



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE RAQUIS DE BANANO
APLICADO A LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIÓN
ACUOSA.

PALADINES CONDOY DARWIN FABIAN
INGENIERO QUÍMICO

TINOCO LOAYZA BRYAN XAVIER
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2019



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE RAQUIS DE
BANANO APLICADO A LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO
EN SOLUCIÓN ACUOSA.

PALADINES CONDOY DARWIN FABIAN
INGENIERO QUÍMICO

TINOCO LOAYZA BRYAN XAVIER
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2019



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE RAQUIS DE BANANO APLICADO A
LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIÓN ACUOSA.

PALADINES CONDOY DARWIN FABIAN
INGENIERO QUÍMICO

TINOCO LOAYZA BRYAN XAVIER
INGENIERO QUÍMICO

LAPO CALDERON BYRON

MACHALA, 13 DE FEBRERO DE 2019

MACHALA
2019

Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE RAQUIS DE BANANO APLICADO A LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIÓN ACUOSA., hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.



LAPO CALDERON BYRON
0704203439
TUTOR - ESPECIALISTA 1



ROMERO BONILLA HUGO ITALO
0702616251
ESPECIALISTA 2



CEDENO SARES LUIS ALBERTO
0703171314
ESPECIALISTA 3

Machala, 13 de febrero de 2019

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Thesis urkund.docx (D47338108)
Submitted: 1/28/2019 4:59:00 PM
Submitted By: btinoco_est@utmachala.edu.ec
Significance: 5 %

Sources included in the report:

Tesis Mora - Márquez (1).docx (D47336021)
YESENIA SÀNCHEZ.docx (D41036342)
WALTER JESUS CADENAS VASQUEZ_TESIS.pdf (D44002632)
tesis paola rios.docx (D11962601)
Obtención de isoterma.docx (D30042531)
<https://docplayer.es/76443643-Nano-composites-reforzados-con-microfibrillas-de-celulosa-aisladas-de-paredes-celulares-del-raquis-de-banano.html>
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/download/39/11>
<https://github.com/citation-style-language/schema/raw/master/csl-citation.json>

Instances where selected sources appear:

13

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, PALADINES CONDOY DARWIN FABIAN y TINOCO LOAYZA BRYAN XAVIER, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE RAQUIS DE BANANO APLICADO A LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIÓN ACUOSA., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 13 de febrero de 2019



PALADINES CONDOY DARWIN FABIAN
0750232670



TINOCO LOAYZA BRYAN XAVIER
0704237510

DEDICATORIA

Dedico este logro en primer lugar a Dios porque me ha llenado de bendiciones día a día en el transcurso de mi formación profesional, a mi padre quien ha sabido aconsejarme de la mejor manera para seguir mis estudios, a mi mamá querida que siempre estuvo conmigo apoyándome desde el primer día, gracias a ellos puedo disfrutar de una carrera profesional, ya que son mi pilar fundamental.

Darwin Paladines

Dedico este trabajo en primer lugar a mis padres, quienes me han inculcado día a día valores como la responsabilidad, honestidad y solidaridad, entre otros, los cuales practico diariamente. A mi abuelita y mi familia en general porque me han brindado su apoyo incondicional en todo momento, a mi novia por ayudarme en cada detalle, siempre brindándome apoyo tanto moral, como físico.

Bryan Tinoco

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme las fuerzas para culminar una meta más en mi vida, a mi familia por apoyarme tanto en el transcurso de mi carrera profesional, a mi tutor, el Ing. Byron Lapo por haberme impartido sus conocimientos y guiado mi trabajo de investigación, mi más sincero agradecimiento a la Ing. Tania Carchi por la ayuda y paciencia que me brindo, agradezco a mi enamorada por siempre estar a mi lado motivándome a seguir estudiando y apoyándome en todo momento a la Universidad Técnica de Machala por haberme abierto sus puertas para formarme profesionalmente. Gracias a todos los que formaron parte de este logro, familia, amigos, docentes que conocí en el transcurso de mi formación profesional.

Darwin Paladines

En estas líneas quiero expresar mi agradecimiento a las personas que hicieron posible la realización de este trabajo: a mis padres por el apoyo constante durante estos años, los cuales me han ayudado para forjar poco a poco mi carrera profesional, a mis hermanas por ayudarme en todo momento, al Ing. Byron Lapo Mg. Sc. por guiar la elaboración de esta tesis y por haberme brindado sus conocimientos. Gracias totales.

Bryan Tinoco

RESUMEN

OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE RAQUIS DE BANANO APLICADO A LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIÓN ACUOSA

Autores

Egdo. Darwin Fabian Paladines Condoy

Egdo. Bryan Xavier Tinoco Loayza

Tutor

Ing. Byron Lapo Calderón Mg.Sc.

La contaminación de agua a nivel mundial sigue creciendo, prácticamente todas las empresas productoras de bienes generan contaminantes como subproductos no deseados. Más del 80% de las aguas residuales en los países en vías de desarrollo se descargan sin tratamiento, contaminando así ríos, lagos y diferentes zonas costeras.

Para su remoción han sido evaluados diferentes métodos y específicamente en el proceso de adsorción han sido utilizados diferentes materiales bioadsorbentes, de los cuales se ha trabajado con un desecho agrícola producido en la zona costera del país. El presente trabajo tuvo como objetivo la obtención de celulosa a partir de uno de los desechos agrícolas de más abundancia en el Ecuador como es el raquis de banano y aplicarlo a la separación de cadmio (Cd^{2+}) y plomo (Pb^{2+}).

El cultivo de banano es una de las principales actividades económicas dentro de la provincia de El Oro. El raquis de banano, pseudotallo y las hojas son los desechos que se generan post-cosecha del mismo, ya que el agricultor solo usa el fruto (banano), y el resto simplemente se desecha al suelo en las mismas plantaciones de banano. Por otro lado, las fuentes hídricas de nuestro país se están viendo afectadas por la contaminación de metales pesados, por tanto se han realizado diferentes investigaciones tratando de aprovechar los propios recursos que se tiene al alcance, en este caso raquis de banano que ha sido utilizado como bioadsorbente de metales en el agua, ya que sus grupos funcionales ayudan a la adsorción de metales pesados debido a los componentes que posee el raquis

tales como: celulosa, lignina y holocelulosa, por lo que la obtención, modificación y aplicación de biomateriales como la celulosa en procesos de adsorción para la descontaminación de agua, es un tema de creciente interés científico.

Previo a la obtención de la celulosa, el material sin procesar (raquis) fue recolectado en una hacienda local, luego el troceado, lavado con agua destilada, secado en estufa a 65°C durante 24 horas, posterior su proceso de molienda hasta 250 micras, obteniendo así el raquis de banano puro. Para obtener el material celulósico se utilizó el método Kraft o de pulpeo, en el cual se realizó una hidrólisis ácida que consiste en utilizar 20 g del material procesado, seguido de una extracción alcalina con NaOH 10% (m/v), seguido de su respectivo lavado y secado en la estufa, luego se realizó la hidrólisis ácida con H₂SO₄, se realizó una cloración con NaClO al 3.5 %, luego se realizó su respectivo lavado, posterior se volvió a realizar una extracción alcalina de NaOH al 20%, seguido de su respectivo lavado y se finalizó con un blanqueamiento a través del NaClO a 0.5 % y su respectivo secado.

Para la caracterización del material obtenido, se realizó el potencial de carga cero y análisis composicional de extraíbles, lignina, celulosa, holocelulosa y hemicelulosa. Posterior a esto, fue aplicado en la adsorción de cadmio y plomo en soluciones sintéticas, donde fueron llevados a cabo estudios de pH, equilibrio y cinético. Se determinó que los mejores pHs de adsorción fueron 4.5 y 7.5 para cadmio y plomo respectivamente. Así mismo fue realizado el estudio de equilibrio, que fueron ajustados al modelo matemático de Langmuir, con capacidades máximas de adsorción de $q_{\max} = 186.7154 \pm 18.93028$ mg Cd/g adsorbente y $q_{\max} = 102.8847 \pm 19.76537$ mg Pb/g de adsorbente. El estudio cinético fue ajustado con el modelo de Pseudo segundo orden para Cd²⁺ con una $q_{\max} = 106.26047 \pm 5.59259$ mg/g y $r^2 = 0,7882$, mientras que para el estudio cinético de Pb²⁺ fue ajustado mediante el modelo de Pseudo segundo orden $q_{\max} = 72.10447 \pm 2.44188$ mg/g y $r^2 = 0.8672$.

El presente trabajo de investigación experimental permitió la caracterización y aplicación en procesos de adsorción de uno de los desechos agrícolas de mayor producción en la provincia de El Oro, como es el raquis de banano, constituyendo un material eficiente para el proceso de adsorción de Cd²⁺ y Pb²⁺ en comparación con otros biomateriales similares.

Palabras clave: adsorción, celulosa, cadmio, plomo, raquis de banano

ABSTRACT

OBTAINING CELLULOSE FROM RANGE OF BANANAS APPLIED TO THE REMOVAL OF LEAD AND CADMIUM IN AQUEOUS SOLUTION

Authors

Darwin Fabian Paladines Condoy

Bryan Xavier Tinoco Loayza

Tutor

Ing. Byron Lapo Calderón Mg.Sc.

Water pollution worldwide continues to grow, practically all companies producing goods generate pollutants as unwanted byproducts. More than 80% of wastewater in developing countries is discharged without treatment, thus contaminating rivers, lakes and different coastal areas.

For their removal, different methods have been evaluated and specifically in the adsorption process different bio-absorbent materials have been used, of which an agricultural waste produced in the coastal zone of the country has been worked on. The objective of this work was to obtain cellulose from one of the most abundant agricultural wastes in Ecuador, such as banana rachis and apply it to the separation of cadmium (Cd^{2+}) and lead (Pb^{2+}).

The cultivation of banana is one of the main economic activities within the province of El Oro. The banana, pseudostem and leaf rachis are the waste that is generated post-harvest, since the farmer only uses the fruit (banana), and the rest is simply thrown to the ground in the same banana plantations. On the other hand, the water sources of our country are being affected by the contamination of heavy metals, therefore different investigations have been made trying to take advantage of the own resources that are available, in this case rachis of banana that has been used as a bioadsorbent of metals in water, since its functional groups help the adsorption of heavy metals due to the components that the rachis possesses such as: cellulose, lignin and holocellulose, for

which the obtaining, modification and application of biomaterials such as Cellulose in adsorption processes for water decontamination, is a subject of growing scientific interest. Prior to obtaining the cellulose, the unprocessed material (rachis) was collected in a local farm, then chopped, washed with distilled water, dried in an oven at 65 ° C for 24 hours, after its grinding process up to 250 microns, thus obtaining the pure banana rachis. To obtain the cellulosic material, the Kraft or pulping method was used, in which an acid hydrolysis was carried out consisting of using 20 g of the processed material, followed by an alkaline extraction with 10% NaOH (m / v), followed by its washing and drying in the oven, then acid hydrolysis was carried out with H₂SO₄, chlorination was carried out with 3.5% NaClO, then washing was carried out, followed by an alkaline extraction of 20% NaOH, followed by its respective washing and was finalized with a whitening through the NaClO at 0.5% and its respective drying.

For the characterization of the material obtained, the potential of zero load and compositional analysis of extractables, lignin, cellulose, holocellulose and hemicellulose was carried out. After this, it was applied in the adsorption of cadmium and lead in synthetic solutions, where pH, equilibrium and kinetic studies were carried out. It was determined that the best adsorption pHs were 4.5 and 7.5 for cadmium and lead respectively. Likewise, the equilibrium study was carried out, which were adjusted to the mathematical model of Langmuir, with maximum adsorption capacities of $q_{\max} = 186.7154 \pm 18.93028$ mg Cd / g adsorbent and $q_{\max} = 102.8847 \pm 19.76537$ mg Pb / g of adsorbent. The kinetic study was adjusted with the pseudo second order model for Cd²⁺ with a $q_{\max} = 106.26047 \pm 5.59259$ mg/g and $r^2 = 0.7882$, while for the kinetic study of Pb²⁺ it was adjusted by means of the pseudo second order model $q_{\max} = 72.10447 \pm 2.44188$ mg/g and $r^2 = 0.8672$.

The present experimental research work allowed the characterization and application in adsorption processes of one of the agricultural wastes of greater production in the province of El Oro, such as the banana rachis, constituting an efficient material for the process of adsorption of Cd²⁺ and Pb²⁺ compared to other similar biomaterials.

