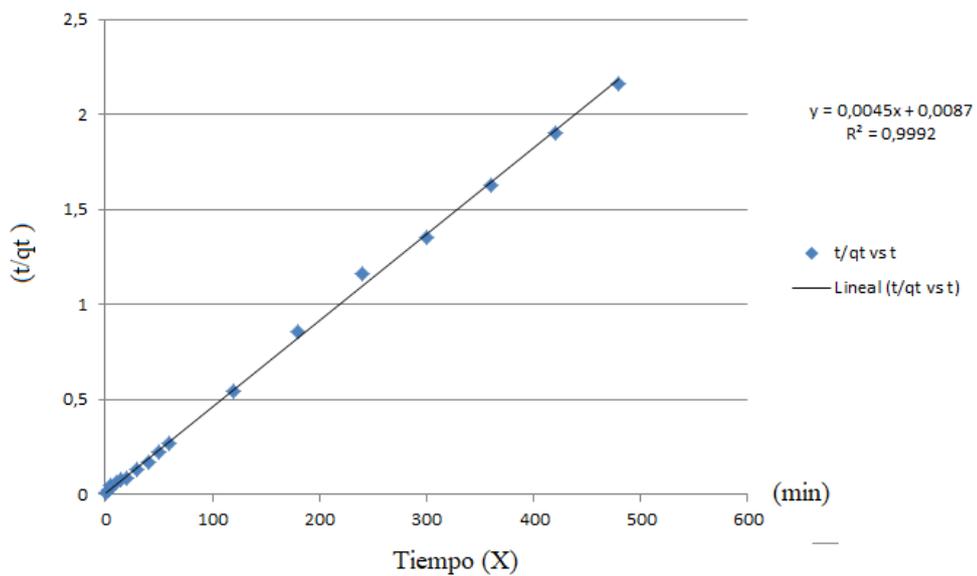


Gráfico 5-3: Modelo Matemático de Pseudo Segundo Orden

Realizado por: Chuquisala, Ariana, ESPOCH, 2021.

Como se puede observar en el gráfico 4-3 los datos están muy dispersos de la línea de tendencia, además el coeficiente de correlación no es aceptable, por lo que se puede determinar que la cinética de adsorción de mercurio en cáscara de Pitahaya no está representada por el modelo matemático de pseudo primer orden. Los datos no son representados por el modelo de pseudo primer orden debido a que este modelo indica que la fase limitante en el proceso de adsorción es la transferencia de masa del metal a la superficie del adsorbente, y en este caso la fase controlante es en si el mecanismo de adsorción.

A diferencia del gráfico 5-3 no existen datos atípicos, la mayoría se ajustan perfectamente a la línea de tendencia, además el coeficiente de correlación es muy cercano a 1, por lo que se puede determinar que la cinética de adsorción de mercurio en cáscara de Pitahaya está representada perfectamente por el modelo matemático de pseudo segundo orden. Esto quiere decir que la etapa limitante es el mecanismo de adsorción y no tanto la transferencia de masa que pueda existir entre el Mercurio en la solución y la biomasa de cáscara de Pitahaya, además este modelo matemático indica que la velocidad de entrada del metal a los lugares de encuentro con la biomasa es proporcional al cuadrado del número de lugares disponibles de dicha biomasa.

Estudios realizados por J. Sánchez y C. Cameselle, en adsorción de Mercurio utilizando diferentes biomazas y carbones activados provenientes de productos agroindustriales, entre ellos cáscara de Pitahaya, también se demostró que su cinética responde a una cinética de pseudo segundo orden, según Sánchez esto es debido a que la mayor parte de reacciones de adsorción con carbones activados y biomazas, obviamente se dan de manera heterogénea lo que da paso a que la rapidez de adsorción y el mecanismo en el que ocurre, dependa del área de la superficie expuesta por la biomasa.

3.1.6. Determinación de la Capacidad de Adsorción

Tabla 8-3: Resultados Isotermas

	Isoterma de Freundlich		Isoterma de Langmuir	
R²	0.922		0.9564	
25 C	Kd:	435.033	k:	0.0458
	n:	2.63852	b:	4366.8122
R²	0.932		0.9914	
40 C	Kd:	5937.244	k:	0.1034
	n:	3.773584	b:	3333.333
R²	0.946		0.9685	
60 C	Kd:	15279.193	k:	0.1111
	n:	4.184100	b:	3333.333

Realizado por: Chuquisala, Ariana., 2021.

