UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ADSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO LA PARED CELULAR DEL RAQUIS DE BANANO

GIA CUENCA DARWIN GEOVANNY
INGENIERO QUÍMICO

PORTOCARRERO TORRES CRISTHIAN ABEL
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2019

UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ADSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO LA PARED CELULAR DEL RAQUIS DE BANANO

GIA CUENCA DARWIN GEOVANNY
INGENIERO QUÍMICO

PORTOCARRERO TORRES CRISTHIAN ABEL
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2019

UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

ADSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO LA PARED CELULAR DEL RAQUIS DE BANANO

GIA CUENCA DARWIN GEOVANNY
INGENIERO QUÍMICO

PORTOCARRERO TORRES CRISTHIAN ABEL
INGENIERO QUÍMICO

AYALA ARMIJOS JOSE HUMBERTO

MACHALA, 16 DE SEPTIEMBRE DE 2019

MACHALA
2019

Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado ADSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO LA PARED CELULAR DEL RAQUIS DE BANANO, 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.

AYALA ARMIJOS JOSE HUMBERTO
0704018803
TUTOR - ESPECIALISTA 1

PESANTEZ FREDIS FRANCO
0703244012
ESPECIALISTA 2

YANEZ ROMERO MARIA ELENA
0704077544
ESPECIALISTA 3

Machala, 16 de septiembre de 2019

ADSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO UTILIZANDO LA PARED CELULAR DEL RAQUIS DE BANANO

por Cristhian Abel Portocarrero Torres

Fecha de entrega: 09-sep-2019 12:45p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1169593970

Nombre del archivo: ES_ACUOSAS_UTILIZANDO_LA_PARED_CELULAR_DEL_RAQUIS_DE_BANANO.docx (2.95M)

Total de palabras: 14504

Total de caracteres: 73426

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

Los que suscriben, GIA CUENCA DARWIN GEOVANNY y PORTOCARRERO TORRES CRISTHIAN ABEL, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado ADSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO LA PARED CELULAR DEL RAQUIS DE BANANO, 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 dispociones 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, 16 de septiembre de 2019

GIA CUENCA DARWIN GEOVANNY
0705733772

PORTOCARRERO TORRES CRISTHIAN ABEL
0705099786

DEDICATORIA

Dios es pilar fundamental en mi vida, se le debo todo ya que me ha dado fuerza salud y muchas bendiciones para seguir el sendero del aprendizaje y formarme como profesional.

Mis padres y hermanos son bases fundamentales en casa y ser mi apoyo y mi motivación para alcanzar este logro que sin importar las dificultades apuntamos y empujamos todos al mismo lado como una familia.

Mis abuelos Feliciano Torres, Rosa Ramírez, Cristobal Portocarrero, Adriana Cuero, siempre ahí apoyándome los que estuvieron aquí cerca y los que estuvieron de lejos son conscientes y tenían en su cabeza que la superación de los miembros de su familia era importante para sus vidas y que cualquier logro obtenido de manera honesta era también una dicha y orgullo para ellos.

A mis familiares que creyeron en mí y dieron su apoyo incondicional sin ningún tipo de condición mi Tío Santiago Torres, y resto de familiares que ya sea con un consejo o un llamado de atención, me hicieron saber que contaba con su apoyo y motivación para culminar esta meta académica.

Cristhian Portocarrero Torres

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A nuestros hermanos por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Darwin Gia Cuenca

AGRADECIMIENTO

Dios sin duda alguna por darme todas las cosas que tengo y que he logrado hasta ahora porque me ha brindado las fuerzas necesarias para salir adelante poniendo en mí, todas las bendiciones necesarias para salir adelante porque con Dios todo es posible y todo se puede en cristo que me fortalece.

Katty Torres, Abel Portocarrero mis padres que se han esforzado y me han demostrado con amor y sacrificio cada día de mi existencia para que pueda ser un profesional y lograr cumplir las metas, por las enseñanzas y consejos los cuales he puesto en práctica y me han permitido salir adelante.

Mi familia que sin duda alguna desde mi niñez y adolescencia se han preocupado por mí para que pueda superarme me han dado ese apoyo incondicional.

A mi tutor de tesis por ser un buen profesional y buen amigo también por la confianza brindada, las enseñanzas y conocimientos impartidos para la culminación de mi tesis, también sin duda al gran grupo de amigo los chetumergas con los cuales se compartieron vivencias y se formó grandes lazos de amistades, con todas aquellas personas con las cuales compartí en el transcurso de la carrera.

Cristhian Portocarrero Torres

Agradecemos a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. Gracias a mis padres: Luis y Gloria; por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la carrera de ingeniería química de la Universidad técnica de Machala, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al mi tutor quien estuvo presente en nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente, valioso aporte para nuestra investigación.

Darwin Gia Cuenca

RESUMEN

ADSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO LA PARED CELULAR DEL RAQUIS DE BANANO

AUTORES

Egdo. Cristhian Abel Portocarrero Torres

Egdo. Darwin Geovanny Gia Cuenca

TUTOR

Ing. Humberto Ayala Armijos

La contaminación de los cuerpos de hídricos en todo el mundo se da principalmente por las diferentes actividades antropogénicas, las cuales no son controladas en su totalidad y debido a esto se acrecienta a diario y es considerado como amenaza la cual están afectando a cada una de las especies que existen en el planeta.

Los desechos lignocelulósicos provenientes del banano, como el raquis, es uno de los más abundante en la provincia de El Oro, por lo que su aprovechamiento y valorización es de gran importancia técnica y socio-económica. El objetivo de la presente investigación fue el estudio adsorción de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en soluciones acuosas.

EL raquis de banano puro se lo sometió a un proceso de lavado, secado, y molienda hasta un tamaño de partícula 250 µm, por otra parte, la pared celular fue obtenida mediante un tratamiento de extracción con soluciones hidroalcoholica y dimetil-sulfoxido en la cual nos permitieron obtener el material.

Los dos materiales obtenidos fueron evaluados en proceso de adsorción de plomo y cadmio en soluciones acuosas, los diferentes estudios a los que fue fueron sometidos los materiales se incluyó su caracterización, superficie de respuesta, estudio de pH, isotermas de adsorción cinética, análisis de adsorción y desorción.

La caracterización del material Pared celular los resultados fueron que el porcentaje de lignina es de 38,82%, de holocelulosa 58,17%, de celulosa 38,25% y hemicelulosa 19.92%.

El presente trabajo de investigación el material pared celular proveniente del raquis de

banano revelo alta eficiencia para la adsorción y remoción de metales pesados plomo (Pb^{+2}) y cadmio (Cd^{+2}). Esto se debe a su método de extracción químico-enzimático.

Potencial de carga cero también fue unos de los estudios que se le aplico a los dos materiales sometiéndolos a soluciones de cloruro de sodio NaCl y los experimentos se realizaron por duplicado a diferentes pH 3, 5, 7, 9, 11 y en un periodo de agitación de 24 hora luego realizamos la respectiva medición de pH donde materiales presentaron que el pH 6 hay un punto de equilibrio.

Mediante el estudio de efecto de pH se obtuvo los datos con los cuales los materiales tienen un mejor funcionamiento hacia los metales pesados como son sus respectivos pH para realizar el estudio de equilibrio. Los materiales muestran gran afinidad con los metales pesados evaluados.

La pared celular del raquis de banano y el raquis de banano puro se le aplicó el estudio de pH donde nos dio el dato con el cual los materiales trabajarían para el resto de estudios. Se utilizó para este análisis soluciones de cadmio (Cd^{+2}) y plomo (Pb^{+2}) a una concentración de 50 ppm con distintos pH. Todas las pruebas se realizaron por triplicado en donde para el raquis de banano puro y pared celular se trabajó con pH de 2, 3, 4, 5, 6 para el metal pesado plomo y para cadmio se realizó con pH de 2, 4, 6, 7. Donde se obtuvo que con raquis de banano puro se trabajaría con pH 3 para plomo y pH 7 para cadmio y en cuestión a pared celular se trabajaría con pH 5 y pH 7 respectivamente para los siguientes estudios.

Para el raquis de banano puro se lograron capacidades de adsorción superiores a 160 mg Pb^{+2} /g y el modelo matemático que más se ajusto fue el de Langmuir con r^2 de 0,93. Y para el metal Cd^{+2} la capacidad de adsorción es 243 mg Cd^{+2} /g con su r^2 = 0,85 utilizando el mismo modelo matemático. Mientras que la pared celular compuesta principalmente por lignina y celulosa fue alta y el modelo matemático con el que se ajusto fue el de Langmuir su capacidad de adsorción es de 73 mg Pb^{+2} /g y r^2 = 0,94, y para Cadmio la capacidad de adsorción de 361 mg Cd^{+2} /g y r^2 = 0,92.

En conclusión, la reusabilidad del material se evaluó mediante el estudio de adsorción-desorción en el cual el raquis de banano puro resistió 3 ciclos mientras que la pared celular tuvo un mejor rendimiento con 8 ciclos a la culminación de este análisis.

Palabras Clave: Residuos lignocelulósico, pared celular, raquis de banano, extracción químico-enzimático, adsorción – desorción.

ABSTRACT

ADSORTION OF LEAD AND CADMIUM IN WATER SOLUTIONS USING THE CELL WALL OF THE BANAN RAQUIS

AUTHORS

Cristhian Abel Portocarrero Torres

Darwin Geovanny Gia Cuenca

TUTOR

Ing. Humberto Ayala Armijos

Pollution of water bodies throughout the world is mainly due to the different anthropogenic activities, which are not controlled in their entirety and due to this it increases daily and is considered as a threat which is affecting each of the species that exist on the planet.

Lignocellulosic waste from bananas, such as rachis, is one of the most abundant in the province of El Oro, so its use and recovery is of great technical and socio-economic importance. The objective of the present investigation was the study adsorption of lead (Pb) and cadmium (Cd) in aqueous solutions.

The pure banana rachis was subjected to a process of washing, drying, and grinding to a particle size 250 μm, on the other hand, the cell wall was obtained by an extraction treatment with hydroalcoholic and dimethyl sulfoxide solutions in which they allowed us to get the material.

The two materials obtained were evaluated in the process of adsorption of lead and cadmium in aqueous solutions, the different studies to which the materials were subjected were included their characterization, response surface, pH study, kinetic adsorption isotherms, adsorption analysis and desorption.

The characterization of the cell wall material the results were that the percentage of lignin is 38.82%, holocellulose 58.17%, cellulose 38.25% and hemicellulose 19.92%. The present research work on the cell wall material from the banana spine revealed high efficiency for adsorption and removal of heavy metals lead (Pb^{+2}) and cadmium (Cd^{+2}). This is due to its chemical-enzymatic extraction method.

Zero charge potential was also one of the studies that were applied to the two materials by subjecting them to NaCl sodium chloride solutions and the experiments were carried out in duplicate at different pH 3, 5, 7, 9, 11 and in a period of Stirring for 24 hours then we performed the respective pH measurement where materials presented that pH 6 is an equilibrium point.

Through the study of the effect of pH the data was obtained with which the materials have a better performance towards heavy metals such as their respective pH to perform the equilibrium study. The materials show great affinity with the heavy metals evaluated.

The cell wall of the banana rachis and the pure banana rachis was applied to the pH study where he gave us the data with which the materials would work for the rest of the studies. Cadmium (Cd^{+2}) and lead (Pb^{+2}) solutions at a concentration of 50 ppm with different pH were used for this analysis. All tests were carried out in triplicate, where the pH of 2, 3, 4, 5, 6 for the heavy metal lead and for cadmium it was performed with a pH of 2, 4, 6, 7. Where it was obtained that with pure banana rachis one would work with pH 3 for lead and pH 7 for cadmium and in question with cell wall one would work with pH 5 and pH 7 respectively for the following studies.

For the pure banana rachis, adsorption capacities greater than 160 mg Pb^{+2} / g were achieved, and the mathematical model that most suited was that of Langmuir with r^2 of 0.93 for the case of pure banana rachis, and for the metal Cd^{+2} adsorption capacity is 243 mg Cd^{+2} / g with its $r^2 = 0.85$ using the same mathematical model. While the cell wall composed mainly of lignin and cellulose was high and the mathematical model with which it was adjusted was that of Langmuir its adsorption capacity is 93 mg Pb^{+2} / g and $r^2 = 0.94$, and for Cadmium the capacity of adsorption of 361 mg Cd^{+2} / g and $r^2 = 0.92$.

In conclusion, the reusability of the material was assessed by the adsorption-desorption study in which the pure banana rachis resisted 3 cycles while the cell wall had a better performance with 8 cycles at the end of this analysis.

Keywords: Lignocelulosic Waste, Cell Wall, Banana Rachis, Chemical-Enzymatic Extraction, Adsorption - Desorption.