Key words: adsorption, cellulose, cadmium, lead, banana rachis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE GRÁFICAS	XI
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I	4
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1 PROBLEMÁTICA DEL CADMIO A NIVEL MUNDIAL	4
1.1.1 Cadmio	4
1.1.2 Usos del cadmio	5
1.1.3 Problemática ambiental del cadmio	5
1.2 PROBLEMA DE PLOMO A NIVEL MUNDIAL	5
1.2.1 Plomo	6
1.2.2 Producción mundial y usos del plomo	7
1.2.3 Riesgos a la salud	7
1.2.4 Límite de detección	7
1.3 PRESENCIA DE PLOMO Y CADMIO EN EL ECUADOR	8
1.3.1 Utilidad de los residuos de banano	9
1.3.2 Raquis de banano	9
1.4 PROCESO DE ADSORCIÓN	9

1.4.1	Generalidades	9
1.4.2	Potencial de carga cero (pH_{PZC})	10
1.4.3	Isotermas de adsorción	10
1.4.4	Isotermas de Langmuir	10
1.4.5	Isoterma de Freundlich	11
1.4.6	Cinética	12
1.4.7	Modelo cinético pseudo- primero orden.....	12
1.4.8	Modelo cinético pseudo- segundo orden.....	13
CAPÍTULO II.....		14
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1	REACTIVOS.....	14
2.2	MATERIALES.....	14
2.3	EQUIPOS	15
2.4	ÁREA DE RECOLECCIÓN DEL RAQUIS DE BANANO	15
2.5	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	16
2.5.1	Proceso de obtención de las muestras	16
2.6	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL	18
2.6.1	Determinación de extraíbles	18
2.6.1.1	Método - Norma TAPPI T-204.....	18
2.6.2	Determinación de lignina.....	19
2.6.2.1	TAPPI T-222.....	19
2.6.3	Determinación de la holocelulosa	19
2.6.3.1	ASTM D-1104	20
2.6.4	Determinación de celulosa.....	21
2.6.4.1	TAPPI T-212.....	21
2.6.5	Determinación de la hemicelulosa	22
2.7	ESTUDIO DE ADSORCIÓN.....	22
2.7.1	Estudio de pH	22

2.7.2	Isotermas de adsorción	23
2.7.3	Cinética	24
2.7.4	Adsorción – desorción.....	24
CAPÍTULO III		26
3.	RESULTADOS	26
3.1	CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL	26
3.1.1	Determinación de extraíbles	26
3.1.2	Determinación de lignina.....	26
3.1.3	Determinación de holocelulosa	27
3.1.4	Determinación de celulosa	28
3.1.5	Determinación de hemicelulosa	29
3.1.6	Composición de raquis de banano y celulosa de raquis.....	29
3.1.7	Potencial carga cero (pH_{PZC})	30
3.1.3	Estudio de pH	31
3.1.4	Estudio de equilibrio.....	33
3.1.4.1	Isoterma de cadmio.....	33
3.1.4.2	Isoterma de plomo	34
3.1.5	Cinética de adsorción.....	36
3.1.5.1	Estudio cinético de cadmio	36
3.1.5.2	Estudio cinético de plomo	38
3.1.6	Reusabilidad (Adsorción -Desorción).....	39
3.1.6.1	Adsorción y desorción de Cd.....	39
3.1.6.2	Adsorción y desorción de Pb	39
CAPÍTULO IV.....		41
4.	CONCLUSIONES.....	41
CAPÍTULO V		42
5.	RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFIA		43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites permitidos para contaminantes en el agua.....	8
Tabla 2: Constituyentes del raquis de banano	9
Tabla 3: Determinación de extraíbles	26
Tabla 4: Determinación de Lignina.....	27
Tabla 5: Determinación de holocelulosa	27
Tabla 6: Determinación de celulosa.....	28
Tabla 7: Determinación de hemicelulosa	29
Tabla 8: Composición de raquis de banano y celulosa de raquis	29
Tabla 9: Parámetros de adsorción para los modelos de Langmuir y Freundlich	35
Tabla 10: Capacidad de adsorción de diferentes materiales.....	35
Tabla 11: Parámetros cinéticos de Cd^{2+}	37
Tabla 12: Parámetros cinéticos de Pb^{2+}	38

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Potencial carga cero de la celulosa de raquis de banano	31
Gráfica 2: Efecto de pH de la celulosa del raquis de banano sobre el Cd^{2+}	32
Gráfica 3: Efecto de pH de la celulosa del raquis de banano sobre el Pb^{2+}	32
Gráfica 4: Isoterma de adsorción de Cd^{2+} con celulosa de raquis de banano.....	33
Gráfica 5: Isoterma de adsorción de Pb^{2+} con celulosa de raquis de banano	34
Gráfica 6: Aplicación del modelo cinético para la adsorción de Cd^{2+} mediante celulosa de raquis de banano.	37
Gráfica 7: Aplicación del modelo cinético para la adsorción de Pb^{2+} mediante celulosa de raquis de banano.	38
Gráfica 8: Reusabilidad del material adsorbente para Cd^{2+}	39
Gráfica 9: Reusabilidad del material adsorbente para Pb^{2+}	40

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Flujo de proceso de obtención de raquis puro	16
Diagrama 2: Flujo de proceso de obtención celulosa a partir del raquis de banano.....	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de experimentación de adsorción.....	22
---	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Raquis de banano.....	50
Anexo 2: Raquis Troceado.....	50
Anexo 3: Raquis en la estufa.....	50
Anexo 4: Molino.....	51
Anexo 5: Raquis con NaOH 10%.....	51
Anexo 6: Hidrólisis Ácida (H_2SO_4 0.4%).....	51
Anexo 7: Celulosa De Raquis Sin Moler.....	52
Anexo 8: Equipo DIONEX ASE 150.....	52
Anexo 9: Raquis puro.....	52
Anexo 10: Celulosa de raquis de banano después de hidrólisis ácida.....	53
Anexo 11: Celulosa de banano libre de extraíbles.....	53
Anexo 12: Celulosa pura del proceso de caracterización.....	53

INTRODUCCIÓN

La contaminación de agua es uno de los aspectos que más causa preocupación a nivel mundial, como local, causando la degradación de los medios naturales por parte de la sociedad, considerándose ésta contaminación un problema universal [1]. Uno de los principales residuos que presentan un alto riesgo tanto para la salud humana y la biósfera son los metales pesados [2], como el cadmio y el plomo que daña la salud humana y medio ambiente [3], prevaleciendo sus bajas concentraciones con respecto a la bioacumulación de toxicidad y teniendo en cuenta que no son biodegradables [4]. Estos metales tienden a propagarse rápidamente, esto no solo se lleva a cabo por acción del agua, sino también por el viento y alimentos de consumo diario [5].

El agua recolecta gran cantidad de sustancias durante el recorrido que tiene por diferentes zonas tales como agrícolas e industriales, esto provoca el aumento de la concentración de metales pesados que son descargados día tras día en las fuentes hídricas [6], la remoción de metales pesados en aguas residuales como en efluentes industriales ha ido adquiriendo una enorme importancia en los últimos años, debido a los problemas del limitado abastecimiento de agua potable [7], teniendo en cuenta que aproximadamente más de un 80% de las aguas residuales de los países que se encuentran en vías de desarrollo realizan las descargas sin un tratamiento, contaminando diferentes fuentes hídricas vitales para los seres humanos.

Es de suma importancia remover estos metales pesados, debido a que puede tener un impacto negativo en la salud de los seres vivos; entre los procesos comunes para la remoción se incluyen: precipitación química, intercambio iónico, filtración por membranas, remoción electroquímica, adsorción, etc. Considerando a la adsorción como el método más eficiente para realizar ésta investigación [8] dado que utilizan materiales de bajo costo, amigables con el ambiente y de fácil obtención.

Por otra parte, la eliminación de desechos es uno de los problemas más grandes que deben enfrentar los países; producir más no significa usar más, sino reusar de manera eficiente. Nuestro país es uno de los mayores productores de banano a nivel mundial, del cual se produce como desechos: raquis, pseudo-tallo y cascara del banano, los cuales no tienen ningún uso significativo, al contrario, se convierte en un contaminante ambiental. La

industria bananera genera enormes cantidades de residuos vegetales ya antes mencionados, teniendo en cuenta que de la planta solo se reditúa el fruto. Al finalizar una cosecha de banano, una planta tiene un peso aproximado de 100 kilogramos, de éstos se encuentran divididos en: hojas, pseudotallo, banano y raquis con 15, 50, 33 y 2 kilogramos respectivamente[9]. Esto indica que solamente el 33% del peso total de producción lo constituye el fruto, mientras que lógicamente el 67% corresponde al peso de desechos que el hombre no aprovecha. El pretratamiento en la biomasa (raquis de banano) busca separar la celulosa del resto de componentes estructurales tales como: lignina, hemicelulosa y holocelulosa.

La celulosa es un polímero renovable, fibroso, insoluble en agua y ayuda a conservar las paredes celulares de plantas; un producto barato y biodegradable. Considerada la materia prima natural más abundante en el mundo, con un estimado de producción total de 10^{11} a 10^{12} toneladas/año [10]. El principal componente de la membrana celular de la mayoría de plantas es la celulosa, constituida por D-glucosa, unidas por los enlaces β -1-4 glucosídicos; de que la celulosa es el componente más abundante en la biósfera [9].

En base a la existencia de una cantidad considerable de raquis, pseudo-tallo y cáscara de banano; esta investigación se orienta a aprovechar específicamente el desecho del raquis y utilizarlo como bioadsorbente de metales pesados (Cd^{+2} , Pb^{+2}) presentes en aguas residuales.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Remover plomo y cadmio (Cd^{2+} , Pb^{2+}) de soluciones acuosas mediante la aplicación de celulosa obtenida de raquis de banano.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener y caracterizar celulosa de raquis de banano mediante extracción química.
- Aplicar celulosa de raquis de banano a procesos de adsorción de Cd^{2+} , Pb^{2+} en solución acuosa.
- Determinar el estudio de equilibrio mediante los modelos matemáticos de Freundlich y Langmuir.
- Determinar la velocidad de adsorción del adsorbato mediante el estudio cinético de adsorción.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 PROBLEMÁTICA DEL CADMIO A NIVEL MUNDIAL

Existen metales potencialmente tóxicos entre ellos el cadmio es uno de los mayores contaminantes, que se encuentra presente ya sea en aguas descargadas de las actividades humanas, en baterías, en las exposiciones de cadmio a humanos mediante el suministro de alimentos [11], estos causan inevitablemente algunos riesgos de salud potenciales para los seres humanos y son una gran amenaza para el medio ambiente. El cadmio Cd^{2+} ejerce efectos perjudiciales en los pulmones, riñones y los huesos [12].

En la segunda guerra mundial Japón sufrió una enfermedad ocasionada por intoxicación de cadmio debido a que las empresas mineras vertían sus aguas con altos contenidos de cadmio a los ríos, medio por el cual se dio la intoxicación esta enfermedad se la llamó "itai-itai" que significa "ay-ay" ya que es una enfermedad ósea que se caracteriza por fracturas y dolor severo [13].

1.1.1 Cadmio

El cadmio o también conocido en la antigüedad como $ZnCO_3$ proviene del latín cadmia y el griego kadmeia que significa calamina, fue descubierto en 1817 a partir del calentamiento del sulfuro de cadmio encontrado como impureza de muestras de $ZnCO_3$ [14]. Se encuentra en el periodo 5, grupo 12 de la familia del Zinc en la tabla periódica, con número atómico 48, peso atómico de 112.2 g/mol y densidad de 8,650 Kg/m³. Este elemento no se halla en estado libre naturalmente, como resultado de la erosión de las rocas se presenta de forma escasa como greenockita o sulfuro de cadmio (CdS), el cual generalmente está asociado a la presencia del sulfuro de Zn o esfalerita (ZnS); la principal fuente natural de cadmio es la actividad volcánica, aportando concentraciones de hasta 90 mg/m³ [15].

1.1.2 Usos del cadmio

El cadmio es un metal que se usa en la industria del acero y en los plásticos. Los compuestos de cadmio son un componente muy utilizado en pilas eléctricas [16].

1.1.3 Problemática ambiental del cadmio

Un problema ambiental ocasionado por el cadmio es la acumulación de pilas desechadas en la basura ya que están en contacto con la tierra y la humedad, permitiendo la liberación de sus componentes químicos que se acumulan en el suelo contaminándolo [17], debido a que es uno de los mayores agentes tóxicos relacionados a contaminación ambiental e industrial reúne algunas características altamente tóxicas:

1. Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente
2. Bioacumulación.
3. Persistencia en el medio ambiente.
4. Viaja a grandes distancias con el viento y en los cursos de agua [18].

1.2 PROBLEMA DE PLOMO A NIVEL MUNDIAL

La exposición humana para metales tóxicos se ha convertido en un componente crítico de riesgo para la salud en el continente africano. Esta grave advertencia fue llevada trágicamente por el desastre del envenenamiento por Pb^{2+} en Nigeria, donde más de 400 niños murieron por la minería artesanal, afectando a largo plazo neurológico se registraron deficiencias como ceguera y sordera [19].

Actualmente, la concentración de Pb^{2+} en sangre total (Pb-B) es el principal biomarcador utilizado para controlar la exposición y ha sido ampliamente utilizado en estudios epidemiológicos. Sin embargo, independiente del modo de exposición, los metales absorbidos como Pb^{2+} y Cd^{2+} se excretan, principalmente en orina y vía biliar-fecal [19].

1.2.1 Plomo

Plomo, símbolo Pb^{2+} , es un metal gris, blando y ligeramente maleable, presente de forma natural en la corteza terrestre [20], un metal no esencial, altamente tóxico para el ser humano, que afecta a diversos órganos y tejidos [21]. Este metal está clasificado como un contaminante prioritario por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [22].

El plomo, un metal que es neurotóxico para los humanos y que tiene muchos otros efectos nocivos para la salud a niveles de exposición altos, mientras que, a niveles de exposición más bajos, los niños parecen ser particularmente vulnerables a los efectos del plomo ambiental [23]. Los humanos están expuestos al plomo por ingestión e inhalación. Las principales fuentes de plomo para los humanos: son pinturas con plomo, explotación minera, metalurgia, gasolina, aditivos, agua que entra en contacto con tuberías de plomo, suelo, polvo y la suciedad [23].

El plomo es uno de los principales factores ambientales de riesgo que representan el 0.6% de la carga mundial de enfermedades en el año 2010. El organismo humano puede estar expuesto a altas concentraciones de plomo en forma aguda o a una menor concentración de plomo durante un período de meses o años. A diferencia de la intoxicación aguda por plomo, donde generalmente se puede identificar la fuente respectiva de exposición al plomo La exposición persistente a largo plazo al plomo es más compleja, debido a la gran variedad de fuentes y vías [24]. La ingesta de Pb^{2+} puede ocurrir a través de los alimentos (65%), agua (20%) y aire (15%); el agua potable tiene gran probabilidad de contaminar al corroer los tubos cuando el agua es ligeramente ácida [25].

Aunque las rutas potenciales para que el plomo entre en el cuerpo están relativamente bien documentadas, todavía hay mucho que entender sobre los factores que determinan la aceptación, particularmente en torno a cómo las interacciones y los factores genéticos influyen en la absorción de plomo [23].

1.2.2 Producción mundial y usos del plomo

El plomo se ha extraído de la corteza terrestre y es utilizado por el hombre desde hace más de 5,000 años. Los depósitos naturales más conocidos se encuentran en Canadá, EEUU, México, Perú, Europa, Asia y Australia. Las emisiones naturales alcanzan a 19,000 ton/año por los desgastes geológicos y emisiones volcánicas. De la actividad antropogénica se estima que se generan 120,000 y 130,000 ton/año [26].

Extraído en más de 40 países, en el 2008 la producción mundial de plomo fue de 3 840,000 TM, teniendo China y Australia alrededor del 30% y 22% respectivamente de la producción minera mundial. La producción en América latina y el Caribe en el mismo año representó el 15% de la producción mundial, siendo los mayores productores Perú y México con 345,109 y 100,725 TM respectivamente [27].

1.2.3 Riesgos a la salud

Dentro del cuerpo de un ser humano, la transferencia de plomo mediante la placenta puede generarse desde la doceava semana de gestación y sigue en su desarrollo. Los que más absorben plomo son los niños, debido que a su corta edad absorben entre 4 a 5 veces más cantidad de plomo que los adultos. Los que más se encuentran en un alto riesgo de transferencia de plomo aparte de los niños, son las mujeres embarazadas y los infantes. El plomo que absorbemos en nuestro, el cual es tóxico generalmente se va acumulando en nuestro esqueleto [28].