3.1.6.1. Ajuste de los datos a la Isoterma de Freundlich

3.1.6.2. Ajuste de los datos a la Isoterma de Freundlich a 25 C, 40 C, y 60 C

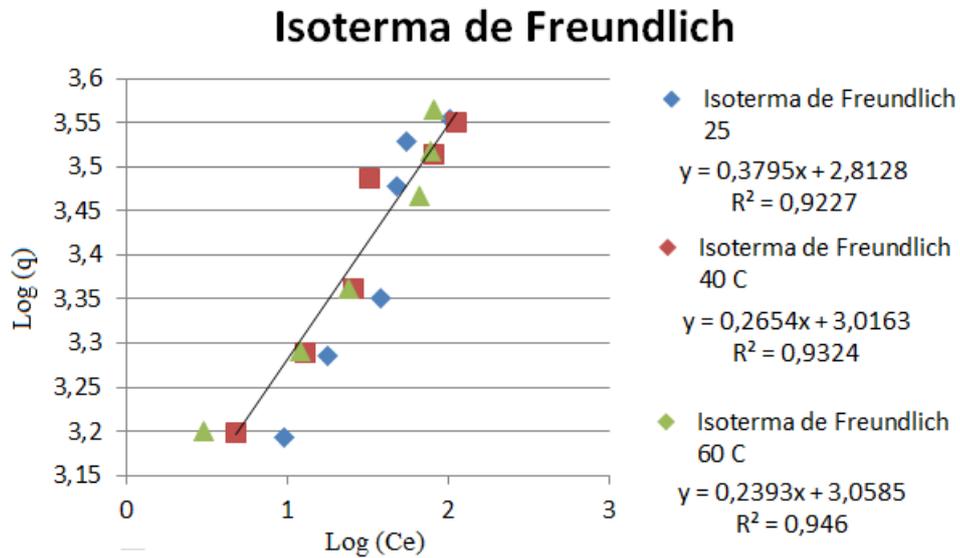


Gráfico 6-3: Isoterma de Freundlich a 25 C, 40 C, y 60 C.

Realizado por: Chuquisala Ariana, 2021.

3.1.6.3. Ajuste de los datos a la Isoterma de Langmuir

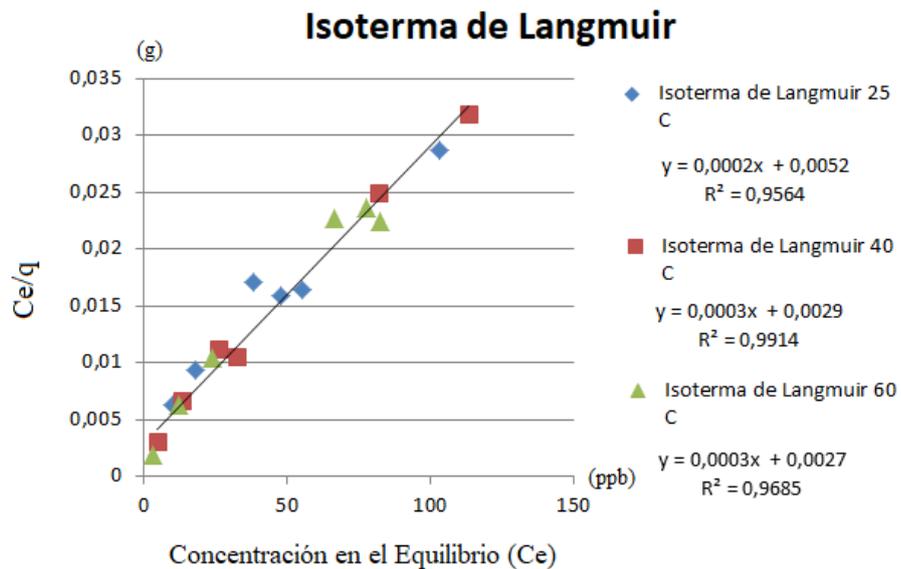


Gráfico 7-3: Isoterma de Langmuir a 25 C, 40 C, y 60 C.

Realizado por: Chuquisala Ariana, 2021.

Como se puede observar en los gráficos 6-3 y 7-3 que hacen referencia al ajuste de los datos a las isotermas de Freundlich y Langmuir, ambas tienen coeficientes de correlación aceptables, pero el

modelo que mejor representa su capacidad de adsorción es la isoterma de Langmuir ya que su coeficiente de correlación se asemeja más a 1, esto indica que la adsorción se da en la monocapa, tratándose de un biomaterial de superficie homogénea y que al saturarse, el proceso de bioadsorción también termina. Además, al acoplarse los datos a esta isoterma se presume que la interacción entre los iones involucrados es fuerte, asimismo que ocurre una ruptura y una formación de enlaces entre los cationes de Hg y los grupos metilo e hidroxilo de la biomasa Lignocelulósica de la cáscara de Pitahaya.

Esta isoterma asume también, que todas las posiciones de adsorción de la biomasa de cáscara de Pitahaya son equivalentes, es decir solo se adsorbe una molécula de Hg por posición y que estas moléculas adsorbidas no interactúan entre sí, a diferencia de la isoterma de Freundlich, que se basa en que la distribución de la energía de adsorción en los sitios es exponencial, es decir, existiría una interacción entre las moléculas adsorbidas de Hg adyacentes ocasionando que se forme una multicapa.