ÍNDICE

Dedicatoria I
Agradecimiento II
RESUMEN III
ABSTRACT V
ÍNDICE VII
ÍNDICE DE DIAGRAMAS X
ÍNDICE DE GRÁFICOS X
ÍNDICE DE CUADROS XI
ÍNDICE DE ANEXOS XI
INTRODUCCIÓN 1
OBJETIVOS 3
OBJETIVO GENERAL 3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3
CAPÍTULO I 4
1. MARCO TEÓRICO 4
1.1. METALES PESADOS 4
1.1.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS 4
1.1.2. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS 4
1.1.3. PLOMO 6
1.1.3.1. IMPACTO NEGATIVO DEL PLOMO A NIVEL MUNDIAL 6
1.1.3.2. CONSECUENCIAS A LA SALUD POR CONTAMINACIÓN DE PLOMO 7
1.1.4. CADMIO 7
1.1.4.1. IMPACTO NEGATIVO DEL CADMIO A NIVEL MUNDIAL 7
1.1.4.2. CONSECUENCIAS A LA SALUD POR CONTAMINACIÓN DE CADMIO 8
1.1.5. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CADMIO (CD^{+2}) Y PLOMO (PB^{+2}) 8
1.2. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES 8
1.2.1. BIOMASA LIGNOCELULÓSICA 9
1.2.2. PARED CELULAR 9

1.2.2.1. CELULOSA 10
1.2.2.2. HEMICELULOSA 10
1.2.2.3. LIGNINA 10
1.3. ADSORCIÓN 11
1.4. BIOSORCIÓN 11
1.5. ISOTERMA DE ADSORCIÓN 12
1.5.1. ISOTERMA DE LANGMUIR 12
1.5.2. ISOTERMA DE FREUNDLICH 13
1.6. CINÉTICA DE ADSORCIÓN 14
1.6.1. MODELO CINÉTICO DE PSEUDO PRIMER ORDEN (PFO) 14
1.6.2. MODELO CINÉTICO DE PSEUDO SEGUNDO ORDEN (PSO) 14
CAPÍTULO II 16
2. MATERIALES Y MÉTODOS 16
2.1. SITIO DE RECOLECCIÓN DEL MATERIAL 16
2.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL 16
2.2.1. PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL MATERIAL 16
2.2.2. EXTRACCIÓN DE PARED CELULAR 17
2.3. ESTUDIO DE ADSORCIÓN 18
2.3.1. CARACTERIZACIÓN 18
2.3.1.1. EXTRAÍBLES 18
2.3.1.2. LIGNINA 19
2.3.1.3. HOLOCELULOSA 20
2.3.1.4. CELULOSA 20
2.3.1.5. HEMICELULOSA 21
2.3.1.6. POTENCIAL DE CARGA CERO 22
2.3.2. ESTUDIO DE pH 22
2.3.3. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN 22
2.3.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN 23
2.3.5. ADSORCIÓN – DESORCIÓN 24
2.4. MATERIALES, RECTIVOS Y EQUIPOS 24
CAPÍTULO III 27
3. RESULTADOS 27

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL. 27
3.1.1. DETERMINACIÓN DE EXTRAÍBLES 27
3.1.2. DETERMINACIÓN DE LIGNINA 28
3.1.3. DETERMINACIÓN DE HOLOCELULOSA 28
3.1.4. DETERMINACIÓN DE CELULOSA 28
3.1.5. DETERMINACIÓN DE HEMICELULOSA 29
3.1.6. COMPOSICIÓN DE PARED CELULAR DE r/b 29
3.1.7. POTENCIAL DE CARGA CERO 30
3.2. ESTUDIO DE pH 32
3.2.1. ESTUDIO DE pH Pb^{+2} 32
3.2.2. ESTUDIO DE pH Cd^{+2} 33
3.3. ESTUDIO DE EQUILIBRIO (ISOTERMAS) 35
3.3.1. ISOTERMA DE PLOMO (Pb^{+2}) 35
3.3.2. ISOTERMA DE CADMIO (Cd^{+2}) 37
3.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN 39
3.4.1. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE PLOMO (Pb^{+2}) 39
3.4.2. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE CADMIO (Cd^{+2}) 40
3.5. ADSORCIÓN Y DESORCIÓN (REUSABILIDAD DEL MATERIAL) 42
3.5.1. ADSORCIÓN Y DESORCIÓN DE PLOMO (Pb^{+2}) 43
3.5.2. ADSORCIÓN Y DESORCIÓN DE CADMIO (Cd^{+2}) 44
CAPÍTULO IV 47
4. CONCLUSIONES 47
CAPÍTULO V 48
5. RECOMENDACIONES 48
BIBLIOGRAFÍA 49
ANEXOS 56

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Flujo de proceso para la obtención de raquis 16
Diagrama 2. Flujo de la extracción de pared celular del raquis del banano 17
Diagrama 3. Estudio de Adsorción 18

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. (PZC) de pared celular r/b 30
Gráfico 2. (PZC) de raquis de banano puro 31
Gráfico 3. Estudio de pH de Pb^{+2} con pared celular de r/b 32
Gráfico 4. Estudio de pH de Pb^{+2} con raquis banano puro 33
Gráfico 5. Estudio de pH de Cd^{+2} con pared celular r/b 34
Gráfico 6. Estudio de pH de Cd^{+2} con raquis de banano puro. 34
Gráfico 7. Estudio de equilibrio Pb^{+2} con raquis de banano puro 35
Gráfico 8. Estudio de equilibrio Pb^{+2} con pared celular r/b 36
Gráfico 9. Estudio de equilibrio Cd^{+2} con raquis de banano puro 37
Gráfico 10. Estudio de equilibrio Cd^{+2} con pared celular r/b 38
Gráfico 11. Estudio cinético de Pb^{+2} con raquis de banano puro 39
Gráfico 12. Estudio cinético de Pb^{+2} con pared celular del raquis de banano 40
Gráfico 13. Estudio cinético de Cd^{+2} con raquis de banano puro 41
Gráfico 14. Estudio cinético de Cd^{+2} con pared celular del raquis de banano 42
Gráfico 15. Adsorción-Desorción de Pb^{+2}, HNO_3 1M 43
Gráfico 16. Adsorción-desorción de Pb^{+2}, HNO_3 0,5M 44
Gráfico 17. Adsorción-desorción de Cd^{+2}, HNO_3 1M 45
Gráfico 18. Adsorción-desorción de Cd^{+2}, HNO_3 0,5M 46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fuentes de contaminación de metales pesados 5
Cuadro 2. Límites máximos permisibles de Pb^{+2} y Cd^{+2} en calidad de diferentes tipos de agua 8
Cuadro 3. Porcentaje de extraíbles de pared celular r/b 27
Cuadro 4. Porcentaje de lignina de pared celular r/b..... 28
Cuadro 5. Porcentaje de holocelulosa de pared celular r/b 28
Cuadro 6. Porcentaje de celulosa de pared celular de r/b 29
Cuadro 7. Porcentaje de hemicelulosa de pared celular de r/b..... 29
Cuadro 8. Composición de pared celular del raquis de banano 29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Troceado de raquis de banano 56
Anexo 2. Secado de raquis de banano troceado 56
Anexo 3. Molienda del raquis de banano..... 57
Anexo 4. Obtención de raquis 250 µm 57
Anexo 5. Soluciones para pared celular..... 58
Anexo 6. Agitación del material obtenido 58
Anexo 7. Filtrado del material..... 59
Anexo 8. Secado del material..... 59
Anexo 9. Obtención de pared celular 60
Anexo 10. Ciclo 1 HNO_3 0.5M 60
Anexo 11. Ciclo 1 HNO_3 1M 60
Anexo 12. Ciclo 3 0.5M..... 61
Anexo 13. Ciclo 3 1M..... 61
Anexo 14. Ciclo 8 0.5M..... 62
Anexo 15. Ciclo 8 1M..... 62

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional a nivel mundial es sin lugar duda uno de los factores de contaminación ambiental. La industrialización y satisfacer las necesidades de los individuos cada proceso tiene sus respectivos desechos ya sean sólidos, líquidos o vapores por esta circunstancia se han contaminado los principales elementos de la naturaleza como lo son tierra, aire suelo y agua. La contaminación hacia los cuerpos de agua por parte de la actividad industrial se considera agresivo debido a los componentes que se arrojan a sus efluentes [1].

La calidad de agua es la preocupación primordial ya que la alteración de sus componentes puede ser perjudicial para la salud de todas las especies. La contaminación del agua de fuentes puntuales y no puntuales por metales pesados es una amenaza y la conservación en buen estado de estas fuentes es todo un reto ya que existe poco control. La industria minera y agrícola son consideradas las más contaminantes por motivo que los desecho que generan son vertidos en los diferentes cuerpos de agua y hace que se alteren sus propiedades [2].

Los metales pesados es una de las principales preocupaciones, los residuos agrícolas como los desechos lignocelulósicos que en nuestra provincia se encuentra en grandes cantidades entre uno de ellos tenemos los residuos del banano que está compuesto principalmente por raquis, pseudotallo y las hojas [3].

Los tratamientos para eliminación de manera parcial o total de metales pesados son muy costosos por la tecnología que se utiliza esta es la razón por la que se está utilizando vías alternas donde las características como su bajos costo, eficiencia y abundancia de los materiales sean una de las razones para su la utilización ya que los estudios nos indican que estos residuos agrícolas se están utilizando como bioadsorbente para remoción de metales pesados que se encuentren en soluciones acuosas [4].

Por altos índices de toxicidad el cadmio y el plomo son considerados muy perjudiciales para los seres vivos sin embargo estos metales pesados están presente en los desechos de algunas industrias las cuales en su trayecto van contaminando las fuentes con las que entran en contacto [5]. El material que proviene origen biológico y logra retener elementos de

metales pesados se lo conoce como bioadsorbente. A este proceso se le llama bioadsorción el cual está revolucionando como método de remoción de metales pesados, en esta ocasión uno de los materiales escogido para este estudio fue los desechos del banano [6].

Se ha utilizado la bioadsorción para la remoción o eliminación de iones de metales pesados ya que es una técnica que ha obtenido grandiosos resultados para todo tipo de solución acuosa que contenga este tipo de metales [7]. Ya se han realizado trabajos a escalas de laboratorio sobre esta eficiente técnica pero se espera la realización a escalas industriales para la remediación de la contaminación de metales pesados a efluentes de agua [8].

En Ecuador por las características de sus suelos es uno de los países que se realiza la actividad agrícola la misma que genera numerosos desechos que son considerados como biomasa la cual no son aprovechados por motivo que carecen de valor económico [9]. Los desechos lignocelulosico como es el raquis de banano es abundante en la provincia de El Oro el cual se debe sacar provecho favorable para la reducción de la contaminación y obtener resultados mediante estudios [10].

Los desechos lignocelulosico como el raquis de banano y su pared celular obtenida de su respectivo tratamiento químico-enzimático en este presente trabajo fueron sometidos a diferentes análisis para obtener datos fiables sobre la utilización del mismo para proceso de remoción de metales pesados plomo (Pb^{+2}) y cadmio (Cd^{+2}) y la estabilidad del material para este estudio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Adsorber metales pesados: plomo (Pb^{+2}) y cadmio (Cd^{+2}) mediante el uso de la pared celular del raquis de banano.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización de la pared celular del raquis del banano.
- Extraer la pared celular del raquis de banano mediante un pretratamiento químico-enzimático.
- Realizar un estudio de adsorción en solución acuosa de los metales Pb^{+2} y Cd^{+2} con pared celular del raquis de banano.
- Utilizar el material extraído para la aplicación en el estudio de equilibrio
- Aplicar estudio de Adsorción/desorción para verificación de la reutilización del biomaterial.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. METALES PESADOS

El masivo uso de metales pesados en las principales industrias como la metalúrgica, minera, entre otras se ha vuelto una gran preocupación para todo el mundo [11]. Los efectos secundarios que ocasionan los metales pesados son los efectos que causan en la bioquímica de los seres vivos como plantas animales y seres humanos. Por este motivo se tiene que tener en cuenta desde donde empieza la contaminación por estos metales y los agentes dañinos que producen cuando entran en contacto ya sea con el agua o el subsuelo en donde alteran su composición y realiza la bioacumulación de estos metales en los seres humanos e intoxicación en el resto de seres vivos [12].

En general, los metales pesados, como el cadmio (Cd), el cromo (Cr), el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cobre (Cu), el zinc (Zn) y el níquel (Ni), se refieren a los metales que tienen densidades mayores que 5 g/cm^3. Debido a las similitudes en las propiedades químicas y el comportamiento ambiental, el arsénico metaloide (As) a menudo cae en la categoría de metales pesados [13].

1.1.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS

La preocupación por la contaminación del agua debido a los metales pesados ha ido crecimiento durante muchos años [14]. Las características de estos metales es la toxicidad, no son biodegradables y por este motivo contamina todo a su paso ocasionando problemas a la salud en los seres humanos, flora, fauna, suelo, y toda agua superficial y subterránea debido a los procesos industriales y sus desechos como los son de la agricultura, industria automotriz y también aguas residuales municipales [15].

1.1.2. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

La industrialización y la urbanización han planteado serias amenazas para el medio ambiente. La liberación excesiva de metales pesados de los efluentes industriales y el uso excesivo de pesticidas en la agricultura moderna están limitando la producción de cultivos

por medio del ambiente contaminante y el deterioro de la calidad del suelo [16]. Este tipo de contaminación no solo degrada la calidad de la atmósfera, los cuerpos de agua y los cultivos alimentarios, sino que también amenaza la salud y el bienestar de los animales y los seres humanos a través de la cadena alimentaria [17].

Aunque los metales pesados pueden ocurrir naturalmente provocando la aparición de metales pesados en el medio ambiente mediante cometas, erosión, erupciones volcánicas y la meteorización de los minerales., las contribuciones adicionales que provienen de actividades antropogénicas como la agricultura, la urbanización, la industrialización y la minería ocasionan un daño potencial en los recursos naturales [18].

A continuación, en el cuadro 1. se indica algunas de las fuentes de contaminación generadas por la actividad del hombre.