1.2.4 Límite de detección

1 µg/l mediante AAS [28].

Tabla 1: Límites permitidos para contaminantes en el agua

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Antimonio, Sb	mg/L	0.02
Arsénico, As	mg/L	0.01
Bario, Ba	mg/L	0.7
Boro, B	mg/L	2.4
cadmio, Cd	mg/L	0.003
Cianuros, CN ⁻	mg/L	0.07
Cloro libre residual*	mg/L	0.3 a 1.5
Cobre, Cu	mg/L	2.0
Cromo, Cr	mg/L	0.05
Fluoruros	mg/L	1.5
Mercurio, Hg	mg/L	0.006
Níquel, Ni	mg/L	0.07
Nitratos, NO ⁻³	mg/L	50
Nitritos, NO ⁻²	mg/L	3.0
Plomo, Pb	mg/L	0.01
Selenio, Se	mg/L	0.04

Fuente: [30]

1.3 PRESENCIA DE PLOMO Y CADMIO EN EL ECUADOR

El periodo de vida de los seres vivos tiende a reducirse muy frecuente y como es conocido por todos, el apareamiento de enfermedades nuevas o enfermedades existentes, en mayor número que antes, son las responsables de este problema. Algunos trastornos o quebrantos en la salud del hombre, pueden ser ocasionados por el ingerir productos alimenticios contaminados o por simple exposición de las personas a ambientes poluídos, especialmente por metales pesados [31]. Tanto el Cd²⁺ como el Pb²⁺ son componentes de la denominada basura electrónica, es decir la proveniente de televisores, computadoras, celulares y demás dispositivos electrónicos, elementos pesados como el plomo (Pb²⁺), cadmio (Cd²⁺), cuando se presentan en altas cantidades son considerados tóxicos teniendo preferencia de acaparamiento en ciertos órganos y provocan problemas en la salud [32].

1.3.1 Utilidad de los residuos de banano

En Ecuador existe una estimación de producción por año de aproximadamente 351,031 toneladas métricas de residuos lignocelulósicos provenientes de plantaciones de banano [33]. Se considera que el peso promedio de una planta de banano al momento de la cosecha está entre 150 y 200 kilogramos, es decir 127 al conjunto de pseudotallo, hojas flor y corona, 23 al racimo, 3.25 al raquis o pinzote luego de la tarea de desmane y el peso de flor y corona es 0.35 kg por racimo [34].

1.3.2 Raquis de banano

El raquis de banano es un residuo tanto rural, como agroindustrial en Ecuador, el cual no se le ha dado la importancia necesaria. Su uso se encuentra direccionado en la agricultura como fuente de abono orgánico y en la industria alimenticia como materia prima para la elaboración de alimentos para animales o productos industriales [35].

Morfológicamente está constituido por una corteza delgada de aproximadamente 0.25 mm, de color verde, cuenta con pelos microscópicos en su superficie, la corteza se distribuye con un espesor constante a lo largo de todo el raquis. Internamente constituido por largas finas maderizadas, ordenadas de manera longitudinal de color blanco o también conocido como fibras [36].

A continuación, en la tabla 2 se muestra los constituyentes del raquis de banano determinados por diferentes autores:

Tabla 2: Constituyentes del raquis de banano

RESIDUO	% CELULOSA	%LIGNINA	%HEMICELULOSA	%EXTRACTIVOS	%CENIZA	REFERENCIA
Raquis	30.6	9.85	15.7	ND	ND	[9]
Raquis	32.6	14.72	20.71	10	12	[36]
Raquis	8.3	19.06	21.23	ND	15.73	[35]

1.4 PROCESO DE ADSORCIÓN

1.4.1 Generalidades

La adsorción es un proceso que se utiliza para el tratamiento del recurso hídrico agua, en la actualidad existen muchas tecnologías que pueden reducir o eliminar los metales pesados de los efluentes industriales. El fenómeno de adsorción es un fenómeno físico-

químico, mediante el cual, un cuerpo adsorbente puesto en contacto con una solución, es capaz de atrapar en su superficie moléculas de ciertos compuestos de dicha solución [15]. El material que se encuentra en la superficie se denomina adsorbato y el material que adsorbe se lo nombra adsorbente, la adsorción en si es un proceso en el cual se extrae materia de una fase líquida y se la concentra en la superficie de otra sólida, considerándose a la adsorción como un fenómeno superficial, matemáticamente el proceso de adsorción ha sido definido a través de ecuaciones denominadas isothermas los que se encargan de definir el comportamiento de la adsorción en el punto de equilibrio [37].

1.4.2 Potencial de carga cero (pH_{PZC})

“El pH_{PZC} se define como el punto en donde el potencial de carga es cero (point zero charge PZC), es decir, aquel pH en donde la carga superficial del sólido es nula, también llamado punto isoelectrico” [38]. Este método, a través de su pH_{PZC} permite la determinación química mediante el uso de diferentes soluciones acuosas a distintos pH.

1.4.3 Isothermas de adsorción

El proceso de biosorción se explica por las isothermas que se definen como la curva dibujada para la relación funcional que tiene el adsorbato y el bioadsorbente para un proceso de adsorción a temperatura constante [39].

1.4.4 Isothermas de Langmuir

El modelo de isoterma de adsorción de Langmuir es un modelo ampliamente usado ya que es conveniente para describir resultados experimentales en una amplia gama de concentraciones. La correlación matemática de la isoterma de Langmuir ha proporcionado una base para el desarrollo de otros modelos, que incluyen similitud de adsorción e intercambio iónico, entre otros [40].

Modelo empírico basado primeramente en la cobertura de monocapa, segundo en la homogeneidad de la superficie y tercero en las interacciones no laterales entre las moléculas adsorbidas [41]. En su mayoría se acoge para obtener una adsorción homogénea,

la cual es usada con gran consentimiento en diferentes procesos de adsorción en una sola capa [42].

La ecuación 1, corresponde a la ecuación de Langmuir, que es expresada de la siguiente manera:

$$q_e = \frac{q_{max}}{1 + bC_e} bC_e \quad 1$$

Dónde:

qe= cantidad de metal adsorbido en (mmol/g)

qmax= capacidad máxima de Langmuir en monocapa expresada en (mmol/g)

b= constante de Langmuir en (L/mmol)

Ce= concentraciones iniciales y de equilibrio respectivamente en (mmol/L) [29].

1.4.5 Isoterma de Freundlich

La isoterma de Freundlich considera una superficie heterogénea del adsorbente, asumiendo que la adsorción se produce en sitios que tienen diferente energía de adsorción. La energía de adsorción varía en función de la cobertura de la superficie; el modelo de Freundlich también es aplicable a la adsorción multicapa [41].

Es aplicable, tanto para concentraciones medias y bajas de solutos [43], para procesos de adsorción que se producen en superficies heterogéneas. Esta isoterma da una expresión que define la heterogeneidad superficial y la distribución exponencial de sitios activos y sus energías [39]. Permite valorar al adsorbato con respecto a la intensidad de adsorción que tiene sobre la superficie del adsorbente [44].

La ecuación 2 representa a la ecuación de Freundlich, la cual se expresa de la siguiente forma:

$$q_e = KFbC_e^{1/n} \quad 2$$

Dónde:

qe= cantidad de metal adsorbido en (mmol/g)

b= constante de Langmuir en (L · mmol⁻¹)

Ce= concentraciones iniciales y de equilibrio respectivamente en (mmol/L)

KF= constante de Freundlich

n= la intensidad de sorción

Los valores de $1/n$ indican que el tipo de isoterma es irreversible ($1/n = 0$), favorable ($0 < 1/n < 1$), desfavorable ($1/n > 1$) [42].

1.4.6 Cinética

La cinética de adsorción da a conocer la velocidad de adsorción del adsorbato (celulosa de raquis de banano), ésta cinética de adsorción permite presagiar la velocidad a la cual el contaminante, ya sea en este caso cadmio o plomo, se remueva del efluente que ha sido tratado. Indica cómo va evolucionando en las diferentes etapas e identificar cuál de esas es quien maneja el proceso [45].

Los estudios cinéticos para la biosorción dan la relación entre la tasa de absorción del adsorbato en el biosorbente y lo que también controla el tiempo de equilibrio. Estos parámetros calculados a partir de los estudios cinéticos son beneficiosos en la determinación de la tasa de adsorción y proporcionan información útil para el modelado y diseño de procesos [39]. Se han utilizado modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden para determinar la naturaleza de la biosorción.

1.4.7 Modelo cinético pseudo- primer orden

“La expresión matemática correspondiente a la cinética de primer orden reversible se basa en la suposición de que a cada ion metálico se le asigna un sitio de adsorción del material adsorbente” [45].

Para predecir la cinética de sorción, se ha utilizado el modelo de pseudo primer orden, que se expresa de la siguiente manera:

$$q_t = q_e(1 - e^{-kt}) \quad 3$$

Dónde:

qt= capacidad de adsorción (mg/g) a un tiempo

qe= capacidad de adsorción cuando llega al equilibrio

k= constante de adsorción Pseudo-primer orden (min^{-1})

t= tiempo [39]

1.4.8 Modelo cinético pseudo- segundo orden

Se utilizó la forma linealizada del pseudo modelo de segundo orden expresado por Ho y Mckay en 1999 [46].

Basado en la adsorción de equilibrio, el modelo de pseudo segundo orden se indica mediante la siguiente ecuación:

$$q_t = \frac{q_e^2 kt}{1 + kq_e t} \quad 4$$

Dónde:

qt: capacidad de adsorción (mg/g) a un tiempo

t: tiempo

k: constante de adsorción Pseudo segundo orden (g/mg*min)

qe: capacidad de adsorción cuando llega al equilibrio [47].

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder llevar a cabo la siguiente investigación se requirió el uso de los siguientes reactivos, materiales y equipos.

2.1 REACTIVOS

- Estándar de plomo 5000 ppm
- Estándar de cadmio 5000 ppm
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) 97% y 0.4%
- Ácido nítrico concentrado (HNO_3) 97%
- Hipoclorito de sodio 70%
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Etanol concentrado 99.8%
- Ácido acético glacial 100%
- Nitrógeno 5.0
- Acetileno 99.7 %
- Agua destilada
- Agua desionizada

2.2 MATERIALES

- Guantes
- Mascarilla
- Mandil de laboratorio
- Vasos de precipitación de 100ml, 250ml, 500ml
- Balón volumétrico de 25ml, 50ml, 100ml, 250ml, 500ml, 1000ml
- Probeta de 10ml, 25ml, 100ml
- Varilla de agitación
- Recipientes para muestra de 30 ml
- Frascos para reactivos de 500ml y 1000ml
- Embudo

- Papel filtro
- Matraz de 250ml y 500ml
- Tubos de ensayo 10ml
- Fundas auto cierre
- Piseta
- Pinzas
- Crisoles
- Lunas de reloj
- Micro pipetas 10ul, 100ul y 1000ul
- Espátula
- Tamiz de malla 250 μm
- Molino

2.3 EQUIPOS

- Balanza analítica
- Espectrofotómetro de adsorción atómica 6300 marca SHIMADZU
- pH-metro
- Equipo de agitación
- Estufa de calentamiento
- Desecador
- Equipo extractor DIONEX ASE 150
- Termómetro
- Termobalanza OHAUS
- Compresor

2.4 ÁREA DE RECOLECCIÓN DEL RAQUIS DE BANANO

Se obtuvieron las muestras para realizar los análisis de la bananera “LA SILVA” en la provincia de el Oro.

2.5 DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.5.1 Proceso de obtención de las muestras

Se recibió el raquis de banano, se troceó en partes pequeñas y se lavó con agua destilada, se dejó en la estufa hasta que perdió la humedad y luego se procedió a disminuir su tamaño de partícula y pasándolas por un tamiz de 250 μm se almacena la muestra en fundas con cierre hermético y se almacena en el desecador hasta su uso.

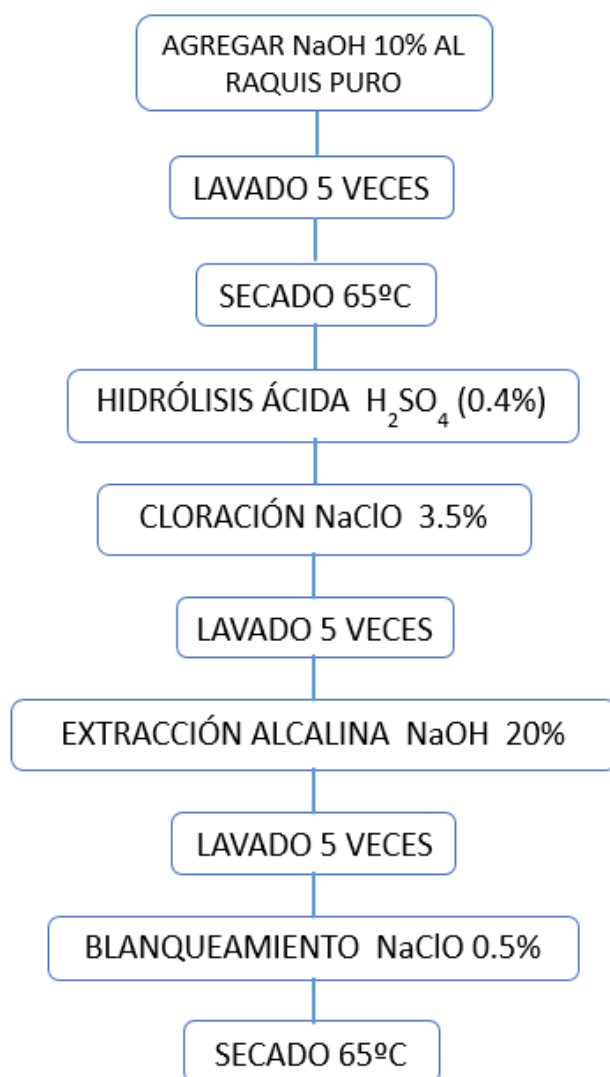
El siguiente diagrama 1 se muestra el procedimiento de obtención del material absorbente:

Diagrama 1: Flujo de proceso de obtención de raquis puro



A continuación, en el diagrama 2 se muestra el procedimiento de hidrólisis ácida para la obtención de celulosa de raquis, material absorbente aplicado para la presente investigación:

Diagrama 2: Flujo de proceso de obtención celulosa a partir del raquis de banano



Para la obtención de celulosa a partir del raquis puro se tomó 20 gramos de muestra y se sometió al proceso de hidrólisis ácida. Para este proceso en primer lugar se agregó NaOH al 10%, se lavó y se secó en la estufa a 65°C, luego se realizó el ataque químico con H₂SO₄ al 0.4 %, se procedió a lavar y posterior se hizo una cloración con NaClO a 3.5%, se lavó 5 veces y se procedió a realizar una extracción alcalina con NaOH al 20%, luego se volvió a realizar 5 lavados para que el material quede libre de NaOH, finalmente se procedió al blanqueamiento con NaClO al 0.5%, se filtró y se secó la muestra en la estufa a 65°C durante 24 horas.