Se determinó además que la temperatura influye de manera determinante en el proceso de adsorción, ya que el coeficiente de correlación de la isoterma de 40 C fue el más cercano a 1 con un valor de 0.9914, por ende la capacidad de adsorción de la biomasa aumentó conforme se aumentó la temperatura a los 40 C, pero existió una disminución de dicha capacidad de adsorción al elevar la temperatura aún más, a los 60 C, que se explica debido a que la energía superior provocada por la temperatura, debilita las fuerzas de interacción entre el adsorbato y el adsorbente, lo que facilita la desorción del mercurio en la solución. Por esto se llega a la deducción que la temperatura idónea para que ocurra el proceso de adsorción de mercurio en biomasa de cáscara de Pitahaya es de 40 C. En un estudio de adsorción similar fundamentado por (Ore Cordero, 2019), utilizó cáscara de Pitahaya para remover plomo, en este estudio también se acoplaron los datos a la isoterma de Langmuir, siendo este un método bastante versátil para describir procesos de adsorción en estado Sólido-Líquido (Arias Arias et al., 2017 p. 23).

Según (Adamson, 1997 p. 25) en su estudio de la Capacidad de Adsorción de metales pesados en residuos orgánicos, el modelo de Langmuir tiene una gran desventaja frente a Freundlich ya que este modelo asume que la energía de adsorción es distinta del grado de recubrimiento, y se reprime a la formación de una monocapa, no obstante la mayoría de los adsorbentes orgánicos suelen presentar superficies heterogéneas, lo que provoca que exista diversos sitios disponibles para la adsorción, en otras palabras la energía de adsorción varía de un lugar a otro.

CONCLUSIONES

- Se determinó parámetros cinéticos de adsorción de mercurio en biomasa obtenida de cáscaras de Pitahaya, mediante el estudio de su cinética, ajustando los datos obtenidos experimentalmente, a modelos matemáticos de pseudo primer y pseudo segundo orden, dichos datos se ajustaron perfectamente al modelo matemático de pseudo segundo orden con un coeficiente de correlación de 0,999.
- Se obtuvo aproximadamente 300 g de biomasa, de un peso total de 1,5 kg de cáscara de pitahaya, esto se lo realizó mediante un tratamiento térmico y luego un tratamiento físico que se basó en la molienda y el tamizado a un tamaño de partícula de 0.3 micrómetros, con el fin de retener mercurio en soluciones acuosas.
- Se determinó la capacidad de Adsorción de Mercurio en soluciones acuosas en biomasa de cáscara de Pitahaya, mediante el ajuste de los datos obtenidos experimentalmente a las isothermas de Freundlich y Langmuir, dichos datos se acoplaron mejor a la isoterma de Langmuir lo que indica que el área del material adsorbente es homogénea, cuando el adsorbente se satura, el proceso de adsorción termina, es decir la adsorción de los iones de mercurio se dan por monocapa,
- Se evaluó la cinética de adsorción de mercurio en biomasa de cáscara de Pitahaya, mediante una comparación cuantitativa con otros adsorbentes orgánicos, determinando que la biomasa obtenida resulta competente, ya que adsorbe alrededor del 71.475 % de mercurio en solución acuosa a solo 20 minutos del contacto con la solución, con una dosis de 5g de biomasa por cada litro de solución.

