



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**“ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS
CINÉTICOS DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO SOBRE RESIDUOS
DE CACAO (*Theobroma cacao*)”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: ANAIS GABRIELA CARRILLO MEJÍA

DIRECTORA: Ing. MABEL PARADA RIVERA. MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Anais Gabriela Carrillo Mejía

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

Yo, ANAIS GABRIELA CARRILLO MEJÍA, 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 autor 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, 26 de noviembre de 2021



Anais Gabriela Carrillo Mejía

060408724-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, “**ESTUDIO PARA LA DETERMINACION CINETICA DE ADSORCION DE ARSENICO SOBRE RESIDUOS DE CACAO**”, realizado por la señorita: **ANAIS GABRIELA CARRILLO MEJÍA**”, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Segundo Hugo Calderón MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SEGUNDO HUGO CALDERON .	2021-11-26
Ing. Mabel Maribel Parada Rivera MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: MABEL MARIELA PARADA RIVERA	2021-11-26
Ing. Sandra Fabiola Heredia Moyano MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SANDRA FABIOLA HEREDIA MOYANO	2021-11-26

DEDICATORIA

A Dios por guiar mis pasos a lo largo de mi vida y por brindarme la sabiduría para cumplir esta meta. A mi madre Narcisa Mejía quien con su amor, fortaleza y ejemplo ha sido mi mayor fuente de inspiración, superación para no rendirme apoyándome siempre, a ella que nunca dejo de creer en mí.

A mi esposo y compañero de vida Fabian quien me brindo su amor, respeto y apoyo incondicional en todo momento, a mi hija Valentina quien ha sido mi mayor motivación para luchar y no rendirme en este largo caminar, que con su sonrisa alegra mis días.

A mi hermano Franklin quien ha sido mi mejor amigo, consejero y confidente que con su protección me ha sabido guiar y fue parte de mi formación como persona y como profesional.

Anais

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por la salud y fortaleza para continuar en los momentos más difíciles en este largo camino, a mi querida madre por haberme apoyado en cada una de las decisiones que he tomado en mi vida, sabiendo educar y guiar de la mejor forma a mi hermano y a mí, ella quien con su esfuerzo y dedicación asido el mejor ejemplo a seguir de constancia y trabajo; como no agradecer si me ha dado la mejor herencia que puedo recibir, mi profesión.

A mi familia que con sus consejos, apoyo y cariño siempre tuvieron las palabras necesarias para cada momento convirtiéndose en el mejor regalo que la vida me pudo brindar a pesar de tener nuestras diferencias, nos tenemos el uno al otro.

De manera muy especial a la Ing. Mabel Parada como directora del trabajo de titulación y a la Ing. Sandra Heredia como miembro, por brindarme sus conocimientos, apoyo y prestar su ayuda en el desarrollo de este trabajo.

A mi querida Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el alma mater por abrirme las puertas al conocimiento, desarrollo tanto personal como profesional, gracias por formar profesionales con calidad y calidez.

Anais

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1.	Bases teóricas.....	5
1.1.1.	<i>Arsénico y su ciclo biogeoquímico</i>	5
1.1.2.	<i>Arsénico en el medio ambiente</i>	6
1.1.3.	<i>Problemas de la salud mundial</i>	6
1.1.4.	<i>Toxicidad del arsénico</i>	7
1.1.5.	<i>Cáscara de cacao</i>	7
1.1.6.	<i>Biomasa</i>	8
1.1.6.1.	<i>Activación química biomasa</i>	9
1.2.	Adsorción.....	9
1.2.1.	<i>Causas de la adsorción</i>	9
1.2.2.	<i>Tipos de adsorción</i>	10
1.2.2.1.	<i>Adsorción física</i>	10
1.2.2.2.	<i>Adsorción química</i>	10
1.2.3.	<i>Relación entre tensión superficial y adsorción</i>	10
1.2.4.	<i>Modificaciones químicas y físicas de los biomateriales</i>	11
1.3.	Cinética de adsorción.....	11
1.4.	Modelos Cinéticos.....	11
1.4.1.	<i>Modelo cinético de pseudo primer orden</i>	12
1.5.	Isotermas de Adsorción.....	12
1.5.1.	<i>Isoterma de Langmuir</i>	13
1.5.2.	<i>Isoterma de Freundlich</i>	14
1.6.	Equilibrio de adsorción.....	14

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	16
2.1.	Hipótesis y especificación de variables	16
2.1.1.	<i>Hipótesis General</i>	16
2.1.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	16
2.2.	Identificación de Variables	16
2.2.1.	<i>Variables Independientes</i>	16
2.2.2.	<i>Variables dependientes</i>	16
2.3.	Matriz de consistencia	17
2.4.	Tipo y Diseño de Investigación	18
2.4.1.	<i>Tipo de investigación</i>	18
2.4.2.	<i>Diseño de la Investigación</i>	18
2.4.3.	<i>Población de Estudio</i>	20
2.4.4.	<i>Tamaño de Muestra</i>	20
2.4.5.	<i>Selección de muestra</i>	20
2.5.	Técnicas de recolección de datos	20
2.5.1.	<i>Lugar y pruebas de estudio</i>	20
2.6.	Metodología Experimental	21
2.6.1.	<i>Obtención de biomasa a partir de residuos de cacao</i>	21
2.6.2.	<i>Tratamiento químico a la biomasa</i>	22
2.6.3.	<i>Caracterización de biomasa</i>	23
2.6.3.1.	<i>Prueba de pH</i>	23
2.6.4.	<i>Determinación del contenido de humedad en biomasa</i>	23
2.6.5.	<i>Determinación de cenizas</i>	24
2.6.6.	<i>Determinación de densidad</i>	24
2.7.	Análisis de FTIR	25
2.8.	Determinación del tiempo de equilibrio y cinética de adsorción	26
2.8.1.	<i>Tiempo de equilibrio y cinética de adsorción</i>	26
2.9.	Determinación de Isotermas de adsorción	26

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS	28
3.1.	Obtención de muestras de biomasa de residuos de cacao	28
3.1.1.	<i>Caracterización fisicoquímica de la cáscara de cacao</i>	28

3.1.2.	<i>Biomasa normal</i>	28
3.1.3.	<i>Biomasa activada</i>	29
3.2.	Caracterización fisicoquímica de las biomosas	29
3.2.1.	<i>Humedad</i>	29
3.2.2.	<i>Prueba de pH</i>	29
3.2.3.	<i>Ceniza</i>	30
3.2.4.	<i>Densidad</i>	30
3.2.5.	<i>Análisis FTIR de las biomosas</i>	31
3.3.	Caracterización morfológica y elemental de la bio masa	32
3.3.1.	<i>Análisis SEM</i>	32
3.3.2.	<i>Análisis elemental de las biomosas</i>	33
3.4.	Determinación de la cinética de adsorción	33
3.4.1.	<i>Tiempo de equilibrio</i>	33
3.4.2.	<i>Determinación de la cinética</i>	35
3.5.	Ajuste a las isotermas de adsorción	38
3.5.1.	<i>Ajuste de la isoterma al modelo de Langmuir</i>	40
3.5.2.	<i>Ajuste de la isoterma al modelo de Freundlich</i>	42
3.6.	Discusión de resultados	44
3.7.	Comprobación de hipótesis	45
3.7.1.	<i>Hipótesis general</i>	45
3.7.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	46
3.7.2.1.	<i>Hipótesis 1</i>	46
3.7.2.2.	<i>Hipótesis 2</i>	46
3.7.2.3.	<i>Hipótesis 3</i>	46
3.7.2.4.	<i>Hipótesis 4</i>	47
	CONCLUSIONES	48
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Matriz de consistencia.....	17
Tabla 2-2: Diseño de la investigación.....	18
Tabla 3-2: Materiales y equipos para obtención de biomasa de cascara de cacao (Theobroma cacao).....	22
Tabla 4-2: Materiales y equipos para el tratamiento químico	22
Tabla 5-2: Materiales y equipos variación de pH.....	23
Tabla 6-2: Materiales y equipos contenido de humedad.....	23
Tabla 7-2: Materiales y equipos contenido de cenizas.....	24
Tabla 8-2: Materiales para la determinación de densidad	24
Tabla 9-2: Método para determinar el espectro FTIR de la biomasa.....	25
Tabla 10-2: Isotermas y capacidad de adsorción de arsénico en soluciones acuosas.	27
Tabla 1-3: Parámetros fisicoquímicos cáscara de cacao	28
Tabla 2-3: Porcentajes de humedad de las biomosas	29
Tabla 3-3: Prueba de pH	30
Tabla 4-3: Porcentaje de cenizas	30
Tabla 5-3: Densidad de las biomosas.....	30
Tabla 6-3: Análisis elemental de los dos tipos de biomasa	33
Tabla 7-3: Datos de adsorción de Arsénico con respecto al tiempo	33
Tabla 8-3: Datos de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30° C.....	38
Tabla 9-3: Datos de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60° C.....	39
Tabla 10-3: Datos para isoterma de Langmuir de biomasa a 30° C.....	40
Tabla 11-3: Parámetros de Langmuir de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30° C.....	41
Tabla 12-3: Datos para isoterma de Langmuir de biomasa a 60° C.....	41
Tabla 13-3: Parámetros de Langmuir de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60° C.....	42
Tabla 14-3: Datos para isoterma de Freundlich de biomasa a 30° C	42
Tabla 15-3: Parámetros de Freundlich de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30° C	43
Tabla 16-3: Datos para isoterma de Freundlich de biomasa a 60° C	43
Tabla 17-3: Parámetros de Freundlich de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60° C	44
Tabla 18-3: Comparación de R ² de cada caso	45
Tabla 19-3: Otros materiales adsorbentes	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Ciclo biogeoquímico del arsénico	5
Figura 2-1: Mazorca Teobroma Cacao L.....	8
Figura 3-1: Biomasa Teobroma Cacao L.....	9
Figura 4-1: Algunos tipos comunes de isothermas de adsorción	15
Figura 1-2: Esquema diseño experimental.....	19
Figura 2-2: Localización geográfica del río	21
Figura 1-3: Análisis SEM biomasa normal.....	32
Figura 2-3: Análisis SEM biomasa activada	32

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Resultado análisis FTIR de las biomosas.....	31
Gráfico 2-3:	Capacidad de adsorción de As con respecto al tiempo para biomasa normal	34
Gráfico 3-3:	Capacidad de adsorción de As con respecto al tiempo para biomasa activada	35
Gráfico 4-3:	Biomasa normal Pseudo-Primer orden }	36
Gráfico 5-3:	Biomasa normal Pseudo-Segundo orden	36
Gráfico 6-3:	Biomasa activada Pseudo-Primer orden	37
Gráfico 7-3:	Biomasa activada Pseudo-Segundo orden	37
Gráfico 8-3:	Isoterma de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30 °C	39
Gráfico 9-3:	Isoterma de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60 °C	40
Gráfico 10-3:	Isoterma de Langmuir de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30° C.....	41
Gráfico 11-3:	Isoterma de Langmuir de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60° C.....	42
Gráfico 12-3:	Isoterma de Freundlich de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30° C	43
Gráfico 13-3:	Isoterma de Freundlich de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60° C	44

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

As	Arsénico
°C	Grados centígrados
CA	Cascarilla de arroz
Cd	Cadmio
cm	Centímetro
CO₂	Dióxido de Carbono
EAA	Espectroscopia de adsorción atómica
FTIR	Infrarrojos por Transformada de Fourier
g	Gramo
H₃PO₄	Ácido Fosfórico
km	Kilómetro
KOH	Hidróxido de Potasio
K₂CO₃	Carbonato de Potasio
L	Litro
ml	Milímetro
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
mg	Miligramo
OMS	Organización Mundial de la Salud
Pb	Plomo
pH	Potencial de Hidrogeno
ppb	Partes por billón
SEM	
um	Micrómetro
ZnCl₂	Cloruro de Zinc

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA

ANEXO B: MOLIENDA Y TAMIZADO

ANEXO C: TRATAMIENTO QUÍMICO DE BIOMASA

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA – DETERMINACIÓN DE pH

ANEXO E: PRUEBA DE HUMEDAD

ANEXO F: CONTENIDO CENIZAS

ANEXO G: PRUEBA DE DENSIDAD REAL

ANEXO H: PRUEBA DE DENSIDAD APARENTE

ANEXO I: CÍNÉTICA Y ADSORCIÓN DE ARSENICO

ANEXO J: ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de integración curricular fue estudiar la determinación de parámetros cinéticos de adsorción de arsénico sobre residuos de cacao (*Theobroma cacao*). Se adquirió frutos de cacao de la variedad nacional conocidos como “cacao arriba” procedentes del cantón Lago Agrio, los cuales se dividieron en dos partes iguales para utilizarlos como biosorbente de arsénico disuelto en agua. Se realizó una investigación de tipo comparativa entre los dos grupos de frutos de cacao, el primer grupo se denominó biomasa normal, atravesando los siguientes procesos: limpieza, extracción de semillas y secado; en cuanto al segundo grupo denominado biomasa activada se sometió a los siguientes procesos: limpieza, extracción de semillas, secado y activación con ácido fosfórico. Posteriormente, se evaluó los parámetros fisicoquímicos y morfológicos de los dos grupos de biomasa y se procedió a realizar pruebas de adsorción de arsénico sobre el material adsorbente con distintas concentraciones del mencionado contaminante. Para comparar la capacidad de adsorción y su cinética se realizaron varios análisis de espectrometría de absorción de masas, los cuales fueron evaluados con los métodos propuestos por Freundlich y Langmuir. Como resultado de los análisis se encontró que la biomasa normal adsorbió 40% de arsénico en comparación al 25% del mismo contaminante adsorbido por la biomasa activada, todo ello, debido a la morfología y la composición de la biomasa normal que supera a la biomasa activada, además, se encontró que el modelo cinético que describe este proceso de adsorción es el propuesto por Langmuir. Se concluye que la biomasa normal presenta mejores características que la biomasa activada para la adsorción de arsénico en agua y se recomienda evaluar la capacidad de los residuos de cacao en la adsorción de otros contaminantes.

Palabras clave: <MÉTODO LANGMUIR>, <MÉTODO FREUNDLICH>, <ARSÉNICO>, <BIOSORBENTE>, <CACAO (*Theobroma cacao*)>.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.06
09:51:32 -05'00'



1859-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The objective of this curricular integration work was to study the determination of kinetic parameters of arsenic adsorption on cocoa residues (*Theobroma cacao*). Cocoa fruits from the national variety known as "cacao arriba" were purchased from the Lago Agrio canton, which were divided into two equal parts to be used as a bio sorbent for arsenic dissolved in water. A comparative research was carried out between the two groups of cocoa fruits, the first group was called normal biomass, going through the following processes: cleaning, extraction of seeds and drying; As for the second group called activated biomass, it underwent the following processes: cleaning, seed extraction, drying and activation with phosphoric acid. Subsequently, the physicochemical and morphological parameters of the two biomass groups were evaluated and arsenic adsorption tests were carried out on the adsorbent material with different concentrations of the mentioned pollutant. To compare the adsorption capacity and its kinetics, several mass absorption spectrometry analyzes were performed, which were evaluated with the methods proposed by Freundlich and Langmuir. As a result of the analyzes, it was found that the normal biomass adsorbed 40% of arsenic compared to 25% of the same pollutant adsorbed by the activated biomass, all this, due to the morphology and composition of the normal biomass that exceeds the activated biomass, in addition, it was found that the kinetic model that describes this adsorption process is the one proposed by Langmuir. It is concluded that normal biomass has better characteristics than activated biomass for the adsorption of arsenic in water and it is recommended to evaluate the capacity of cocoa residues in the adsorption of other pollutants.

Keywords: <LANGMUIR METHOD>, <FREUNDLICH METHOD>, <ARSENIC>, <BIOSORBENTE>, <CACAO (*Theobroma cacao*)>.

NANCI
MARGARITA
A INCA
CHUNATA

Firmado
digitalmente por
NANCI MARGARITA
INCA CHUNATA
Fecha: 2021.11.29
07:18:30 -05'00'

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso básico para el desarrollo de la vida y la contaminación es un problema mundial. El arsénico es un contaminante altamente tóxico que engloba el principal interés científico para desarrollar nuevas tecnologías a bajo costo, alta eficiencia, simples de operar y de bajo impacto ambiental (González, 2017, p.37). La remoción de arsénico de solución acuosa ha sido determinada por varios investigadores (Rosehart y Lee 2007, p.1) quienes encontraron que el ajuste del pH solo podría controlar la eliminación de arsénico por el carbón activado y otras adsorbentes. Es así que se ha podido comprobar que la eliminación de arsénico es posible y puede ser más eficiente mediante la modificación química del material poroso, obteniendo así un adsorbente con mejores características para obtener un mayor porcentaje de remoción del metal en aguas contaminadas de Arsénico.

Los residuos de cacao gracias a su composición fisicoquímica busca ser el sustituto de adsorbentes convencionales, para la obtención de un adsorbente natural, ya que durante la cosecha ha sido notoria la acumulación de los mismos, puesto que, no se cuenta con plan de reutilización, es por esto, que se propone obtener un adsorbente a partir de estos residuos que pueden ser adquiridos de diferentes provincias del país. Han sido diferentes los estudios que demuestran que el empleo de materiales naturales como adsorbentes no convencionales permite reducir la carga orgánica de un efluente contaminado con metales, colorantes, pesticidas y algunos otros compuestos orgánicos denominados emergentes (Valladares et al., 2017, p.55).

Justificación de la investigación

Los adsorbentes no convencionales utilizados para la remoción de contaminantes en el agua, son materiales alternos como: residuos agroindustriales, industria alimentaria y especies vegetales cuya aplicación ha sido restringida (Cisneros, y otros, 2016). En la actualidad se mejoró la capacidad de eliminar el arsénico impregnando hidróxido férrico o ácido tartárico en carbón y logró la desorción usando una solución acuosa de hidróxido de sodio al 1% (Zhang et al. 2007, pp. 67-68). Comprobando que la eliminación de arsénico es posible y puede ser más eficiente mediante modificación enriqueciendo el material poroso.