2.6 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

2.6.1 Determinación de extraíbles

Estos componentes representan los compuestos solubles, que podrían interferir en el resto de métodos de caracterización química, por lo que es necesario eliminarlos por medio de la extracción con etanol o tolueno ya que da típicamente el nivel más alto de extractos debido a la disolución adicional de carbohidratos y polifenoles de bajo peso molecular, se usó el sistema DIONEX ASE 150 para realizar extraíbles a la muestra ya que mejoran la productividad mediante el uso de una combinación de temperatura y presión elevadas para aumentar la eficiencia del proceso de extracción. El resultado en tiempos de extracción son más rápidos [48].

2.6.1.1 Método - Norma TAPPI T-204

Se usó la norma TAPPI T-204 cm-97 en donde se prepara el equipo DIONEX ASE 150 con alcohol y nitrógeno se programa con el método correspondiente método 20 para extraíbles el cual tiene que llegar a una temperatura de 100°C para poder ubicar la muestra, una vez listo el equipo se procede a agregar la 3 gramos de muestra seca de (raquis puro y celulosa de raquis) en la celda con su respectivo filtro de fibra de vidrio se tapó la celda y se inicia el proceso de extraíbles durante 30 minutos por un lavado de alcohol de 3 veces, transcurrido los 30 minutos se retira la celda y se coloca la celda en la estufa a 65°C durante 24 horas para eliminar la presencia del solvente (alcohol) en la celda, se retira la muestra de la celda ubicándola en un vaso de precipitación y colocando en la estufa nuevamente a 65°C luego se traslada la muestra al desecador y se determina su peso mediante una balanza analítica hasta obtener peso constante, de esta manera se obtiene una muestra libre de extraíbles que fue utilizada para los siguientes análisis.

Para la determinación del porcentaje de extraíbles dentro de la muestra se usó la siguiente fórmula, basada de peso de la muestra antes y después de la extracción y secado [49].

$$\% \text{ Extractivos} = ((PMo - PMf) \times 100) / PMo \quad 5$$

PMo: Peso de la muestra antes de la extracción y secado

PMf: Peso de la muestra después de la extracción y secado

2.6.2 Determinación de lignina

La lignina es resistente a la hidrólisis ácida, fácilmente oxidable, soluble en bisulfito o álcalis caliente, y fácilmente condensable con fenoles o tioles; por lo que para su determinación se lleva a cabo un ataque ácido, cuantificando el residuo que queda después de la hidrólisis [50].

2.6.2.1 TAPPI T-222

Se utiliza la norma TAPPI T-222 om-98 o método Klason [51], aplicándolo en la muestra libre de extraíbles obtenida en el análisis anterior, donde se pesa 1 gramo de la muestra y se coloca en un vaso de precipitación de 50 ml, previamente se preparó una solución de H₂SO₄ al 72 % a partir de una solución concentrada, y se agregó 15 ml a la muestra pesada, se torna de color negro y se mantuvo durante 2 horas en agitación constante, se vacía la muestra en un vaso de precipitación de 1 litro y se realizó una disolución al 4 % de H₂SO₄ agregando agua destilada y se deja en ebullición suave por 4 horas, pasadas las 4 horas se decantó y filtro la muestra, paralelamente se pesa en un crisol limpio, seco y etiquetado en donde se ubica la muestra con el papel filtro en la estufa entre 65°C a 75°C durante 24 horas, luego se lleva la muestra a un desecador y se procede a determinar el peso de la muestra hasta peso constante, para la determinación del porcentaje de lignina se utiliza la siguiente fórmula, basada en el peso del residuo que queda después de la hidrólisis ácida y secado de la muestra [52].

$$\% \text{ Lignina} = (PMf \times 100) / PMo \quad 6$$

Donde:

PMo: Peso de la muestra antes de la hidrólisis ácida y secado

PMf: Peso de la muestra después de la hidrólisis ácida y secado

2.6.3 Determinación de la holocelulosa

La holocelulosa es el total de carbohidratos poliméricos que hay en el material lignocelulósico, es decir la suma del porcentaje de celulosa y hemicelulosa; la

cuantificación de este constituyente es esencial para dichas determinaciones porque mediante este análisis lo que se pretende es aislar la holocelulosa y determinar su porcentaje, para luego realizar un posterior tratamiento de la muestra con el fin de determinar la celulosa, y por la diferencia de estos dos componentes determinar el de hemicelulosa [53].

2.6.3.1 ASTM D-1104

Se determina empleando el método de la ASTM D-1104, usando 2 gramos de muestra libre de extraíbles y colocándola en un matraz de cuello no esmerilado de 250ml, se lleva a baño maría en un rango de temperatura entre 75 a 85°C, se trata la muestra con 150ml de agua destilada y 0.2 ml de ácido acético glacial y 1 gramo de hipoclorito de sodio, se tapó y se dejó reposar durante 1 hora manteniendo a temperatura ambiente, se agrega 0.2 ml de ácido glacial y gramo de hipoclorito de sodio y se repite cada hora durante las siguientes 5 horas o por lo menos hasta que la muestra se torne blanca, una vez obtenido el color blanco en la muestra se coloca el matraz en un baño de hielo hasta alcanzar una temperatura de 10°C y después se filtra el contenido del matraz y se lava la muestra con agua destilada fría, donde el residuo amarillo pasa totalmente a color blanco y paralelamente se lavó, se etiquetó, secó un crisol en donde se ubicó la muestra y se dejó secar en una estufa a 105°C una vez secado en la estufa se lleva a un desecador y se procede a pesar en una balanza analítica hasta alcanzar peso constante, una vez obtenida la muestra se almacena para una posterior determinación de celulosa [54].

Para efectos de cálculos se utilizó la siguiente fórmula, basada en el residuo seco que queda después del tratamiento con ácido acético e hipoclorito de sodio y el secado en la estufa:

$$\% \text{ Holocelulosa} = (PMf \times 100) / PMo \quad 7$$

Donde:

PMo: Peso de la muestra antes del tratamiento y secado

PMf: Peso de la muestra después del tratamiento y secado

2.6.4 Determinación de celulosa

Las propiedades más importantes de la celulosa se relacionan, en primer lugar, con la susceptibilidad de la molécula a la hidrólisis y, en segundo lugar, con su capacidad de absorber agua, la separación de hemicelulosa y celulosa se hace en base a la solubilidad en solución acuosa al 17.5 % en peso de hidróxido de sodio (NaOH) [55].

2.6.4.1 TAPPI T-212

Se determina por medio de la holocelulosa aplicando el método TAPPI T-212, donde se pesó 1 gramo de muestra tratada por la determinación de holocelulosa y se colocó en un matraz de 100 ml y se agregó agua destilada a una temperatura de 25°C, posteriormente se prepara una solución de hidróxido de sodio al 17.5% y se añade 10 ml a la muestra se agita y luego se deja reposar por 5 minutos, pasado los 5 minutos se añade nuevamente 5 ml de hidróxido de sodio al 17.5% se agitó y se deja reposar por 30 minutos, luego se añade 30 ml de agua destilada se agita y se deja reposar durante 1 hora, a continuación se filtró al vacío con un crisol de fondo poroso, previamente lavado, etiquetado, secado a 65°C y pesado, se realiza lavados a la muestra con una disolución de agua e hidróxido de sodio (30 ml de agua y 25 ml de hidróxido de sodio al 17.5 %) , posteriormente se lava con 30 ml de agua, aplicando filtración al vacío, se agrega 5 ml de ácido acético al 10% sin aplicar filtración al vacío y se deja reposar por 3 minutos, una vez cumplido el tiempo se vuelve a lavar con 50 ml de agua destilada aplicando al vacío, ya filtrada la muestra se procede a un secado en una estufa entre 65 y 85°C, se lleva a un desecador y se toma el peso en una balanza analítica hasta llevar a peso constante [56].

El cálculo necesario para la determinación de celulosa se expresa en la siguiente fórmula basada en el peso inicial de la muestra y el peso del residuo seco después del tratamiento que recibió la muestra:

$$\% \text{ Celulosa} = (PMf \times 100) / PMo \quad 8$$

Dónde:

PMo: Peso de la muestra antes del tratamiento y secado

PMf: Peso de la muestra después del tratamiento y secado

2.6.5 Determinación de la hemicelulosa

Existen diferentes métodos, entre ellos los indirectos, los cuales tienen 2 defectos que consisten en asumir datos; no se conoce ningún método que la determine de manera confiable, principalmente porque la hemicelulosa forma con la lignina un complejo con uniones químicas que es imposible de aislar sin considerables modificaciones [57].

Se determinó por la diferencia entre el porcentaje de holocelulosa y celulosa:

$$\% \text{ Hemicelulosa} = \% \text{ Holocelulosa} - \% \text{ Celulosa} \quad 9$$

2.7 ESTUDIO DE ADSORCIÓN

Dentro del estudio de adsorción se detalla el fenómeno físico-químico en el cuál existe una disminución de uno o más componentes, como lo es el adsorbato, éste se puede encontrar ya sea en una fase gaseosa o líquida; esta disminución del adsorbato se lleva a cabo a través del adsorbente que se encuentra en fase sólida [58].

A continuación, se muestra la figura 1, donde se da a conocer el estudio de adsorción:

Figura 1: Esquema de experimentación de adsorción



2.7.1 Estudio de pH

Para realizar el estudio de pH 0.025 g de celulosa de raquis de banano en 25 ml de solución de cadmio a pH: 2, 4, 6, 7.5 y 8 y para plomo a pH: 3, 4, 4.5, 5 y 6; para ambas soluciones se tomó por triplicado obteniéndose así 15 muestras por metal, con un total de 30 muestras, se dejó por 24 horas en agitación constante a 120 rpm, luego se filtró dos veces cada una de las muestras para dar paso a la lectura en el AAS (Espectrofotómetro de adsorción

atómica) por el método de flama, para la lectura se utilizaron 4 estándares para plomo: 5ppm, 25ppm, 40ppm, 50ppm, mientras que para cadmio se utilizaron 4 estándares 0.2 ppm, 0.5ppm, 0.8 ppm y 1ppm.

2.7.2 Isotermas de adsorción

En el presente estudio para realizar isotermas de adsorción se lleva a cabo el siguiente proceso:

- Una vez obtenido el resultado del estudio de pH se prepararon dos soluciones madre de Pb^{2+} y Cd^{2+} de 1000 ppm cada una, nitrato de plomo (II) y de cloruro de Cadmio respectivamente.
- Cada solución se llevó al pH óptimo, resultado el cual se obtuvo del estudio de pH y se lleva la solución a diferentes concentraciones.
- Las concentraciones utilizadas para llevar a cabo este estudio fueron: 5ppm, 10ppm, 20ppm, 30ppm, 50ppm y 75ppm y también se trabajó a 100ppm, 125ppm, 150ppm y 200 ppm para Pb^{2+} , mientras que para Cd fueron sólo de 10ppm a 100ppm en una escala de 10 en 10 en 25 ml de agua desionizada para poder determinar las isotermas de adsorción.
- Los análisis se realizaron por triplicado obteniendo un total de 30 muestras para Cd^{2+} y 30 muestras para Pb^{2+} , esto se realizó para todas las concentraciones a partir de la solución madre.
- Se pesó el adsorbente en muestras estandarizadas de 0.025 g, a las cuales se les agregó las soluciones a diferentes concentraciones ya mencionadas previamente y cada muestra se mantuvo en agitación a 120 rpm por 24 horas.
- Luego de la agitación y el contacto entre el adsorbente y el adsorbato se procedió a filtrar las muestras para proseguir con la lectura de Pb^{2+} y Cd^{2+} en el espectrofotómetro de absorción atómica.
- Luego de obtener los datos analizados por el espectrofotómetro de adsorción atómica, se procede a analizar y graficar mediante el software Origin 9.0 y determinar qué modelo matemático se ajusta mejor a la isoterma de adsorción, ya sea Langmuir o Freundlich.

2.7.3 Cinética

Para llevar a cabo la cinética de adsorción de cadmio y plomo se realizó el siguiente proceso:

- Se utilizó la misma solución madre de 1000 ppm ya preparada con un pH ajustado tanto para cadmio y plomo.
- Se utilizó 1 litro de solución para cada metal en el cual se agregó 0.5 g de material adsorbente (celulosa de raquis de banano) a la solución de Cd^{2+} y Pb^{2+} .
- Para cadmio se tomó una muestra inicial, luego se tomaron alícuotas de 10 ml de la muestra cada 10 min durante 2 horas, luego se tomaron alícuotas de 10 ml de la misma muestra cada 20 min durante 2 horas.
- Para plomo se tomó una muestra inicial, luego se tomaron alícuotas de 10 ml de la muestra cada 15 min durante 2 horas y media, luego se tomaron alícuotas de 10 ml de la misma muestra cada 30 min durante 1 hora y media.
- Las muestras obtenidas tanto de la solución de Cd^{2+} y Pb^{2+} se procedió hacer la respectiva lectura en el espectrofotómetro de adsorción atómica.
- Se utilizó el software Origin 9.0 para determinar los modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden.

2.7.4 Adsorción – desorción

Para realizar el estudio de adsorción – desorción el cual nos ayudó a determinar la reusabilidad del material celulosa de raquis de banano se realizó el siguiente proceso:

- Se preparó soluciones de Cd^{2+} y Pb^{2+} a concentraciones de 200 ppm para Cd^{2+} y 100 ppm para Pb^{2+} ajustándolo a su pH óptimo para realizar el estudio de adsorción.
- Se pesó 0.025 g del material adsorbente y se agregó 25ml de las soluciones de Cd^{2+} y Pb^{2+} respectivamente.
- Se realizó una muestra para cadmio y plomo por triplicado y se dejó en agitación a 120rpm durante 24 horas.
- Se dejó decantar 30 min las muestras para proceder a medir el pH, posteriormente se tomó una alícuota de 10 ml.