RECOMENDACIONES

- Desprender la mayor parte de la comida de la Pitahaya, para que su secado sea más rápido, adicional a esto realizar la última lavada con agua destilada
- Cortar las cáscaras de pitahaya en tamaños iguales para que su secado sea homogéneo.
- Para una mayor eficiencia al momento de moler, se recomienda utilizar un molino de Harinas.
- Guardar la biomasa después de ser molida hasta su utilización en una funda ziploc, ya que protege a la biomasa de la humedad, ya que una muestra con menor porcentaje de agua es más eficiente.
- Preparar las soluciones con Agua destilada ultra pura tipo 1, ya que tiene una absorbancia a 254 nm menor a 0.001 lo que disminuye la probabilidad de tener interferencias en las lecturas de las muestras.
- Lavar muy bien los balones de aforo donde se preparan las muestras, ya que el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica es muy sensible y restos de otras soluciones pueden interferir en las lecturas.
- Trabajar de preferencia con pipetas automáticas ya que son más precisas y disminuyen errores sistemáticos en las soluciones.
- Si las muestras no son leídas el mismo día de su preparación se recomienda acidularlas con ácido nítrico concentrado, para preservarlas.
- Para la curva de calibración de la lectura del tiempo de contacto, se recomienda que el rango sea amplio ya que no se conoce en un principio el porcentaje de adsorción de la biomasa tratada.
- Las soluciones de ácido clorhídrico y boro hidruro de sodio son muy importantes en la lectura de las muestras ya que son las encargadas de generar los hidruros de mercurio que influye significativamente en las señales, por lo que se sugiere tener la mayor precisión al elaborarlas.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, G.** (2007). *Activación y caracterización de materiales nanoestructurados (CNx y CST): remoción de cadmio*. [INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.]. <http://hdl.handle.net/11627/66>
- ARIAS ARIAS, F. E., BENEDUCI, A., CHIDICHIMO, F., FURIA, E., & STRAFACE, S.** (2017). Study of the adsorption of mercury (II) on lignocellulosic materials under static and dynamic conditions. *Chemosphere*, 180(Ii), 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.137>
- ARROYO, L., & RUIZ, D.** (2018). Determinación de la cinética de adsorción de cloruros de vertimientos del sector agrícola cultivos energéticos, sobre carbón activado comercial. *Universidad de América, Facultad de Ingeniería, 1*, 1–476.
- ATSDR.** (2016). ATSDR - Resumen de Salud Pública: Mercurio. *División de Toxicología y Ciencias de La Salud*, 8. www.atsdr.cdc.gov/es
- CARABANTES, A. G., & FERNICOLA, N. A. G. G. DE.** (2003). Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 39(4), 365–372. <https://doi.org/10.1590/s1516-93322003000400003>
- CASTELO, M.** (2015). *Determinación de Arsénico y Mercurio en agua de consumo del cantón Rumiñahui por Espectrofotometría de Absorción Atómica* [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/8658>
- ESQUIVEL, P., & QUESADA, Y.** (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, 3, 113–129. <http://oaji.net/articles/2017/4924-1495374112.pdf>
- GAIOLI, M., AMOEDO, D., & GONZÁLEZ, D.** (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *Archivos Argentinos de Pediatría*, 110(3), 259–264. <https://doi.org/10.1590/S0325-00752012000300017>
- GONZÁLEZ-MUÑOZ, M. T., MERROUN, M. L., BEN OMAR, N., & ARIAS, J. M.** (1997). Biosorption of uranium by *Myxococcus xanthus*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 40(2–4), 107–114. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(97\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(97)00041-3)

- MONTEAGUDO, F.** (2001). *Evaluación de la Contaminación por Mercurio en población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena – Ayacucho – Perú. Durante el periodo agosto 2000 – setiembre 2001* [UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/1083>
- MONTESINOS, J., RODRIGUEZ, L., ORTIZ, R., FONSECA, M. DE LOS A., RUIZ, G., & GUEVARA, F.** (2015). Revisión bibliográfica PITAHAYA (*Hylocereus* spp.) UN RECURSO FITOGENÉTICO CON HISTORIA Y FUTURO PARA EL TRÓPICO SECO MEXICANO. *Cultivos Tropicales/ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*, 36, 67–76. https://www.researchgate.net/publication/317516066_Pitahaya_Hylocereus_spp_un_recurso_fitogenetico_con_historia_y_futuro_para_el_tropico_seco_mexicano
- ORDOÑEZ, A. E.** (2017). *Determinación de la capacidad adsorbente de los residuos de la Industria de la papa para remoción de metales pesados en aguas contaminadas*. 109. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14969/1/UPS-CT007386.pdf>
- ORE, S.** (2019). *Biosorción con las cáscaras de Sanky (*Caryocactus brevistylus*) y Pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) para la remoción de plomo en aguas fortificadas del río Chillón - Carabayllo, 2019* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/41569>
- ORÉ, S.** (2019). *Biosorción con las cáscaras de Sanky (*Caryocactus brevistylus*) y Pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) para la remoción de plomo en aguas fortificadas del río Chillón - Carabayllo, 2019*. In *Universidad Cesar Vallejo*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/41569>
- PASTRANA, J., & MORA, N.** (2017). Evaluación de la capacidad de adsorción del residuo de café molido en la remoción de mercurio (ii) en matrices acuosas. *Departamento de Química y Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales.*, 131. [http://sired.udenar.edu.co/3889/1/EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL RESIDUO DE CAFÉ MOLIDO EN LA REMOCIÓN DE MERCURIO %28II%29 EN MATRICES ACUOSAS..pdf](http://sired.udenar.edu.co/3889/1/EVALUACIÓN_DE_LA_CAPACIDAD_DE_ADSORCIÓN_DEL_RESIDUO_DE_CAFÉ_MOLIDO_EN_LA_REMOCIÓN_DE_MERCURIO_%28II%29_EN_MATRICES_ACUOSAS..pdf)
- SÁNCHEZ, J.CAMESELLE, C.** (2017). Biosorción de mercurio (Hg²⁺) usando materiales solidos residuales como adsorbentes. *Afinidad*, 74(577), 18–25. <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320727>

SANCHEZ, Y. (2018). *Adsorción De Arsénico Y Antimonio En Soluciones Acuosas Mediante Aplicación De Biomasa Lignocelulósica De Cáscara De Cacao*. 71.