La bioadsorción es una técnica que involucra el uso de biomasa o sustrato natural para la adsorción de metales, a partir de desechos agrícolas, microorganismos, caseína, entre otros, cuya capacidad depende en gran medida de la naturaleza de la biomasa utilizada que permite remover altos porcentajes de iones metálicos y poseer bajos costos (Lara et al., 2017, p.111). La cascara de cacao ha sido validada como un buen bioadsorbente para la eliminación de Pb (II) y Cd en soluciones acuosas utilizando diferentes tamaños de partícula logrando remover 91,32% y 87,80 % según (Tarawou y Young, 2015, p.56). La producción de cacao al ser una de las actividades más

importante de la economía del país, se ve en la necesidad de proponer un plan de reutilización de sus residuos post cosecha como materia prima debido a su alta capacidad de remoción de metales pesados como el arsénico (Lara et al., 2017, p.143).

Algunos modelos permiten describir la dinámica de la tasa de adsorción de soluto, así como el tiempo de contacto de adsorción de adsorbato en la interfase solución sólida. Los datos experimentales que más se ajustan al modelo cinético (Long et al., 2014, p.43). Es por ello que se ve la necesidad de utilizar la metodología de espectroscopia infrarrojo (FTIR) que permite manejar los datos de las isotermas de adsorción para controlar la velocidad a la cual será removido el contaminante, obteniendo un modelo matemático que más se ajustó al estudio planteado.

El uso de material orgánico e inorgánico, como adsorbente, es una alternativa viable como fuente de eliminación de metales pesados para abaratar los costos y disminuir el tiempo del proceso, este adsorbente es empleado comúnmente para el tratamiento de aguas residuales obteniendo como resultado la remoción de Arsénico. Es por ello que se ve necesario la implementación de nuevas tecnologías o de materiales para la remoción de metales, a partir de recursos ya existentes o en forma natural, que no contengan mayor costo de fabricación. Este proceso se da a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico, se lo puede utilizar biomasa (viva o muerta). La bioadsorción de metales pesado es una de las tecnologías más prometedoras de actividades industriales y en corrientes de aguas naturales.

Antecedentes de la investigación

El presente trabajo de integración curricular se llevó a cabo en la facultad de ciencias en los laboratorios de procesos industriales (deshidratación de cascara de cacao); laboratorio de operaciones unitarias (molienda y tamizado); laboratorio de química analítica (caracterización de la biomasa); laboratorio de química instrumental (capacidad de adsorción e isotermas de adsorción), de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la ciudad de Riobamba en la panamericana sur en el km 11 /2, a una altitud de 2822 m.s.n.m con coordenadas 78°40'20". La materia prima utilizada como base para la investigación es la cascara de cacao (*Theobroma cacao*) debido a las propiedades que poseen y que permiten obtener un alto porcentaje de adsorción para metales pesados, el cascaron de cacao que se utilizó para el estudio se recolecto en la ciudad de lago agrio provincia de sucumbíos, procedente de una especie autóctona del país la cual se denomina cacao Arriba, que se caracteriza por su cáscara.

Desde hace años atrás ha ido aumentando el interés por obtener nuevas alternativas de remoción de metales pesados como él Arsénico (As) a bajo costo, buena eficiencia y de bajo impacto ambiental. Este metal el altamente toxico y es de interés científico a desarrollar nuevas tecnologías como la elaboración de adsorbentes de arsénico a partir de residuos agroindustriales (González, 2017, p.87).

La contaminación se entiende a la introducción de cualquier forma en un medio, la energía en materia o forma puede causar daños irreversibles al medio. Por tanto, se puede decir que está contaminado cuando el medio está presente la concentración o el nivel de energía es más alto de lo que es naturalmente.

La atención mundial se centra en la presencia de arsénico más allá de su límite de seguridad en el agua (0.01 mg/L), más de 150 millones de habitantes han sido afectadas por el consumo de arsénico en todo el mundo por lo cual estos datos son arrojados por encuestas realizadas, en américa latina supera los 4 millones de habitantes que son afectados por el consumo de arsénico en el agua potable.

La cascarilla de arroz (CA), es utilizado como un adsorbente de bajo costo para colorantes y metales pesados que están presentes en efluentes, mediante la activación química con ácido fosfórico (Rodríguez et al., 2019, p.10), obteniendo una adsorción viable para metales pesados y formando parte de una nueva alternativa para el uso de estos residuos agrícolas como adsorbentes que abaratan los costos y mejoran la productividad del mismo.

OBJETIVOS

General

Estudiar la determinación de parámetros cinéticos de adsorción de arsénico sobre residuos de cacao (*Theobroma cacao*).

Específicos

- Obtener diferentes muestras de biomasa a partir de los residuos de cacao.
- Evaluar las características de los residuos de cacao como material adsorbente en la remoción del arsénico.
- Identificar los parámetros de la cinética de adsorción de arsénico que más se ajusta al estudio mediante isothermas de Freundlich y Langmuir.
- Determinar la capacidad de adsorción de arsénico en soluciones acuosas mediante isothermas de adsorción.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Bases teóricas

1.1.1. Arsénico y su ciclo biogeoquímico

El arsénico es un metal altamente tóxico natural que es de suma importancia a nivel mundial. Es un elemento de la tabla periódica, se encuentra en la atmósfera, suelos, aguas naturales y en organismos vivos. Se conoce que se traslada en el medio ambiente a través de niveles tróficos gracias a la combinación de química con otros elementos, que pueden generar actividad biológica. Este contaminante predomina principalmente de emisiones volcánicas, así también como la afectuosidad de actividades antropogénicas específicas como la minería, la combustión de combustibles fósiles, usos de herbicidas, pesticidas y el curado de maderas (Costa et al., 2016, p.23). En aguas superficiales y subterráneas el arsénico comúnmente se lo encuentra como ion Arseniato (As^{+5}) e ion arsenito (As^{+3}). El arsenito es el más tóxico y está presente mayormente en condiciones anaeróbicas. El arseniato es menos tóxico que el anterior y lo encontramos normalmente en condiciones aeróbicas, ya que en estas condiciones existen microorganismos que oxidan el arsenito a arseniato (Costa et al., 2016, p.24).

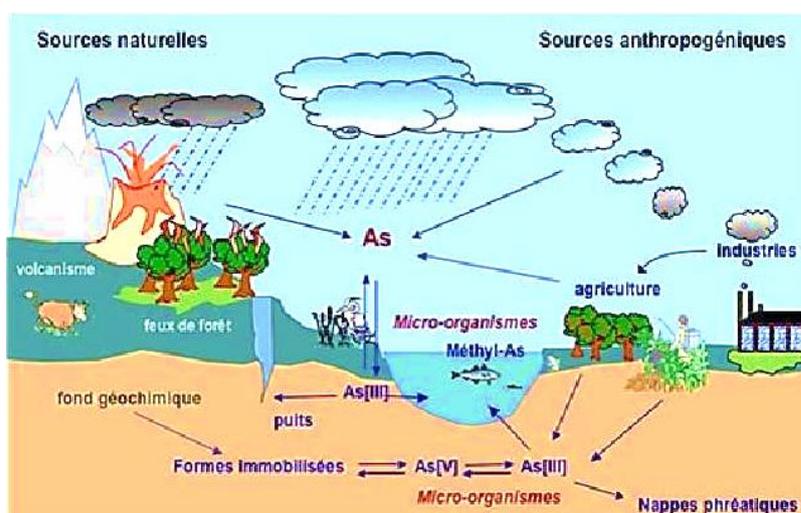


Figura 1-1: Ciclo biogeoquímico del arsénico

Fuente: (Córdoba 2015).

El ciclo de arsénico viene dado de la procedencia natural así como el de origen antropogénico. En la Figura 1-1, se muestra cómo el arsénico que forma parte del sedimento y las rocas, que son el punto inicial de partida de éste, se disuelve en el agua llegando a ríos y océanos de manera natural, o también se da por las actividades del hombre lo extrae con fines industriales, lo que hace que llegue a los ríos y océanos, provocando que este ingrese en los ciclos vitales de los organismos vivos, y de ahí va a la atmósfera. Se deducir que el origen prevalente del arsénico presente en el agua es el natural, en el caso del arsénico presente en la atmósfera, es muy importante debido a que las emisiones humanas de arsénico como las emanadas de chimeneas, pinturas, pulverización de pesticida y riego de suelos áridos con agua cargada de As. La emisión de este metal se genera a partir de derivados de la extracción humana de As de suelos y minas para fines antropogénicos lo que provoca la creación de una rotura del ciclo natural de éste, a la vez que una nueva incorporación al ciclo en grandes cantidades (Alarcón et al, 2013, p.18).

1.1.2. Arsénico en el medio ambiente

El arsénico se encuentra disperso a lo largo de la corteza terrestre de forma natural en pequeñas cantidades e ir cumpliendo con su ciclo que incluye el ingreso en el aire o agua por los distintos fenómenos naturales que lo transportan. El arsénico en la corteza terrestre significa un 0.0005%, pero se caracteriza por ser un compuesto de mucha movilidad, ya que no se lo encuentra en un solo lugar en concentraciones elevadas, por tal motivo se lo encuentra generalmente en bajas concentraciones, lo que provoca que la contaminación se extienda fácilmente. El ciclo del arsénico se ha ampliado de la forma natural por la actividad humana, por el motivo que las industrias que se dedican a producir algunos metales como el cobre o el plomo lo han transportado hacia lugares que antes no se los encontraba. Todo ello sumado a la afinidad que tiene este contaminante para absorberse en plantas y animales, hace que estemos expuestos a encontrarlo en la comida (Lenntech, 2014, p.1).

1.1.3. Problemas de la salud mundial

La organización mundial de salud (OMS) considera al Arsénico como uno de los contaminantes más importantes para la salud, ya que su toxicidad es acumulativa, el cual no tiende a descomponerse en el ambiente encontrándose en la tierra, en rocas volcánicas acumulando el 0,00005 % de la corteza terrestre (OMS, 2018 p.1).

De varios estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición crónica a As se relaciona con una enfermedad en común, conocida como hidro arsenicismo crónico generado por un envenenamiento progresivo que generan varios problemas con la salud cuyos síntomas son hipertensión, deficiencias respiratorias, cardiovasculares, diabetes mellitus, afectos

gastrointestinales y trastornos en el sistema nervioso central, lesiones en la piel entre otras que conducen a otros tipos de cáncer (OMS, 2018 p.2).

1.1.4. Toxicidad del arsénico

La organización mundial de la salud indica que la concentración máxima de arsénico es de 10 ppb, sin embargo, en la naturaleza se lo encuentra en aguas subterráneas en concentraciones mayores, lo que debe ser controlado para el consumo humano. Existen distintas formas en las que se encuentra al arsénico, de las cuales se las puede clasificar en 3 grupos: compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos y gas arsina (ATSDR, 2009, p.2).

Según la ATSDR (2009), la toxicidad de los compuestos que contienen arsénicos varía de acuerdo algunos factores como el estado de oxidación, estado físicos o solubilidad, sin embargo, de manera general se los puede clasificar por su toxicidad de la siguiente manera:

1. Compuestos inorgánicos trivalentes
2. Compuestos orgánicos trivalentes
3. Compuestos inorgánicos pentavalentes
4. Compuestos orgánicos pentavalentes
5. Arsénico elemental

Los compuestos de arsénico inorgánicos con estado de oxidación As (III) son los más tóxicos por su capacidad elevada de adsorción en comparación a los compuestos orgánicos con arsénico que poseen menor capacidad.

1.1.5. Cáscara de cacao

La cascara de cacao es un desecho después de la recolección de la fruta, comúnmente utilizado como abono para el cultivo del mismo fruto, se ha buscado otras alternativas de uso, como materia prima para otros procesos industriales. Se puede considerar como un recurso renovable porque se puede reponer continuamente, ya la parte del cacao que se comercializa son los granos que son de gran importancia para muchos países (Arias et al., 2014, p.4).

La mazorca de cacao como desecho agrícola, presenta contenido celulósico por lo que muestran capacidad de adsorción de metales y otros contaminantes, estos desechos agrícolas estos compuestos principalmente de lignina, celulosa y pueden incluir además otros grupos funcionales polares de la lignina como alcoholes, aldehídos, fenoles y otros grupos. La adsorción sobre estos residuos de cacao se realiza por la donación de un par de electrones a estos grupos funcionales

para formar complejos con los iones metálicos en solución, lo que permite este proceso (Arias et al., 2014, p.5).

Según varios expertos en producción de cacao determinaron que en esta explotación solo se usa el 10 % del peso de la fruta fresca, el 90% corresponde a productos de desecho, como la cascara de cacao que representa el 75% del peso total de las vainas cosechadas, que son tomadas como desechos y que se podrían aprovechar de una mejor manera (Molina et al., 2020, p.8).



Figura 2-1: Mazorca Teobroma Cacao L

Realizado por: Carrillo Anais, 2021.

1.1.6. Biomasa

Este proceso está fundamentado en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta) a través de mecanismos fisicoquímicos; en el caso de metales pesados que se encuentran en disolución acuosa, consiste en la fijación de estos sobre la superficie de una determinada biomasa, esta interacción o unión puede ser como adsorción física, como adsorción química y como intercambio de cationes, que se da entre los iones metálicos y los iones o protones de los grupos funcionales de la superficie de la biomasa (Tejada et al., 2015, p.14).

La aplicación de materiales de bajo costo obtenidos a partir de diferentes biomásas provenientes de la flora microbiana, algas y residuos agroindustriales ha sido investigada para reemplazar el uso de métodos convencionales en la remoción de contaminantes, tales como los metales pesados (Tejada et al., 2015, p.16).



Figura 3-1: Biomasa Teobroma Cacao L

Realizado por: Carrillo Anais, 2021.

1.1.6.1. Activación química biomasa

El proceso de activación química se da debidamente por el interés especial que presenta sobre residuos de biomasa, ya que son materias primas de bajo costo, que además su tratamiento es amigable con el medio ambiente lo que no causa daño (Ospina et al., 2014, p.5).

Para la activación química se basa en la impregnación de sustancias químicas como cloruro de zinc ($ZnCl_2$), ácido fosfórico (H_3PO_4), hidróxido de potasio (KOH) o carbonato de potasio (K_2CO_3) que son los agentes que modifican el proceso de carbonización. En la biomasa se impregna con estas sustancias y se comete a elevadas temperaturas entre $400^\circ C$ y $900^\circ C$ (Ospina, y otros, 2014). Los métodos químicos son los que generan un mayor grado de porosidad en comparación con métodos físicos (Ospina et al., 2014, p.7).

1.2. Adsorción

El fenómeno de la adsorción es una técnica muy versátil utilizada para la eliminación de iones metálicos el cual se produce por la acumulación de partículas de un soluto (adsorbato) adhiriéndose en la superficie de un sólido (adsorbente) mediante fuerzas externas (Sánchez, 2016, p.8).

La adsorción es un método muy amplio que se usa generalmente para el tratamiento de contaminantes disueltos. Diversos residuos agroindustriales han sido investigados como potenciales adsorbentes (Figuroa et al., 2015, p.11).

1.2.1. Causas de la adsorción

La adsorción generada desde una solución a un sólido se da por el resultado de una de las dos propiedades características de un sistema disolvente-soluto-sólido o una combinación de las mismas.

Una de la fuerza impulsora característica de la adsorción puede ser una consecuencia del carácter liofóbico (no tiene afinidad con el disolvente) del soluto en relación al disolvente particular, o una afinidad elevada del soluto por el sólido (Taquichiri, 2006, pp. 27-28).

El grado de solubilidad de una sustancia disuelta es el factor más importante para identificar la intensidad de la primera de las dos fuerzas impulsoras, así también la segunda fuerza impulsora para la adsorción proviene de la afinidad específica del soluto por el sólido (Taquichiri, 2006, p.37).

1.2.2. Tipos de adsorción

Se pueden clasificar en los siguientes tipos de adsorción: Físicos y químicos

1.2.2.1. Adsorción física

La adsorción física o adsorción de “van der Waals”, es un fenómeno fácilmente reversible, siendo el resultado de las fuerzas intermoleculares de atracción entre las moléculas del sólido y las sustancias adsorbidas. Cuando las fuerzas atractivas intermoleculares entre un sólido y un gas son mayores que las existentes entre las moléculas del mismo gas, el gas se condensará sobre la superficie del sólido, aunque su presión sea menor que la presión de vapor que corresponde a la temperatura predominante (García et al., 2012, p.3).

1.2.2.2. Adsorción química

Quimisorción o adsorción activada, es el fenómeno que se produce por la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. La fuerza más importante de unión química puede variar considerablemente y puede suceder que no se formen compuestos químicos en el sentido usual, pero la fuerza de adhesión es generalmente mucho mayor que la observada en la adsorción física. Este proceso es irreversible; en la desorción se descubre que la sustancia original ha sufrido cambio químico (García et al., 2012, p.4).

1.2.3. Relación entre tensión superficial y adsorción

La adsorción es la que permite la extracción del material de una fase y se concentra en la superficie de otra fase, por tanto, se considera un fenómeno superficial. En un líquido puro se tiende a disminuir la energía superficial libre por medio de la tensión superficial, la que es cuantitativamente igual al trabajo que sería necesario para compensar la reducción natural de la energía superficial libre (Tejada, 2015, p.21).

Se entiende que para que un material sea adsorbido tiene que tener la propiedad de ser tensoactivo, ya que cualquier soluto que disminuya la tensión superficial del líquido en que está 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 (Tejada, 2015, p.22).

1.2.4. Modificaciones químicas y físicas de los biomateriales

En algunos residuos lignocelulósicos están conformados por celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina. Al poseer polímeros de cadenas largas ramificadas o lineales, los que se encuentran en las coberturas de las plantas o cáscaras del mismo, siendo uno de los más importantes al momento de realizar la adsorción de los iones metálicos. Se puede afirmar que las biomásas lignocelulósicas son buenas biosorbentes y es necesario conocer los grupos funcionales que estas poseen y su afinidad por los iones metálicos ya que todo el proceso dependerá exclusivamente de la composición (Tejada, 2015, p.32).

Para obtener una mejor capacidad de remoción se puede realizar una modificación química o física de las propiedades que posee la biomasa.

1.3. Cinética de adsorción

En la adsorción, como proceso dependiente del tiempo, es importante conocer su rapidez para el diseño y evaluación de adsorbentes. Para representar los modelos cinéticos de adsorción se emplean dos criterios: la concentración de la solución o la cantidad del adsorbente. Generalmente, los modelos de Lagergren de pseudo primer orden, Ho pseudo segundo orden y Elovich han sido comúnmente usados como modelos simplificados en la dinámica de adsorción (Figuerola, y otros, 2014). El análisis de los datos de adsorción es importante para el desarrollo de ecuaciones de equilibrio y cinética que pueden ser usadas para propósitos de diseño (Figuerola et al., 2015, p.57).