- Se filtró y lavó la muestra con agua desionizada, quedando el material adsorbente, al cual se le agregó 25 ml de HCl a 0.1 molar (m/v) para determinar el proceso de desorción y posteriormente se dejó en agitación a 120 rpm durante 24 horas.
- Este procedimiento tanto para el proceso de adsorción y desorción se lo repitió durante 3 ciclos, los cuales fueron el tiempo máximo de reusabilidad del material adsorbente.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL

3.1.1 Determinación de extraíbles

Para la determinación de extraíbles se utilizó el equipo Dionex Ase 150, ya que mejora la productividad mediante el uso de una combinación de temperatura y alta presión para aumentar la eficiencia del proceso de extracción, el resultado son tiempos cortos [48].

En la tabla 3, se observa los datos experimentales en determinación de extraíbles.

Tabla 3. Determinación de extraíbles

Material Adsorbente	P. Inicial (g)	P. Final (g)	% Extraíbles
Raquis de Banano	3	2.5016	16.61
Celulosa de raquis	2.12	1.9627	7.43

Los resultados obtenidos del porcentaje de extraíbles para el raquis de banano son de 16.61% de extraíbles, mientras que para la celulosa de raquis se obtuvo un 7.43% de extraíbles, siendo el raquis de banano el que contiene un porcentaje de extraíbles mayor al de celulosa de raquis, este proceso se realizó con el fin de eliminar todo compuesto soluble que puede interferir en los demás procesos de caracterización.

3.1.2 Determinación de lignina

En este proceso se utilizó la norma TAPPI T-222 om-98 o método Klason [51], mismo que consiste en un ataque químico, o hidrólisis ácida. Para poder llevar a cabo este proceso, se pesó y se usó una parte de la muestra libre de extraíbles mediante una cuantificación del residuo después de la hidrólisis.

A continuación, en la tabla 4, se observa los datos experimentales que se obtuvieron para la determinación de porcentaje de lignina:

Tabla 4: Determinación de Lignina

Material	P. Inicial (g)	P. Final (g)	% Lignina
Raquis de Banano	1.5008	0.1861	12
Celulosa de raquis	1.5002	0.1350	9

Mediante la determinación de lignina tanto como para raquis de banano y celulosa de raquis, dio como resultado que el porcentaje de lignina en el raquis de banano es mayor en relación al porcentaje de lignina en la celulosa de raquis. Según [59], que trabajó con cáscara de naranja como material absorbente obtuvo 11% de lignina, mientras que [60] trabajó con paja de trigo como material absorbente obteniendo un 17% de lignina.

Los resultados obtenidos nos indican que existe un 3% de diferencia entre el raquis de banano y celulosa de raquis, siendo celulosa de raquis el valor más bajo, este valor se dio debido a que, para la obtención del material celulosa de raquis, se realizó una hidrólisis ácida baja 0.4%, y a partir de la obtención de celulosa de raquis, se determinó lignina aplicando hidrólisis ácida al 72%.

3.1.3 Determinación de holocelulosa

El análisis de porcentaje de holocelulosa se lo realizó acorde al método ASTM D-1104 [54], donde se utilizó 2 gramos de muestra libre de extraíbles para cada material adsorbente.

A continuación, en la tabla 5, se muestran los datos experimentales obtenidos del proceso de determinación de holocelulosa.

Tabla 5: Determinación de holocelulosa

Material Adsorbente	P. Inicial (g)	P. Final (g)	% HOLOCELULOSA
Raquis de Banano	2.001	0.6110	30.55
Celulosa de Raquis	2.006	1.060	53

Mediante la determinación de holocelulosa, para el raquis de banano se obtuvo 30.55% de holocelulosa y un 53% de holocelulosa en celulosa de raquis, siendo el raquis de banano el porcentaje más bajo que el de celulosa de raquis, esto se debe a que el ácido acético actúa degradando a la lignina y clarificando la muestra.

3.1.4 Determinación de celulosa

La celulosa es un homopolisacárido rígido, insoluble, que contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de glucosa. La celulosa corresponde a la biomolécula más abundante de la biomasa terrestre [56].

En la tabla 6, se observó los datos experimentales de la determinación de celulosa.

Tabla 6: Determinación de celulosa

Material Adsorbente	P. Inicial (g)	P. Final (g)	% CELULOSA
Raquis de Banano	1.008	0.2708	26.86
Celulosa de Raquis	1.060	0.7725	52.50

Mediante la determinación de celulosa, se obtuvo un 26.86% de raquis de banano y un 52.50 % de celulosa de raquis, siendo el porcentaje de celulosa de raquis el más alto que el raquis de banano. Según [59], trabajó con cáscara de naranja obteniendo un porcentaje de celulosa de 33% y [60], trabajó con paja de trigo como material adsorbente obteniendo un porcentaje de celulosa de 30%.

Existe una diferencia de 25.64% entre el raquis de banano y celulosa de raquis, siendo celulosa de raquis el de mayor porcentaje con un 52.50%, este valor se dio debido a que nuestro material es celulosa de raquis, donde, se utilizó el método kraft, reduciendo los componentes de la composición química del material tales como lignina, holocelulosa, hemicelulosa, logrando obtener la mayor parte de celulosa, comparado con otros materiales que con el mismo método tienen porcentajes de celulosa más bajos.

3.1.5 Determinación de hemicelulosa

En la determinación de hemicelulosa se da por diferencia de porcentajes entre los porcentajes de holocelulosa y celulosa, quedando como resultado el porcentaje de hemicelulosa obtenida para cada material adsorbente [57].

En la tabla 7, se observó la determinación de hemicelulosa.

Tabla 7: Determinación de hemicelulosa

Material Adsorbente	% HOLOCELULOSA	% CELULOSA	% HEMICELULOSA
Raquis de Banano	30.55	26.86	3.69
Celulosa de Raquis	53	52.50	0.50

Por medio de la determinación de hemicelulosa, se observó un 3.69% de hemicelulosa para raquis de banano, y un 0.50% de hemicelulosa para celulosa de raquis, siendo el porcentaje de raquis de banano más alto que el de celulosa de raquis, los cuales fueron obtenidos mediante el cálculo de diferencia de porcentajes con valores de celulosa y holocelulosa.

3.1.6 Composición de raquis de banano y celulosa de raquis

Para la composición de raquis de banano y celulosa de raquis se utilizaron algunos métodos, tanto como para la determinación de libre de extraíbles, lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa, que son componentes de los materiales utilizados.

En la tabla 8, se observó la composición del raquis de banano y celulosa de raquis.

Tabla 8: Composición de raquis de banano y celulosa de raquis

COMPOSICIÓN DE: RAQUIS DE BANANO Y CELULOSA DE RAQUIS					
Material	% EXTRAIBLES	% LIGNINA	% HOLOCELULOSA	% CELULOSA	% HEMICELULOSA
Celulosa de raquis	7.43	9	53	52.50	0.50
Raquis de banano	16.61	12	30.66	30.27	0.39

Mediante la composición del raquis de banano y celulosa de raquis, se observó el porcentaje de componentes que contienen cada material utilizado. Y se determinó que el

porcentaje de extraíbles para celulosa de raquis, es más bajo que el de raquis de banano ya que al material celulosa de raquis, aparte de que se le realizó una hidrólisis ácida también se le hizo un blanqueamiento con hipoclorito de sodio a dos concentraciones de 10 y 20%.

Para el porcentaje de lignina se determinó que en celulosa de raquis hay 9% mientras que en el raquis de banano hay un 12%, este porcentaje bajo de lignina en celulosa de raquis, se dio debido a que se realizó dos hidrólisis ácidas, una al 0.4% para la obtención de celulosa de raquis, mientras que para la determinación de lignina fue una hidrólisis ácida de 72%.

Sin embargo, en la determinación de holocelulosa, se obtuvo en celulosa de raquis un 53% y en raquis de banano un 30.66%, siendo la celulosa de raquis el porcentaje más alto en la determinación de holocelulosa, este valor se da, debido a que la holocelulosa está ligada con la celulosa, a partir del porcentaje de holocelulosa obtenido, se realizó la determinación de celulosa.

Mediante la determinación de celulosa, se obtuvo el porcentaje más alto con un 52.50% para celulosa de raquis, mientras que, para el raquis de banano fue más bajo con un 30.27%, siendo el método kraft, el que desglosa los componentes de la celulosa de raquis, como la lignina, holocelulosa, hemicelulosa, dando así un alto porcentaje para celulosa, debido a que al aplicar el método kraft se encarga de desglosar los demás componentes, quedando así, un mayor porcentaje de celulosa.

Para la determinación de hemicelulosa, se realizó por diferencia de porcentajes obtenidos de holocelulosa y celulosa, dándonos como resultado el porcentaje de hemicelulosa más alto con un 0.50% en celulosa de raquis, mientras que el raquis de banano es más bajo con un 0.39% de hemicelulosa.

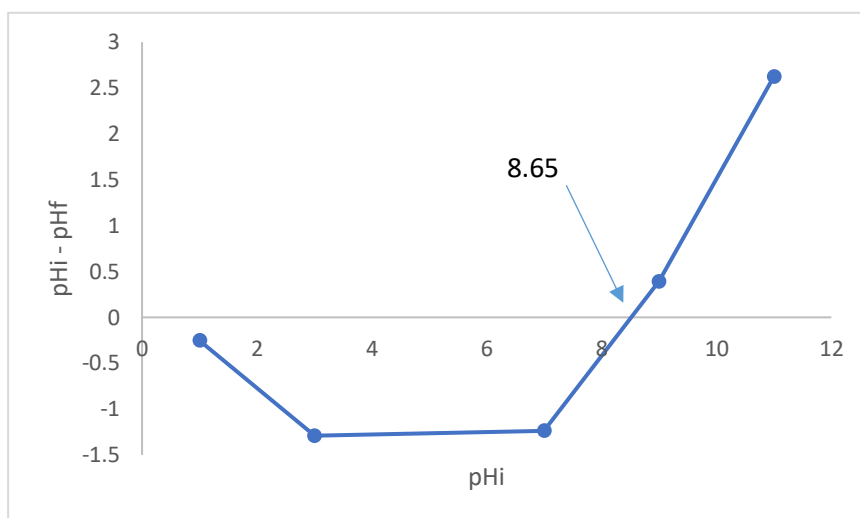
3.1.7 Potencial carga cero (pH_{PZC})

También conocido como punto isoelectrico [38]. Éste parámetro es de mucha importancia para determinar particularmente la afinidad entre el adsorbente por un adsorbato en específico [61].

Para determinar el pH_{PZC} del material adsorbente (celulosa de raquis de banano) se utilizó una solución de NaCl 0.01M en el rango de pH 1 a 11. Donde la línea es cortada es el punto

pHpzc de la celulosa de raquis de banano, así como se puede observar en la siguiente gráfica 1.

Gráfica 1: Potencial carga cero de la celulosa de raquis de banano



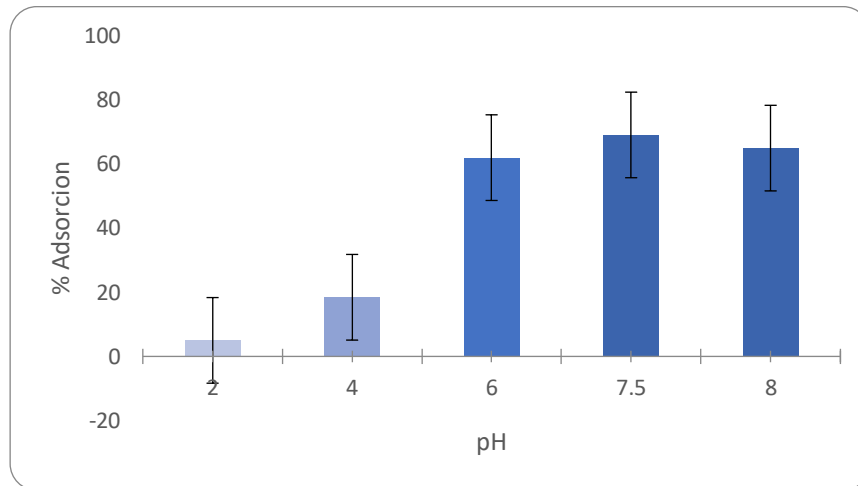
(dosis 1g/L, temperatura 25°C, volumen 25ml, agitación 120rpm, tiempo de contacto 24h, pHi 1, 3, 7, 9, 11)

Hecho el respectivo análisis, podemos visualizar en la gráfica 1, que la curva corta con la abscisa obteniendo el valor de pH_{PZC} en 8.65, el cual indica que la carga del material es neutra y nos da a conocer que valores menores a 8.65 son negativos, los cuales probablemente podrían adsorber cationes; mientras que los valores mayores a 8.65 son positivos, los cuales posiblemente podrían adsorber aniones. En otra investigación, en la cual usaron como material bioadsorbente al bagazo de la caña de azúcar para la adsorción de plomo y cadmio [1], se obtuvo como resultado para dicho material 6.11 de pH_{PZC}.

3.1.3 Estudio de pH

Este estudio es fundamental para el proceso de adsorción, ya que determina el grado de protonación y deprotonación de los grupos funcionales se obtiene la especiación del metal [62]. En la presente investigación se realizó el estudio de pH para Cd²⁺ y Pb²⁺, reflejado en los gráficos 2 y 3 respectivamente.