TEJADA-TOVAR, C., VILLABONA-ORTIZ, Á., & GARCÉS-JARABA, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>

WEINBERG, J. (2007). Introducción a La Contaminación Las Ong. *Annual Review of Plant Biology*, 42(1), 35.

ANEXOS

ANEXO A: OBTENCIÓN DE LA BIOMASA ADSORBENTE

a)



b)



a) Extracción de la Pulpa de Pitahaya

b) Secado a temperatura Ambiente durante 24 h

ANEXO B: TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA BIOMASA ADSORBENTE

c)



d)



c) Secado durante 24 h a 50 C

d) Molienda de las cáscaras secas

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

e)



f)



e) Tamizado de la Molienda

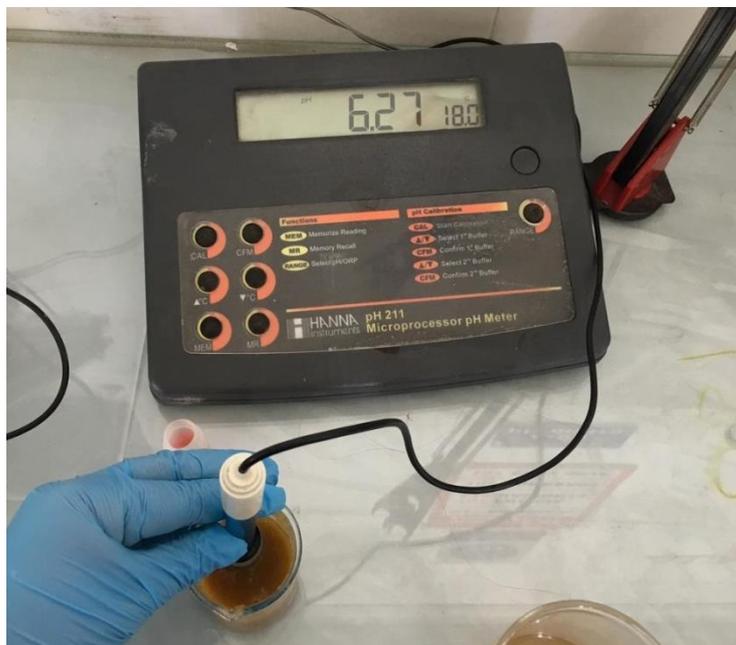
f) Análisis FT-IR

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

g)



h)

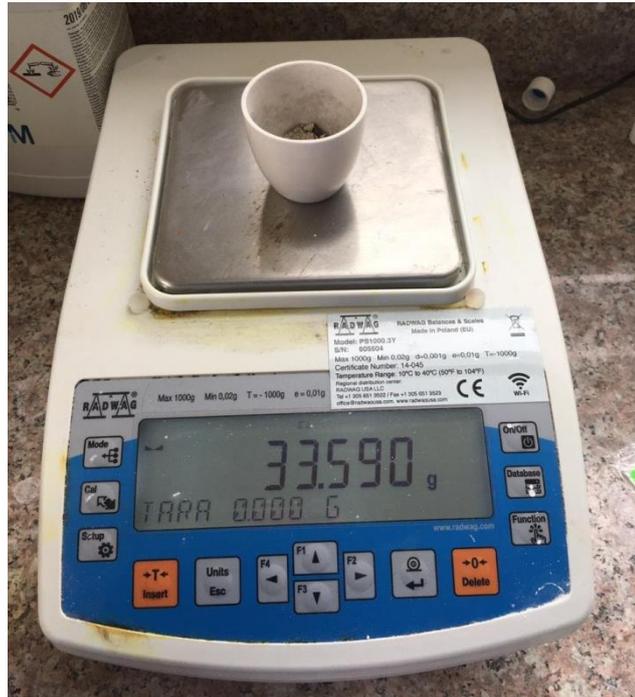


g) Prueba de Porcentaje de Humedad

h) Análisis de pH

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

i)



- i) Porcentaje de Cenizas
- j) Prueba de Densidad

ANEXO F: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO

k)



l)



k) Muestras para el Tiempo de Contacto

l) Lectura de las Alícuotas a diferentes tiempos

ANEXO G: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS IDÓNEA

m)



n)



m) Dosificación

n) Agitación de muestras para Isotermas

ANEXO H: CÁLCULO DE ISOTERMAS

o)



p)