1.4. Modelos Cinéticos

En los modelos cinéticos la velocidad del proceso de biosorción es un factor muy importante para el diseño y control operacional, para su estudio los modelos cinéticos se convierten en una herramienta muy importante que permite describir el comportamiento de todos los metales que son retenidos por un determinado biosorbente (Pinzón y Villamizar, 2009, p.67).

Cabe mencionar que existen cuatro tipos de mecanismos de control de la velocidad: transferencia total externa (o difusión en la película), difusión en los poros, difusión superficial y reacciones químicas intrínsecas (Pinzón y Villamizar, 2009, p.69).

1.4.1. Modelo cinético de pseudo primer orden

La ecuación Langmuir y Freundlich que describe este modelo está basada en la capacidad del sólido, siendo directamente proporcional la concentración y la velocidad de adsorción (Tejada, Villabona y Ruiz, 2015, p.23).

$$\log(qe-qt) = \log qe - (k_1 * t, 303)$$

Donde:

q_e, q_t = Capacidades de adsorción en el equilibrio (mg/g).

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

1.4.2. Modelo cinético de pseudo segundo orden

Según Tejada, Villabona y Ruiz (2015, p. 32) este modelo describe que “la velocidad de reacción depende directamente de la cantidad de iones metálicos en la superficie del sólido y la cantidad de metal adsorbido en el equilibrio”.

Ho & Mckay (1999, p.2) desarrollaron este modelo, en él suponen que el adsorbato se adsorbe en dos sitios activos de la biomasa. Otras investigaciones han reportado un mejor ajuste de los datos experimentales obtenidos a este modelo. En este caso, la ecuación de velocidad de la cinética de adsorción se expresa como:

$$tqt = 1/k_2 qe^2 + tqe$$

(Ec. 2-1)

Donde:

k_2 = Constante de adsorción de pseudo segundo orden $g^{-1}min^{-1}$.

1.5. Isotermas de Adsorción

Una isoterma de adsorción se define como la relación que existe entre la cantidad adsorbida de una sustancia y su concentración en equilibrio, desarrollándose este proceso a temperatura constante (Orihuela, 2015, p.5). También se la define como la relación en equilibrio entre la cantidad de sustancia adsorbida y su concentración a temperatura constante (Trejo, 2013,p.3).

Las isothermas de adsorción se consideran una herramienta de gran ayuda en diseños de sistemas de adsorción, ya que mediante la correlación de datos obtenidos experimentalmente se halla información del equilibrio de adsorción de un sistema en específico, ajustándose a diferentes modelos de isothermas existentes los cuales presentan las mismas variables para la determinación de valores característicos a diferentes concentraciones de adsorción; algunos de los modelos más usados de isothermas de adsorción se detallan a continuación (Figueroa et al., 2015, p.18).

1.5.1. Isotherma de Langmuir

El modelo que desarrollo Langmuir inicialmente representaba la adsorción en un sistema gas-solido, pero se ha venido empleando en gran cantidad para estudios de adsorción de un soluto en fase líquida. (Langmuir, 1916). Este modelo representa un isoterma particular de un proceso de quimisorción (Figueroa et al., 2015, p.18).

Se basa en la hipótesis que todos los centros activos de adsorción son equivalentes y que la capacidad de una molécula para unirse a la superficie es independiente de si hay o no posiciones próximas ocupadas. Además, la adsorción se restringe a una monocapa y no existen interacciones laterales entre las moléculas del adsorbato (Lazo, 2008, p.17).

Este modelo desarrolla la adsorción en monocapa, ya que básicamente la atracción de las moléculas y la superficie del adsorbente se basa en fuerzas físicas y por lo tanto la adsorción ocurre en una cantidad finita y definida en sitios localizados idénticos y equivalentes (Sun-Kou et al., 2014, p.45).

La ecuación que representa el modelo de Langmuir es esta dada por:

$$q = \left(\frac{q_{\max} b c_e}{1 + b c_e} \right)$$

Donde:

q = Cantidad de adsorbato retenido en el adsorbente ($mg \cdot g^{-1}$)

q_{\max} = Capacidad máxima de adsorción

b = Constante de Langmuir ($L \cdot mg^{-1}$)

c_e = Concentración del adsorbato presente en la solución en equilibrio ($mg \cdot L^{-1}$)

En forma lineal la ecuación se representa de la siguiente manera:

$$\frac{c_e}{q} = \frac{1}{bq_{max}} + \frac{c_e}{q_{max}}$$

1.5.2. *Isoterma de Freundlich*

En la que se asume que la superficie del adsorbente es energéticamente heterogénea, conformada por grupos de sitios de adsorción de energías características. También en esta isoterma se considera que no existen interacciones laterales entre las moléculas adsorbidas y que sólo se adsorbe una monocapa (Lazo, 2008, p.87).

El modelo de Freundlich se adapta para la adsorción en multicapas, ya que no hay un límite ni se propone una adsorción monomolecular. Freundlich encontró una relación de tipo exponencial entre la cantidad de soluto adsorbido y su concentración en equilibrio. (Freundlich, 1906).

La siguiente ecuación describe el modelo de la isoterma de Freundlich:

$$q = kCe^{1/n}$$

Donde:

q = Cantidad de soluto removido por unidad de masa de adsorbente ($mg \cdot g^{-1}$)

k = Parámetro de capacidad de adsorción del material

Ce = Concentración de soluto presente en el equilibrio ($mg \cdot L^{-1}$)

n = Constante relacionada con la afinidad entre el adsorbente y el soluto

La ecuación linealizada se representa de la siguiente manera:

$$\log q = \log k + \left(\frac{1}{n}\right) \log c$$

$$y = \log k + \left(\frac{1}{n}\right) x$$

1.6. Equilibrio de adsorción

Los detalles del equilibrio del proceso, generalmente conocidos como isotermas de adsorción, describen el comportamiento de la interacción entre adsorbato-adsorbente y proveen información sobre la capacidad del adsorbente estudiado. Dos modelos: Langmuir y Freundlich; cada uno con

dos constantes características, son estudiados para este sistema de adsorción (Figuroa et al., 2015, p.25).

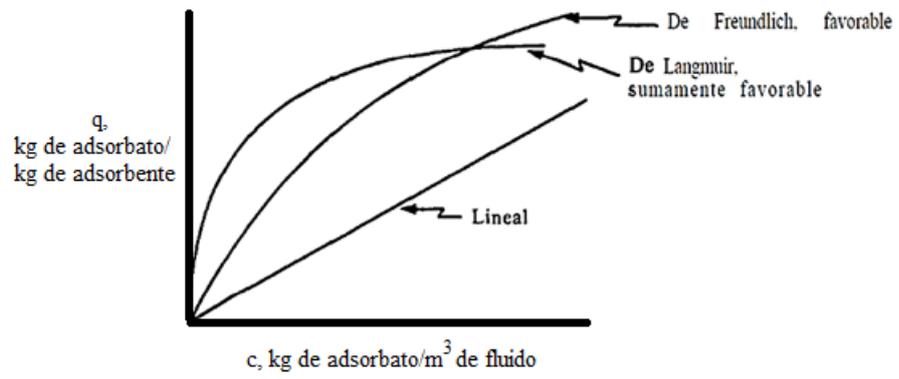


Figura 4-1: Algunos tipos comunes de isothermas de adsorción

Fuente: (Geankoplis, 2006).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Hipótesis y especificación de variables

2.1.1. *Hipótesis General*

Mediante el estudio de determinación de los parámetros cinéticos de adsorción de arsénico sobre residuos de cacao (*Theobroma cacao*) se desea un alto nivel de eficiencia para la remoción de arsénico mediante diluciones.

2.1.2. *Hipótesis específicas*

H1: En el laboratorio a partir de los residuos de cacao se desea obtener biomasa de dos tipos normal y activada químicamente.

H2: En la presente investigación se evaluará las características que presentan los residuos de cacao como material adsorbente para la remoción del arsénico.

H3: Mediante revisión bibliográfica se logrará identificar los parámetros de la cinética de adsorción de arsénico que más se ajusta al estudio mediante isothermas de Freundlich y Lagmuir.

H4: Con la determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en soluciones acuosas mediante isothermas de adsorción, se comprobaría cuan efectivo es el método.

2.2. Identificación de Variables

2.2.1. *Variables Independientes*

- Cantidad de adsorbente
- Tiempo de contacto

2.2.2. *Variables dependientes*

- Capacidad de adsorción
- Concentración final del contaminante

2.3. Matriz de consistencia

Tabla 1-2: Matriz de consistencia

ASPECTOS GENERALES				
PROBLEMA GENERAL		OBJETIVO GENERAL		HIPÓTESIS GENERAL
¿Cómo se determinará los parámetros de la cinética de adsorción de arsénico sobre residuos de cacao (cascarón)?		Estudiar la determinación de parámetros cinéticos de adsorción de arsénico sobre residuos de cacao (Theobroma cacao).		Mediante el estudio de determinación de los parámetros cinéticos de adsorción de arsénico sobre residuos de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) se desea obtener la remoción de arsénico en aguas contaminadas.
ASPECTOS ESPECIFICOS				
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES ESPECÍFICAS	MÉTODO DE ANÁLISIS
¿Cómo se obtendrá la biomasa?	Obtener diferentes muestras de biomasa a partir de los residuos de cacao.	A partir de los residuos de cacao se desea obtener biomasa normal y biomasa activada.	Cantidad de adsorbente (cascara de cacao)	Lavado Trituración Deshidratación Molienda y tamizado
¿Qué características se van a evaluar del material adsorbente?	Evaluar las características de los residuos de cacao como material adsorbente en la remoción del arsénico.	En la presente investigación se evaluará las características que presentan los residuos de cacao como material adsorbente para la remoción del arsénico	Densidad pH Humedad Cenizas Identificar los funcionales	Caracterización físico – química Análisis morfológico Espectroscopia infrarroja FTIR
¿Qué factores permitirán controlar el proceso de	Identificar los parámetros de la cinética de adsorción de	Mediante revisión bibliográfica se logrará identificar los	Cantidad de adsorbente Concentración de arsénico	Espectroscopia de adsorción atómica AA

adsorción de arsénico sobre la cascara de cacao?	arsénico que más se ajusta al estudio mediante isothermas de Freundlich y Langmuir.	parámetros de la cinética de adsorción de arsénico que más se ajusta al estudio mediante isothermas de Freundlich y Langmuir.	Tiempo de contacto Temperatura	
¿Cómo identificar la cinética de adsorción de arsénico sobre la cascara de cacao?	Determinar la capacidad de adsorción de arsénico en soluciones acuosas mediante isothermas de adsorción.	Con la determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en soluciones acuosas mediante isothermas de adsorción, se comprobaría cuan efectivo es el método	Modelo cinético de adsorción	Espectroscopia de adsorción atómica AA

Realizado por: Carrillo, Anais. 2020.

2.4. Tipo y Diseño de Investigación

2.4.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental ya que se pretende obtener biomasa a partir de cascará de cacao y se determinara la capacidad de adsorción que presenta este material para el metal arsénico que es altamente peligroso en aguas contaminadas.

2.4.2. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental ya que obtendrá el acondicionamiento de la cascará de cacao (biomasa) como adsorbente, además se realizará un tratamiento para mejorar la capacidad de adsorción del material mediante la activación química con ácido fosfórico. Permitiendo evaluar las características del material adsorbente, análisis FTIR, estudios de equilibrio, isothermas y cinética de adsorción, una vez obtenido el adsorbente se aplicará en aguas contaminadas de Arsénico para dar el tratamiento adecuado y con el propósito de escoger un modelo que más se ajuste para dar una posible alternativa al problema planteado.

Una vez terminado terminada la experimentación se debe realizar el estudio en aguas contaminadas por soluciones a diferentes concentraciones e identificar el mejor tratamiento.

Tabla 2-2: Diseño de la investigación

MUESTRA	CANTIDAD DE ADSORBENTE		TIEMPO DE CONTACTO
NORMAL	MNT1	MNC1	MNT2
ACTIVADA	MAT1	MAC1	MAT2

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

La investigación se desarrolló a partir de muestras de frutos de cacao que proceden de un mismo origen. Se tomaron en cuenta 2 variables independientes principalmente: cantidad de adsorbente (residuos de cacao) y tiempo de contacto del adsorbente con la solución contaminada. Para llevar a cabo la investigación se midió la capacidad de adsorción de arsénico con respecto al tiempo que posee cada uno de los tipos de biomasa (muestras). En cuanto a la variable cantidad de adsorbente, se midió cómo afecta una mayor masa de biomasa para la adsorción y la influencia de la temperatura en el proceso.

Se realizó los análisis a conveniencia, debido al costo elevado de la realización de análisis con un equipo de espectroscopía de adsorción atómica que son necesarios para verificar con presión las concentraciones de adsorbato en cada una de las alícuotas tomadas para estudiar el proceso de

adsorción de arsénico en residuos de cacao, dicho tipo de espectroscopía es indispensable determinar las bajas concentraciones a las que se encuentran este tipo de contaminantes.

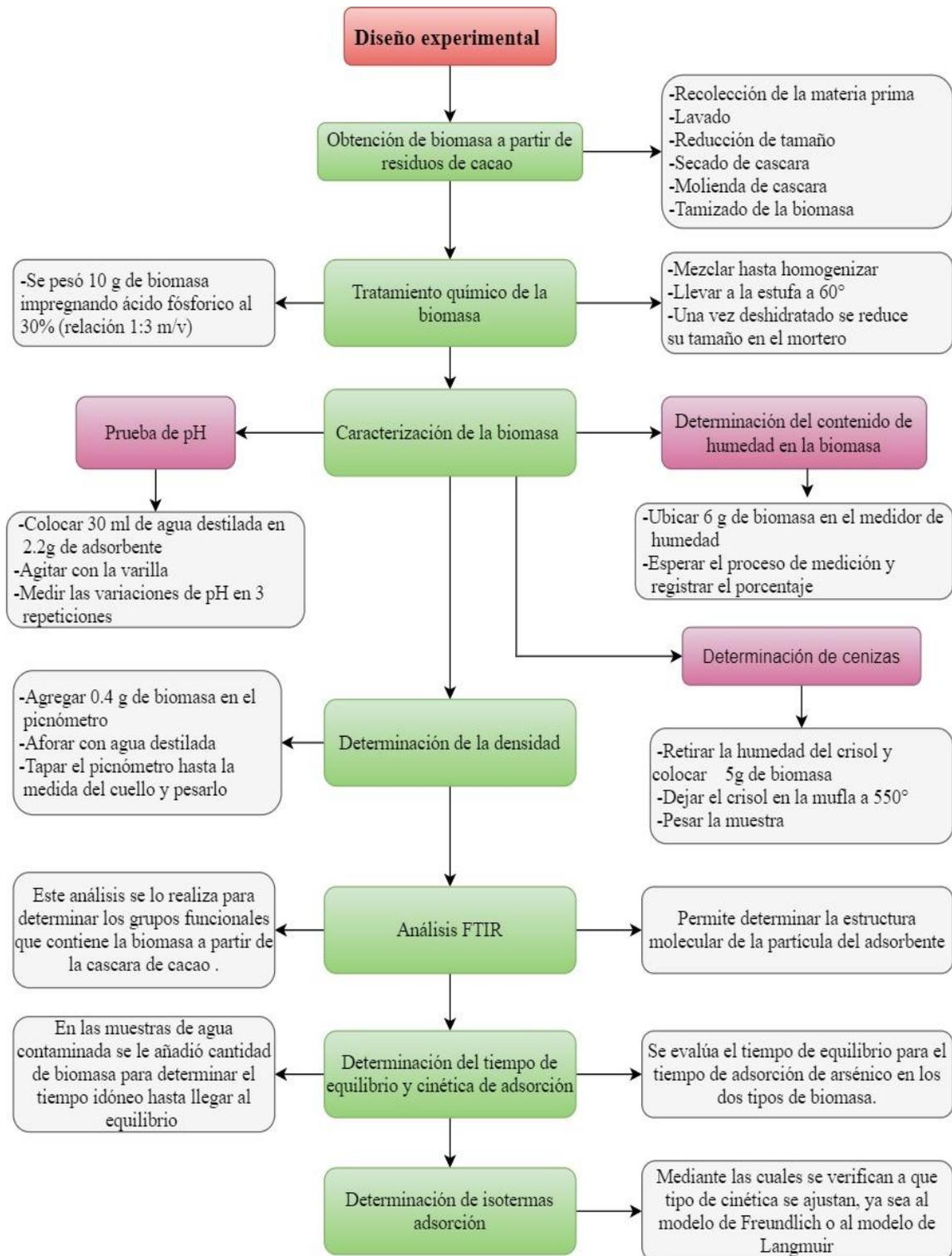


Figura 5-2: Esquema diseño experimental

Fuente: Carrillo, Anais, 2021.

2.4.3. Población de Estudio

La población de estudio considerada para la investigación es la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo compuesta por las instalaciones y la estudiante tesista para la determinación cinética de la adsorción de arsénico sobre los residuos de cacao.

2.4.4. Tamaño de Muestra

El tamaño de la muestra de la investigación se realizará sobre los residuos de cacao al obtener la biomasa en muestras de agua contaminadas por Arsénico siendo el agua el medio de disolución (soluciones acuosas), cuyo adsorbente orgánico cumplirá con su función de eliminar el metal presente.

2.4.5. Selección de muestra

Para la selección de la muestra se determinó el tiempo de equilibrio el cual partió de la muestra madre con una concentración antes analizada para el metal Arsénico, se realizó la adsorción por el tiempo de 5 horas y se analizó cual fue el tiempo de contacto más adecuado para obtener la mayor adsorción durante el proceso. Los datos recolectados para el tiempo de equilibrio serán ajustados a modelos cinéticos adsorción y para las isothermas se tomó como referencia el tiempo de contacto y se ira variando la concentración inicial del contaminante vs la temperatura.