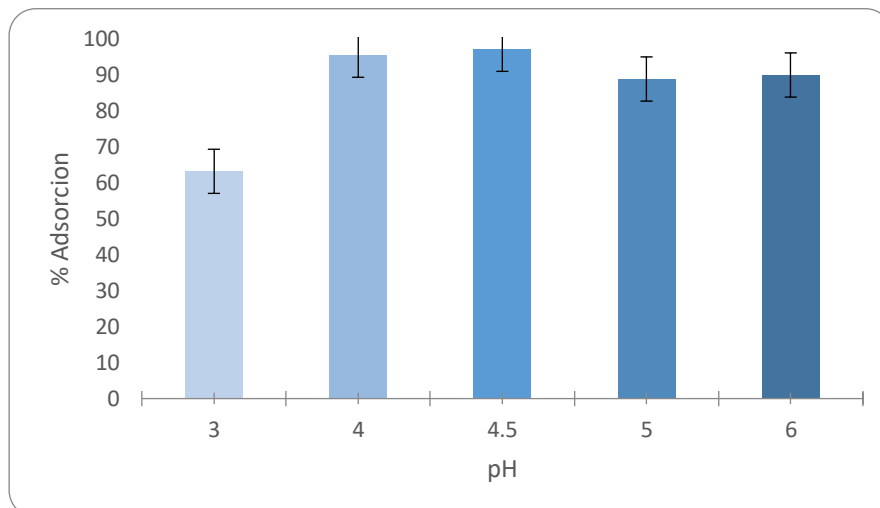
Gráfica 2: Efecto de pH de la celulosa del raquis de banano sobre el Cd^{2+}



(dosis 1g/L, temperatura 25°C, agitación 120rpm, tiempo de contacto 24h, $\text{Co}=50$ ppm)

De acuerdo a los datos obtenidos en el espectrofotómetro de adsorción atómica se obtuvieron mejores resultados en la adsorción de Cd^{2+} trabajando a un pH 7.5 mediante la celulosa del raquis de banano, mientras que las demás soluciones preparadas a diferentes pHs alcanzaron una adsorción en menor cantidad. En otra investigación realizada por [63], da a conocer que para su estudio de pH para adsorción de Cd^{2+} presentó resultados favorables a un pH de 7 con un tiempo de contacto de 10 horas y una temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

Gráfica 3: Efecto de pH de la celulosa del raquis de banano sobre el Pb^{2+}



(dosis 1g/L, temperatura 25°C, agitación 120rpm, tiempo de contacto 24h, $\text{Co}=100$ ppm)

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el espectrofotómetro de adsorción atómica, se determinó que para Pb^{2+} existió un mejor resultado de adsorción a un pH de 4.5 utilizando la celulosa de raquis de banano. Éstos resultados coinciden con otra investigación realizada por [64], en la cual trabajó con cáscara de naranja y zuro de maíz y da a conocer que para su estudio de pH para adsorción de Pb^{2+} presentó resultados favorables a un pH de 6 con un tiempo de contacto de 2 horas y una temperatura de 25°C.

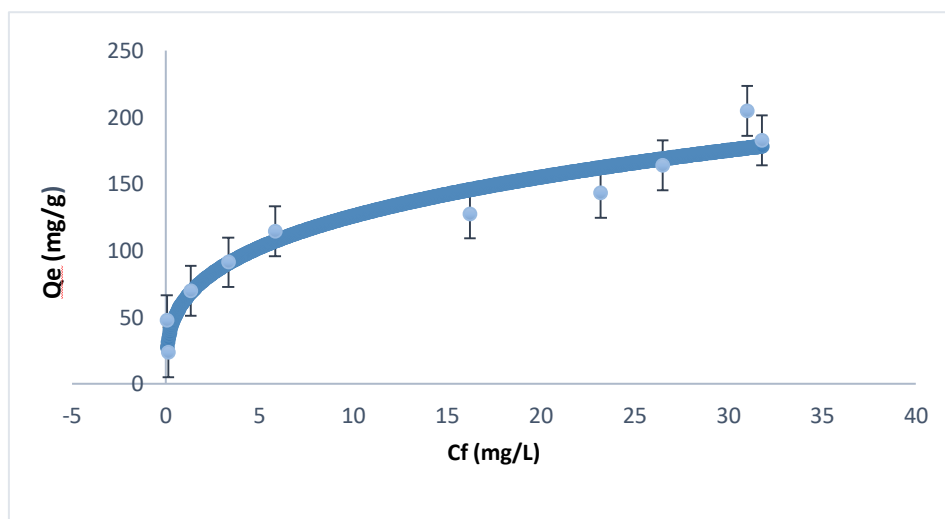
3.1.4 Estudio de equilibrio

Dentro del estudio de equilibrio se especifica la actitud del material en equilibrio, con las siguientes gráficas es posible saber la capacidad de adsorción de materiales. “Una isoterma de adsorción revela el equilibrio de la adsorción de un material unido a la superficie a una temperatura constante” [65].

3.1.4.1 Isoterma de cadmio

En la gráfica 4 se distingue la capacidad de adsorción del Cd^{+2} :

Gráfica 4: Isoterma de adsorción de Cd^{2+} con celulosa de raquis de banano



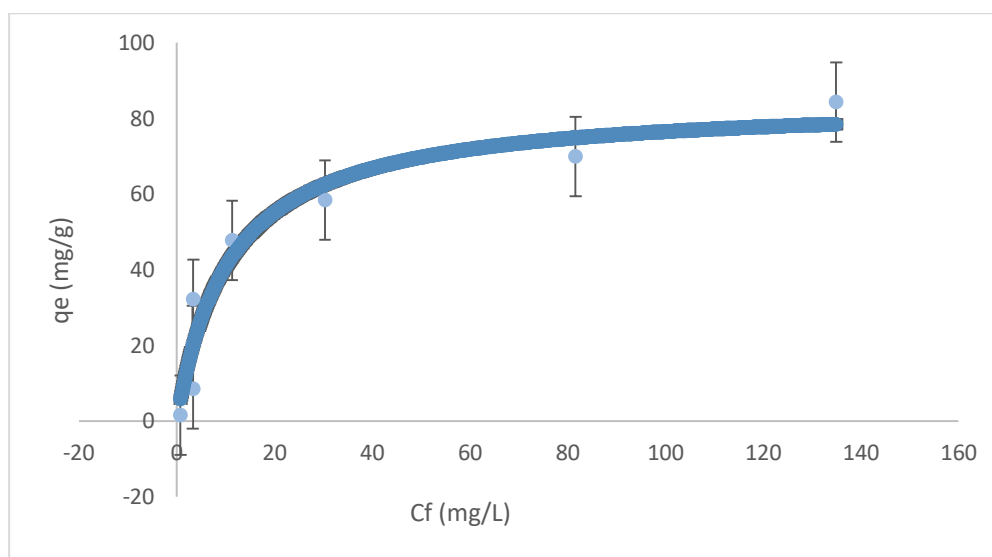
(dosis 1g/L, temperatura 25°C, agitación 120rpm, tiempo de contacto 24h, pH 7.5, concentración 10-20-30-40-50-60-70-80-90-100 ppm)

Es esta gráfica se presentó un mejor ajuste mediante el modelo matemático de la isoterma de Freundlich con $q_{\text{experimental}} = 204.5636$ mg Cd/g de adsorbente.

3.1.4.2 Isoterma de plomo

En la gráfica 5 se distingue la capacidad de adsorción del Pb^{2+} :

Gráfica 5: Isoterma de adsorción de Pb^{2+} con celulosa de raquis de banano



(dosis 1g/L, temperatura 25°C, agitación 120 rpm, tiempo de contacto 24h, pH 4.5, concentración 5-10-20-30-50-75-100 ppm)

En la gráfica 5 se presentó un ajuste superior mediante el modelo matemático de la isoterma de Langmuir con q_{max} de 84.67076 mg Pb/g de adsorbente (celulosa de raquis de banano).

Los resultados presentados se llevaron a cabo mediante la aplicación de los modelos matemáticos mencionados anteriormente, otorgando un mejor ajuste para el modelo matemático de adsorción de Freundlich tanto para cadmio y Langmuir para plomo, presentando un coeficiente de correlación $r^2 = 0.93415$ de Cd^{2+} y 0.938001 de Pb^{2+} .

Para el correcto ajuste de los modelos matemáticos, se utilizó el software Origin 9.0, los cuales se muestran a continuación en la tabla 9.

Tabla 9: Parámetros de adsorción para los modelos de Langmuir y Freundlich

Modelos matemáticos		Metales			
LANGMUIR		Cd		Pb	
Parámetros	Unidades	Valor	Error	Valor	Error
q_{max}	mg/g	186.7154	18.93028	84.67076	7.32813
B		0.31065	0.1476	0.09291	0.028
r^2		0.83695		0.93801	
FREUNDLUICH		Cd		Pb	
Parámetros	Unidades	Valor	Error	Valor	Error
kf	mg/g	63.23122	8.0198	14.8251	3.99667
N		3.33447	0.46597	2.76884	0.49745
r^2		0.93415		0.89293	

En comparación con otros materiales bioadsorbentes, la capacidad de adsorción de estos metaloides (Cd^{2+} y Pb^{2+}) es apreciable. A continuación, en la tabla 10 se presenta diferentes datos de adsorción de los mismos metales con otros adsorbentes.

Tabla 10: Capacidad de adsorción de diferentes materiales

Adsorbente	Metal	pH	Modelo matemático	q_{max} (mg/g)	Autor
Perlas de quitosano con surfactante	Cd^{2+}	7	Langmuir	125	[63]
Cáscara de naranja	Pb^{2+}	6	Langmuir	495.33	[64]
Zuro de maíz		6	Langmuir	152.63	
Cáscara de yuca	Pb^{2+}	6	Langmuir	52.34	[6]
Cáscara de ñame		6	Langmuir	98.36	
Celulosa de raquis de banano	Pb^{2+}	4.5	Langmuir	84.67	Presente estudio
Celulosa de raquis de banano	Cd^{2+}	7.5	Freundlich	204.56 *	
*= $q_{experimental}$					

En la tabla 10, se detalla la capacidad de adsorción de otros materiales adsorbentes utilizados para los mismos metales usados en el presente trabajo, dando a conocer en esta tabla que hay diferentes materiales bioadsorbentes que ayudan a reducir el impacto ambiental de estos contaminantes (Cd^{2+} y Pb^{2+}) en el agua, mientras que [64], trabajó con cáscara de naranja y el zuro de maíz para la adsorción de Pb^{2+} a un pH de 6 y se ajustaron ambos materiales bioadsorbentes para el modelo matemático de Langmuir, presentando su valor de $q_{\text{max}}= 495.33 \text{ mg/g}$ para cáscara de naranja y $q_{\text{max}}= 152.63 \text{ mg/g}$ para zuro de maíz. Para los diferentes materiales adsorbentes presentes en la tabla 10, se observó que el modelo por el cual se ajustaron, fue mediante el modelo matemático de Langmuir a excepción del Cd^{2+} presente investigación realizada con celulosa de raquis de banano, en la cual se ajustó mediante el modelo matemático de Freundlich que lleva a cabo una adsorción en multicapas.

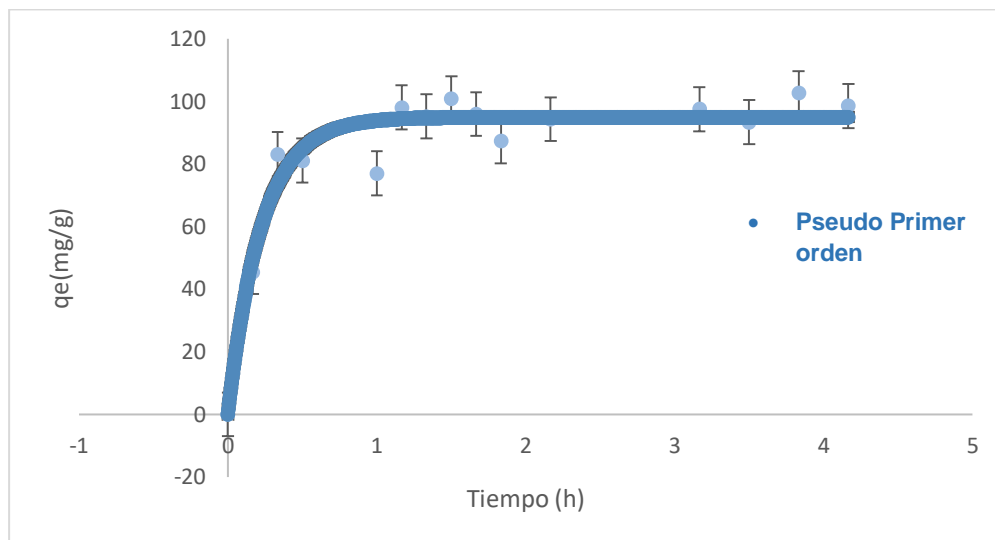
3.1.5 Cinética de adsorción

Los estudios de cinética son muy relevantes para determinar el tiempo de contacto que se necesita entre el sorbato y el sorbente [29], también necesario para optimizar diferentes condiciones de operación para adsorción de metales pesados [66]. La velocidad de adsorción de ambos metales tomó tiempos de adsorción relativamente cortos, hasta alcanzar su punto máximo de equilibrio, esto se evaluó usando los modelos que permitieron conocer el proceso de adsorción del Cd^{2+} y Pb^{2+} mediante la celulosa del raquis, éstos son el modelo pseudo primer orden (PPO) y Pseudo segundo orden (PSO).

3.1.5.1 Estudio cinético de cadmio

A continuación, en la gráfica 6 se describe el modelamiento cinético para PPO y PSO en Cd^{2+} :

Gráfica 6: Aplicación del modelo cinético para la adsorción de Cd²⁺ mediante celulosa de raquis de banana.



(dosis 1g/L, temperatura 25°C, agitación 120 rpm, tiempo de contacto 24h, pH 7.5, y una concentración 200ppm)

Los modelos utilizados para describir la cinética de adsorción de Cd²⁺ fueron los modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden. El modelo que más se ajustó a la cinética de adsorción fue el modelo de pseudo primer orden con una $q_{\max} = 94.97812 \pm 2.08481$ mg/g y $r^2 = 0.9415$; en otra investigación realizada para adsorción de Cd²⁺ con Moringa oleifera Lam [67], obteniendo valores de $q_{\max} = 0.073$ mg/g y $r^2 = 0.991$ ajustándose al modelo cinético de PSO.

A continuación, en la tabla 11 se demuestra los modelos cinéticos utilizados en la investigación.