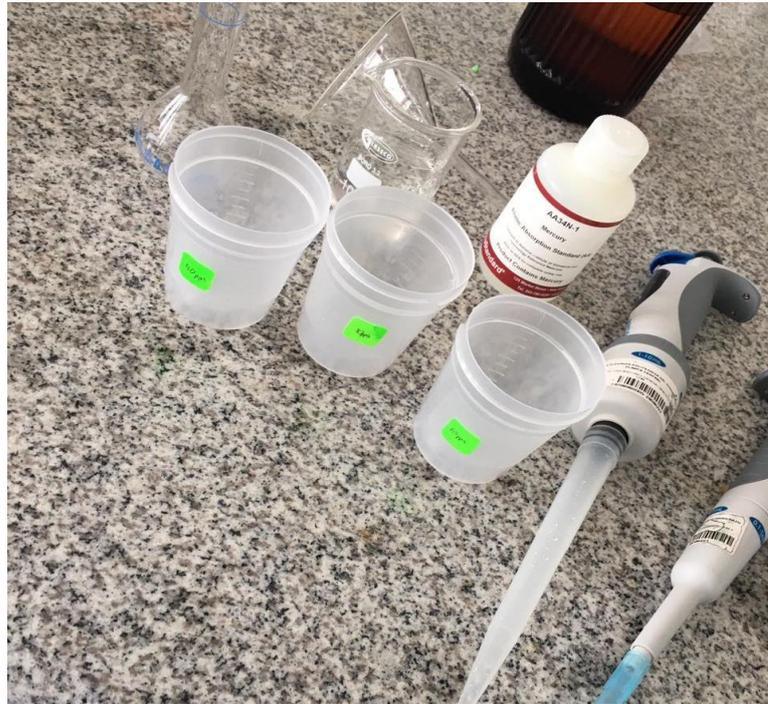


o) Filtrado al vacío de las soluciones para las isoterms

p) Lectura de muestras para las Isoterms

ANEXO I: CÁLCULO DE ISOTERMAS

q)



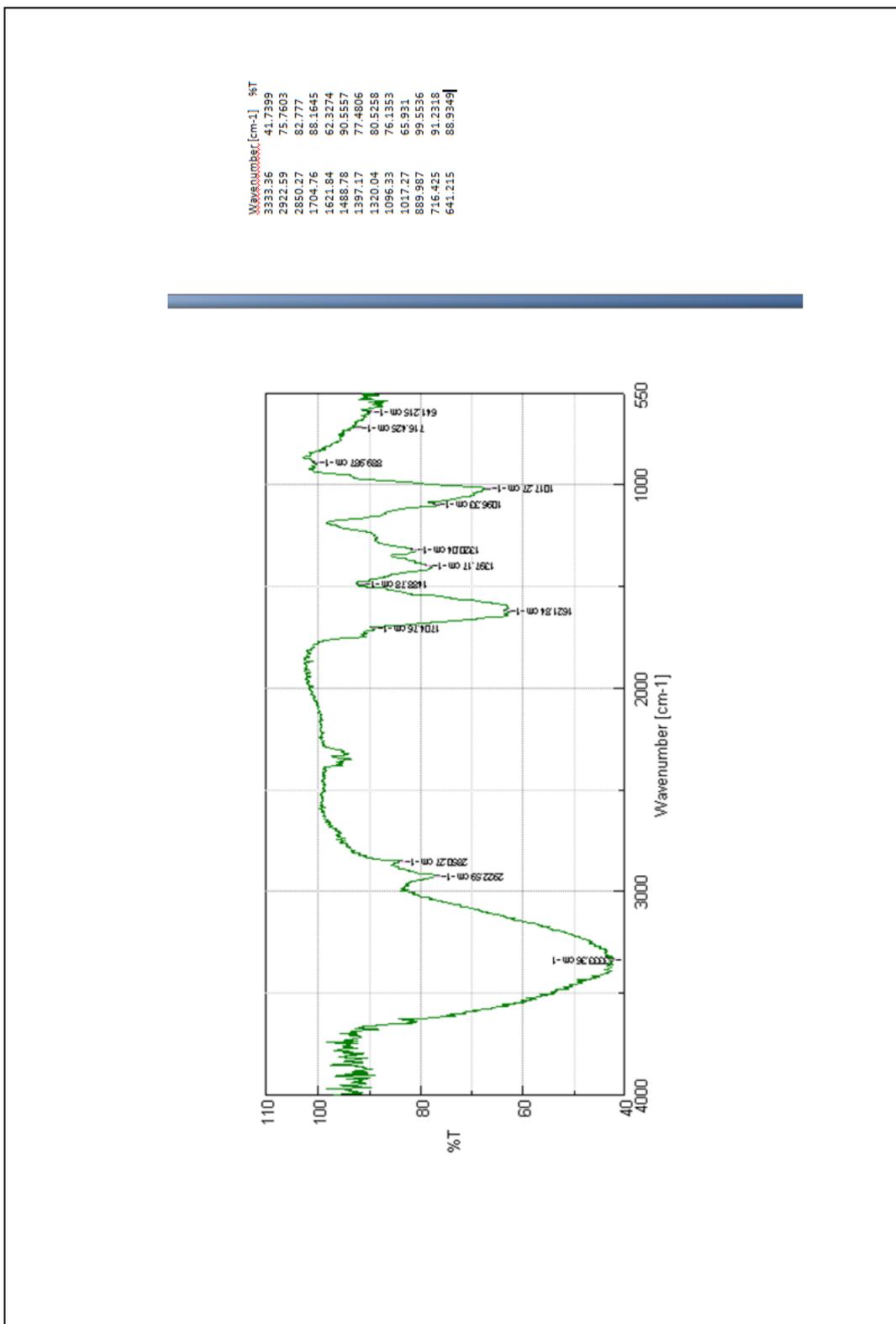
r)