Cuadro 1. Fuentes de contaminación de metales pesados

Metales pesados	**Fuentes de contaminación**
Arsénico (As)	Plaguicidas, fungicidas, fundición de metales.
Cadmio (Cd)	Soldadura, galvanoplastia, pesticidas, fertilizantes, baterías, planta de fisión nuclear.
Cromo (Cr)	Minería, galvanoplastia, textiles, industrias de curtiembres
Cobre (Cu)	Galvanoplastia, pesticidas, minería.
Plomo (Pb)	Pintura, pesticidas, baterías, emisiones de automóviles, minería, quema de carbón.
Manganeso (Mn)	Soldadura, adición de combustible, producción de ferromanganeso.
Mercurio (Hg)	Plaguicidas, baterías, industrias papeleras.
Níquel (Ni)	Galvanoplastia, fundición a base de zinc, industrias de baterías.
Zinc (Zn)	Refinerías, fabricación de latón, metalizado, inmersión de ídolos pintados.

Fuente: Elaborado por Dipak, P [19]**.**

1.1.3. PLOMO

El plomo (Pb) es un metal pesado gris azulado (peso atómico 207.2 g), que se produce naturalmente en varias formas minerales en la corteza terrestre. El plomo metálico es resistente a la corrosión, ya que, cuando está expuesto al aire o al agua, se forman películas delgadas de compuestos de plomo (óxidos y carbonatos) que protegen a este metal de futuros ataques. Se ha utilizado ampliamente durante siglos porque se moldea y resiste fácilmente a la corrosión [20].

1.1.3.1. IMPACTO NEGATIVO DEL PLOMO A NIVEL MUNDIAL

La exposición al plomo de la minería de plomo, la fundición de minerales de plomo, así como otros minerales (zinc, cobre, hierro, oro y plata) en los que el plomo es un producto derivado o contaminante, las fábricas de baterías y las industrias petroleras y caseras constituyen un riesgo ambiental significativo para el desarrollo de muchos países [21].

En muchos de ellos los servicios eléctricos liberan a la atmósfera plomo en los gases de combustión de los combustibles que se queman, como el carbón, en el que este elemento es un contaminante. Como resultado de la actividad humana, los niveles ambientales de plomo aumentaron más de 100 veces en los últimos tres siglos [22].

Aunque en países como EE. UU. Y Canadá, el uso del plomo se ha controlado hasta cierto punto, todavía se usa con vehemencia en los países en desarrollo. Esto se debe principalmente a que el plomo tiene propiedades físicas y químicas únicas que lo hacen adecuado para una gran cantidad de aplicaciones para las cuales los humanos han explotado sus beneficios desde tiempos históricos y, por lo tanto, se ha convertido en un contaminante ambiental común. El plomo es altamente persistente en el medio ambiente y, debido a su uso continuo, sus niveles aumentan en casi todos los países, lo que representa una seria amenaza [23].

Los ecosistemas acuáticos son más sensibles a los contaminantes de metales pesados que los terrestres ya que se están liberando grandes cantidades de desechos municipales y efluentes industriales al medio ambiente acuático en las principales ciudades donde el medio ambiente está altamente contaminado por diversos químicos y metales peligrosos. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de un método de bajo costo para remediar los sitios contaminados [24].

1.1.3.2. CONSECUENCIAS A LA SALUD POR CONTAMINACIÓN DE PLOMO

La toxicidad inducida por el plomo al cuerpo humano está relacionada con la interferencia metálica con las membranas celulares y las interacciones con varias enzimas atribuidas a producir alteraciones hematológicas, así como efectos adversos gastrointestinales, renales, enfermedades cardiovasculares, reducción de la inteligencia, pérdida de memoria a corto plazo, problemas reproductivos y endocrinos [25]. Además, el daño oxidativo se postula a un mecanismo subyacente de acción involucrado en la intoxicación por Pb, ya que este metal inhibe las actividades de las enzimas antioxidantes y produce un desequilibrio en el estado redox celular [26].

1.1.4. CADMIO

El cadmio (Cd) es un elemento de transición con un peso atómico de 112.411 g, pertenece al grupo 12 en la tabla periódica y tiene 2 electrones de valencia que lo hacen altamente reactivo por naturaleza. El cadmio es un elemento no esencial para los organismos vivos y es extremadamente peligroso incluso en rastros. Es fácilmente absorbido por las plantas y afecta a diversos atributos morfológicos, estructurales, bioquímicos y fisiológicos en las plantas, incluso en cantidades muy pequeñas [27].

1.1.4.1. IMPACTO NEGATIVO DEL CADMIO A NIVEL MUNDIAL

Por lo general el cadmio (Cd) se combina con otros elementos en compuestos minerales (por ejemplo, óxido de cadmio, cloruro de cadmio, sulfato de cadmio y sulfuro de cadmio). El cadmio se forma al quemar los metales en el aire o por pirólisis de los carbonatos o nitratos; Los humos de óxido se pueden obtener por combustión de los alquilos, los de cadmio son extremadamente tóxicos. Los iones acuáticos son ácidos bastante fuertes y las sales se hidrolizan en agua. Se emiten humos tóxicos cuando el cadmio metálico se calienta a altas temperaturas. Fue descubierto como una impureza en el carbonato de zinc por Friedrich Stroh Meyer en Alemania en 1817 [28]. La mayoría del cadmio se obtiene como un subproducto del tratamiento químico de los minerales de cobre, plomo y zinc, aunque es un elemento natural en la corteza terrestre. Los alimentos y el humo del cigarrillo son la fuente más probable de exposición al cadmio para la población general. La ingesta diaria total de cadmio de los alimentos, el agua y el aire para un adulto que vive en América del Norte o Europa se estima entre 10 y 40 g [29].

1.1.4.2. CONSECUENCIAS A LA SALUD POR CONTAMINACIÓN DE CADMIO

La toxicidad del Cd puede afectar los huesos, el sistema respiratorio, los riñones, la reproducción y potencialmente puede conducir al cáncer en los seres humanos. Es por ello que el cadmio ha sido clasificado como un carcinógeno del grupo I para seres humanos por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer en 1993, mientras que la comisión europea clasificó algunos compuestos de cadmio como posiblemente cancerígenos [30].

1.1.5. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CADMIO (CD^{+2}) Y PLOMO (PB^{+2})

A continuación, se pueden observar (cuadro 2) los límites máximos permisibles de plomo y cadmio en la calidad de distintos tipos de agua esto se presenta de acuerdo a norma de calidad ambiental y descargas de efluentes: recurso agua especificados en el anexo VII.

Cuadro 2. Límites máximos permisibles de Pb^{+2} y Cd^{+2} en calidad de agua

Metal	Aguas de uso doméstico y de consumo humano – tratamiento convencional (mg/L)	Aguas de uso doméstico y de consumo humano – requieren desinfección (mg/L)	Aguas Marinas y de estuario (mg/L)	Agua fría dulce (mg/L)	Agua cálida dulce (mg/L)	Aguas Subterráneas (µg/L)
Pb^{+2}	0.05	0.05	0.01	-	-	45
Cd^{+2}	0.01	0.001	0.005	0.001	0.001	3.2

FUENTE: Elaborado por Tulsma [31].

1.2. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Los residuos agrícolas se refieren a la generación de residuos en la producción y el procesamiento agrícola y forestal. Los principales tipos son la biomasa agrícola y forestal, tales como lechadas, paja, cáscaras, escoria y migas. La enorme cantidad de residuos agrícolas tiene muchas ventajas en el tratamiento de aguas residuales, como una fuente abundante, estabilidad química, bajo costo, ciclo renovable, ciclo de regeneración corto,

respeto al medio ambiente y energía verde. Además, su estructura tiene alta porosidad y gran área de superficie específica, lo que facilita la absorción física de metales pesados (Hg, Pb, Ni, Cu). Al mismo tiempo, contiene algunos principios activos como pectina, celulosa, hemicelulosa y lignina, que podrían reaccionar con los iones de cadmio (Cd) [32].

Los desechos agrícolas incluyen principalmente celulosa, lignina y hemicelulosa. El contenido de estos componentes químicos en varios tipos de cultivos es diferente. Por ejemplo, los contenidos de celulosa, lignina y hemicelulosa de los residuos del cultivo son 35–50%, 20–30% y 15–30%, respectivamente [33].

Las soluciones más buscadas ante el desperdicio de desechos orgánicos están empleadas en procesos industriales para la producción de biocombustibles o biopolímeros. Otros pasos prevén la recuperación de nutrientes y la fijación de carbono mediante el compostaje. Las opciones finales y menos deseables son la incineración y el relleno sanitario. Es por ello que en el último siglo se ha llevado a cabo una considerable investigación sobre el desperdicio de desechos orgánicos con miras a la recuperación de energía o productos relacionados [34].

1.2.1. BIOMASA LIGNOCELULÓSICA

La biomasa lignocelulósica incluye materiales tales como residuos agrícolas, residuos forestales, porciones de residuos sólidos municipales y diversos residuos industriales. Es un recurso de bajo costo y abundante, con un gran potencial para apoyar la producción a gran escala de combustibles y productos químicos. Materiales valiosos como el carbón activado (AC) también se pueden preparar a partir de biomasa lignocelulósica [35].

1.2.2. PARED CELULAR

Las paredes celulares de la materia agrícola, son ricas en polisacáridos, principalmente compuestos lignocelulósicos abundantes de celulosa, como también la pectina como polímeros de ácido galacturónico. Estos compuestos lignocelulósicos pueden ionizarse con un tratamiento alcalino que genera cargas negativas que pueden unir los cationes metálicos [36]. Estos actúan mediante la adsorción física de fuerzas electrostáticas o van der Waals que pueden retener los iones metálicos en las superficies externas de las células bacterianas y, posteriormente, hacer que los iones metálicos adsorbidos se unan a grupos químicos funcionales de biomoléculas en la superficie celular y luego dentro de la estructura celular a través de interacciones químicas [37].

Los residuos del banano contienen mayores cantidades de almidón y celulosa a comparación como residuos de la corteza de mandarina o kiwi, ricos en compuestos de tipo pectina. Esta diferencia entre el córtex y el cítrico no significa una diferencia significativa para la bioadsorción de metales pesados como el Zn, pero es importante para metales pesados como el Cd y Cr [36].

1.2.2.1. CELULOSA

Existe celulosa de subunidades de D-glucosa, unidas por enlaces glicosídicos β-1,4. La celulosa en una planta consiste de partes con una estructura cristalina (organizada), y partes con una estructura amorfa, no bien organizada. Las cepas de celulosa se agrupan y forman las llamadas fibrillas de celulosa o haces de celulosa. Estas fibrillas de celulosa son en su mayoría independientes y están unidas débilmente a través de enlaces de hidrógeno [38].

1.2.2.2. HEMICELULOSA

La hemicelulosa es una estructura compleja de carbohidratos que consta de diferentes polímeros como pentosas (como xilosa y arabinosa), hexosas (como manosa, glucosa y galactosa) y ácidos de azúcar. El componente dominante de la hemicelulosa de la madera dura y las plantas agrícolas, como los pastos y la paja, es el xilano, mientras que este es el glucomanano para la madera blanda [39].

La hemicelulosa tiene un peso molecular más bajo que la celulosa y ramas con cadenas laterales cortas que consisten en diferentes azúcares, que son polímeros fáciles de hidrolizar. La hemicelulosa sirve como una conexión entre la lignina y las fibras de celulosa y proporciona a toda la red de celulosa-hemicelulosa-lignina más rigidez [40].

1.2.2.3. LIGNINA

La lignina es, después de la celulosa y la hemicelulosa, uno de los polímeros más abundantes en la naturaleza y está presente en la pared celular. Es un heteropolímero amorfo que consta de tres unidades diferentes de fenilpropano (p-coumaryl, coniferyl y sinapyl alcohol) que se mantienen juntas por diferentes tipos de enlaces. El propósito principal de la lignina es dar a la planta soporte estructural, impermeabilidad y resistencia contra el ataque microbiano y el estrés oxidativo. El heteropolímero amorfo también es no

soluble en agua y ópticamente inactivo; Todo esto hace que la degradación de la lignina sea muy dura [41].

1.3. ADSORCIÓN

La adsorción se basa en la transferencia de masa entre la fase líquida y la fase sólida llamada adsorbente. Para la absorción del contaminante en un adsorbente, se involucran tres etapas clave: primero la penetración del contaminante desde la solución a granel hasta la superficie del adsorbente; segundo adsorción del contaminante en la superficie del adsorbente; y tercero penetración en la estructura adsorbente [42].

Estos adsorbentes proporcionan grandes superficies y alta capacidad de adsorción. El punto positivo es que el proceso puede ejecutarse en modo reversible y los adsorbentes se regenerarán por desorción. Los adsorbentes pueden derivarse de desechos agrícolas, subproductos industriales o materiales naturales. Algunos de los adsorbentes más utilizados en este proceso son el carbón activado (AC), los nanotubos de carbono (CNT) y el aserrín.

1.4. BIOSORCIÓN

La biosorción o la bioadsorción se pueden definir simplemente como la eliminación de sustancias de la solución mediante materiales biológicos. Este es un proceso fisicoquímico e incluye varios mecanismos. El (los) mecanismo (s) de unión precisa (s) puede ir desde la física (es decir, las interacciones electrostáticas, las fuerzas de van der Waals, el enlace de hidrógeno) hasta la unión química (es decir, iónica y covalente). Algunos de los mecanismos informados incluyen la absorción, la adsorción (superficial), el intercambio iónico, la unión o la complejación de la superficie, la precipitación (superficial) o la micro-precipitación, y la nucleación mineral. La biosorción es una propiedad de los organismos vivos y muertos, y sus componentes orgánicos [43].

Prácticamente todo material biológico tiene afinidad por las especies metálicas. Sin embargo, el término "biosorción" se refiere a la unión pasiva o fisicoquímica de un sorbato a un biosorbente, esencialmente la unión de una especie química a los biopolímeros. La definición, por lo tanto, excluye específicamente la captación metabólica o activa por parte de las células vivas, que metabolizan. En la literatura, el término "biosorbente" incluye el uso de biomasa muerta como fibras, turba, cáscaras de arroz, productos derivados del

bosque, quitosano y desechos agroalimentarios, así como plantas vivas, hongos, algas (microalgas unicelulares, cianobacterias, macroalgas multicelulares), y bacterias [44].