2.5. Técnicas de recolección de datos

2.5.1. Lugar y pruebas de estudio

La parte experimental de este trabajo de integración curricular se llevó a cabo en la facultad de ciencias en los laboratorios de procesos industriales (deshidratación de cascara de cacao); laboratorio de operaciones unitarias (molienda y tamizado); laboratorio de analítica (caracterización de la biomasa); laboratorio de química instrumental (capacidad de adsorción, cinética e isothermas), de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la ciudad de Riobamba en la panamericana sur, km 11 /2 de coordenadas 78°40'20". La materia prima (cascara de cacao) se recolecto de la amazonia ecuatoriana.

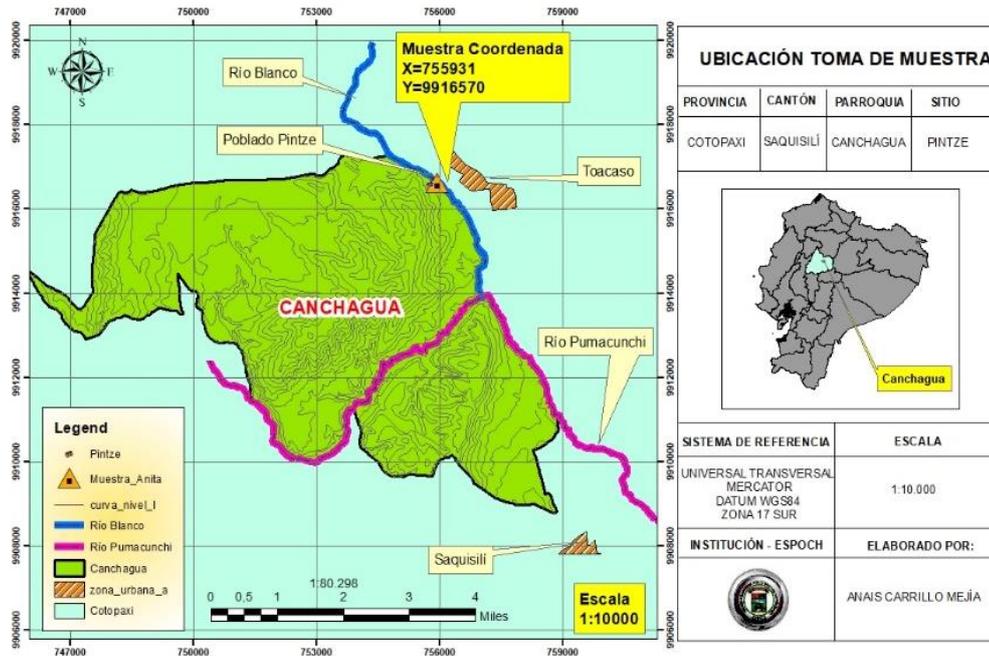


Figura 6-2: Localización geográfica del río

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Las muestras de agua fueron tomadas del río Blanco, ubicado en la parroquia Toacaso en la provincia de Cotopaxi, en el panamericano norte, km 12 de la vía Latacunga- Quito, sector Lasso. Para la recolección de muestras, se tomó en cuenta la norma NTE INEN 2176:2013 referida a las técnicas de muestreo para calidad del agua. Las muestras fueron tomadas en frascos de vidrio ámbar, los cuales fueron rotulados con la localización, fecha y hora; además, se lo transportaron en contenedores fríos para alterar lo mínimo posible para continuar con los análisis posteriores que se requieren, habiéndose realizado el siguiente día al muestreo.

2.6. Metodología Experimental

A continuación, se detalla los procesos que se realizó para la parte experimental, materiales y equipos de este trabajo de integración curricular.

2.6.1. Obtención de biomasa a partir de residuos de cacao

- Se recolecto la materia prima (cascara de cacao) aproximadamente de máximo dos días después de la cosecha porque la descomposición empieza muy rápido y se pierden nutrientes.
- Lavado con agua destilada para eliminar impurezas.
- Reducción de tamaño troceado.

- Secado de la cascara de cacao a 60° en la estufa por un tiempo de 24 horas, hasta la deshidratación.
- Molienda de la cascara de cacao totalmente seca en el molino Thomas
- Con el fin de obtener el tamaño de partícula óptima de biomasa se pasó por un mortero de 90 ml.
- Tamizado de la biomasa obtenida pasando por el tamiz de 250 um para obtener el tamaño requerido.

Tabla 3-2: Materiales y equipos para obtención de biomasa de cascara de cacao (*Theobroma cacao*)

EQUIPOS	MATERIALES
Estufa	Tamices de 250 um
Molino Thomas serie 750108	Balanza
Desecador a 60°	Espátula
	Hacha
	Mortero de 90 ml

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

2.6.2. *Tratamiento químico a la biomasa*

Para la activación química de la biomasa, se realizó el procedimiento como lo describió (Carrasco y Londa).

- Se pesaron 10gr biomasa (cascara de cacao) en una capsula, impregnando de ácido fosfórico al 30% en una relación 1:3 m/v
- Mezclar hasta su homogenización
- Se llevó la muestra a la estufa a 60 ° hasta la deshidratación de la misma por el lapso de 24 horas
- Se retiro de la estufa y se realizó la reducción de tamaño en un mortero de 90ml.
- Se lavo la biomasa con la finalidad de eliminar el material resultante de la activación y después se le dejo secar para eliminar la humedad de la muestra.

Tabla 4-2: Materiales y equipos para el tratamiento químico

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
Estufa a 60°	Capsulas de 100 ml	Ácido fosfórico al 30%
	Pinza para crisol	Agua destilada
	Mortero de 1000 ml	

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

2.6.3. Caracterización de biomasa

2.6.3.1. Prueba de pH

- Colocar 2,2 g de adsorbente en un vaso de precipitación de 50 ml
- Colocar 30 ml de agua destilada
- Agitar con la barrilla de agitación
- Medir variaciones de pH en tres repeticiones

Tabla 5-2: Materiales y equipos variación de pH

EQUIPOS	MATERIALES
Microprocesador pH	1 vaso de precipitación 50 ml
Balanza analítica	3 vasos de precipitación de 10 ml
	Varilla de agitación
	Vidrio reloj
	Piseta
	Espátula
	Probeta de 10 ml
	Agua destilada

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

2.6.4. Determinación del contenido de humedad en biomasa

- Encender la balanza de humedad
- Ubicar el plato para muestras en la balanza, cerrar y tarar.
- Pesar 6 g de biomasa en el medidor de humedad
- Cerrar la balanza y esperar que se el proceso de medición de humedad por el equipo
- Registrar el porcentaje de humedad y retirar la muestra.
- Limpiar, apagar y desconectar el equipo

Tabla 6-2: Materiales y equipos contenido de humedad

EQUIPOS	MATERIALES
Balanza de humedad	Muestras para analizar
	Espátula

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

2.6.5. Determinación de cenizas

- Retirar la humedad del crisol mediante una estufa por 1 hora
- Pesar el crisol vacío
- Colocar 5 gramos de biomasa en el crisol
- Dejar el crisol en la mufla a 550° por 24 horas hasta que se convierta en cenizas
- Pesar el crisol con la muestra

Según la norma ASTM D-1762 la fórmula para determinar el porcentaje de cenizas es:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{\text{peso de ceniza (gr)}}{\text{peso de muestra seca (gr)}} * 100$$

Tabla 7-2: Materiales y equipos contenido de cenizas

EQUIPOS	MATERIALES
Mufla a 550°	Muestras para analizar
	crisol
	Pinza para crisol

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

2.6.6. Determinación de densidad

- Pesar el picnómetro vacío
- Agregar 0,4 g de biomasa en el picnómetro
- Aforar con agua destilada hasta el cuello de picnómetro
- Tapar el picnómetro hasta la medida del cuello
- pesar el picnómetro lleno

Tabla 8-2: Materiales para la determinación de densidad

Materiales
Picnómetro de 10 ml
Embudo pequeño
Piseta

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

2.7. Análisis de FTIR

Este análisis de espectrofotometría infrarroja (FTIR) se lo realiza para determinar los grupos funcionales que contiene la biomasa a partir de cascara de cacao y además permite determinar la estructura molecular de la partícula del adsorbente.

Se debe analizar el espectro fotograma que se obtenga de los adsorbentes a analizar.

Tabla 9-2: Método para determinar el espectro FTIR de la biomasa

EQUIPOS	MATERIALES
Espectrofotómetro Infrarrojo FTIR	Muestra de biomasa
Pipeta Pasteur	Alcohol antiséptico
Algodón	
PROCEDIMIENTO	
<ul style="list-style-type: none">➤ Encender el equipo presionando el switch Power.➤ Para iniciar el barrido, ejecutar el software Spectra Manager en el ordenador conectado al equipo.➤ Limpiar con algodón y alcohol el área de muestra (Cristal de seleniuro de zinc, soporte y capuchón de tornillo) ubicada en la parte interior central del equipo.➤ Realizar el Background al verificar la ausencia de sustancia en el área de muestra, cerrar la tapa del equipo y presionar el botón Start ubicado en la parte frontal.	
<ul style="list-style-type: none">➤ Realizar el barrido espectral colocando la muestra sobre el cristal del área de muestra, quitar el seguro ubicado en la parte posterior, jalar hacia adelante el tornillo de ajuste, ajustarlo hasta que muestre fricción, cerrar la tapa y pulsar Start.➤ Procesar el espectro utilizando el programa Spectra Analysis, corregir las escalas seleccionando y eliminar el CO₂.➤ Identificar y etiquetar los picos más relevantes asignando límites de lectura.➤ Generar las líneas auxiliares.➤ Guardar el espectro como un archivo del mismo programa o en un procesador de texto Word.➤ Repetir los mismos pasos para todas las muestras.➤ Finalmente cerrar todos los programas y apagar el equipo de ambos switches, apagar el ordenador y desconectar los equipos.	

Fuente: Manual de operación de Espectrofotómetro Infrarrojo FT-IR del laboratorio de Química instrumental, ESPOCH.

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

2.8. Determinación del tiempo de equilibrio y cinética de adsorción

2.8.1. Tiempo de equilibrio y cinética de adsorción

En las muestras de agua contaminadas se le añadió la cantidad de biomasa para determinar el tiempo idóneo al que llega al equilibrio.

- Una vez obtenida las muestras de agua se le realizo el análisis para determinar la presencia de arsénico, obteniendo así la muestra a trabajar con una concentración de 414,1878 ppb de contaminación de As.
- Se colocó en un vaso de precipitación de volumen de 400 ml para iniciar con la adsorción.
- Se añadió 0.50 g de biomasa por cada 100 ml de aguas contaminada.
- La solución con el material adsorbente se sometió a una agitación constante por 5 horas de los cuales se fueron tomando alícuotas a los tiempos designados.
- Se filtraron las alícuotas tomadas y se aforaron a 50 ml.
- Para medir las muestras se tomaron 16 ml de la muestra obtenida.
- Se añadió a las muestras 2 ml de solución reductora (ácido L ascórbico y yoduro de potasio al 10 %) y 2 ml de ácido clorhídrico para la conservación de las muestras.
- Con el equipo de adsorción atómica se realizó la lectura de la concentración inicial y final de cada tratamiento.
- Se grafica la concentración vs el tiempo y se determina el tiempo de equilibrio en que más se logró adsorber la mayor cantidad de arsénico.
- Para la cinética de adsorción se ajustaron los datos a los modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden.

2.9. Determinación de Isotermas de adsorción

- A partir de la solución madre de agua contaminada con una concentración inicial de 414,1878 ug/L, se prepararon muestras de 200,250, 300,350, 400 ppb de As.
- Se le añadió la biomasa de cascara de cacao y se le dejo en agitación por el tiempo de equilibrio, a temperatura de 30 °C.
- Después de haber cumplido el tiempo de agitación en el hacker, se filtraron las soluciones acuosas.
- Se tomo 16 ml de la muestra obtenida, se le añadió 2 ml de solución reductora, 2 ml de ácido clorhídrico para su conservación de la muestra.

- Se agito y se le dejo en reposo por unos minutos hasta su lectura.
- Se llevo al equipo de adsorción atómica para su lectura, detectando la longitud de onda de 100 mm, como flujo de gas se utilizó el gas acetileno y el óxido de nitroso.
- Se repitió el procedimiento con la otra biomasa activada y a temperatura 60 °.

Tabla 10-2: Isotermas y capacidad de adsorción de arsénico en soluciones acuosas.

EQUIPOS	MATERIALES
Espectrofotómetro FTIR	Vaso de precipitación 50 ml
Microprocesador pH 211	Vaso de precipitación de 10 ml
Medidor de humedad PMC 50	Varilla de agitación
Balanza analítica EXPLORER	Vidrio reloj
	5 balón de aforo de 100 ml
	Piseta
	Picnómetro
	Espátula
	Probetas de 1 y 10 ml
	Agua ultra pura

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1. Obtención de muestras de biomasa de residuos de cacao

3.1.1. Caracterización fisicoquímica de la cáscara de cacao

En la investigación realizada por Vivanco et al. (2017), se presentan los siguientes datos de la caracterización fisicoquímica de la cáscara de cacao de la variedad nacional conocida comúnmente como “cacao arriba”, la misma variedad con la cual se lleva a cabo esta investigación.

Tabla 11-3: Parámetros fisicoquímicos cáscara de cacao

Parámetro	Valor (%)
Humedad	8,74
Cenizas	5,14
Fibra dietética	41,96
Grasa	2,25
Proteínas	8,75
Carbohidratos	35,24
Acidez	0,14

Fuente: (Vivanco Carpio, Matute Castro y Campo Fernández 2018)

Realizado por: Carrillo, Anaís, 2021.

3.1.2. Biomasa normal

La biomasa se obtuvo de una misma fuente (residuos) procedente de la ciudad de lago agrario provincia de sucumbíos, la misma que se lavó en 3 ocasiones consecutivas con agua destilada para eliminar las impurezas adheridas a la superficie. Posteriormente, se trituró de forma manual y se envió a la estufa a una temperatura de 60°C por 24 horas consecutivas hasta alcanzar su estabilización. A continuación, se molió hasta alcanzar un tamaño de partícula de 250 μm , lo que le brindó un aspecto de harina. El tamaño fue elegido por revisión bibliográfica, como indica García et al. (2015) en su investigación verifica que a menor tamaño de partícula para el bioadsorbente utilizado se incrementa el área superficial. A partir de este punto se dividió la biomasa en dos partes en las cuales la primera no obtuvo ningún otro proceso y únicamente fue almacenada.

3.1.3. *Biomasa activada*

En cuanto a la mitad restante de la biomasa, se procedió a tratarla con una solución de ácido fosfórico al 30%, por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 60°C, para conseguir que la superficie adquiriera una estructura distinta a la biomasa normal, es decir, la adición de grupos funcionales con mayor afinidad para capturar el Arsénico. De este modo el agente activante penetra a lo largo de la superficie de la biomasa. Posteriormente, se realiza un lavado la biomasa para eliminar el ácido fosfórico residual, de este modo se aumenta el área superficial con la capacidad de adherir arsénico.

3.2. Caracterización fisicoquímica de las biomosas

3.2.1. *Humedad*

La medición de la humedad se la llevó a cabo a través de la balanza de humedad. Se midió este parámetro de las biomosas después de haber atravesado todos los procesos que se requiere para estar a punto para la adsorción de arsénico.

Tabla 12-3: Porcentajes de humedad de las biomosas

Muestra	Porcentaje de humedad (%)
Biomasa normal	4,296
Biomasa activada	5,537

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Se nota una ligera diferencia en los porcentajes de humedad que se la atribuye al efecto de esponja que se produjo en la biomasa activada con ácido fosfórico, lo que retiene la humedad contener dicho ácido en el interior de la partícula.

3.2.2. *Prueba de pH*

Se desarrolló una prueba de pH de las dos muestras de biomasa para determinar si las partículas activadas de cacao retuvieron parte de la solución de ácido fosfórico en su interior, a pesar de haberse llevado a cabo los lavados con agua destilada para su eliminación, dando lugar a los siguientes resultados:

Tabla 13-3: Prueba de pH

Muestra	Repetición 1 (pH)	Repetición 2 (pH)	Repetición 3 (pH)
Biomasa normal	5,44	5,53	5,4
Biomasa activada	1,54	1,56	1,55

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Los resultados indican que las partículas de biomasa normal al no ser tratadas con ningún compuesto tienen un carácter con tendencia ácido, sin embargo, se puede notar que la biomasa activa retuvo una cantidad significativa de ácido fosfórico por la notoria tendencia hacia el lado ácido de la escala que llega valores que solo se consigue con ácidos fuertes, además, incluido la propia activación de la biomasa que le brinda estas características.

3.2.3. Ceniza

En cuanto a la determinación de cenizas, se calcinó las muestras a una temperatura de 550°C por 24 horas al mismo tiempo las dos muestras, posteriormente se determinó de gravimétricamente los porcentajes de cada uno.

Tabla 14-3: Porcentaje de cenizas

Muestra	Cenizas (%)
Biomasa normal	8,04
Biomasa activada	12,72

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

3.2.4. Densidad

La densidad de las muestras se las determinó con la ayuda de un picnómetro y una balanza analítica que arrojaron los siguientes datos.

Tabla 15-3: Densidad de las biomosas

Muestra	Densidad g/cm ³
Biomasa normal	1,09
Biomasa activada	1,64

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Se puede notar una mayor densidad de la biomasa activada que corresponde a la mayor humedad y porcentaje de cenizas que permite aglomerarse de forma más compacta en comparación a la biomasa normal.

3.2.5. Análisis FTIR de las biomosas

Analizadas los dos tipos de biomasa, se obtuvo los espectros IR que se muestran a continuación, donde se puede notar similitudes en las señales arrojadas por cada una de las muestras.