q) Preparación de estándares para calibración del Equipo- Espectrofotómetro de Absorción Atómica

r) Lectura de los estándares y construcción de la curva de calibración (Se realizó para cada lote de muestras: Tiempo de contacto, dosificación, isotermas).

ANEXO J: ESPECTRO (FT-IR) BIOMASA DE CÁSCARA DE PITAHAYA



ANEXO L: RESULTADOS DE TIEMPO DE CONTACTO

t)

SOLAAR AA Report

Operator Name: ciencias
Results File: C:\SOLAARM\DATA\MERCURIO\Hg-ARIANA-2.slr

Report Date: 09/03/2021 14:47:22

Vapour Parameters - Hg

Vapour Mode: No Heating
Sample Compartment: Right Hand
Carrier Gas Flow Rate: 200mL/min

Vapour Kit: VP100

Pump Speed: 40

Sampling Parameters - Hg

Sampling: None

Calibration Parameters - Hg

Calibration Mode: Normal
Concentration Units: µg/L
Acceptable Fit: 0.995
Master Standard: 50,0000

Line Fit: Linear
Scaled Units: µg/L
Rescale Limit: 10,0%

Use Stored Calibration: No
Scaling Factor: 1,0000
Failure Action: Flag and Continue

Standard	Concentration (µg/L)	Standard	Concentration (µg/L)
Standard 1	5,0000	Standard 4	30,0000
Standard 2	10,0000	Standard 5	40,0000
Standard 3	20,0000		

Element Audit Trail - Hg

09/03/2021 14:46:28 ciencias:FDCUINLAB03N15
Standard 5 13:29:16 : Deleted

Solution Results - Hg

Sample ID	Signal Abs	Rsd %	Conc µg/L	Corrected Conc µg/L
Hg Blank	-0,000		0,0000	
Hg Standard 1	0,005		5,0000	
Hg Standard 2	0,015		10,0000	
Hg Standard 3	0,030		20,0000	
Hg Standard 4	0,048		30,0000	
Hg Standard 5	0,067		40,0000	
Hg BLANCO	0,000		1,1080	1,1080
Hg 1-MIN	0,043		27,3039	3412,988
Hg 3-MIN	0,042		26,6080	3326,005
Hg 5-MIN	0,058		36,5030 C	4562,869 C
Hg 10-MIN	0,040		25,5104	3188,799
Hg 15-MIN	0,038		24,5861	3073,258
Hg 20-MIN	0,036		22,8753	2859,414
Hg 30-MIN	0,034		22,1979	2774,735
Hg 40-MIN	0,037		23,5635	2945,438
Hg 50-MIN	0,035		22,5723	2821,538
Hg 60-MIN	0,039		24,8735	3109,193
Hg 2-H	0,034		21,9553	2744,410
Hg 60-MIN	0,035		22,5488	2818,600
Hg 3-H	0,032		20,9773	2622,163
Hg 4-H	0,030		19,2134	2401,674
Hg 5-H	0,034		21,9337	2741,713
Hg 6-H	0,032		20,5350	2566,880
Hg 7-H	0,027		17,6136	2201,703
Hg 8-H	0,026		17,1614	2145,172
Hg 5-MIN	0,044		27,8647	3483,092

ANEXO M: RESULTADOS DE DOSIFICACIÓN

Warning: OQ Results not available.

OQ Test Result Summary

Warning: OQ Results not available.

Spectrometer Parameters - Hg

Element: Hg
 Wavelength: 253.7nm
 Background Correction: D2
 Signal Type: Continuous
 Measurement Time: 4,0secs
 Use RSD Test: No

Measurement Mode: Absorbance
 Bandpass: 0.5nm
 High Resolution: Off
 Resamples: Fast
 Flier Mode: No
 Lamp Current: 75%
 Optimise Spectrometer Parameters: No
 Number Of Resamples: 1

SOLAAR Data Station V11,03

Page 3 - Results

SOLAAR AA Report

Operator Name: ciencias

Report Date: 18/03/2021 16:33:29

Results File: C:\SOLAARM\DATA\MERCURIO\18-03-2021-Hg.slr

Vapour Parameters - Hg

Vapour Mode: No Heating
 Sample Compartment: Right Hand
 Carrier Gas Flow Rate: 200mL/min