Los biosorbentes representan materiales de filtro baratos con alta afinidad, capacidad y selectividad, y son abundantes y ya están disponibles en la mayoría de los lugares. Algunos tipos de materiales son de amplio rango sin prioridad específica para la unión de iones metálicos, mientras que otros pueden ser específicos para ciertos tipos de iones metálicos [45].

1.5. ISOTERMA DE ADSORCIÓN

Los modelos de isotermas de adsorción se utilizan ampliamente para proporcionar información sobre la cantidad de ion adsorbido por un determinado adsorbente y sobre la interacción entre los adsorbentes y el adsorbato. Los modelos más conocidos por tener una precisión de ajuste son los modelos de Langmuir y Freundlich. La isoterma de Langmuir asume que todos los sitios de unión tienen la misma afinidad por el adsorbato, lo que resulta en la formación de una monocapa de moléculas adsorbidas (saturación del adsorbente). La isoterma de Freundlich describe la adsorción sobre superficies heterogéneas que proporcionan sitios de adsorción de diversas afinidades y también al usar este modelo de isoterma, el adsorbente no se saturará [46].

1.5.1. ISOTERMA DE LANGMUIR

La adsorción de Langmuir se diseñó principalmente para describir la adsorción en fase gas-sólida, sin embargo, también se usa para cuantificar y contrastar la capacidad de adsorción de varios adsorbentes. La isoterma de Langmuir explica la cobertura de la superficie al equilibrar las tasas relativas de adsorción y desorción (equilibrio dinámico) [47]. La adsorción es proporcional a la fracción de la superficie del adsorbente que está abierta, mientras que la desorción es proporcional a la fracción de la superficie del adsorbente que está cubierta.

La ecuación de Langmuir se puede escribir en la siguiente forma lineal.

Ecuación (1)

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_e} + \frac{C_e}{q_m}$$

Donde:

C_e = es la concentración de adsorbato en el equilibrio (mg g^{-1}).

$\boldsymbol{q_e}$ = es la cantidad de adsorbato en el absorbente de equilibrio (mg / g)

$\boldsymbol{q_m}$ = es la capacidad de cobertura de la monocapa (mg/g)

$\boldsymbol{K_e}$ = es la constante de equilibrio

Se puede correlacionar con la variación del área adecuada y la porosidad del adsorbente, lo que implica que una gran superficie y un volumen de poros darán como resultado una mayor capacidad de adsorción.

Las características esenciales de Langmuir se expresan mediante una constante sin dimensiones denominada factor de separación R_L.

Ecuación (2)

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_o}$$

Donde:

$\boldsymbol{K_L}$ = es la constante de Langmuir relacionada con la capacidad de adsorción (mg g^{-1})

$\boldsymbol{C_o}$ = es la concentración inicial de adsorbato (mg g^{-1}).

Los valores $\boldsymbol{R_L}$ indican que la adsorción es desfavorable cuando $\boldsymbol{R_L > 1}$, lineal cuando $\boldsymbol{R_L = 1}$, favorable cuando $\boldsymbol{0 < R_L < 1}$, e irreversible cuando $\boldsymbol{R_L = 0}$ [48].

1.5.2. ISOTERMA DE FREUNDLICH

La isoterma de Freundlich es aplicable a los procesos de adsorción que se producen en superficies heterogéneas. Esta isoterma da una expresión que define la heterogeneidad de la superficie y la distribución exponencial de los sitios activos y sus energías.

La forma lineal de la isoterma de Freundlich es la siguiente:

Ecuación (3)

$$\boldsymbol{\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e}$$

Donde:

$\boldsymbol{K_F}$ = es la capacidad de adsorción (L / mg)

$\boldsymbol{q_e}$ = es la cantidad de adsorbato en el adsorbente en equilibrio (mg/g)

$\boldsymbol{\frac{1}{n}}$ = es la intensidad de adsorción

$\boldsymbol{C_e}$ = Concentración de equilibrio (mg/L) [48].

1.6. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

Los estudios de cinética son una herramienta útil para encontrar las condiciones óptimas para el proceso de adsorción a gran escala. El modelado cinético revela el mecanismo de adsorción y los posibles pasos de control de la velocidad, como el transporte de masas o los procesos de reacción química. Las más comunes son las ecuaciones cinéticas de pseudo primer orden y pseudo segundo. Vale la pena mencionar que los modelos anteriores incluyen todas las etapas de adsorción (es decir, difusión de películas, adsorción y difusión intra partículas); Una razón por la que se les llama pseudo modelos. Por lo tanto, no pueden ser capaces de identificar el mecanismo de adsorción [49].

1.6.1. MODELO CINÉTICO DE PSEUDO PRIMER ORDEN (PFO)

El modelo cinético del Pseudo Primer Orden (PFO) es válido para largos tiempos de adsorción cuando el sistema está cerca del equilibrio en un estado sólido-líquido. El modelo también ha demostrado ser válido solo en la etapa inicial de la adsorción [49]. A continuación, se muestra la ecuación lineal correspondiente al PFO:

Ecuación (4)

$$\boldsymbol{q_t = q_e\left(1 - e^{k_1 t}\right)}$$

Dónde:

$\boldsymbol{q_t}$ = Es la cantidad de adsorbato adsorbido en el tiempo de contacto (mg/g).

$\boldsymbol{q_e}$ = Cantidad de adsorbato adsorbido por masa de la unidad de adsorbente en el equilibrio (mg/g).

t = Tiempo en minutos.

$\boldsymbol{k_1}$= Constante de la tasa de adsorción PPO (min-1) [50].

1.6.2. MODELO CINÉTICO DE PSEUDO SEGUNDO ORDEN (PSO)

Este modelo asume que la tasa de captación es de segundo orden con respecto al sitio de superficie disponible. La mayoría de la adsorción cinética ambiental puede ser bien modelada por PSO, lo que indica su superioridad a otros modelos [51]. La ecuación de

velocidad cinética basada en la capacidad de equilibrio de adsorción se puede representar de la siguiente forma:

Ecuación (5)

$$\boldsymbol{q_t = \frac{qe^2kt}{1 + k_2q_et}}$$

Dónde:

$\boldsymbol{q_t}$ = Capacidad de adsorción que alcance a un tiempo determinado.

$\boldsymbol{q_e}$= Capacidad de adsorción al momento que alcance el equilibrio.

$\boldsymbol{t}$= Tiempo en minutos.

$\boldsymbol{k_2}$= Constante de la tasa de adsorción PSO (g/mg min) [50].

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. SITIO DE RECOLECCIÓN DEL MATERIAL

El material que se utilizó para la ejecución del trabajo fueron desechos lignocelulósico de la bananera “La Silva” que se encuentra ubicada en la Provincia de El Oro, Cantón el Guabo.

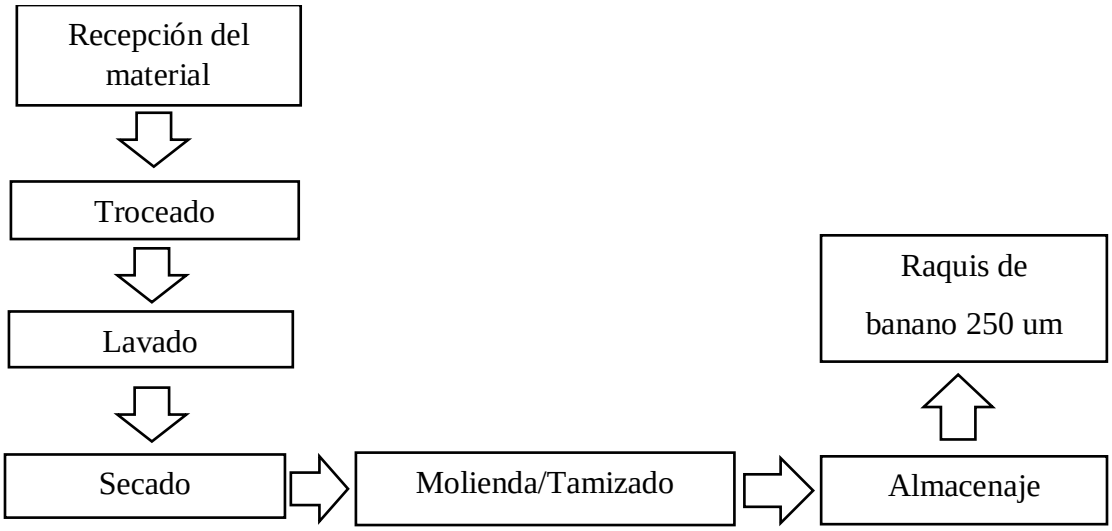
2.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.2.1. PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL MATERIAL

Los desechos lignocelulósico procedente de la bananera se lo recibió en el laboratorio para cortar y disminuir el tamaño promedio de entre 3 y 4 cm, cabe señalar que el material utilizado fue el raquis de banano.

El material troceado paso a una estufa por un lapso de tiempo de 48 horas a 60 grados centígrados los que nos permitiría quitarle en gran parte la humedad. Luego paso por un molino de cuchillas donde se disminuiría el material al tamaño con el que debe trabajar que es 250 µm. Una vez culminado este paso el material se almaceno en fundas con cierre hermético.

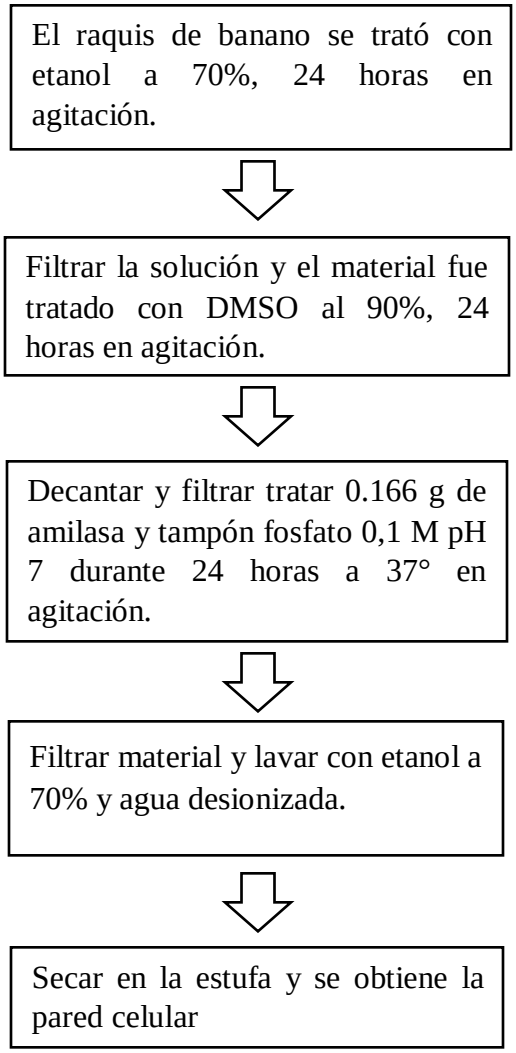
Diagrama 1. Flujo de proceso para la obtención de raquis



2.2.2. EXTRACCIÓN DE PARED CELULAR

Teniendo el material raquis de banano se realizó la extracción de su pared celular por método químico-enzimático para los estudios que se aplicaran a estos materiales, el raquis de banano se trató con una solución de etanol que estuvo a 70% durante un periodo de tiempo de 24 horas en agitación. El residuo del material se filtró y se trató con DMSO durante otro periodo de 24 horas a temperatura ambiente. Se deja decantar y se filtra para que la solución se trate con 2.5 de amilasa y tampón fosfato 0,01 M pH 7,0 durante 24 horas a 37°C en estado de agitación. El material obtenido se lava con una solución de etanol a 70% y luego con agua desionizada hasta que el olor a etanol desaparezca, el material se esparce en una parrilla forrada con papel aluminio para así ser introducida en la estufa a 60°C para que seque durante 24 hora, de ahí el material se pesa y se coloca en una funda de cierre hermético para su utilización. A continuación, en el siguiente diagrama de flujo la extracción de pared celular.

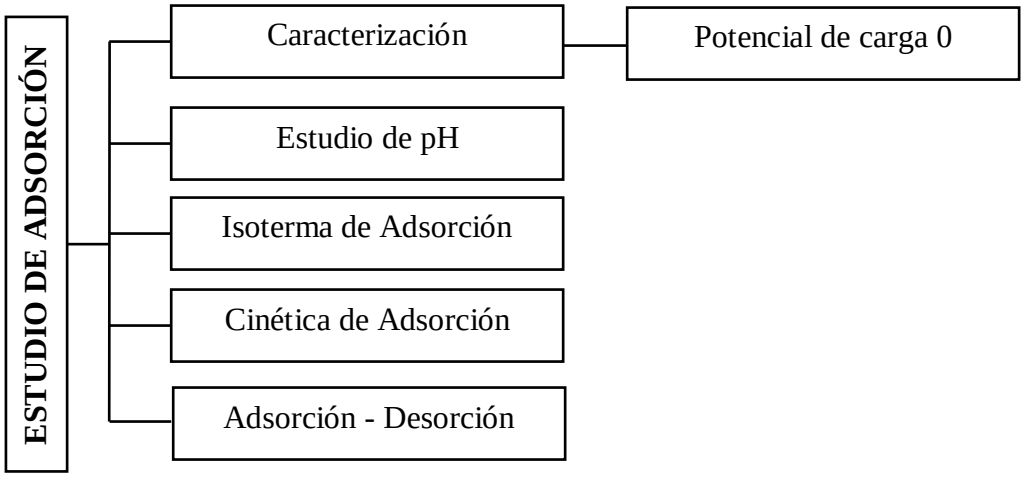
Diagrama 2. Flujo de la extracción de pared celular del raquis del banano



2.3. ESTUDIO DE ADSORCIÓN

En el siguiente diagrama de flujo se detalla los parámetros que se deben realizar para el estudio de adsorción.