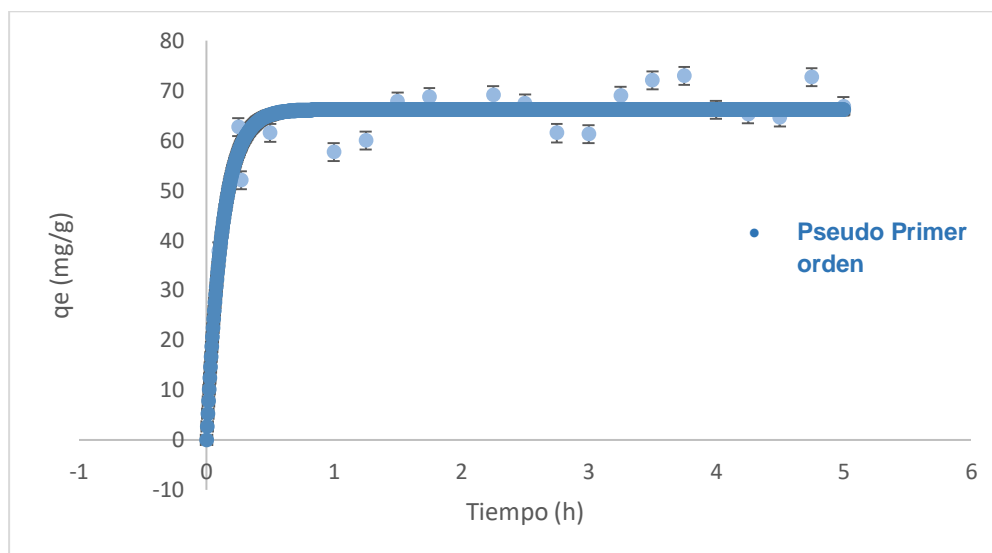
Tabla 11: Parámetros cinéticos de Cd²⁺

	q_{\max} (mg/g)	K	r^2
Pseudo primer orden	94.97812 ± 2.08481	4.47608 ± 0.64135	0.9415
Pseudo segundo orden	102.46078 ± 3.1138	0.06734 ± 0.01704	0.91142

3.1.5.2 Estudio cinético de plomo

En la gráfica 7 se describe el modelamiento cinético para PPO y PSO de Pb^{2+} :

Gráfica 7: Aplicación del modelo cinético para la adsorción de Pb^{2+} mediante celulosa de raquis de banana.



(dosis 1g/L, temperatura 25°C, agitación 24h, pH 4.5, concentración 100ppm)

Los modelos utilizados para describir la cinética de adsorción de Pb^{2+} , fueron los modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden. El modelo que más se ajustó a la cinética de adsorción fue el modelo de PPO con una $q_{max} = 66.1461 \pm 1.11534$ mg/g y $r^2 = 0.92204$; en comparación con una investigación realizada para adsorción de Pb^{2+} a partir de cáscara de yuca y ñame [6], obtuvo valores de $q_{max} = 18.68$ mg/g y $q_{max} = 19.97$ mg/g respectivamente ajustándose al modelo cinético de pseudo segundo orden.

A continuación, en la tabla 12 se demuestra los modelos cinéticos utilizados en la investigación.

Tabla 12: Parámetros cinéticos de Pb^{2+}

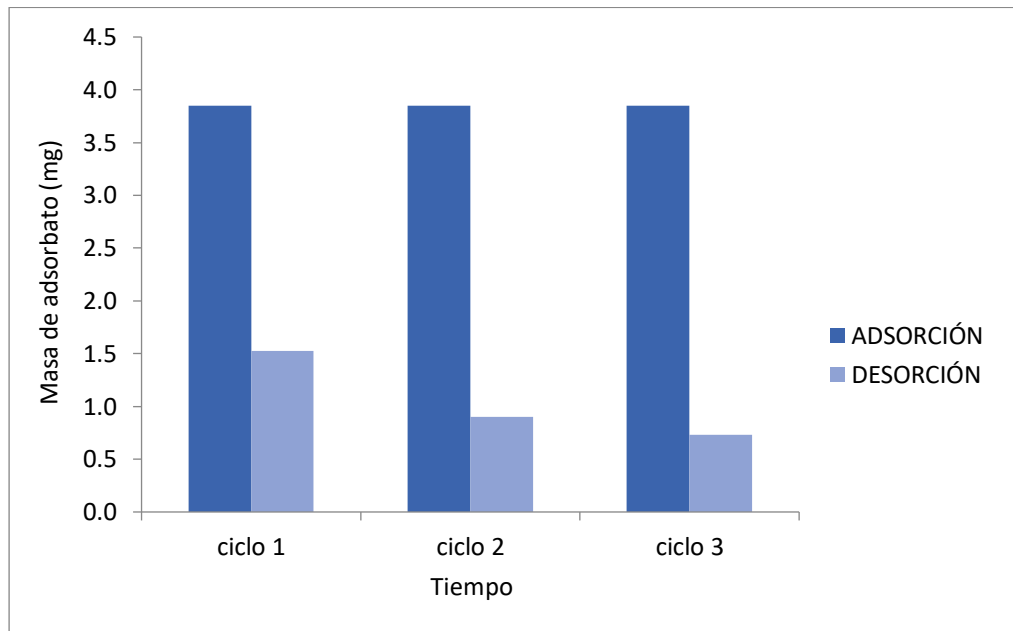
	q_{max} (mg/g)	K	r^2
Pseudo primer orden	66.1461 ± 1.11534	8.25522 ± 1.19151	0.92204
Pseudo segundo orden	68.47548 ± 1.23225	0.22084 ± 0.048	0.90366

3.1.6 Reusabilidad (Adsorción -Desorción)

3.1.6.1 Adsorción y desorción de Cd

A continuación, en la gráfica 8 se describe la reusabilidad del material mediante ciclos de adsorción y desorción para Cd²⁺:

Gráfica 8: Reusabilidad del material adsorbente para Cd²⁺



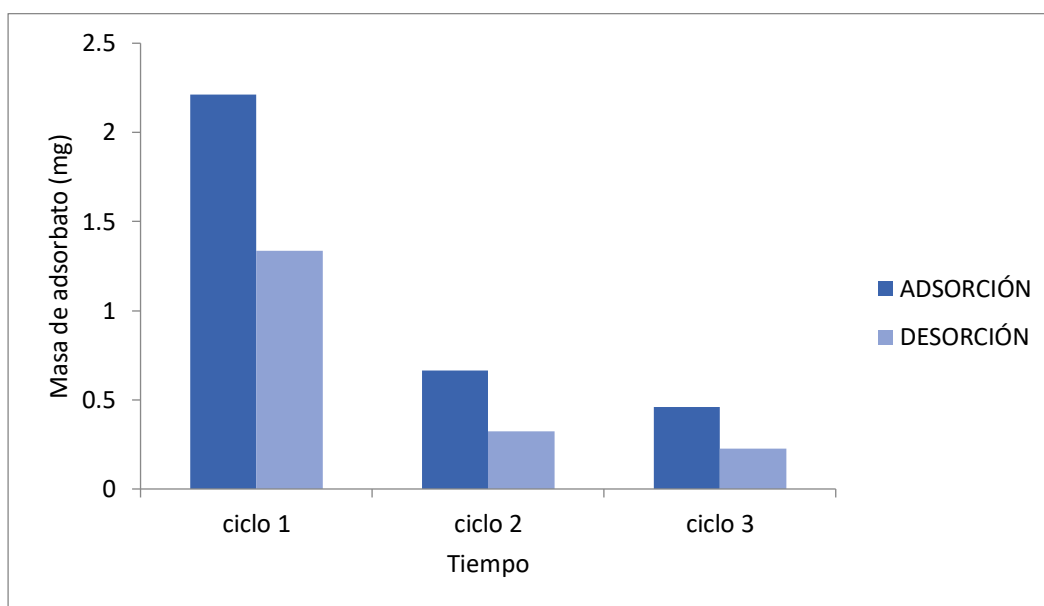
(dosis 1g/L, temperatura 25°C, agitación 120rpm, tiempo de contacto 72h, pH 7.5, concentración 200ppm)

Para este proceso de reusabilidad se lograron 3 ciclos, a medida que pasaron los ciclos de adsorción y desorción se observó que la capacidad de desorción va disminuyendo, mientras que la de adsorción se mantuvo al mismo nivel.

3.1.6.2 Adsorción y desorción de Pb

A continuación, en la gráfica 9 se describe la reusabilidad del material mediante los ciclos de adsorción y desorción para Pb²⁺.

Gráfica 9: Reusabilidad del material adsorbente para Pb^{2+}



(dosis 1g/L, temperatura 25°C, agitación 120rpm, tiempo de contacto 72h, pH 4.5, concentración 100ppm)

Para este proceso de reusabilidad se lograron 3 ciclos al igual que en Cd^{2+} , a medida que pasaron los ciclos de adsorción y desorción se observó que la capacidad de adsorción va disminuyendo al igual que la de desorción, siendo directamente proporcional en su disminución.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES

- Fue posible la obtención de celulosa de raquis de banano con una pureza de 53 %, mediante la extracción química utilizando H_2SO_4 0.4 %. Se logró eliminar 3% de lignina en el raquis de banano utilizando una hidrólisis ácida en comparación con la celulosa de raquis.
- Los resultados experimentales obtenidos en este trabajo permitieron evaluar la capacidad de adsorción y el porcentaje de adsorción de Cd^{+2} y Pb^{+2} en soluciones acuosas, utilizando celulosa de raquis de banano. Como resultado, permitió comprobar que las isotermas de equilibrio de Cd^{+2} y Pb^{+2} se ajustaron mediante el modelo matemático de Freundlich y Langmuir respectivamente, obteniéndose capacidad de adsorción de 186.7154 para Cd^{+2} y 84.67076 para Pb^{+2} .
- El estudio cinético para el análisis en la remoción de Cd^{+2} y Pb^{+2} dio como resultado que, en ambos metales su ajuste fue mediante el modelo cinético de PPO con una $q_{\text{max}} = 99.69339 \pm 3.3817$ para Cd^{+2} y una $q_{\text{max}} = 67.59247 \pm 1.70381$ para Pb^{+2} .
- De los análisis realizados se concluyó que el pH óptimo para la adsorción de estos dos metaloides fue pH 4,5 para el Pb^{+2} y pH 7,5 para Cd^{+2} .

CAPÍTULO V

5. RECOMENDACIONES

- Desarrollar estudios sobre la capacidad de adsorción de otras biomasas que correspondan a materiales residuales abundantes y de bajo costo.
- Para mejorar la reusabilidad del material, se recomienda trabajar con otros desorbentes a diferentes concentraciones como Tiourea, EDTA u otros tipos de ácidos.
- Trabajar en investigaciones con el mismo material a diferentes tamaños de partícula del adsorbente (celulosa de raquis de banano) y así evaluar si influye en la capacidad de adsorción.

BIBLIOGRAFIA

- [1] V. Luisa, U.M. F, G. Nancy, F. Marittza, V. Verónica, Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente, *Afinidad*. 73 (2016) 44.
- [2] A.M.A. Shehata, Removal of lead ions from industrial waste water by different types of natural materials, *Water Res.* 37 (2003) 1678–1683.
- [3] J. Zhao, H. Yang, C. Nan, B. Yang, D. Liu, B. Xu, Kinetics of Pb evaporation from Pb-Sn liquid alloy in vacuum distillation, *Vacuum*. (2017) 1–10. doi:10.1016/j.vacuum.2017.03.004.
- [4] J. Valdiviezo, G. Muñoz, T. Carchi, Validación de un método electroanalítico para determinación in-situ de cadmio y plomo en agua potable, *Rev. Cumbres*. 3 (2017) 47–53.
- [5] M. Grabarczyk, C. Wardak, Rapid Determination of Lead in Environmental Water by Anodic Stripping Voltammetry, *Anal. Lett.* 49 (2016) 1004–1014. doi:10.1080/00032719.2014.1003426.
- [6] C.N. Tejada, Z. Montiel, Aprovechamiento de Cáscaras de Yuca y Ñame para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Pb (II), *Univ. Cart.* 27 (2016) 9–20. doi:10.4067/S0718-07642016000100003.
- [7] N. Singh, A. Kumari, C. Balomajumder, Modeling studies on mono and binary component biosorption of phenol and cyanide from aqueous solution onto activated carbon derived from saw dust, *Saudi J. Biol. Sci.* 25 (2018) 1454–1467. doi:10.1016/j.sjbs.2016.01.007.
- [8] S. Liao, C. Lin, L. Wang, Kinetic study on lead (II) ion removal by adsorption onto peanut hull ash, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 42 (2011) 166–172. doi:10.1016/j.jtice.2010.04.009.
- [9] M. Paredes Medina, D.; Álvarez Núñez, M.; Silva Ordoñez, Obtención de Enzimas Celulasas por Fermentación Sólida de Hongos para ser Utilizadas en el Proceso de Obtención de Bioalcohol de Residuos del Cultivo de Banano, *Rev. Tecnológica ESPOL*. 23 (2010) 81–88.
- [10] V.K. Gupta, P.J.M. Carrott, R. Singh, M. Chaudhary, S. Kushwaha, Cellulose: A review as natural, modified and activated carbon adsorbent Suhas, *Bioresour. Technol.* 216 (2016) 1066–1076. doi:10.1016/j.biortech.2016.05.106.
- [11] H.H. Lee, V.N. Owens, S. Park, J. Kim, C.O. Hong, Adsorption and precipitation of cadmium affected by chemical form and addition rate of phosphate in soils having different levels of cadmium, *Chemosphere*. 206 (2018) 369–375. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.04.176.
- [12] H. Tap Van, L. Huong Nguyen, V. Dang Nguyen, X. Hoan Nguyen, T. Hai Nguyen, T. Vinh Nguyen, S. Vigneswaran, J. Rinklebe, H. Nguyen Tran, P. District, H. Chi Minh City, Characteristics and mechanisms of cadmium adsorption onto biogenic aragonite shells-derived biosorbent: Batch and column studies, *J. Environ. Manage.* (2018) 1–0. doi:10.1016/j.jenvman.2018.09.079.