Vapour Kit: VP100

Pump Speed: 40

Sampling Parameters - Hg

Sampling: None

Calibration Parameters - Hg

Calibration Mode: Normal
 Concentration Units: µg/L
 Acceptable Fit: 0.995
 Master Standard: 50,0000

Line Fit: Linear
 Scaled Units: µg/L
 Rescale Limit: 10,0%

Use Stored Calibration: No
 Scaling Factor: 1,0000
 Failure Action: Flag and Continue

Standard 1	5,0000
Standard 2	10,0000
Standard 3	20,0000

Standard 4	30,0000
Standard 5	40,0000

Element Audit Trail - Hg

Hg 0.1gramos	0,094	46,1383 C	461,3828 C
Hg 0.1gramos	0,054	26,8303	536,6053
Hg 0.15gramos	0,038	19,0934	381,8677
Hg 0.2gramos	0,020	10,4508	209,0150
Hg 0.25gramos	0,011	6,3384	126,7670
Hg 0.3gramos	0,013	7,0629	70,6293
Hg 0.35gramos	0,010	5,7606	57,6060
Hg 0.4gramos	0,015	8,2966	41,4828
Hg 0.45gramos	0,073	36,2694	36,2694
Hg 0.5gramos	0,067	33,0780	33,0780
Hg 1gramo	0,040	20,3058	20,3058
Hg limpieza	0,001	1,4233	1,4233

ANEXO N: RESULTADOS DE LECTURA DE MUESTRAS PARA ISOTERMAS

SOLAAR AA Report

Operator Name: ciencias

Report Date:

Results File: C:\SOLAARM\DATA\MERCURIO\18-03-2021-Hg.slr

Vapour Parameters - Hg

Vapour Mode: No Heating
 Sample Compartment: Right Hand
 Carrier Gas Flow Rate: 200mL/min

Vapour Kit: VP100

Pump Speed: 40

Sampling Parameters - Hg

Sampling: None

Calibration Parameters - Hg

Calibration Mode: Normal
 Concentration Units: µg/L
 Acceptable Fit: 0,995
 Master Standard: 50,0000
 Standard 1 5,0000
 Standard 2 10,0000
 Standard 3 20,0000

Line Fit: Linear
 Scaled Units: µg/L
 Rescale Limit: 10,0%

Use Stored Calibration: No
 Scaling Factor: 1,0000
 Failure Action: Flag and Continue

Standard 4 30,0000
 Standard 5 40,0000

Element Audit Trail - Hg

No changes are recorded for this element

Solution Results - Hg

Sample ID	Signal Abs	Rsd %	Conc µg/L	Corrected Conc µg/L
Hg Blank	-0,001		0,0000	
Hg Standard 1	0,007		5,0000	
Hg Standard 2	0,018		10,0000 U	
Hg Standard 3	0,040		20,0000	
Hg Standard 4	0,060		30,0000	
Hg Standard 5	0,082		40,0000	
Hg 100ppb	0,029		15,0942	15,0942
Hg 200ppb	0,011		6,2194	6,2194
Hg 300ppb	0,011		6,4015	6,4015
Hg 400ppb	0,018		9,7104	9,7104
Hg 500ppb	0,036		18,0594	18,0594
Hg 600ppb	0,038		19,1201	38,2402
Hg 700ppb	0,008		5,0355	25,1773
Hg 800ppb	0,018		9,5896	47,9482
Hg 900ppb	0,021		11,0511	55,2555
Hg 1000ppb	0,041		20,6056	103,0281
Hg 700ppb	0,019		9,9313	24,8282
Hg 40C-400ppb	0,008		4,7891	4,7891
Hg 40C-500ppb	0,025		12,9811	12,9811
Hg 40C-600ppb	0,052		25,8419	25,8419
Hg 40C-800ppb	0,025		12,9109	32,2772
Hg 40C-900ppb	0,018		9,8052	24,5131
Hg 40C-900ppb	0,057		28,3284	113,3136
Hg 40C-1000ppb	0,032		16,3450	81,7250
Hg Sample ID 19	0,002		1,7106	1,7106
Hg 60C-400ppb	0,004		3,0164	3,0164
Hg 60C-500ppb	0,023		12,1853	12,1853
Hg 60C-600ppb	0,048		23,9849	23,9849
Hg 60C-800ppb	0,053		26,6467	66,6167
Hg 60C-900ppb	0,076		37,6616	37,6616
Hg 60C-1000ppb	0,032		16,4705	82,3525
..	---		---	---

ANEXO O: RESULTADOS DE LECTURA DE MUESTRAS PARA ISOTERMAS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Ariana Mabel Chuquisala Ligua</i>
INFORMACION INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Química</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.26
13:02:33 -05'00'



1928-DBRA-UTP-2021