Diagrama 3. Estudio de Adsorción



2.3.1. CARACTERIZACIÓN

2.3.1.1. EXTRAÍBLES

Para la determinación de extraíbles con el material pared celular de r/b se lo realizo en el equipo DIONEX ASE 150. Se pesa 3 g de material de pared celular de r/b, luego en la estufa a 60 °C se coloca las membranas de fibra de vidrio y las celdas que utiliza el equipo también el material para eliminación de humedad y también [52].

Se encendió el equipo y se eligió el método número 20 que viene en el equipo, se colocó etanol con el cual realizara lavados a la pared celular de r/b. La muestra que estaba en la estufa se la coloco en las celdas con la membrana de fibra de vidrio, y esto se llevó a las celdas del equipo donde le realizo lavado con etanol – nitrógeno durante media hora.

Al terminar el material se lleva a la estufa en donde estará a una temperatura de 103 °C durante un tiempo de 12, luego de esto pasa al desecador, la muestra se pesa en una balanza analítica hasta tener peso constante. En la siguiente ecuación podemos determinar el porcentaje de extraíbles de la muestra tratada.

Ecuación (6)

$$\% \text{ Extraibles } = \frac{(\text{PMo} - \text{PMf}) \times 100}{\text{PMo}}$$

PMo = Peso de muestra antes del tratamiento

PMf = Peso de muestra después del tratamiento

2.3.1.2. LIGNINA

Se determinó mediante norma TAPPI T 222 que nos permite determinar el porcentaje de lignina que se encuentran en el material se pesó 1 g de material del proceso de determinación de extraíbles [53]. Este material se puso en un vaso de 100 mL, se vertió en el vaso de a poco una solución de 25 mL de H_2SO_4 con una concentración de 72%.

Todo se realizó en baño maría el recipiente se lo tapo con una luna de reloj estando en agitación por un periodo de 2 horas a una temperatura de 20 °C. Luego el material se lo coloco en un matraz de 1000 mL dentro había 300 mL de agua desionizada, una vez más se le agrego 300 mL de agua desionizada con el objetivo de diluir el ácido y se dejó hervir durante un tiempo de 4 horas sin que se consuma en su totalidad la solución.

EL matraz se lo coloco en forma inclinada para que pueda decantar la solución que se encontraba ahí, se filtró con un embudo de buchner, con agua caliente se realizaron lavados. Se colocó en una luna de reloj el papel filtro con material y se llevó a la estufa a una temperatura de 105 °C durante un tiempo de 12 horas. Después se procedió a pesar hasta obtener peso constante de esta manera obtendremos el peso de lignina, la siguiente ecuación podemos determinar su porcentaje.

Ecuación (7)

$$\% \, Lignina \; = \frac{PMf \; \times 100}{PMo}$$

PMo = Peso de muestra antes del tratamiento

PMf = Peso de muestra después del tratamiento

2.3.1.3. HOLOCELULOSA

Mediante el método ASTM D 1104 se pudo realizar la determinación en porcentaje de holocelulosa en el cual se procedió a pesar 2 g de extraíbles y esto se colocó en un matraz de 250 mL donde se le añadió agua desionizada 150 ml, también se agregó 1 g de NaClO y 200 µL de ácido acético frio, a todo esto, se llevó a baño maría a una temperatura aproximada entre 75 y 80 °C, el matraz se le coloco papel parafilm con unos agujeros para que salgan los vapores de la solución.

Una vez más se agregaron las mismas cantidades de NaClO y ácido acético durante lapsos de tiempo de 1 hora y esto se lo realizo hasta que el material alcanzara un blanqueamiento total de la muestra.

El matraz se llevó a un baño con hielo con una temperatura aproximada de 10 °C, la muestra se filtro lavando con agua desionizada fría, la muestra se puso en un crisol previamente lavado y tarado por una balanza analítica, se colocó a la estufa a una temperatura de 105 °C. Luego la muestra paso al desecador donde finalmente fue pesado hasta obtener el peso constante de la holocelulosa. En la siguiente sirve para determinación de porcentaje de holocelulosa.

Ecuación (8)

$$\% \, Holocelulosa = \frac{PMf \times 100}{PMo}$$

PMo = Peso de muestra antes del tratamiento

PMf = Peso de muestra después del tratamiento

2.3.1.4. CELULOSA

Para la determinación de celulosa en nuestro material se procedió a pesar 1 g de pared celular de r/b luego del tratamiento anterior que fue de holocelulosa, esta muestra se puso en un matraz de capacidad 250 mL y se realiza un lavado con agua destilada a una

temperatura de 25°C, se vertió al matraz una solución de 10 mL NaOH con una concentración de 17,5%, se agitó y luego se dejó descansar la solución por unos 5 minutos aproximadamente [54].

Después de esto se procedió a colocar 5 mL adicional de NaOH a la misma concentración manualmente se realizó la agitación y la solución reposo media hora. Se vertió 30 mL de gua desionizada nuevamente se aplicó agitación manual y una vez más la solución esta vez estuvo en reposo por una hora, En el equipo se realizó la filtración al vacío se pudo filtrar la muestra y alternando lavados 30 mL de agua, 25 mL NaOH a 17,5% y 30 mL de agua.

A esto se le adiciono 5 mL de ácido acético a una concentración de 10% sin aplicar al vacío y a esta solución reposo por 3 minutos, el ultimo lavado se lo realizo con 50 mL de agua este sí se aplicó al vacío. La muestra obtenida se llevó a una luna de reloj donde paso a secar en la estufa con una temperatura de 70°C con un tiempo de 12 horas, después de esto la muestra paso a un desecador y luego la muestra se pesó hasta que estuvo en peso constante.

En la siguiente formula podemos obtener el porcentaje de celulosa de materiales lignocelulosico después de su respectivo tratamiento.

Ecuación (9)

$$\%\,Celulosa = \frac{(PMf \times 100)}{PMo}$$

PMo = Peso de muestra antes del tratamiento

PMf = Peso de muestra después del tratamiento

2.3.1.5. HEMICELULOSA

Ya que aún no hay ningún método o normal fiable para calcular el porcentaje de hemicelulosa en materiales lignocelulosico por este motivo se realizó un despeje de la ecuación con la cual también se puede calcular el porcentaje de celulosa y de esta manera obtenemos que para encontrar el porcentaje de hemicelulosa se determina mediante una diferencia entre el porcentaje de holocelulosa y celulosa

Ecuación (10)

$$\% \, Holocelulosa \; = \% \, Celulosa + \% \, Hemicelulosa$$

Ecuación (11)

$$\% \, Hemicelulosa \; = \% \, Holocelulosa - \% \, Celulosa$$

2.3.1.6. POTENCIAL DE CARGA CERO

Los materiales son sometidos a este estudio se realiza por duplicado en donde se coloca 0,0250 g del material en un frasco de plástico de capacidad 30 mL luego se vierte soluciones de Cloruro de Sodio (NaCl) las cuales se encuentran a diferentes pH se deja agitando a 120 rpm en un periodo de 24 horas. Luego de haber transcurrido el tiempo se procede a la lectura del pH.

2.3.2. ESTUDIO DE pH

Para la realización de estudio de pH se preparó una solución de plomo y cadmio de 50 ppm a partir de Pb $(NO_3)_2$ y Cl_2Cd, la solución de Pb^{+2} se lleva a diferentes pH 2, 3, 4, 5, 6 y para Cd^{+2} se utilizó pH 2, 4, 6, 7. En un frasco de plástico de capacidad 30 mL se pesó 0,0250 g de raquis de banano puro y pared celular con 25 mL de la solución que se preparó al inicio. Estas pruebas se realizaron por triplicado por lo tanto para el raquis de banano puro para este análisis se tuvo 15 muestra y la misma cantidad de muestras se realizaron para la pared celular del raquis de banano. El total de muestras en este estudio fueron de 60 muestras las cuales se dejaron en agitación a 120 rpm por un tiempo de 24 horas en contacto con los materiales. Luego de este tiempo se realiza una lectura de su pH para verificar si existe una variación del mismo, luego se filtra 10 mL de muestra para realizar la lectura por el método de flama para esto se utilizó el equipo espectrofotómetro de adsorción atómica y también se necesitó realizar estándares para ambos materiales, para plomo estándares de 5, 25, 50, 100 ppm y para cadmio sus estándares fueron 0.2, 0.5, 0.8, 1 ppm.

2.3.3. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Una vez terminado el estudio de pH se procede con los siguientes pasos para la ejecución de las isotermas de adsorción.

- Se realizó la preparación de soluciones madres de 1000 ppm desde los reactivos $Pb(NO_3)_2$ y Cl_2Cd, a estas soluciones se las llevara al mejor pH este dato lo obtendremos mediante el estudio de pH por lo tanto a partir de la solución de 1000 ppm de cadmio y plomo se debe llevar a diferentes concentraciones y se puede realizar este análisis.
- Las concentraciones que se realizaron a partir de la solución madre y con las cuales se trabajó para plomo (Pb^{+2}) y cadmio (Cd^{+2}) fueron 10, 30, 50, 75, 100, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 ppm tanto para raquis de banano puro como para su pared celular.
- Este estudio también se lo realizo por triplicado por lo tanto cada concentración con la que se trabajó el metal con el material se colocó 0,0250 de material y 25 mL de solución ajustado con el pH que se trabaja, en este estudio también se deja en un periodo de 24 horas en agitación con 120 rpm para que la solución este en contacto con el material. Luego se realiza la lectura del pH final para su posterior filtración de muestra 10 mL por muestra para así pasar a la lectura al equipo espectrofotómetro de adsorción atómica.

2.3.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

Para la realización de este análisis se preparó soluciones de plomo de 500 mL a una concentración de 100 ppm y para soluciones de Cadmio 500 mL a una concentración de 200 ppm y estas fueron ajustadas al pH con el que se trabajó para isotermas de adsorción.

En un vaso de precipitación se colocó 0,5g del material raquis de banano puro y pared celular en análisis diferentes y también se vertió las soluciones de cadmio y plomo donde estuvo en agitación durante 4 horas, la primera muestra de 10 mL se estableció como tiempo cero y se la toma al momento que la solución hizo contacto con el material, luego durante un tiempo de 2 horas se tomó muestra cada 10 minutos y las 2 horas que restaban se agarró muestra cada 20 minutos.

Todas las muestras que salieron de este análisis fueron filtradas para la lectura en el equipo espectrofotómetro de adsorción atómica.

2.3.5. ADSORCIÓN – DESORCIÓN

En el estudio de adsorción – desorción nos permitirá saber cuánto será reusabilidad del material pared Celular, para esto se preparó soluciones de plomo y cadmio a una concentración de 100 ppm con el pH ya establecido en los estudios anteriores para adsorción, y para desorción se prepara soluciones de HNO_3 a 0.1 y 0.5 N.

Para este estudio se realizará pruebas por duplicado y se colocará en recipientes de capacidad de 100 mL donde se pondrá 0,05 g del material y 100 mL de solución ya sea plomo o cadmio y deja en agitación durante 24 horas a 120 rpm, después de este tiempo se lee el pH final de las muestras y se filtra 10 mL para la lectura en el equipo.

El material que sale del proceso de adsorción se lava con agua desionizada y se verifica si no se degrado para la utilización en el proceso de desorción en donde se utilizan la solución de HNO_3 a 0.5 y 1.0 N al igual que el proceso de adsorción se vierte solución de HNO_3 a diferentes concentraciones en un recipiente de 100 mL, también se realiza duplicado de este proceso. Se deja la solución con el material 24 horas en agitación, luego se lee el pH de la solución y se realiza el filtrado de la muestra 10 mL para la lectura en el equipo con la finalización de este paso se cumpliría un ciclo en lo cual la pared celular repetiría este proceso por 8 ciclos más. Luego de aplicar el estudio de adsorción y desorción se gráfica y analiza los datos obtenidos de la pared celular del raquis de banano.

2.4. MATERIALES, RECTIVOS Y EQUIPOS

La siguiente lista son los materiales con los que se realizó este trabajo:

- Mascarillas
- Guantes
- Mandil
- Frasco de plástico para muestras (30 mL)
- Vasos de precipitación (25, 50, 100, 250, 500, 1000, 3000 mL)
- Balón Volumétrico (10, 25, 100, 250, 500, 1000mL)
- Embudo
- Papel filtro
- Micropipetas (10, 100, 100µL) y (10 mL)

- Espátula
- Tamiz
- Cuchillo
- Fundas con auto cierre
- Crisoles
- Lunas de reloj
- Pizetas
- Soporte
- Varilla de agitación
- Etiquetas adhesivas
- Pinzas
- Frascos Ámbar
- Tijeras
- Marcadores
- Probeta
- Pipetas (5, 10 mL)
- Tubos de ensayos de vidrio
- Erlenmeyer (1000, 3000 mL)
- Papel Adsorbente

La siguiente lista consta de los reactivos utilizados para preparaciones de soluciones dentro de esta investigación.