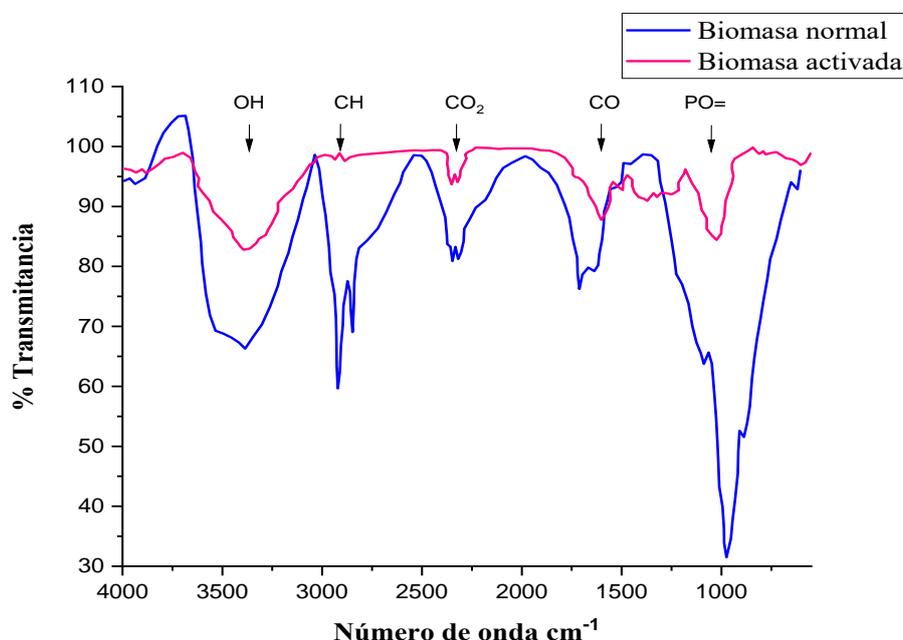


Gráfico 1-3: Resultado análisis FTIR de las biomosas

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

La primera que se encuentra a los 3400 cm^{-1} en adelante se produce por el enlace oxígeno-hidrógeno de las moléculas del agua que aún se encuentran contenidas como parte de la humedad ligada de la biomasa. La señal que se encuentra alrededor de los 2800 cm^{-1} se asemeja a la que produce el enlace carbono-hidrógeno que generalmente se encuentra en todos los compuestos orgánicos.

La banda que se encuentra a los 2350 cm^{-1} en las muestras se la atribuye a la señal propia de la molécula de CO_2 que no debe haber sido eliminada de forma correcta antes del análisis, es decir que este grupo funcional no se incluye como parte integral de las biomosas.

Por otro lado, se encuentra la señal ubicada alrededor de los 1600 cm^{-1} que es característica de los dobles enlaces correspondientes a los que unen dos carbonos como en los alquenos, así como, al doble enlace entre la molécula de carbono y oxígeno del CO_2 . Finalmente, se encuentra la señal atribuida al enlace oxígeno-fósforo que tiene lugar entre los 900 y 1000 cm^{-1} .

En la investigación realizada por Sanchez (2018, pp. 29), se analiza el espectro infrarrojo de cacao procedente de la ciudad de Machala, existe similitudes considerables para los picos producidos por el agua y posteriormente desde los 1600 cm^{-1} hasta los 400 cm^{-1} , donde existen los mismos

picos. La diferencia entre ellos es la señal producida por el CO₂ que presumiblemente se coló en al momento de realizar los análisis.

3.3. Caracterización morfológica y elemental de la bio masa

3.3.1. Análisis SEM

La microscopía electrónica de barrido o análisis SEM se lo realiza con el fin de verificar las condiciones en las que se encuentra las muestras analizadas en este caso de la biomasa normal y la activada con ácido fosfórico. A continuación, se muestran las imágenes resultantes para cada uno de los casos.

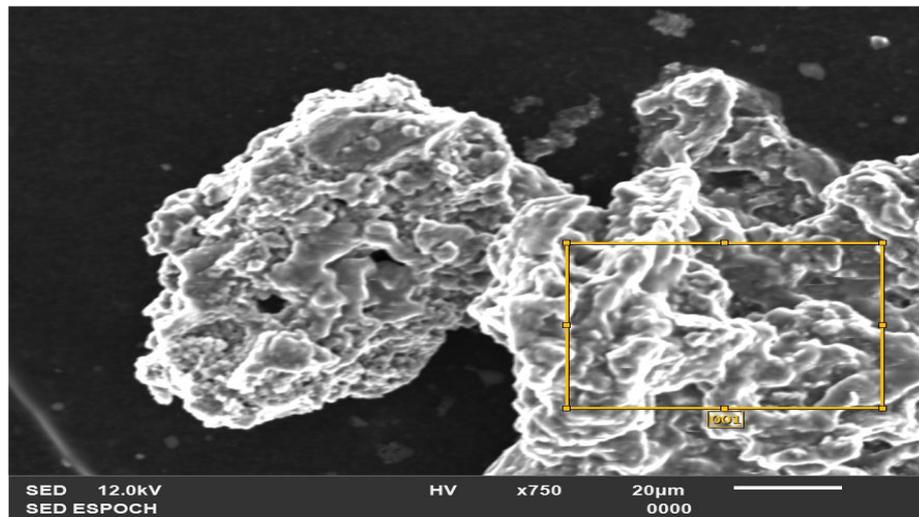


Figura 7-3: Análisis SEM biomasa normal

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

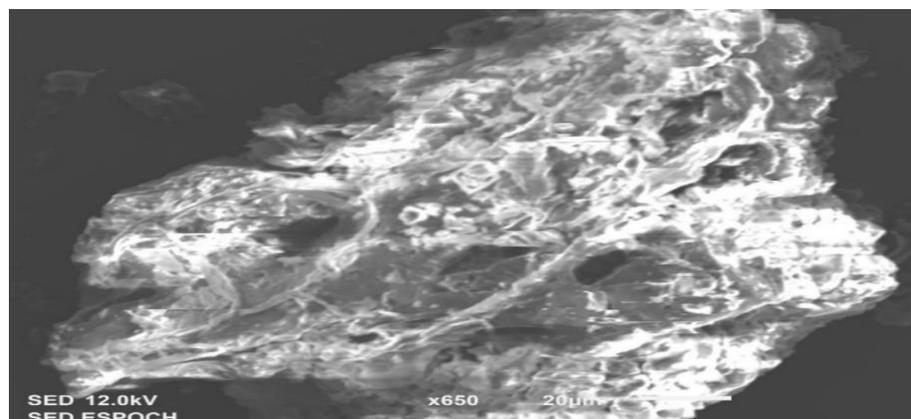


Figura 8-3: Análisis SEM biomasa activada

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Las figuras 1-3 (biomasa normal) y 2-3 (biomasa activa) resultan del mencionado análisis que indica que la biomasa activa tiene un área superficial menor a la biomasa normal, ya que la porosidad es mayor en el primer caso. Las fisuras de la biomasa normal se notan mucho más pronunciadas en comparación a la biomasa activa que no se distingue con claridad. Una biomasa con una mayor cantidad de fisuras tiene la capacidad de acoger en la superficie a una mayor cantidad de contaminantes, de modo que se verifica que la biomasa normal tiene mejores características para conseguir el objetivo de eliminar mayor cantidad de arsénico.

3.3.2. *Análisis elemental de las biomosas*

Como un adicional, el análisis SEM indica la composición elemental de las muestras analizadas, como se muestra a continuación en la tabla.

Tabla 16-3: Análisis elemental de los dos tipos de biomasa

Muestra	Carbono	Oxígeno	Fósforo
Biomasa normal	35,13	61,62	3,25
Biomasa activada	32,6	57,13	10,21

Realizado por: Carrillo, Anaís, 2021.

Como se puede notar, existe una mayor cantidad de fósforo en la muestra de biomasa activa, ya que fue tratado con ácido fosfórico, además por la acidez que tiene esta, se presume que no se ha podido eliminar el ácido fosfórico restante que no participó en la activación.

3.4. Determinación de la cinética de adsorción

3.4.1. *Tiempo de equilibrio*

Se evaluó el tiempo de equilibrio para la adsorción de arsénico en los dos tipos de biomosas, tomando muestras en los tiempos que se indica en la tabla que se presenta a continuación. La muestra inicial utilizada fue el agua procedente del río Blanco, ubicado en la provincia de Cotopaxi, con una concentración de 414,1878 μg de As/L. Para constatar la capacidad del adsorbente se tomó varias muestras que fueron analizadas

Tabla 17-3: Datos de adsorción de Arsénico con respecto al tiempo

Tiempo (min)	Biomasa normal (μg de As /L)	Biomasa activada (μg de As/L)
0	414,1878	414,1878

5	400,9008	370,4136
15	398,835	359,9585
25	359,4031	336,1600
40	349,1757	335,1367
60	326,766	325,8812
120	298,1806	324,6825
180	281,5718	320,8234
240	267,6573	314,0504
300	254,8128	313,4847

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

A continuación, se presenta las gráficas resultantes de la capacidad de adsorción de los dos tipos de adsorbentes con respecto al tiempo, donde la primera figura indica la variación de arsénico adsorbido en la biomasa normal, en ella se aprecia que la concentración de la solución madre que inicia con 414,18 μg de As/L y a medida que transcurre el tiempo decrece hasta estabilizarse a una concentración alrededor de 40% menor a la inicial, que se produce por la acción de la biomasa.

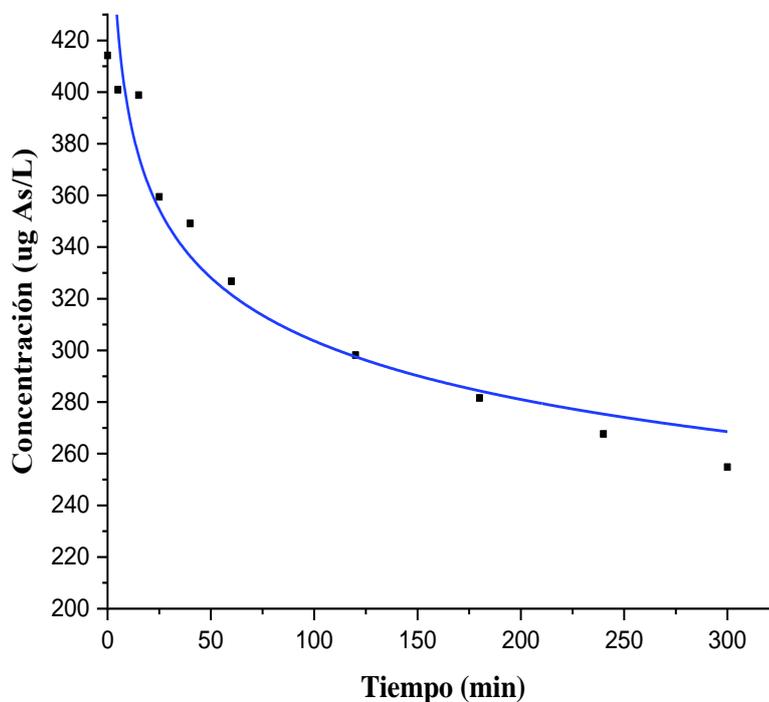


Gráfico 2-3: Capacidad de adsorción de As con respecto al tiempo para biomasa normal

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Por otro lado, la figura siguiente indica la variación de la concentración de arsénico de la solución madre con respecto al tiempo, que va decreciendo por la acción de la biomasa activada con ácido fosfórico que ha inicia desde 414,18 μg de As/L hasta 313,48 μg de As/L, lo que representa alrededor de un 25% de eliminación del contaminante.

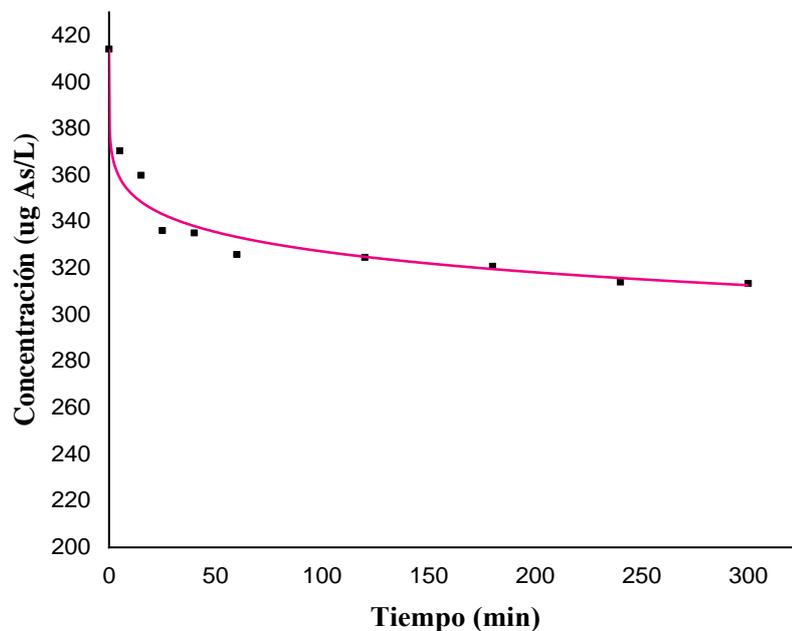


Gráfico 3-3: Capacidad de adsorción de As con respecto al tiempo para biomasa activada

Realizado por: Carrillo Anais, 2021.

En la comparación entre la capacidad de adsorción de la biomasa normal y la biomasa activa se nota que existe una gran diferencia, donde la biomasa normal tiene mayor capacidad para eliminar el Arsénico, con un 15% más que la biomasa activada. Por los motivos expuestos anteriormente, se continúa la investigación de la cinética de adsorción solo con la biomasa normal por su mejor capacidad de adsorción de arsénico en comparación a la biomasa tratada con ácido fosfórico.

3.4.2. Determinación de la cinética

Se evaluaron los datos obtenidos a través de la espectroscopía de absorción atómica para la biomasa normal y la biomasa activada con los modelos matemáticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden que determina a cuál de ellos pertenece.

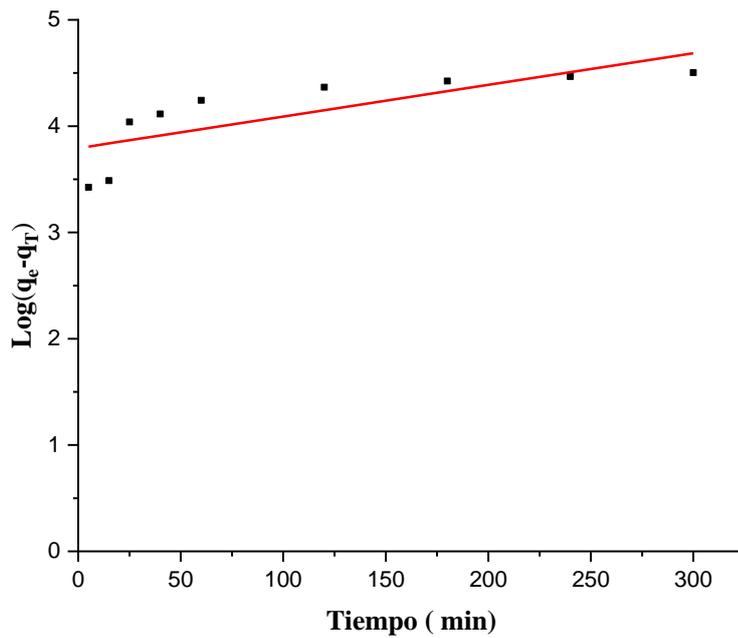


Gráfico 4-3: Biomasa normal Pseudo-Primer orden }

Realizado por: Carrillo Anais, 2021.

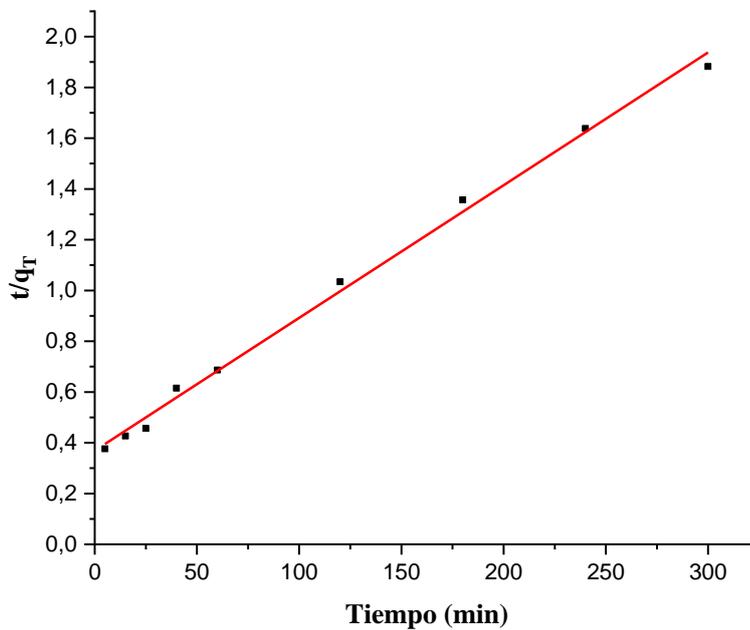


Gráfico 5-3: Biomasa normal Pseudo-Segundo orden

Realizado por: Carrillo Anais, 2021.

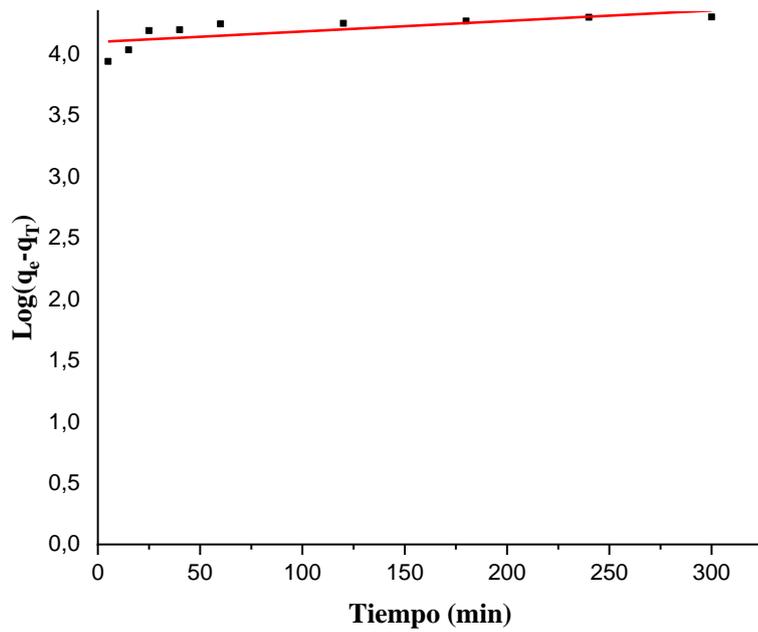


Gráfico 6-3: Biomasa activada Pseudo-Primer orden

Realizado por: Carrillo Anais, 2021.