- [13] H. Sharififard, Z.H. shahraki, E. Rezvanpanah, S.H. Rad, A novel natural chitosan/activated carbon/iron bio-nanocomposite: Sonochemical synthesis, characterization, and application for cadmium removal in batch and continuous adsorption process, *Bioresour. Technol.* 270 (2018) 562–569. doi:10.1016/j.biortech.2018.09.094.
- [14] J. Huo, A. Dong, J. Yan, L. Wang, C. Ma, S. Lee, Cadmium toxicokinetics in the freshwater turtle, *Chinemys reevesii*, *Chemosphere.* 182 (2017) 392–398. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.05.029.
- [15] A.N. Tajiri, D. Pontes Netto, M. Sassahara, M.S.M. Rodrigues, C.A.C. de Arruda, Determination of presence and quantification of cadmium, lead and copper in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets obtained from three cold storage plants in the state of Parana, Brazil, *Ciência e Tecnol. Aliment.* 31 (2011) 361–365. doi:10.1590/S0101-20612011000200013.
- [16] OMS, Hojas de información sobre sustancias químicas. Guías para la calidad del agua potable de la OMS de 1993, (2003) 243–363.
- [17] P.A. Inga, Estudio isotérmico de biosorción de cadmio, cromo, plomo y zinc en solución acuosa empleando el pinzote (raquis) de plátano (*Musa paradisiaca* L.), Tesis. (2012) 1–120.
- [18] A.E. Ochoa Ordóñez, Determinación de la capacidad adsorbente de los residuos de la industria de la papa (*Solanum tuberosum*) para remoción de metales pesados en aguas contaminadas, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2017.
- [19] J. Yabe, S.M.M. Nakayama, Y. Ikenaka, Y.B. Yohannes, N. Bortey-Sam, A.N. Kabalo, J. Ntapisha, H. Mizukawa, T. Umemura, M. Ishizuka, Lead and cadmium excretion in feces and urine of children from polluted townships near a lead-zinc mine in Kabwe, Zambia, *Chemosphere.* 202 (2018) 48–55. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.03.079.
- [20] M. Isabel Azcona-Cruz, R. Ramírez Ayala, G. Vicente-Flores, D. Gabriela Vicente Flores, Efectos tóxicos del plomo, *Rev Esp Méd Quir.* 20 (2015) 72–77. <http://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2015/rmq1511.pdf>.
- [21] D. Fontana, V. Lescano, Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico, *Rev. Salud Pública.* 17 (2013) 49–59. <http://revistas.unc.edu.ar/index.php/RSD/article/view/6823>.
- [22] S. Wang, T. Vincent, C. Faur, E. Guibal, Modeling competitive sorption of lead and copper ions onto alginate and greenly prepared algal-based beads, *Bioresour. Technol.* (2017) 1–38. doi:10.1016/j.biortech.2017.01.066.
- [23] P. Jarvis, K. Quy, J. Macadam, M. Edwards, M. Smith, Intake of lead (Pb) from tap water of homes with leaded and low lead plumbing systems, *Sci. Total Environ.* 644 (2018) 1346–1356. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.064.
- [24] L.M. Pfadenhauer, J. Burns, A. Rohwer, E.A. Rehfuss, Effectiveness of interventions to reduce exposure to lead through consumer products and drinking water: a systematic review, *Environ. Reserach.* 147 (2016) 525–536. doi:10.1016/j.envres.2016.03.004.

- [25] M.M.A. El-hameed, M.E. Abuarab, S. Abdel, R.M. El-bahbohy, G.A. Bakeer, Comparative studies on growth and Pb (II) removal from aqueous solution by *Nostoc muscorum* and *Anabaena variabilis*, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 165 (2018) 637–644. doi:10.1016/j.ecoenv.2018.08.103.
- [26] M. Dra. Burger, D.P. Dr. Román, *Plomo Salud y ambiente Experiencia en Uruguay*, 2010.
- [27] V.D. Quimi Balarezo, F.E. Palomuno Klinger, *Desulfuración de la pasta de plomo y producción de sulfato de sodio*”, Universidad de Guayaquil, 2012.
- [28] OMS, Hojas de información sobre sustancias químicas. Guías para la calidad del agua potable de la OMS de 1993, (2003) 243–363. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/es/.
- [29] B. Lapo, H. Demey, J. Zapata, C. Romero, A.M. Sastre, Sorption of Hg(II) and Pb(II) ions on chitosan-iron(III) from aqueous solutions: Single and binary systems, *Polymers (Basel)*. 10 (2018). doi:10.3390/polym10040367.
- [30] INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Agua Potable. Requisitos., (2014) 1–10. <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>.
- [31] P. Noriega Rivera, A. Medici, A. Murillo, J. Bedón, F. Haro, G. Galecio, Estudio de la concentración de cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quito, empleando briofitas como biomonitores, *La Granja*. 8 (2008) 17. doi:10.17163/lgr.n8.2008.03.
- [32] A.K. Pahari, B.K. Dubey, *Waste From Electrical and Electronics Equipment*, Elsevier Inc., 2019. doi:10.1016/B978-0-12-813140-4.00018-2.
- [33] E. Javier, C. Barriga, P. Portero-barahona, E. Javier, C. Barriga, C. Guamán-burneo, P. Portero, E. Salas, C. Tufiño, B. Bastidas, *Second Generation Ethanol from Residual Biomass : Research and Perspectives in Ecuador* Second Generation Ethanol from Residual Biomass : Research and Perspectives in Ecuador, ResearchGate. (2012) 265–288. doi:10.5772/51951.
- [34] D.E. Carchi Maurat, Aprovechamiento de los residuos agrícolas provenientes del cultivo de banano para obtener nanocelulosa, *J. Chem. Inf. Model.* (2014) 77. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- [35] P. Sugumaran, V.P. Susan, P. Ravichandran, S. Seshadri, Production and Characterization of Activated Carbon from Banana Empty Fruit Bunch and *Delonix regia* Fruit Pod, *J. Sustain. Energy Environ.* 3 (2012) 125–132.
- [36] A. Guarnizo, Estudio de la hidrólisis ácida del raquis de banano, ResearchGate. (2015) 83–91.
- [37] M.P. Medina, E. Michel, M. Cutiño, V. Calzadilla, D.S. Tort, Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco Nickel and cobalt adsorption on activated coal of coconut shell, *Univ. Oriente.* (2014) 110–124.
- [38] D. Barbara, Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico, Universidad de Chile, 2017.
- [39] N. Ayawei, A.N. Ebelegi, D. Wankasi, Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms, *J. Chem.* 2017 (2017) 11. doi:10.1155/2017/3039817.

- [40] J. Perić, M. Trgo, N. Vukojević Medvidović, Removal of zinc, copper and lead by natural zeolite - A comparison of adsorption isotherms, *Water Res.* 38 (2004) 1893–1899. doi:10.1016/j.watres.2003.12.035.
- [41] M. Bergaoui, A. Nakhli, Y. Benguerba, M. Khalfaoui, A. Erto, F.E. Soetaredjo, S. Ismadji, B. Ernst, Novel insights into the adsorption mechanism of methylene blue onto organo-bentonite: Adsorption isotherms modeling and molecular simulation, *J. Mol. Liq.* 272 (2018) 697–707. doi:10.1016/j.molliq.2018.10.001.
- [42] Z. Huang, Z. Huang, L. Feng, X. Luo, P. Wu, L. Cui, X. Mao, Modified cellulose by polyethyleneimine and ethylenediamine with induced Cu(II) and Pb(II) adsorption potentialities, *Carbohydr. Polym.* 202 (2018) 470–478. doi:10.1016/j.carbpol.2018.08.136.
- [43] C. Gutiérrez, H.K. Hansen, P. Hernández, C. Pinilla, Chemosphere Biosorption of cadmium with brown macroalgae, *Chemosphere.* 138 (2015) 164–169. doi:10.1016/j.chemosphere.2015.06.002.
- [44] C.A. Romero Suárez, J.M. Zapata Zapata, Aplicación De perlas De Quitosano modificado con hierro para Adsorción De Mercurio En Soluciones Acuáticas., Universidad Técnica de Machala, 2017. doi:10.1016/0378-1097(88)90500-9.
- [45] M. Lucia, V. Villamizar, L.U.Z. Estella, M.L. Pinzón-bedoya, L.U.Z. Estella, V. Villamizar, Cr (III) usando cáscara de naranja kinetic modeling biosorption of Cr (III) using, (2009).
- [46] T.H. F, Potential of fluted and commercial activated carbons for phenol removal in aqueous systems Kinetic sorption study of phenol onto activated carbon derived from fluted pumpkin stem waste, (2010).
- [47] J.S.C. Cameselle, Biosorción de mercurio (Hg²⁺) usando materiales solidos residuales como adsorbentes, *Univ. Vigo.* (2016) 18–25.
- [48] D. Sacchero, J. Maurino, Determinación de base de fibras y base materia vegetal en muestras de guanaco en bruto, *Inst. Nac. Tecnol. Agropecu.* (2005) 0–37.
- [49] K. Lopez, Caracterización química y determinación de propiedades físicomecánicas, tensión y flexión de la madera danto (*Vatairea lundellii*), a escala laboratorio, (2017).
- [50] L. Carolina, R. Pérez, Y. Piñeros-castro, M. Enrique, V. Lozano, Producción de azúcares fermentables a partir de fibra prensada de palma de aceite pretratada biológicamente por *Pleurotus ostreatus* y *Phanerochaete chrysosporium*, *Univ. Nac. Colomb. Sede Bogotá.* 24 (2011) 29–35.
- [51] Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Acid-insoluble lignin in wood and pulp (Reaffirmation of T 222 om-02), 2006.
- [52] L.T. Palomar, A. Gabriel, A. Bautista, G. Montero, L.C. Díaz, R.T. Ramos, E. Romero, Determinación simplificada del contenido de lignina en paja de trigo por método volumétrico y su caracterización química, *Cienc. y Tecnol.* 15 (2015) 113–124.
- [53] M. Prado-martínez, J. Anzaldo-hernández, B. Becerra-aguilar, H. Palacios-juárez, J. De Jesús, V. Maite, Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de

- caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta Characterization of maize leaves and of sugarcane bagasse to elaborate of a mixed cellulose pulp, *Madera y Bosques*. 18 (2012) 37–51.
- [54] P. Paucar, Determinación de la composición química a nivel básico de la corteza y madera de *Septotheca tessmannii* (utucuro) procedente de la CCNN', Universidad Nacional de Ucayali, 2015.
- [55] M.D.E. Pino, C. Pinus, H.E. Moore, P.D.E. La, F. Río, A. Verapaz, P.D.E. La, F. Río, Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (, (2006).
- [56] J. Galoa, Obtención de fibras a partir de raquis de plátano para la producción de pulpa de papel, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2014.
- [57] G. Perez Díaz, Producción de extracto enzimático de *rhizomucor pusillos* y su aplicación en el desarrollo de un integrador tiempo temperatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2016.
- [58] P.A. Inga Manchola, Estudio isotérmico de biosorción de cadmio, cromo, plomo y zinc en solución acuosa empleando el pinzote (raquis) de plátano (*Musa paradisiaca* L.), Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, 2012.
- [59] S. Orgánicos, A.E. En, L.A. Elaboración, K. Danitza, G. Velandia, D.D. Rey, P. Andrea, C. Amado, Valuación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel, *Luna Azul*. (2016) 1909–2474. doi:10.17151/luaz.2016.43.21.
- [60] M.E. Tomás Pejón, Bioetanol de paja de trigo: Estrategias de integración de las etapas de proceso, Universidad Complutense de Madrid, 2010.
- [61] F. Alberto, A. Villa, A.H. Anaguano, Determinación Del Punto De Carga Cero Y Punto Isoelectrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de colorantes, *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.* 4 (n.d.) 27–36.
- [62] K.A. Krishnan, T.S. Anirudhan, Removal of cadmium (II) from aqueous solutions by steam- activated sulphurised carbon prepared from sugar-cane bagasse pith : Kinetics and equilibrium studies, *Water SA*. 29 (2003) 147–156.
- [63] P. Pal, A. Pal, Surfactant-modified chitosan beads for cadmium ion adsorption, *Int. J. Biol. Macromol.* (2017). doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.02.042.
- [64] C.T. Tovar, A. Herrera, Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*) Removal of lead using residual biomass of orange peel and corncob, (2016) 169–178.
- [65] E. Bustamante Alcántara, Adsorción De Metales Pesados En Residuos De Café Modificados Químicamente, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2011. doi:10.1007/s10113-013-0506-7.
- [66] M. Shanker, T. Chinniagounder, Adsorption of Reactive Dye Using Low Cost Adsorbent : Cocoa (*Theobroma Cacao*) Shell, *World J. Appl. Environ. Chem.* 1 (2012) 22–29.
- [67] A.S. Lagos Estrella, Adsorción de cadmio , hierro y plomo en agua artificial

utilizando *Moringa oleifera* Lam ., Universidad San Francisco de Quito, 2017.

ANEXOS

Anexo 1: Raquis de banano



Anexo 2: Raquis Troceado



Anexo 3: Raquis en la estufa



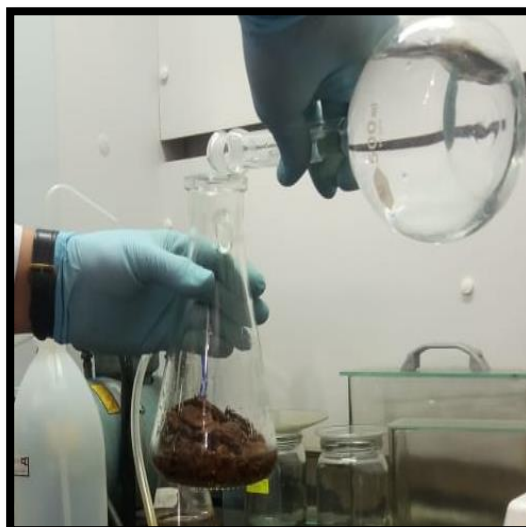
Anexo 4: Molino



Anexo 5: Raquis con NaOH 10%



Anexo 6: Hidrólisis Ácida (H_2SO_4 0.4%)



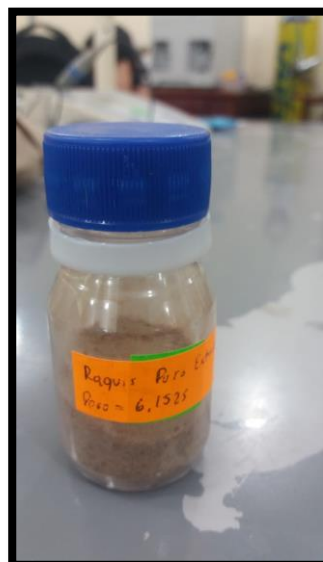
Anexo 7: Celulosa De Raquis Sin Moler



Anexo 8: Equipo DIONEX ASE 150



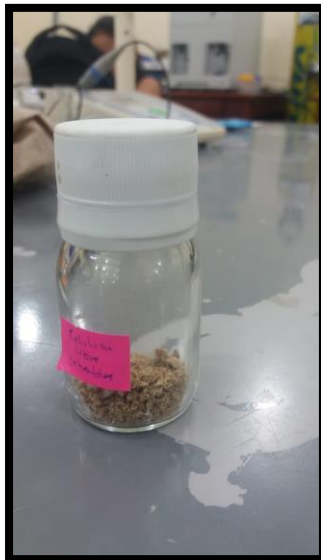
Anexo 9: Raquis puro



Anexo 10: Celulosa de raquis de banano después de hidrólisis ácida



Anexo 11: Celulosa de banano libre de extraíbles



Anexo 12: Celulosa pura del proceso de caracterización