- Agua Destilada
- Agua Desionizada
- Etanol 96%
- Etanol Industrial
- DMSO 99%
- Enzima Amilasa
- Bifosfato de Sodio hidratado ($NaH_2HPO_4.H_2O$)
- Fosfato de DiSódio ($NaH_2HPO_4.H_2O$)
- Fosfato Monopotásico (KH_2PO_4)

- Cloruro de Cadmio (Cl_2Cd)
- Estándar de Cadmio
- Nitrato de Plomo II ($Pb(NO_3)_2$)
- Estándar de Plomo
- Ácido Nítrico comercial e industrial (HNO_3)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Acetileno (99.7%)
- Nitrógeno (5.0)

Los equipos sin duda alguna juegan un papel importante la siguiente lista consta con los equipos que se trabajó durante esta investigación.

- Molino
- Balanza Analítica
- pH-Metro Mettler Toledo
- Espectrofotómetro de adsorción atómica
- Campana de Extraccion de Gases
- Equipo Extractor Thermo Scientific Dionex ASE 150
- Tanque de Acetileno
- Tanque de Nitrógeno
- Compresor
- Agitador Orbital

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.

La caracterización es de suma importancia porque de esta manera se tendrá datos exactos de la composición del material que será evaluado como objeto de estudio. Se tiene que tener en cuenta las normas TAPPI (Asociación técnica de industria de papel y pulpa), ASTM (American Society of Testin Materials) con las cuales obtendremos los datos de la caracterización.

3.1.1. DETERMINACIÓN DE EXTRAÍBLES

El principal objetivo de la presente investigación fue la caracterización del material con el que se está trabajando por motivo a que se desea eliminar componentes con los que puedan interferir con la caracterización, como primer punto de determino extraíbles el cual se realizó en el equipo extractor Thermo Scientific Dionex ASE 150 que se encuentra en el laboratorio de Investigación de la Universidad Técnica de Machala. Para determinar extraíble se realizó el procedimiento requerido y en el siguiente cuadro contamos con los resultados.

Cuadro 3. Porcentaje de extraíbles de pared celular r/b

Material	P_0 (g)	P_f (g)	% Extraíble
Pared Celular	3,0005	2,8213	5,97

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados reflejan que la pared celular del raquis de banano tiene un porcentaje de extraíbles del 5,97%.

El porcentaje de extraíble de BPEG y la celulosa del raquis de banano son mayores que la pared celular r/b [55] [56].

3.1.2. DETERMINACIÓN DE LIGNINA

Para determinar lignina se utilizó la norma TAPPI T-222, nos permitirá saber el porcentaje de lignina

En el siguiente cuadro se podrá observar el porcentaje para determinación de lignina.

Cuadro 4. Porcentaje de lignina de pared celular r/b

Material	P_0 (g)	P_f (g)	% Lignina
Pared Celular	1,0002	0,3883	38,82

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos siguiendo los lineamientos de esta norma claramente nos da que el porcentaje de lignina de la pared celular del raquis de banano es de 38,82%.

El porcentaje de lignina en la pared celular del raquis de banano fue mayor en un 26% en comparación del BPEG la diferencia fue de aproximadamente de 5,92% y la celulosa del raquis de banano de fue de 20,82% [55 56].

3.1.3. DETERMINACIÓN DE HOLOCELULOSA

Para determinar holocelulosa se procedió a seguir la norma ASTM D-1104, con el cual obtendremos el porcentaje de holocelulosa de la pared celular del raquis de banano la cual se verá en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Porcentaje de holocelulosa de pared celular r/b

Material	P_0 (g)	P_f (g)	% holocelulosa
Pared Celular	1,0002	0,3883	58,17

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de holocelulosa, es menor en otros estudios con materiales como bioadsorbente PBEG y celulosa mientras que el material pared celular del raquis de banano que obtuvo un mayor porcentaje como es el 58,17% [55 56].

3.1.4. DETERMINACIÓN DE CELULOSA

Para la determinación de Celulosa se realizó siguiendo la norma TAPPI T 203, esto nos permitirá saber el porcentaje de Celulosa la cual estará reflejada en el cuadro a continuación.

Cuadro 6. Porcentaje de celulosa de pared celular de r/b

Material	P_0 (g)	P_f (g)	% Celulosa
Pared celular	1,0002	0,3883	38,25

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje del material celulosa del raquis de banano es mayor que él % de la pared celular de raquis de banano y BPEG [56] [55].

3.1.5. DETERMINACIÓN DE HEMICELULOSA

Para la determinación de hemicelulosa se realiza por la diferencia entre la holocelulosa y la celulosa de esta manera obtendremos el % como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Porcentaje de hemicelulosa de pared celular de r/b

Material	% Holocelulosa	% Celulosa	%Hemicelulosa
Pared celular R/B	58,17	38,25	19,92

Fuente: Elaboración propia

Como resultados obtuvimos que el porcentaje de hemicelulosa de la pared celular del raquis de banano fue de 19,92%.

En la tabla comparativa el porcentaje de hemicelulosa el BPEG fue mayor con 32,7 % que el de la pared celular del raquis de banano y que de la celulosa con 0,50 [55] [56].

3.1.6. COMPOSICIÓN DE PARED CELULAR DE r/b

Mediante algunas normas y métodos obtuvimos los porcentajes de los componentes como extraíbles, lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa los cuales conforman la pared celular. En el siguiente cuadro veremos su composición.

Cuadro 8. Composición de pared celular del raquis de banano

Composición de Pared Celular del raquis de banano					
Material	% Extraíbles	% Lignina	% Holocelulosa	% Celulosa	% Hemicelulosa
Pared Celular R/B	5,97	38,82	58,17	38,25	19,92

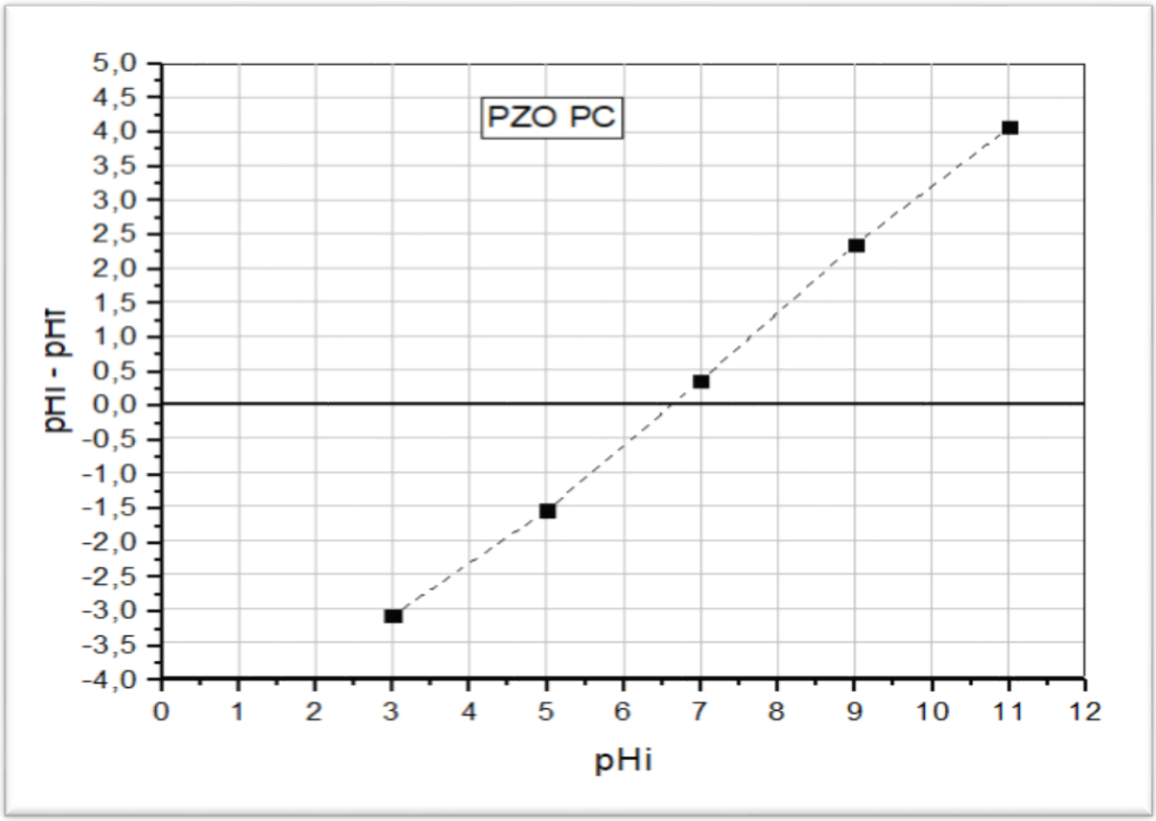
Fuente: Elaboración propia

3.1.7. POTENCIAL DE CARGA CERO

El potencial de carga cero es un estudio que nos permite ver donde el material puesto a análisis para saber con qué pH tiene una mejor conexión. También su abreviatura es (PZC) siglas en ingles. Realizando este análisis se estableció la mejor condición con la cual el material puede trabajar para dar mejores resultados[57].

Para la determinación de (PZC) se partió de una solución de cloruro de sodio (NaCl) en donde los pH están en 3, 5, 7, 9, 11. En donde la línea que intercede la diagonal es el valor de carga cero del material en este caso de la pared celular y raquis de banano. En el siguiente grafico se puede ver detalladamente.

Gráfico 1. (PZC) de pared celular r/b



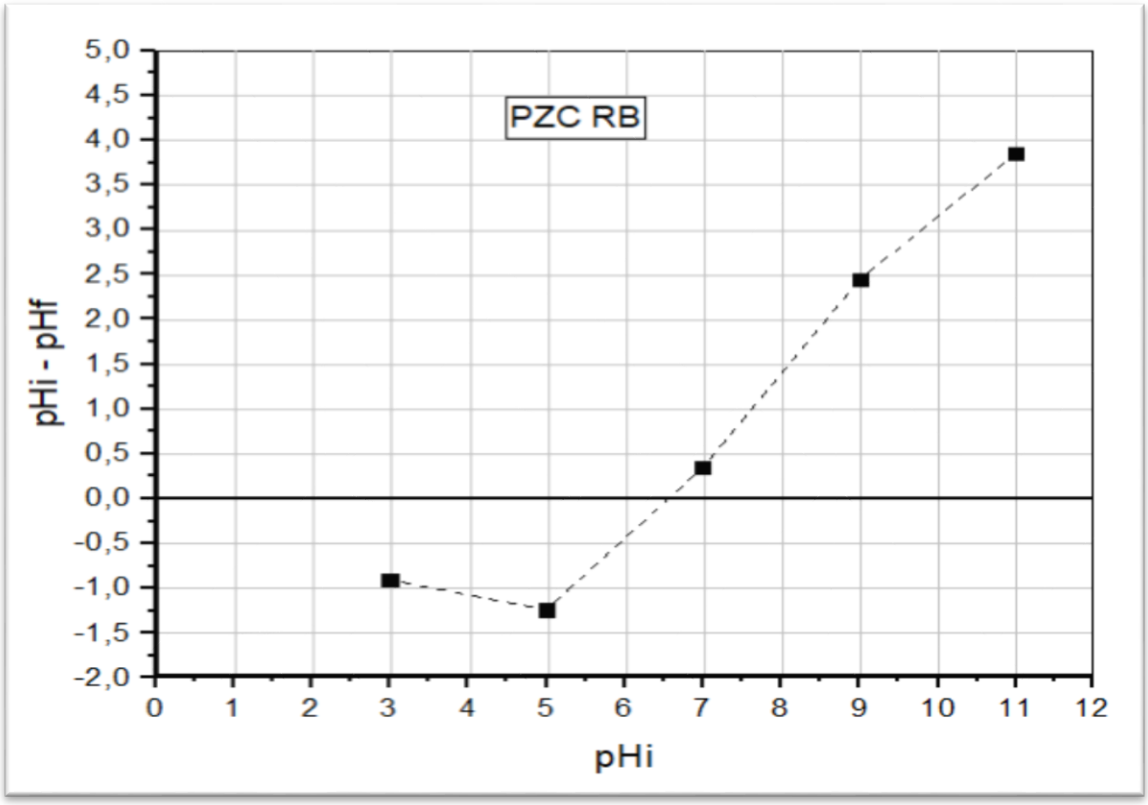
Dosis 1g/L, Volumen 25 mL, Temperatura 25 °C, Tiempo de contacto 24 horas, Agitación 120 rpm, pH_I 3, 5, 7, 9, 11.

En el análisis de PZC que se le realizo al material de pared celular de R/B una vez obtenidos los resultados podemos ver en la gráfica que el punto de carga cero fue 6.6 su

atracción electrostática es baja, los valores por debajo de este pH son negativos y podrían adsorber cationes, hay una menor cantidad de hidrogeno y por este motivo el pH aumenta. Mientras que los valores mayores se nota una disminución de pH por lo que podrían adsorber aniones y habrá una mayor cantidad de hidrógenos.

En la gráfica 2 se realizó el mismo procedimiento de PZC en este caso es para el material raquis de banano puro.

Gráfico 2. (PZC) de raquis de banano puro



Dosis 1g/L, Volumen 25 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 24 horas, Agitación 120 rpm, pH_I 3, 5, 7, 9, 11.

Con el material raquis de banano puro que fue sometido al análisis de PZC que se le realizo ya obtenidos los datos podemos verificar en la gráfica que el punto de carga cero fue 6.5 y sus valores por debajo de este son negativos y su atracción electrostática es baja esto indica que podrían adsorber cationes, ya que hay una menor cantidad de hidrogeno y por este

motivo el pH aumenta. Mientras que los valores mayores se nota una disminución de pH por lo que podrían adsorber aniones y habría una mayor cantidad de hidrógenos.