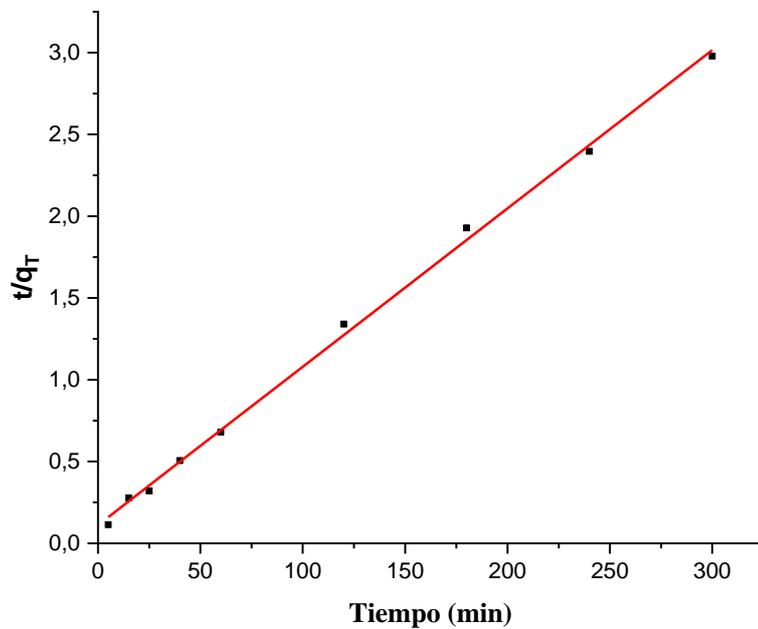


Gráfico 7-3: Biomasa activada Pseudo-Segundo orden

Realizado por: Carrillo Anais, 2021.

Las figuras presentadas anteriormente muestran la relación de los puntos con respecto a la línea de tendencia, donde se puede verificar que ambos tipos de biomazas, la adsorción está regida por un modelo cinéticos de pseudo segundo orden que se comprueba a través del valor de R^2 que es más elevado en estos casos para el mencionado modelo. Obteniendo un R^2 de 0,99508 y K de 0,000074046 para la biomasa normal mientras que para la biomasa activada se obtuvo un R^2 de 0,99782 y K de 0,00083747 ajustándose perfectamente a la unidad. Demostrando que el mejor ajuste es el modelo cinético pseudo segundo orden para las dos biomazas.

3.5. Ajuste a las isotermas de adsorción

Los datos presentados en la tabla a continuación han sido extraídos de los análisis de espectrometría de absorción atómica (EAA), donde se varía las concentraciones de la disolución de arsénico para verificar como actúa la biomasa normal con respecto a la cinética del proceso de adsorción de arsénico a diferentes temperaturas.

Como primer paso se presentan las isotermas resultantes de las pruebas realizadas a 30° C y 60° C, de las cuales se verificarán a qué tipo de cinética se ajustan, ya sea al modelo de Freundlich o al modelo de Langmuir. Para conseguirlo, se evalúa las gráficas de C vs q, donde “q” es la masa de arsénico adsorbido sobre la masa de adsorbente que en este caso es la biomasa de cáscara de cacao; y “C” es la concentración de arsénico resultante de la solución madre que se toma después de haber aplicado el adsorbente para eliminar parte del contaminante.

Tabla 18-3: Datos de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30° C

C (ug As/L)	q (ug de As/g de biomasa)
0	0
103,0031	0,779876
178,6136	0,925456
226,9415	1,22234
263,9415	2,44234
275,2941	4,388236

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

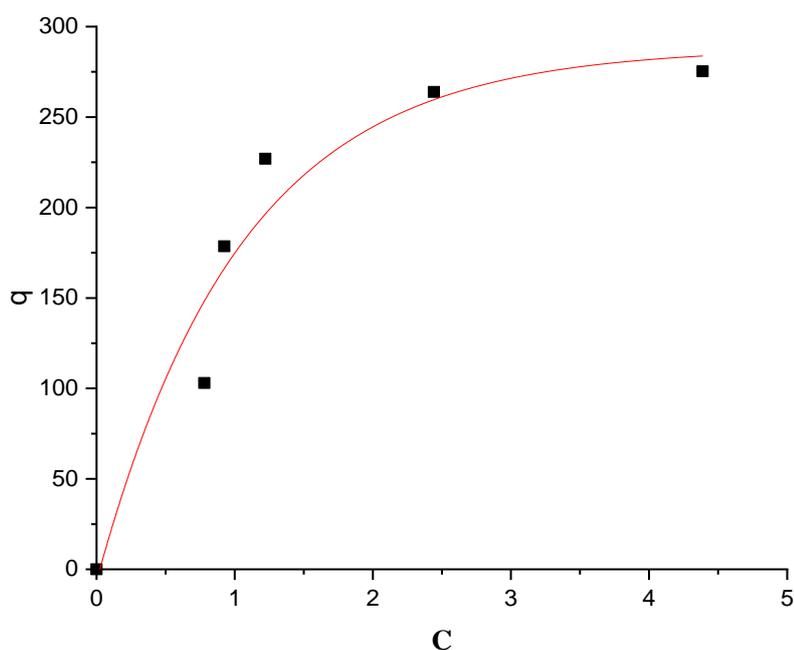


Gráfico 8-3: Isoterma de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30 °C

Realizado por: Carrillo Anais, 2021.

La particularidad de las cinéticas de adsorción se da en su gráfica que adquiere una forma de función logarítmica, donde los valores ascienden rápidamente hasta estabilizarse a un valor que no varía en cantidades significativas con el tiempo. Por este motivo, para describirlos matemáticamente se verifica a cuál de los modelos se ajustan estadísticamente con la linealización de la curva y la prueba r^2 que se comparará para determinarlo.

Tabla 19-3: Datos de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60° C

C	q
0	0
150,2744	0,989024
209,9609	1,801564
253,9570	2,64172
277,9203	2,883188
296,3218	4,147128

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

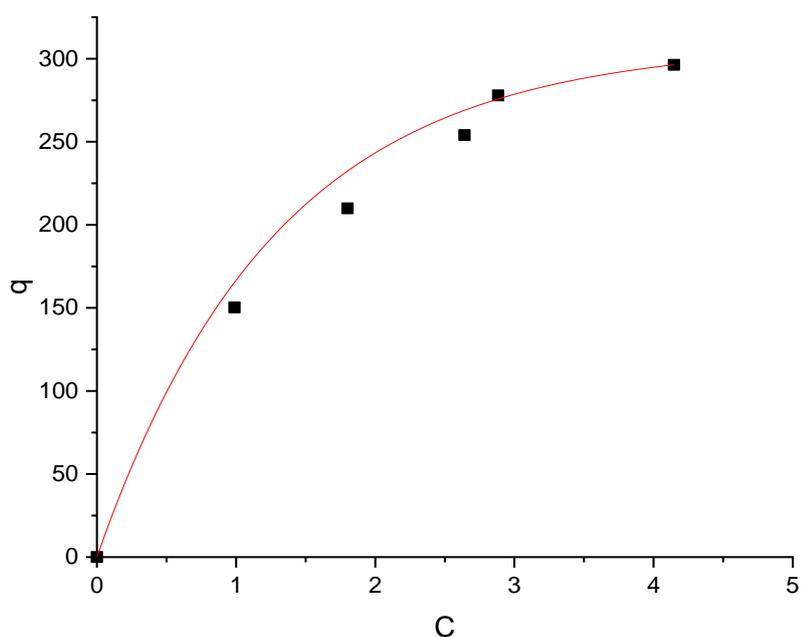


Gráfico 9-3: Isoterma de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60 °C

Realizado por: Carrillo Anais, 2021.

3.5.1. Ajuste de la isoterma al modelo de Langmuir

No existe un orden establecido de verificación del ajuste, sin embargo, se inicia en este trabajo con el modelo propuesto por Langmuir, donde se hace una regresión lineal y la prueba de r^2 de los recíprocos de “C” y “q”, que son la forma requerida para ajustarla a esta primera isoterma.

Tabla 20-3: Datos para isoterma de Langmuir de biomasa a 30° C

1/C	1/q
0,00970845	1,28225513
0,00559868	0,98054840
0,00440642	0,81810298
0,00378872	0,7094434
0,00263248	0,627882

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

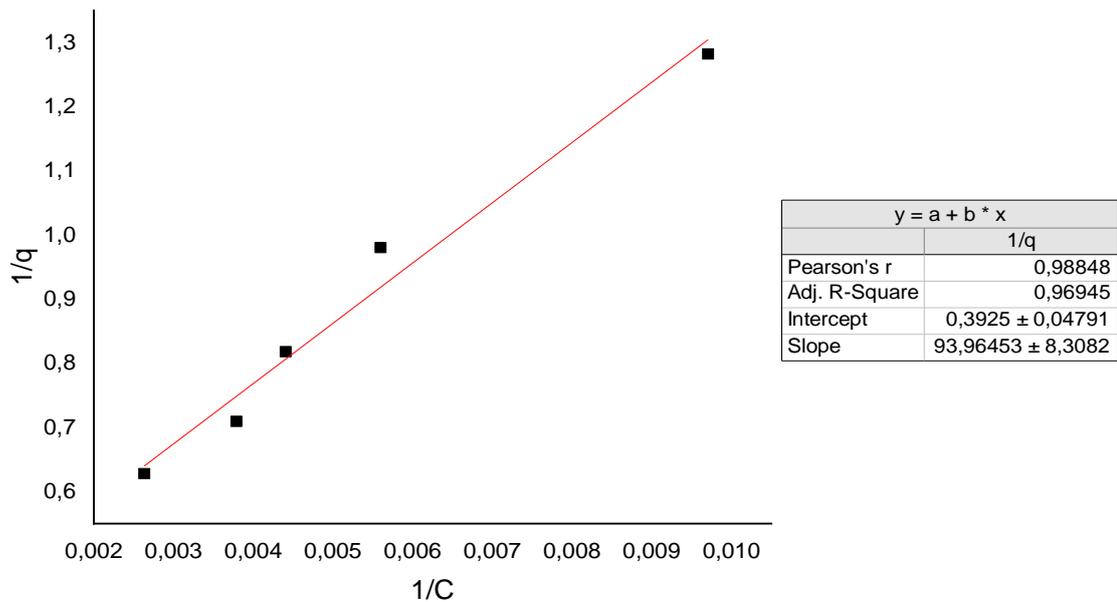


Gráfico 10-3: Isoterma de Langmuir de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30° C

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

La dispersión de los puntos con respecto a la línea de tendencia se verifica por la prueba de Pearson de R^2 con un valor de 0,96945 donde se demuestra que existe coincidencia con la línea, lo que implica que este ajuste satisface el modelamiento matemático de la cinética de adsorción de la biomasa a 30° C.

Tabla 21-3: Parámetros de Langmuir de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30° C

Valor de R^2	Pendiente (K/q_0)	Intercepto ($1/q_0$)
0,96945	93,96453	0,3925

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Se realiza el mismo procedimiento para la biomasa a 60° C para verificar el ajuste al modelo de Langmuir, como se expone a continuación.

Tabla 22-3: Datos para isoterma de Langmuir de biomasa a 60° C

1/C	1/q
0,00665449	1,01109781
0,00476279	0,55507326
0,00393767	0,37854125
0,00359815	0,34683829
0,00337471	0,24113073

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

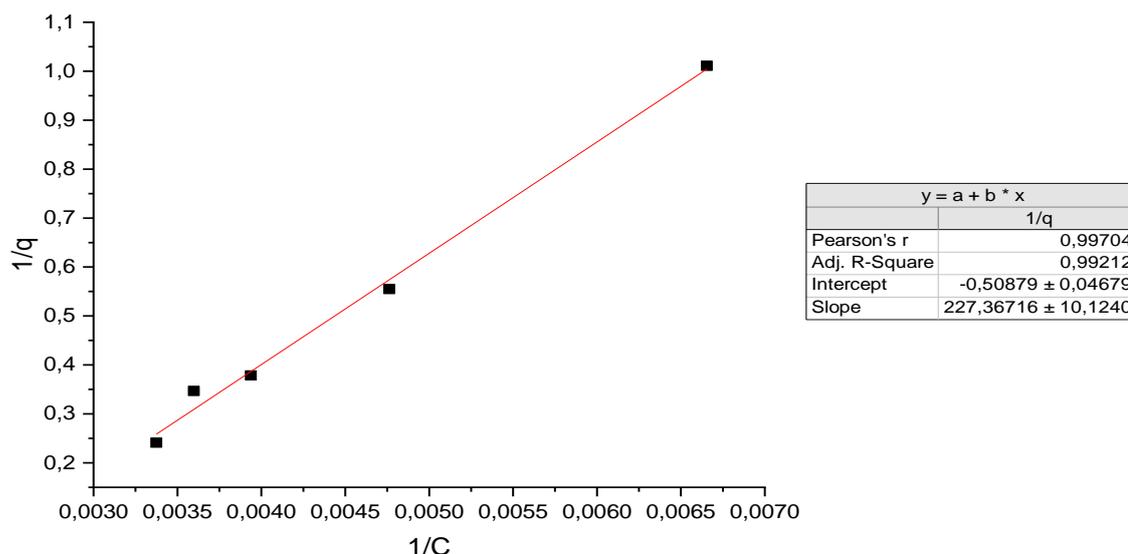


Gráfico 11-3: Isoterma de Langmuir de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60° C

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Como se puede observar en la gráfica, la dispersión de los puntos es mínima con respecto a la línea de tendencia y corroborado por la prueba de R^2 que es el valor de 0,99212 muy cercano a la unidad, se nota un ajuste óptimo para este modelo cinético de Langmuir de la biomasa a una temperatura de 60° C.

Tabla 23-3: Parámetros de Langmuir de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60° C

Valor de R^2	Pendiente (K/q_0)	Intercepto ($1/q_0$)
0,99212	227,36716	-0,50879

Realizado por: Carrillo Anais, 2021.

3.5.2. Ajuste de la isoterma al modelo de Freundlich

Siguiendo la misma línea se procede a analizar los resultados de los análisis con respecto al modelo de Freundlich, donde es necesario expresarlo en forma de logaritmos de “C” y “q” para poder evaluarla. Se inicia con la biomasa a 30° C que tiene los siguientes datos.

Tabla 24-3: Datos para isoterma de Freundlich de biomasa a 30° C

log (C)	log (q)
2,0128503	-0,10797444
2,25191452	-0,03364422
2,35591392	0,08719202

2,42150768	0,38780612
2,4397969	0,64228998

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

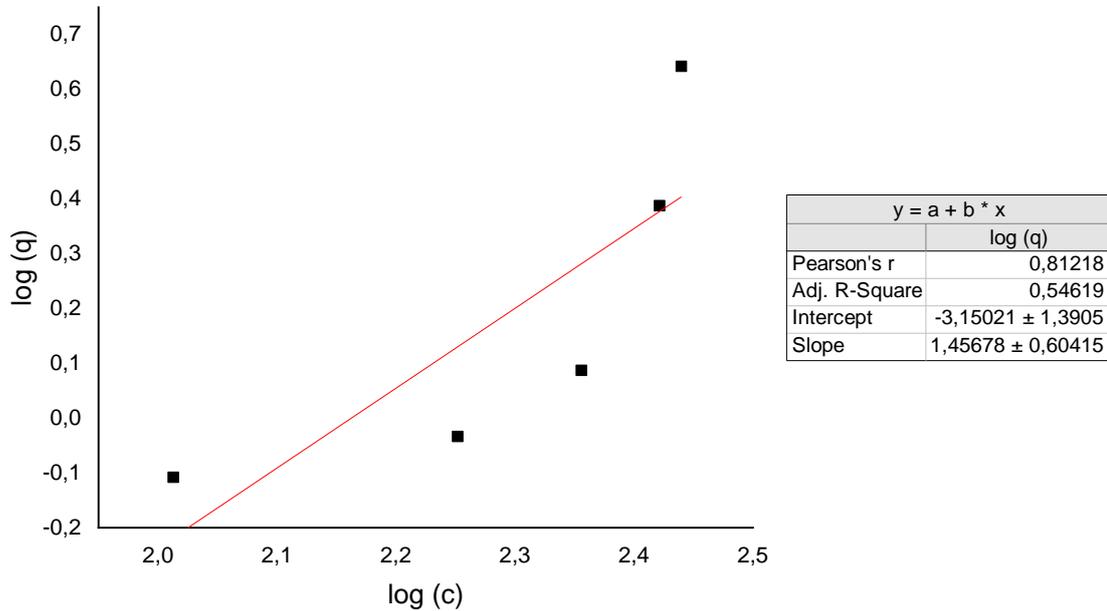


Gráfico 12-3: Isoterma de Freundlich de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30° C

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Una vez analizada la dispersión de los puntos con respecto a la línea de tendencia, se verifica que existe poca coincidencia, el valor de R^2 que es 0,54619 implica que este modelo no ha satisfecho el modelamiento matemático de la cinética de adsorción de la biomasa a una temperatura de 30° C.

Tabla 25-3: Parámetros de Freundlich de adsorción de arsénico sobre biomasa a 30° C

Valor de R^2	Pendiente (1/n)	Intercepto (log(K))
0,54619	1,45678	-3,15021

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Finalmente, se evalúa los datos para la biomasa a una temperatura de 60° C, donde se ha encontrado lo siguiente.