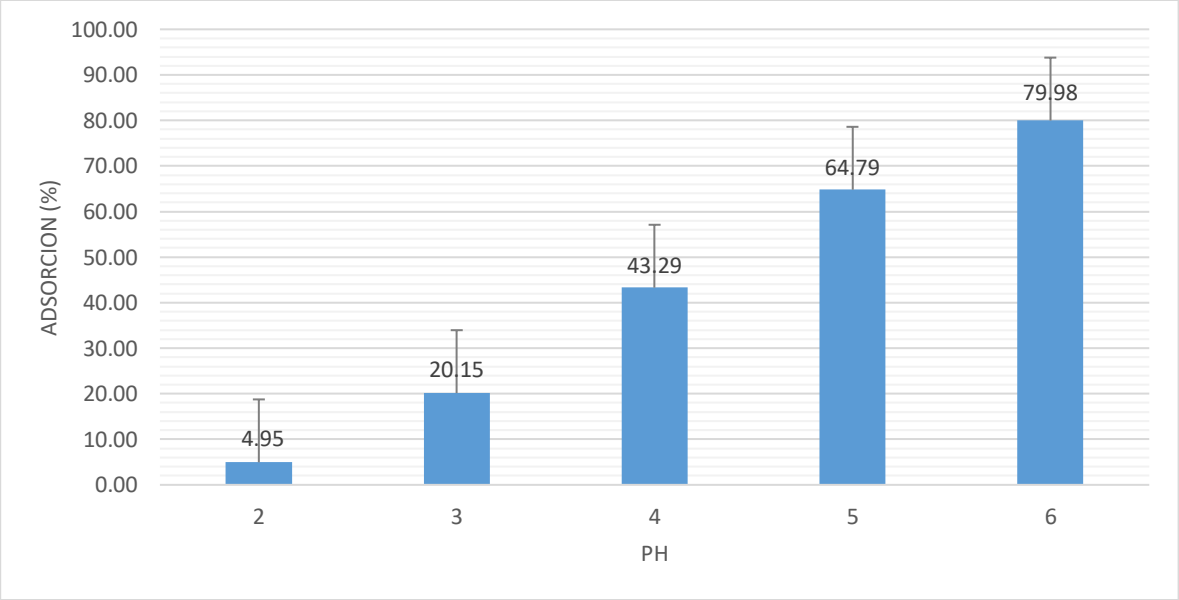
En otros trabajos con el material adsorbente BPEG el análisis PZC dio como resultado 6.0, mientras que en la investigación con el material celulosa del raquis de banano tuvieron un resultado de PZC de 8.6 [55] [56].

3.2. ESTUDIO DE pH

3.2.1. ESTUDIO DE pH Pb^{+2}

Para la realización de estudio de pH se trabajó con los dos materiales adsorbentes los cuales son raquis de banano puro y pared celular, se realizaron análisis a diferentes rangos de pH empieza desde 2, 3, 4, 5, 6. Para esto se utilizó una solución de plomo con una concentración de 50 ppm. En los siguientes gráficos se detalla el rendimiento de los materiales bioadsorbentes.

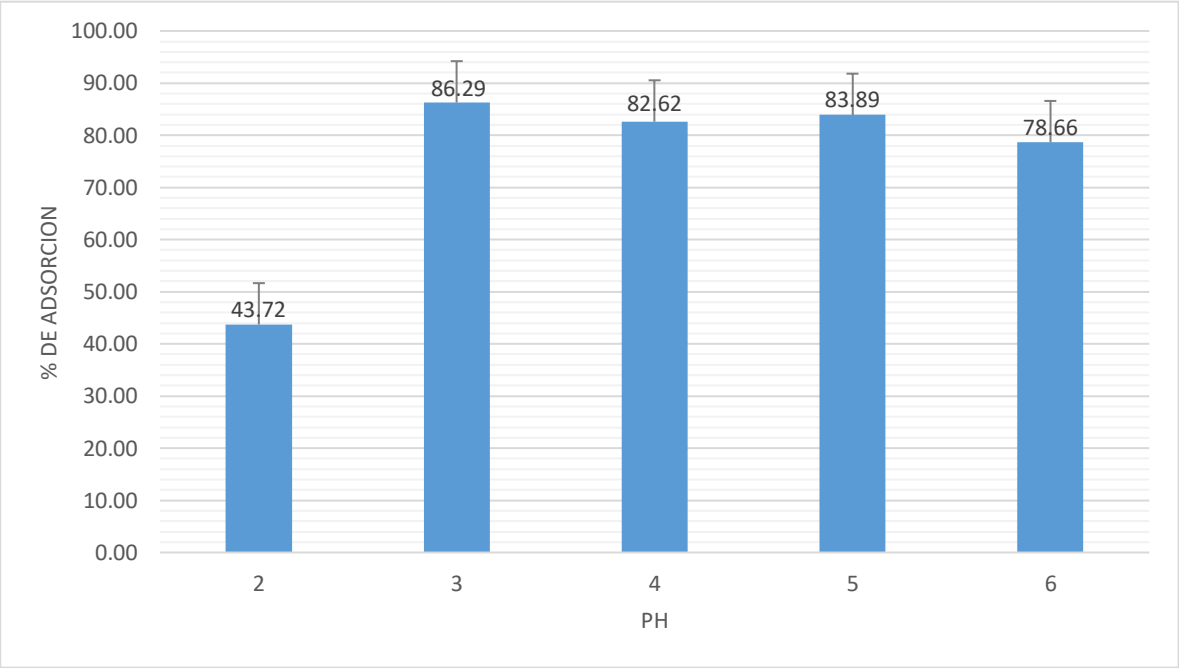
Gráfico 3. Estudio de pH de Pb^{+2} con pared celular de r/b



Dosis 1g/L, Volumen 25 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 24 horas, Agitación 120 rpm, pH_l 5

En la gráfica podemos ver que el material pared celular de r/b obtuvo una mayor capacidad de adsorción con valores de 79,98% en pH 6 y 64,79% en pH 5 a diferencia de las otras muestras que obtuvieron un menor rendimiento.

Gráfico 4. Estudio de pH de Pb^{+2} con raquis banano puro



Dosis 1g/L, Volumen 25 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 24 horas, Agitación 120 rpm, pH_l 3

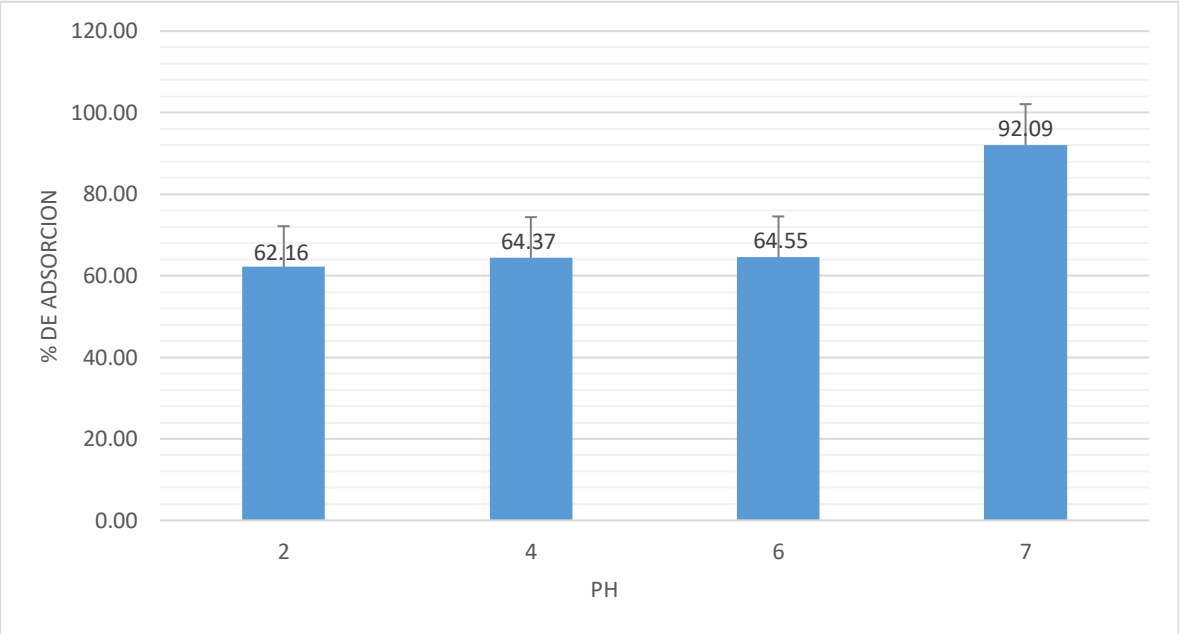
El análisis de adsorción de estudio de pH para el raquis de banano puro también se realizó con una solución de 50 ppm de Plomo Pb^{+2} en el que tuvo un mejor rendimiento fue con el pH 3 que la capacidad fue de 86,29% con este material.

El porcentaje de adsorción de otros materiales como el BPEG 60,49 % y celulosa 90% expuesto a las mimas condiciones mientras que los dos materiales con los que trabajamos el raquis de banano puro fue de 86,29% y el de la pared celular de r/b fue de 64,79%[55 56].

3.2.2. ESTUDIO DE pH Cd^{+2}

En el estudio de pH para Cadmio se utilizó solución con una concentración de 50 ppm a diferentes pH para encontrar el más óptimo con el cual los materiales obtendrían altos porcentajes de remoción del metal. En el siguiente grafico podremos revisar como el material la pared celular de r/b y raquis de banano puro interactuó con la solución de Cd^{+2}

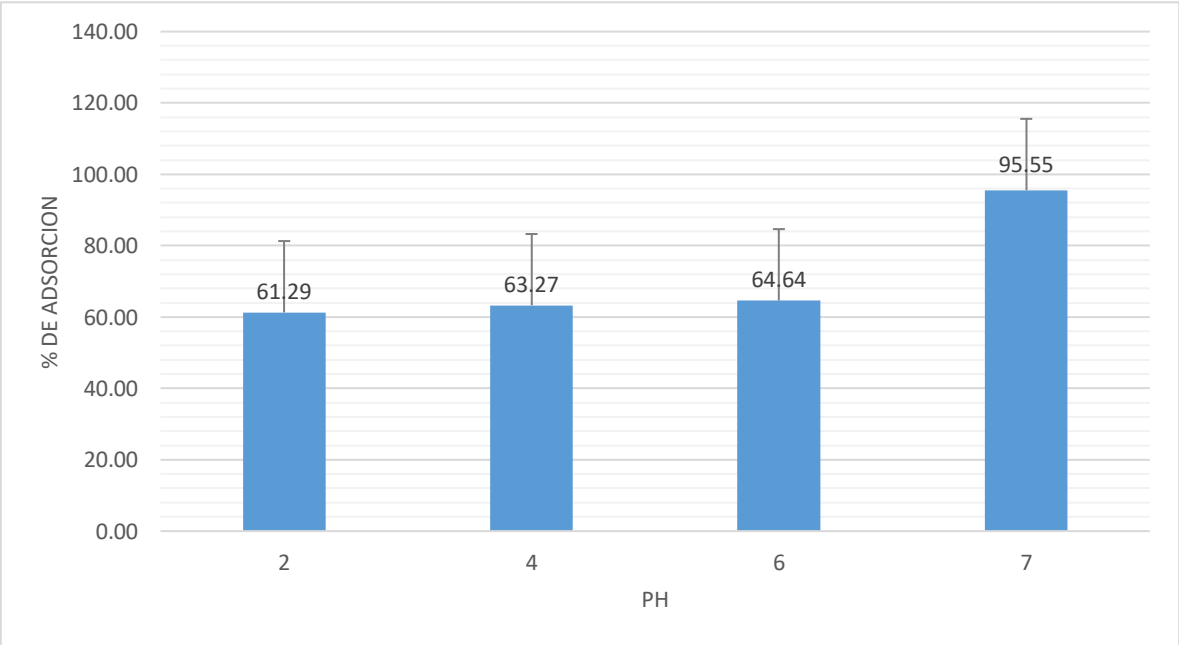
Gráfico 5. Estudio de pH de Cd^{+2} con pared celular r/b



Dosis 1g/L, Volumen 25 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 24 horas, Agitación 120 rpm, pH_l 7

Trabajando con pared celular la capacidad de adsorción en porcentaje fue de 95,55%

Gráfico 6. Estudio de pH de Cd^{+2} con raquis de banano puro.



Dosis 1g/L, Volumen 25 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 24 horas, Agitación 120 rpm, pH_l 7

Los resultados obtenidos de este estudio de pH con el material raquis de banano puro su capacidad de adsorción fue de 92,09 con un pH de 7 también estuvo a un tiempo de contacto de 24 horas entre el material y la solución del metal pesado.

El porcentaje de otros materiales en el cual fueron tratados con solución del metal pesado evaluado el BPEG tiene un porcentaje de remoción de 48,69% y la celulosa del raquis de banano con un porcentaje de 70% mientras los materiales raquis de banano puro y pared celular su capacidad de remoción fue mucha más alta con un porcentaje más de 90% [55] [56].