Tabla 26-3: Datos para isoterma de Freundlich de biomasa a 60° C

log (c)	log (q)
-2,176885	0,00479317
-2,32213843	-0,25564969

-2,40476019	-0,42188678
-2,44392027	-0,45987296
-2,4717636	-0,61774744

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

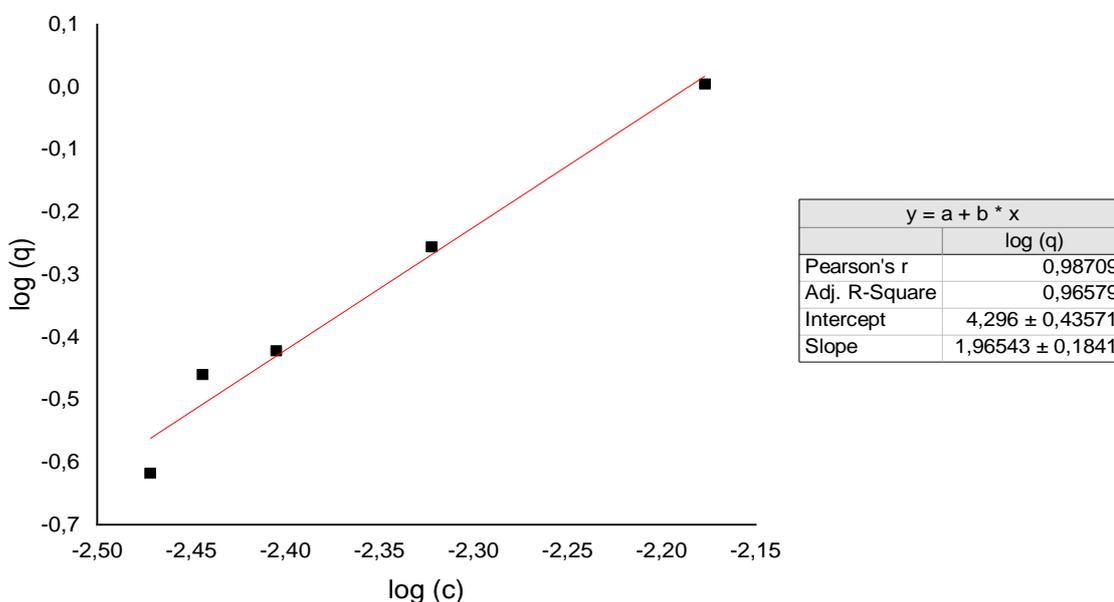


Gráfico 13-3: Isoterma de Freundlich de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60° C

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

Se muestra una coincidencia alta para el valor de R^2 que es de 0,96579, sin embargo, en comparación a la isoterma de Langmuir para el mismo caso da un valor mayor de R^2 , de modo que se mantiene el modelo cinético que obtiene un valor más elevado de R^2 como el ajuste válido para la adsorción de arsénico en la biomasa de cacao.

Tabla 27-3: Parámetros de Freundlich de adsorción de arsénico sobre biomasa a 60° C

Valor de R^2	Pendiente (1/n)	Intercepto ($\log(K)_f$)
0,96579	1,96543	4,296

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

3.6. Discusión de resultados

A continuación, se presenta los valores del coeficiente R^2 para cada uno de los modelos cinéticos ajustados. En ellos se nota que existe mayor coincidencia para el ajuste de los datos evaluados con el modelo de Langmuir, ya que en la evaluación con el modelo de Freundlich resultó menor el valor del coeficiente R^2 para los dos casos.

Tabla 28-3: Comparación de R² de cada caso

	Isoterma de Langmuir		Isoterma de Freundlich	
R ²	0,96945		0,54619	
30° C	Qmax:	0,01064	K:	1413,22
	b:	239,4521	n:	0,6864
R ²	0,99212		0,96579	
60°C	Qmax:	0,004398	k:	19769,69
	b:	454,7521	n:	0,5087

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

En el artículo presentado por Piedra et al. (2016), presenta varios materiales adsorbentes que son capaces de eliminar el arsénico del agua (Tabla 19-4), en algunos casos en su totalidad. Si se compara con el 40% de arsénico eliminado de las soluciones en esta investigación parece una cantidad mucho menor, sin embargo, existen beneficios que aporta un bioadsorbente, como son la menor contaminación cruzada por otros elementos, al contrario de los materiales que usan hierro para capturarlo. También, el menor costo de obtención de cada uno de adsorbentes puede influir en la elección de ellos. Por otro lado, la utilización de dos tipos de adsorbente puede causar un impacto positivo en la eliminación de este elemento, que pueden verse potenciadas sus cualidades con la sinergia que puede provocar su actuación en conjunto.

Tabla 29-3: Otros materiales adsorbentes

Material	Capacidad de adsorción (ug/g)	Concentración inicial (ug/L)	Porcentaje de remoción (%)
Hidróxido de hierro granular	8000	100	100
Carbón activad granular impregnado con hierro	5000	1600	>85
Hidróxido de hierro granular	2000	100	95 – 99

Realizado por: Carrillo, Anais, 2021.

3.7. Comprobación de hipótesis

3.7.1. Hipótesis general

Mediante el estudio de la determinación de los parámetros cinéticos de adsorción de arsénico sobre residuos de cacao (Theobroma cacao) se desea obtener la remoción de arsénico en aguas contaminadas.

Se acepta esta hipótesis ya que se realizó el estudio para la determinación de los parámetros cinéticos de adsorción de arsénico el cual obtuvo el mejor ajuste al modelo cinético de pseudo

segundo orden al obtener un coeficiente de correlación de R^2 de 0,997 obteniendo así una remoción de arsénico del 40% de adsorción con la biomasa normal y el 25% de adsorción con la biomasa activa, dada por las características que se presentaron en la biomasa siendo la más adecuada la biomasa normal sin ningún tratamiento.

3.7.2. Hipótesis específicas

3.7.2.1. Hipótesis 1

En el laboratorio a partir de los residuos de cacao se desea obtener biomasa de dos tipos: normal y activada químicamente.

La hipótesis es aceptada debido a que luego de realizar el proceso de obtención de biomasa normal mediante procesos fisicoquímicos, a partir de ella se obtuvo la biomasa activada utilizando un agente activante que no contamine el medio ambiente como es el ácido fosfórico al 30 % , la cual será probada para la remoción del metal arsénico.

3.7.2.2. Hipótesis 2

En la presente investigación se evaluará las características que presentan los residuos de cacao como material adsorbente para la remoción del arsénico.

La hipótesis no es aceptada ya que se realizó la caracterización de la biomasa normal y biomasa activa, mediante pruebas de humedad, prueba de pH, cenizas, densidad, análisis FTIR, análisis SEM, análisis elemental, dando como resultados que la biomasa normal posee las mejores características para la adsorción, debido a que existe una mayor cantidad de fósforo en la muestra de biomasa activa, ya que fue tratado con ácido fosfórico, también por la acidez que tiene esta, se presume que no se ha podido eliminar el ácido fosfórico restante que no participó en la activación fósforo lo que le produce actuar como esponja.

3.7.2.3. Hipótesis 3

Mediante revisión bibliográfica se logrará identificar los parámetros de la cinética de adsorción de arsénico que más se ajusta al estudio mediante isothermas de Freundlich y Langmuir.

La hipótesis es aceptada debido a que las cinéticas de adsorción toman la forma de función logarítmica, donde los valores ascienden rápidamente hasta estabilizarse a un valor que no varía en cantidades significativas con el tiempo. Es por esto que para describirlos matemáticamente se verifica a cuál de los modelos se ajustan estadísticamente con la linealización de la curva y la prueba R^2 de 0,99212 determinando que el modelo que más se ajusta es el modelo Langmuir.

3.7.2.4. Hipótesis 4

Con la determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en soluciones acuosas mediante isotermas de adsorción, se comprobaría cuan efectivo es el método.

La hipótesis es aceptada debido a que existe variación de arsénico adsorbido en la biomasa normal en comparación a la biomasa activada. Para la biomasa normal se aprecia que la concentración de la solución madre que inicia con 414,18 μg de As/L y a medida que transcurre el tiempo decrece hasta estabilizarse a una concentración alrededor de 40% menor a la inicial, en contraposición a la biomasa activa que solo removió el 25% del contaminante.

CONCLUSIONES

Se obtuvo dos tipos de muestras de biomasa a partir de residuos de cacao, la primera es la biomasa normal que fue tratada mediante procesos fisicoquímicos para obtener un adsorbente capaz de remover iones metálicos mientras que para la segunda muestra de biomasa se realizó la activación química al ser tratada con ácido fosfórico en concentración de 30% y un volumen de 1:3 con el fin de elevar la porosidad del adsorbente.

Se evaluó las características de los residuos de cacao como material de remoción de arsénico comparando la estructura morfológica y elemental de los dos tipos de biomasa, donde la biomasa normal obtuvo mejores resultados por la porosidad natural que tiene en comparación con la biomasa activada con ácido fosfórico que actuó como una esponja almacenando ácido fosfórico en su interior lo que resultó en una variación total de los resultados de la adsorción de arsénico.

Se evaluó la capacidad de adsorción de arsénico con respecto al tiempo, de la biomasa normal y la biomasa activada, donde la primera obtuvo mejores resultados con una adsorción de 40% del contaminante en comparación a la biomasa activada que obtuvo solo 25% de adsorción del mencionado elemento en el momento de su estabilización.

Se identificó el modelo cinético al que se ajusta la adsorción de arsénico sobre residuos de cacao, donde los mejores resultados para el coeficiente R^2 es de 0,99508 ajuste que satisface el modelamiento matemático de pseudo segundo orden tanto para la biomasa normal y para la biomasa activada obteniendo un coeficiente de R^2 de 0,99782 óptimo ya que se ajusta perfectamente a la unidad.

RECOMENDACIONES

Utilizar distintas variedades de cacao, en las cuales se compare los resultados obtenidos por los residuos de la variedad autóctona del país conocida como “cacao arriba” y la variedad predominante llamada “CCN 51”.

Utilizar otros agentes químicos para la activación de la biomasa, de forma que brinden características diferentes, otros utilizados son: cloruro de zinc ($ZnCl_2$), hidróxido de potasio (KOH) o carbonato de potasio (K_2CO_3).

Evaluar la capacidad de adsorción de la biomasa de residuos de cacao normal en comparación al carbón activado obtenido de la misma procedencia del cual puede ser tratado con distintas concentraciones de otros activantes.

Evaluar la capacidad de adsorción de la biomasa para capturar otras fuentes de contaminación

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS, A., NELLY, A. y CALLE, R. "Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la institución universitaria colegio mayor de Antioquia". *Redalyc* [en línea], 2014, (Colombia) 30 (3), pp. 275-283. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37031522004>.

ATSDR. *La toxicidad del arsénico ¿Qué es el arsénico?* [en línea], Mexico: 2009. [Consulta: 12 septiembre 2021]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/que_es_el.html.

CÓRDOBA, S. *Ciclo biogeoquímico del arsenico.* [en línea], Colombia: 2015. [Consulta: 12 septiembre 2021]. Disponible en: <https://qdoc.tips/ciclo-del-arsenico-3-pdf-free.html>.

FIGUEROA, D., MORENO, A. y ANGELINA, A. "Equilibrio, termodinámica y modelos cinéticos en la adsorción de Rojo 40 sobre tuza de maíz". *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* [en línea], 2015, (Colombia) 14 (26), pp. 105-120. [Consulta: 10 septiembre 2021]. ISSN 16923324. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S169233242015000100008&script=sci_abstract&tlng=es.

GARCIA, R., NORMA, V., PAOLA, C., EDUARDO, V., A.S., GARCIA, N. "Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratameinto de aguas residuales". *Revista de Estudios Territoriales* [en línea], 2012, (Perú) 14 (1), pp. 109-129. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/39123>.

GEANKOPLIS, C.J. *Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación* [en línea], España: 2006. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: https://books.google.com/books/about/Procesos_de_transporte_y_principios_de_p.html?hl=es&id=IoqJtAEACAAJ.

GONZÁLES, B. *Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de Arsénico* [En línea], Chile: 2017. [Consulta: 5 de enero de 2020]. Disponible en: <http://uchile.cl/bitstream/handle/2250/147405/Desarrollo-de-carb%C3%B3n-activado-a-partir-de-desechos-agroindustriales-con-aplicacionenadsorcion.pdf?-sequence=1&is-Allowed=y>

LARA, J., TEJADA, C., VILLABONA, A. y ARRIETA, A. "Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao". *Revista ION* [en línea], 2017,

(Colombia) 29 (2). pp. 111-122. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0120100X2016000200113&lng=en&nrm=iso&tlng=es>.

LAZO, J. "Síntesis Y Caracterización De Arcillas Organofílicas Y Su Aplicación Como Adsorbentes Synthesis and Characterization of Organophilic Clays and Their Use As Adsorbents for Phenol". New York [en línea], 2008, (Colombia) 1 (3). pp. 3-19. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v74n4/a02v74n1.pdf>.

LENNTECH, *Efectos en el medio ambiente* [en línea], Chile: 2014. [Consulta: 12 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/arsenico-en-el-medioambiente.htm>.

LONG, Y., LEI, D., NI, J., REN, Z., CHEN, C. y XU, H. "Packed bed column studies on lead(II) removal from industrial wastewater by modified *Agaricus bisporus*". *Bioresource Technology* [en línea], 2014, (Madrid) 152 (4), pp. 457-463. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24321609/>.

MOLINA, C., PILLCO, B., SALAZAR, E., CORONEL, B.D., SARDUY, L. y DIÉGUEZ, K. "Producción más limpia como estrategia ambiental preventiva en el proceso de elaboración de pasta de cacao. Un caso en la Amazonia Ecuatoriana". *Industrial Data* [en línea], 2020, (Chile) 23 (2), pp. 59-72. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/816/81665362008/>.

OMS. *Arsénico propiedades.* [en línea], 2014. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>.

ORIHUELA, E. *Adsorción de disoluciones acuosas : isothermas de absorción y coeficientes de difusión.* [en línea], España: 2015. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/52719/>.

OSPINA, V., BUITRAGO R. y LÓPEZ, D. "Preparación y caracterización de carbón activado a partir de torta de higuera". *Tecnológicas* [en línea], 2014, (Colombia) 17 (32), pp. 75. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v17n32/v17n32a08.pdf>.

PIEDRA, A., ARAYA, A. y ROMERO, L.G. "Selección teórica de adsorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica". *Revista Tecnología en Marcha* [en línea], 2016, (Costa Rica) 29 (6), pp. 23. [Consulta: 12

septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29s4/0379-3982-tem-29-s4-23.pdf>.

PINZÓN, M. y VILLAMIZAR, L. Modelamiento de la cinética de bioadsorción de $\text{Cr}^{(iii)}$ usando cáscara de naranja. DYNA [en línea], 2009, (Colombia) 76 (160), pp. 95-106. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n160/a09v76n160.pdf>.

RICHA, C., ALFARO, B. y DIEGO, J. Determinación de arsénico en agua potable del cantón del GRECIA. Sedes Regionales [en línea], 2016, (Colombia) 17 (3), pp. 1-11. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66646380001>.

RODRÍGUEZ, A., CAMPOS, A. Y PÉREZ, A. *Obtención y caracterización de materiales adsorbentes a partir de cascarilla de arroz* [En línea], Colombia: 2019. [Consulta: 6 de enero de 2020]. Disponible en: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/articulo/view/1515>

ROSEHART, R. y LEE, J. "Effective methods of arsenic removal from gold mine wastes". Canadian Mining Journal [en línea], 2007, (Argentina) 6 (6), pp. 53-57. [Consulta: 10 septiembre 2021] Disponible en: <https://koasas.kaist.ac.kr/handle/10203/58174>.

SÁNCHEZ, N. *Biosorción en tanque agitado de Cd^{+2} con cáscara de cacao* [En línea], Ecuador: 2016. [Consulta: 15 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://D:/Downloads/20bioarsorcion%20con%20cascara%20de%20cacao.pdf>

SUN, M., OBREGÓN, D., PINEDO, Á., PAREDES, L. y AYLAS, J. "Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje *1 2 1 adsorption of heavy metals using activated carbons prepared from aguaje stones". Rev Soc Quím Perú [en línea], 2014, (Perú) 80 (4). [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v80n4/a02v80n4.pdf>.

TAQUICHIRI, G. *Capacidad de adsorción de contaminantes químicos de aguas residuales utilizando piedra pómez (pumicita). agripina maria perca cutipa* [en línea], Bolivia: 2006. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/582/EPG181-00257-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

TARAWOU, T. y YOUNG, E. *Intraparticle and Liquid film Diffusion Studies on the Adsorption of Cu^{2+} and Pb^{2+} Ions from Aqueous Solution using Powdered Cocoa Pod (Theobroma cacao)*. International Research Journal of Engineering and Technology [en línea], España: 2015.

[Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.irjet.net/archives/V2/i8/IRJET-V2I841.pdf>.

TEJADA, A., VILLABONA, O Y GARCÉS, L. “Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico”, *Tecno Lógicas* [en línea], 2018 (México) 18 (34). [Consulta: 4 septiembre 2021]. Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1ej2mzLrGJUJ:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5062883.pdf&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

TREJO, J. *Adsorción Absorción*. [en línea], México: 2013. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:AI-lgv-zlEAJ:depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad3.Fenomenossuperficiales.Adsorcion_23226.pdf+&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=ec.

VALLADARES, M., VALERIO, C., DE LA CRUZ, P. y MELGOZA, R. 2017. "Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales". *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* [en línea], 2017, (Colombia) 16 (31), pp. 55-73. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v16n31/1692-3324-rium-16-31-00055.pdf>.

VIVANCO, E., MATUTE, L. y CAMPO, M. *Caracterización físico-química de la cascarilla de Theobroma cacao L, variedades Nacional y CCN-51. Conference Proceedings* [en línea], Chile: 2018. [Consulta: 4 septiembre 2021]. Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:NSiu8FSk9pYJ:https://investigacionut.machala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/download/309/253/477+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>.

ZHANG, Q., LIN, Y., CHEN, X. y GAO, N. "A method for preparing ferric activated carbon composites adsorbents to remove arsenic from drinking water". *Journal of Hazardous Materials* [en línea], 2007, (España) 148 (3), pp. 671-678. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17434260/>.

ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA

a)		b)					
c)		d)					
NOTAS:		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	“ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS DE ADSORCIÓN DE ARSÈNICO SOBRE RESIDUOS DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i>)”		
a. Residuos de cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Elaborado por: Carrillo Mejía Anais Gabriela	LÁMINA				
b. Lavado con agua destilada	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO		1	1:1	25/01/2021		
c. Troceado de materia prima	<input type="checkbox"/> POR APROBAR						
d. Secado a 60 ° por 48 horas	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR						
	<input type="checkbox"/> POR VERIFICAR						

ANEXO B: MOLIENDA Y TAMIZADO

e)



f)



g)



h)



NOTAS:

- e. Molienda de la cascara cacao seco
- f. Reducción de tamaño mortero
- g. Tamizado por tamiz de 250 um
- h. Biomasa obtenida

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

- CERTIFICADO
- APROBADO
- POR APROBAR
- POR CALIFICAR
- POR VERIFICAR

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

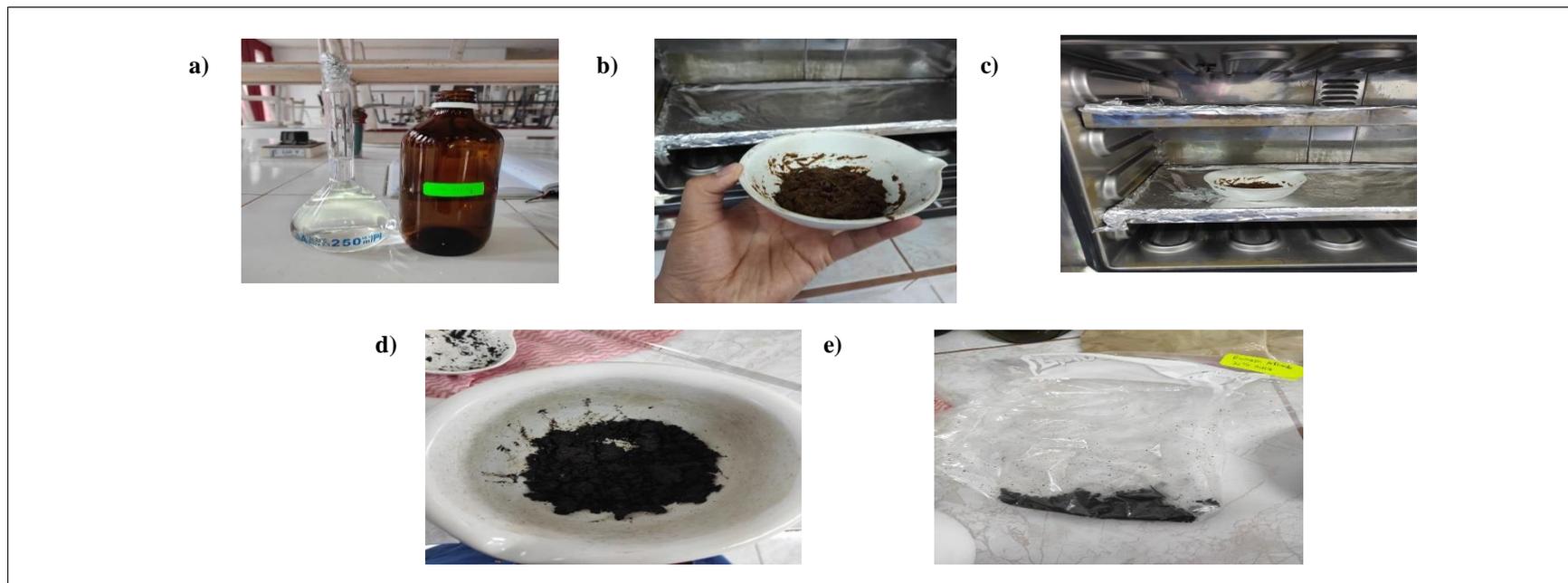
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Elaborado por:
Carrillo Mejía Anais Gabriela

**“ESTUDIO PARA LA
DETERMINACIÓN DE
PARÁMETROS CINÉTICOS DE
ADSORCIÓN DE ARSÈNICO
SOBRE RESIDUOS DE CACAO
(*Theobroma cacao*)”**

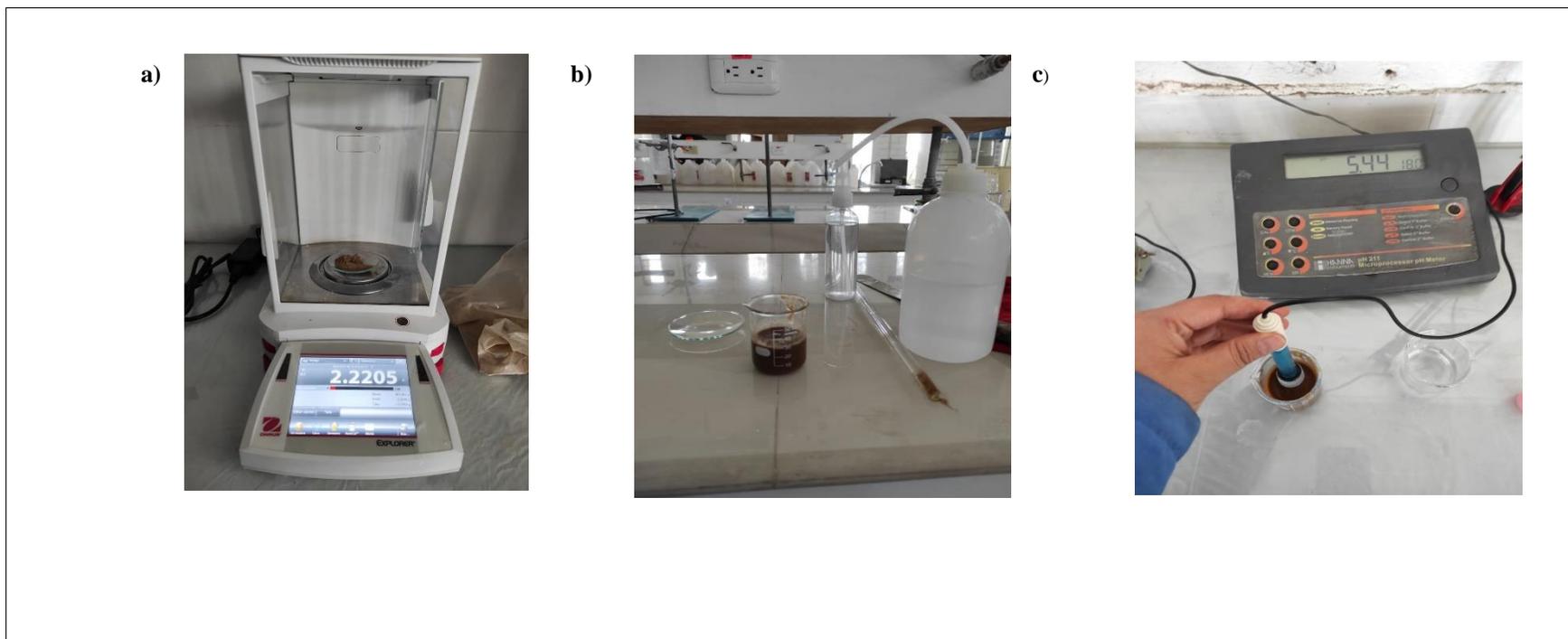
LÁMINA	ESCALA	FECHA
2	1:1	25/01/2021

ANEXO C: TRATAMIENTO QUÍMICO DE BIOMASA



<p>NOTAS:</p> <p>a. Preparación de soluciones H_3PO_4 para la activación al 30%.</p> <p>b. Añadir ácido en la biomasa en relación 1:3</p> <p>c. Dejar en la estufa por 24 horas.</p> <p>d. Disminución de tamaño</p> <p>e. Biomasa activa.</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> CERTIFICADO</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> APROBADO</p> <p><input type="checkbox"/> POR APROBAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR CALIFICAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR VERIFICAR</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>Elaborado por: Carrillo Mejía Anais Gabriela</p>	<p>“ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS DE ADSORCIÓN DE ARSÈNICO SOBRE RESIDUOS DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i>)”</p>		
			<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>3</p>	<p>1:1</p>	<p>25/01/2021</p>

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA – DETERMINACIÓN DE pH



<p>NOTAS:</p> <p>a. Pesaje de biomasa b. Disolución en agua c. Medición de pH</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>Elaborado por: Carrillo Mejía Anais Gabriela</p>	<p>“ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS DE ADSORCIÓN DE ARSÈNICO SOBRE RESIDUOS DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i>)”</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>1:1</td> <td>25/01/2021</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	4	1:1	25/01/2021
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
4	1:1	25/01/2021							

ANEXO E: PRUEBA DE HUMEDAD

a)



b)



c)



NOTAS:

- a. Pesar en gramos de biomasa
- b. Colocar en el medidor de humedad
- c. Medición de porcentaje humedad

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

- CERTIFICADO
- APROBADO
- POR APROBAR
- POR CALIFICAR
- POR VERIFICAR

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

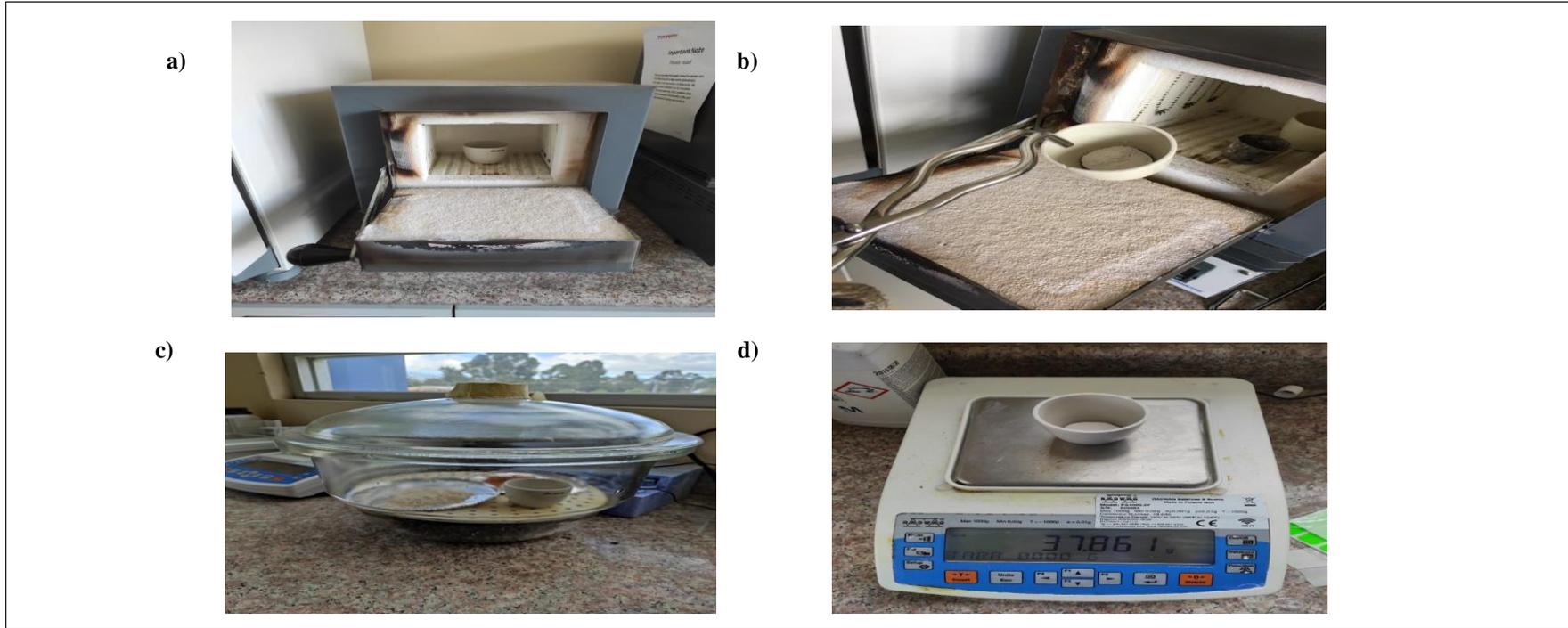
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Elaborado por:
Carrillo Mejía Anais Gabriela

**“ESTUDIO PARA LA
DETERMINACIÓN DE
PARÁMETROS CINÉTICOS DE
ADSORCIÓN DE ARSÈNICO
SOBRE RESIDUOS DE CACAO
(*Theobroma cacao*)”**

LÁMINA	ESCALA	FECHA
5	1:1	25/01/2021

ANEXO F: CONTENIDO CENIZAS



<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>Elaborado por: Carrillo Mejía Anais Gabriela</p>	<p>“ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS DE ADSORCIÓN DE ARSÈNICO SOBRE RESIDUOS DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i>)”</p>		
<p>a. Colocar la biomasa en un crisol en la mufla por 24 horas</p> <p>b. Retirar crisol con pinza</p> <p>c. Dejar en desecador para evitar perdida de humedad</p> <p>d. Contenido de ceniza</p>	<p><input type="checkbox"/> CERTIFICADO</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> APROBADO</p> <p><input type="checkbox"/> POR APROBAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR CALIFICAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR VERIFICAR</p>				

ANEXO G: PRUEBA DE DENSIDAD REAL

a)



b)



c)



d)



NOTAS:

- f. Pesaje de biomasa
- g. Introducir en el picnómetro
- h. Aforar hasta el nivel
- i. Obtención de la densidad real

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

- CERTIFICADO
- APROBADO
- POR APROBAR
- POR CALIFICAR
- POR VERIFICAR

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

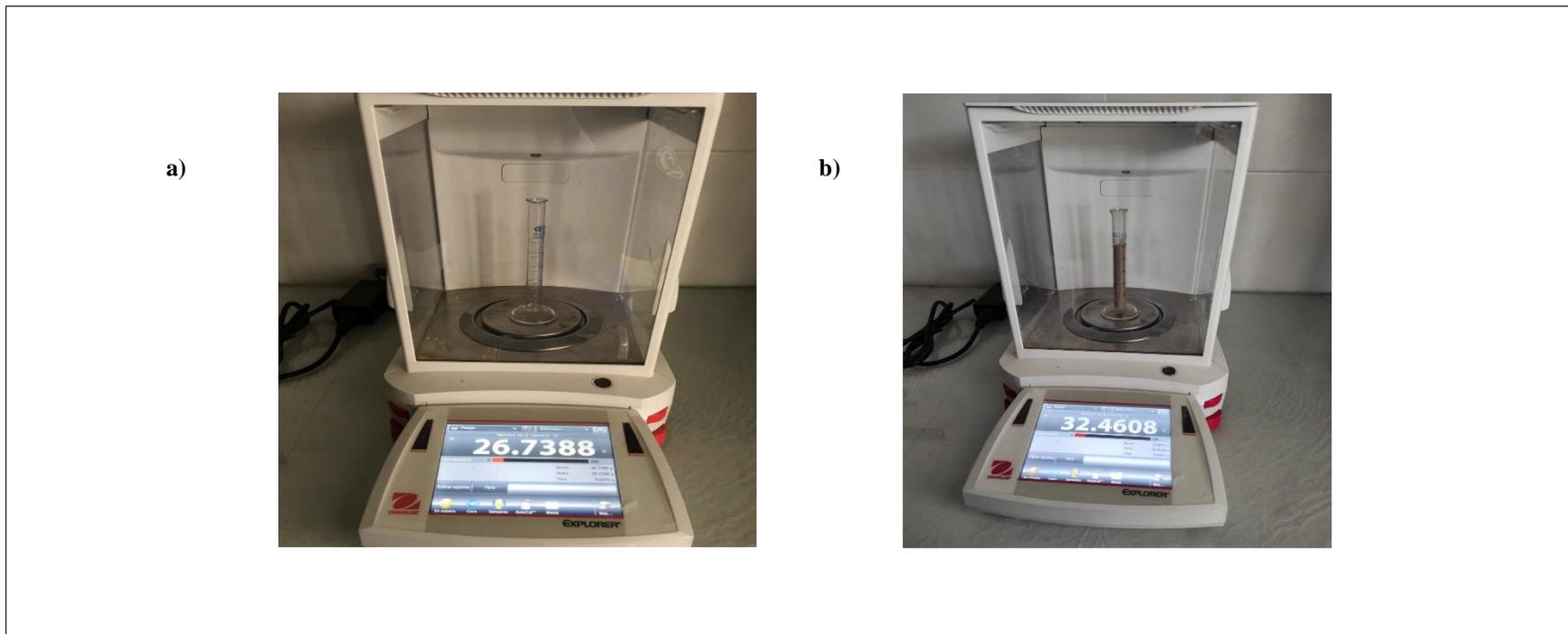
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Elaborado por:
Carrillo Mejía Anais Gabriela

**“ESTUDIO PARA LA
DETERMINACIÓN DE
PARÁMETROS CINÉTICOS DE
ADSORCIÓN DE ARSÈNICO
SOBRE RESIDUOS DE CACAO
(Theobroma cacao)”**

LÁMINA	ESCALA	FECHA
7	1:1	25/01/2021

ANEXO H: PRUEBA DE DENSIDAD APARENTE



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	“ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS DE ADSORCIÓN DE ARSÈNICO SOBRE RESIDUOS DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i>)”	
a. Probeta vacía	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	FACULTAD DE CIENCIAS		
b. Medir peso probeta con biomasa	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO	ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA		
	<input type="checkbox"/> POR APROBAR	Elaborado por:		
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR	Carrillo Mejía Anais Gabriela		
	<input type="checkbox"/> POR VERIFICAR			
			LÁMINA	ESCALA
			8	1:1
			FECHA	
			25/01/2021	

ANEXO I: CÍNÉTICA Y ADSORCIÓN DE ARSENICO

<p>a) </p> <p>c) </p>	<p>b) </p> <p>d) </p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>Elaborado por: Carrillo Mejía Anais Gabriela</p>	<p>“ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS DE ADSORCIÓN DE ARSÈNICO SOBRE RESIDUOS DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i>)”</p>						
<p>NOTAS:</p> <p>a. Proceso de adsorción por 5 horas</p> <p>b. Toma de alícuotas y filtración</p> <p>c. Preparación de muestras para la lectura.</p> <p>d. Equipo de adsorción atómica.</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> CERTIFICADO</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> APROBADO</p> <p><input type="checkbox"/> POR APROBAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR CALIFICAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR VERIFICAR</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td>1:1</td> <td>25/01/2021</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	9	1:1	25/01/2021
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
9	1:1	25/01/2021							

ANEXO J: ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

<p>a)</p> 	<p>b)</p> 	<p>c)</p> 	<p>d)</p> 						
<p>NOTAS:</p> <p>a. Cantidad de biomasa en muestras</p> <p>b. Agitación en SHAKER a 30 y 60 °C por una hora</p> <p>c. Filtración de muestras</p> <p>d. Lectura de muestras en el equipo de adsorción atómica</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> CERTIFICADO</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> APROBADO</p> <p><input type="checkbox"/> POR APROBAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR CALIFICAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR VERIFICAR</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>Elaborado por: Carrillo Mejía Anais Gabriela</p>	<p>“ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS DE ADSORCIÓN DE ARSÈNICO SOBRE RESIDUOS DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i>)”</p> <table border="1" data-bbox="1590 1276 2038 1356"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>1:1</td> <td>25/01/2021</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	10	1:1	25/01/2021
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
10	1:1	25/01/2021							



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: 12 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Anais Gabriela Carrillo Mejía</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</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: 2021.10.12
17:31:11 -05'00'



1859-DBRA-UTP-2021