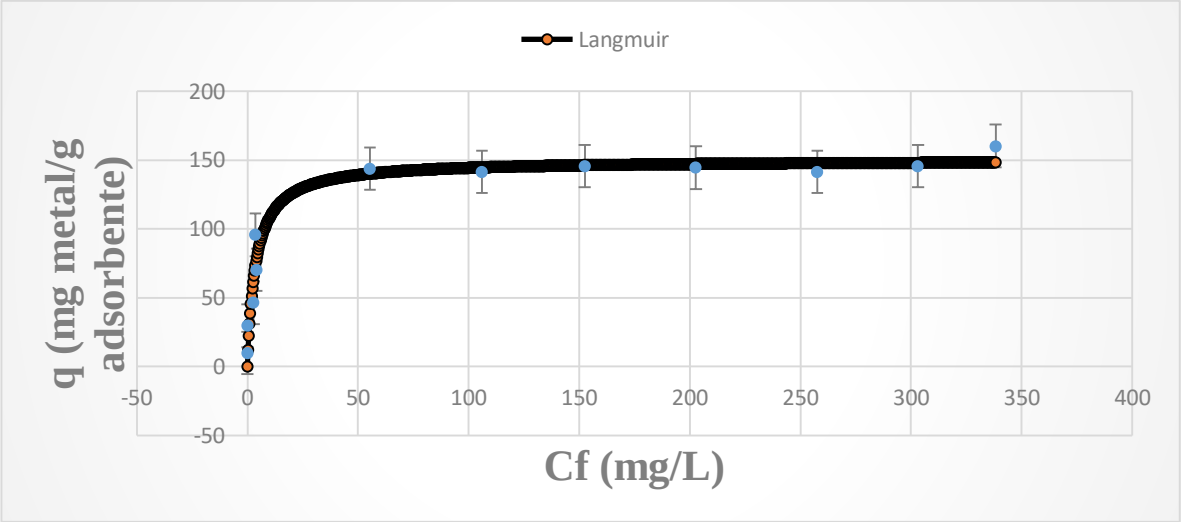
3.3. ESTUDIO DE EQUILIBRIO (ISOTERMAS)

En este estudio nos permite obtener el comportamiento y el equilibrio del material con las soluciones sometidas a este estudio, en otros términos, la capacidad entre el adsorbato y el adsorbente.

3.3.1. ISOTERMA DE PLOMO (Pb^{+2})

Luego de este estudio se consiguieron los datos en la capacidad de adsorción de Pb^{+2} máximas y fue sometido a dos modelos matemáticos los cuales fueron Langmuir y Freundlich, donde se evaluó raquis de banano puro y pared celular de r/b como se puede observar a continuación.

Gráfico 7. Estudio de equilibrio Pb^{+2} con raquis de banano puro

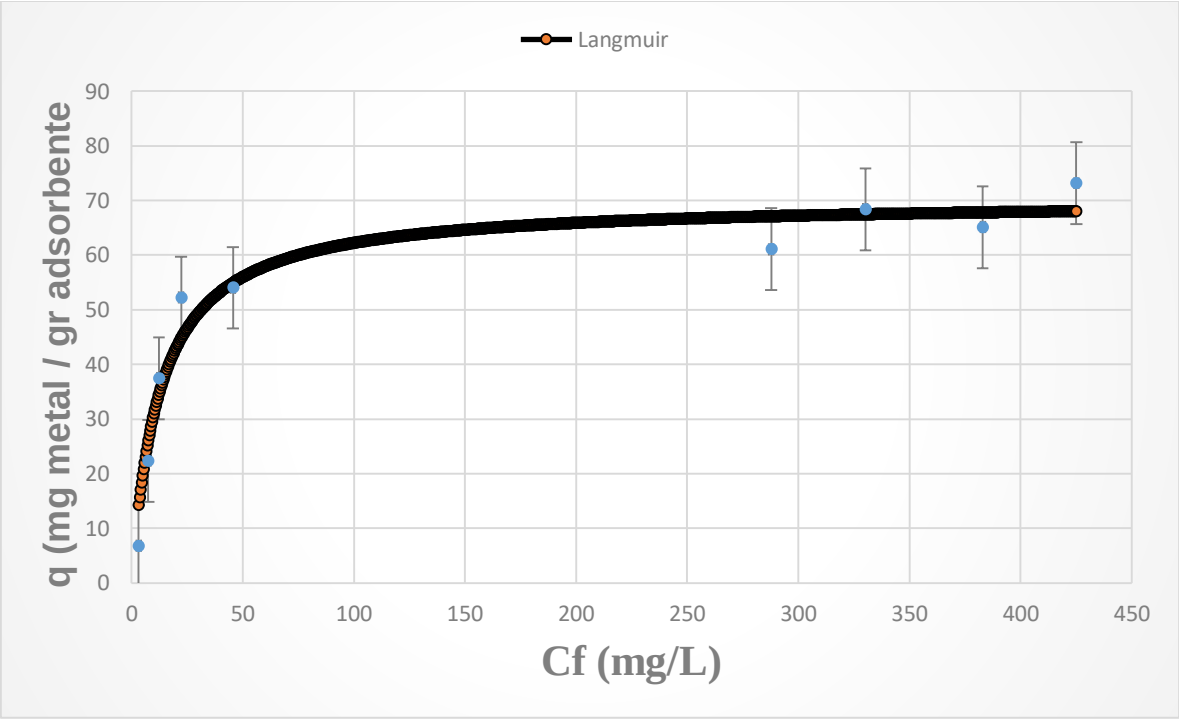


Dosis 1g/L, Volumen 25 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 24 horas, Agitación 120 rpm, pH_l 3

En la gráfica se puede observar que el modelo matemático con el que los datos se ajustaron fue el de Langmuir con $Q_{máx.}$ = 160 mg/g y su coeficiente de relación fue de r^2 = 0,93.

A continuación, gráfica de pared celular en el estudio de equilibrio con el metal pesado Pb^{+2}.

Gráfico 8. Estudio de equilibrio Pb^{+2} con pared celular r/b



Dosis 1g/L, Volumen 25 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 24 horas, Agitación 120 rpm, pH_l 5

En la gráfica observamos que el modelo matemático de Langmuir fue el que se ajustó más a los datos de estudio de equilibrio con pared celular de r/b por lo que se obtuvo datos $Q_{máx}$. de 73 mg/g con un r2 de 0,94.

En diferentes estudios aplicando estos modelos matemáticos a estudio de equilibrio obtuvieron diferentes datos con materiales como celulosa y BPEG el cual se presentará en el siguiente cuadro comparativo

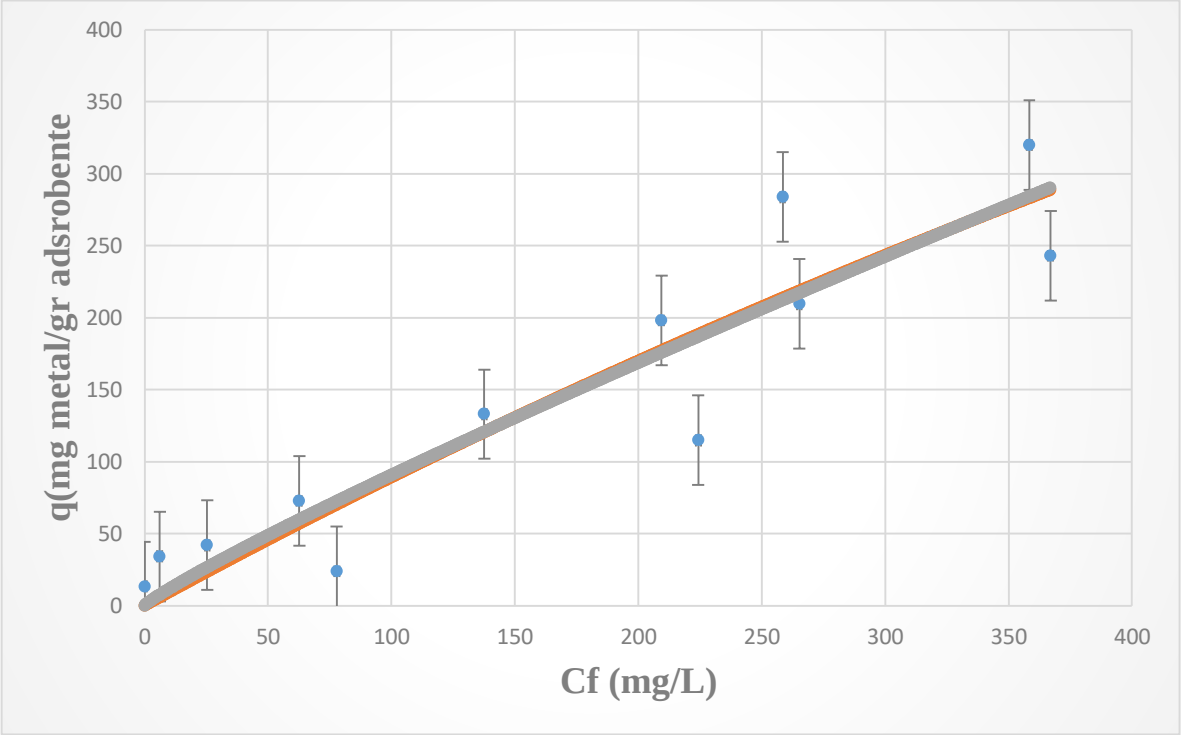
En otros estudios con diferentes materiales adsorbentes el BPEG su $Q_{máx.}$ es de 37 mg/g y aplicaron el modelo de Freundlich, mientras que la celulosa su $Q_{máx}$. fue de 84 mg/g y

utilizaron el modelo matemático de Langmuir. El material del presente estudio obtuvo Q $_{máx.}$ superiores a 73 mg/g y se utilizó el modelo matemático de Langmuir [55 56].

3.3.2. ISOTERMA DE CADMIO (Cd^{+2})

Se realizó el estudio de equilibrio de los materiales ahora evaluando con el metal pesado Cd^{+2} donde fueron evaluados con los modelos de Freundlich y Langmuir como se puede observar

Gráfico 9. Estudio de equilibrio Cd^{+2} con raquis de banano puro

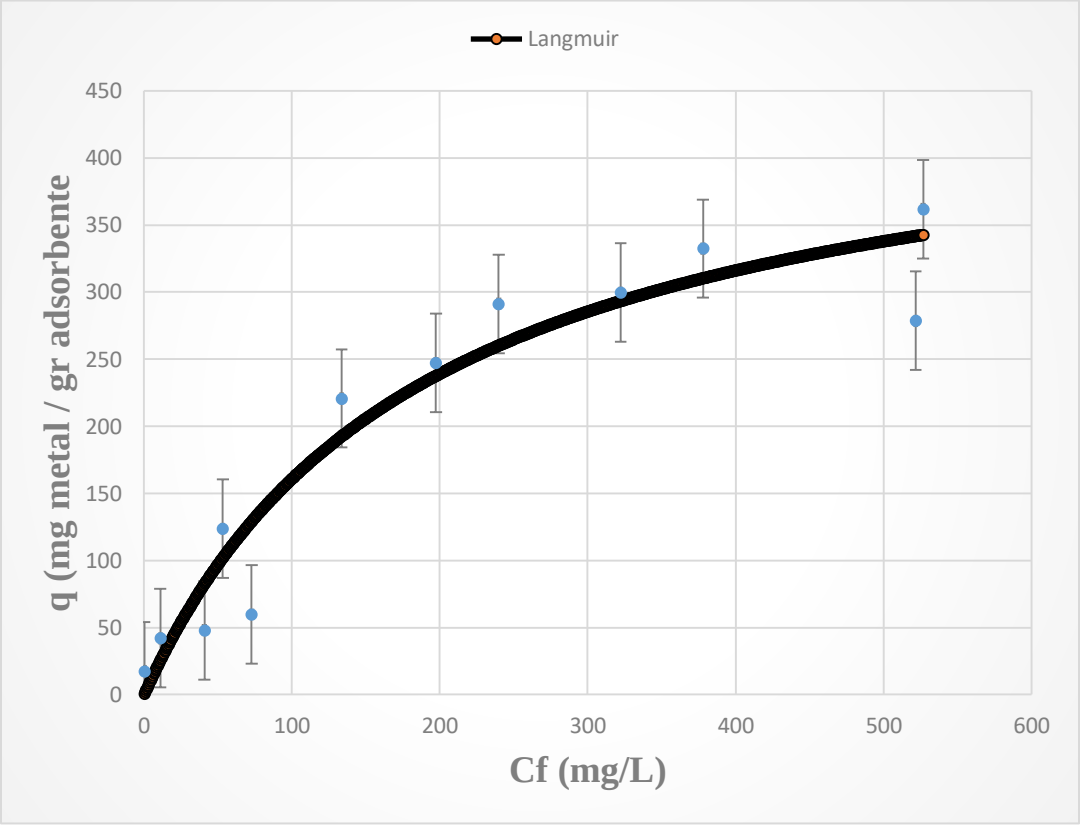


Dosis 1g/L, Volumen 25 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 24 horas, Agitación 120 rpm, pH_l 7

La Q $_{máx}$. fue de 319 mg/g aplicando los modelos matemáticos nos dio como resultado que el coeficiente de correlación r^2 es de 0,85 tanto Langmuir y Freundlich.

En la siguiente gráfica se aplicará el material pared celular para estudio de equilibrio con metal Cd^{+2}

Gráfico 10. Estudio de equilibrio Cd^{+2} con pared celular r/b



Dosis 1g/L, Volumen 25 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 24 horas, Agitación 120 rpm, pH_l 7

Podemos apreciar en nuestra grafica que el modelo con los que los datos de pared celular de raquis de banano se ajustaron con el modelo de Langmuir con un r^2 = 0,92 con su $Q_{máx.}$ de 361 mg/g.

En el siguiente cuadro de comparación se realizó en las mismas condiciones el estudio de equilibrio para el metal Cd^{+2} se analizó con qué modelo más se ajustó y cuál fue su $Q_{máx.}$

En otros estudios con materiales similares BPEG se ajustó al modelo Langmuir con $Q_{máx}$ de 48.85 mg/g mientras que la celulosa con el modelo de Freundlich obtuvo una $Q_{máx.}$ de 204.56 mg/g y para los dos materiales evaluados en este estudio se ajustaron ambos al modelo matemático de Langmuir y las $Q_{máx.}$ los valores fueron superior a 300 mg/g[55 56].

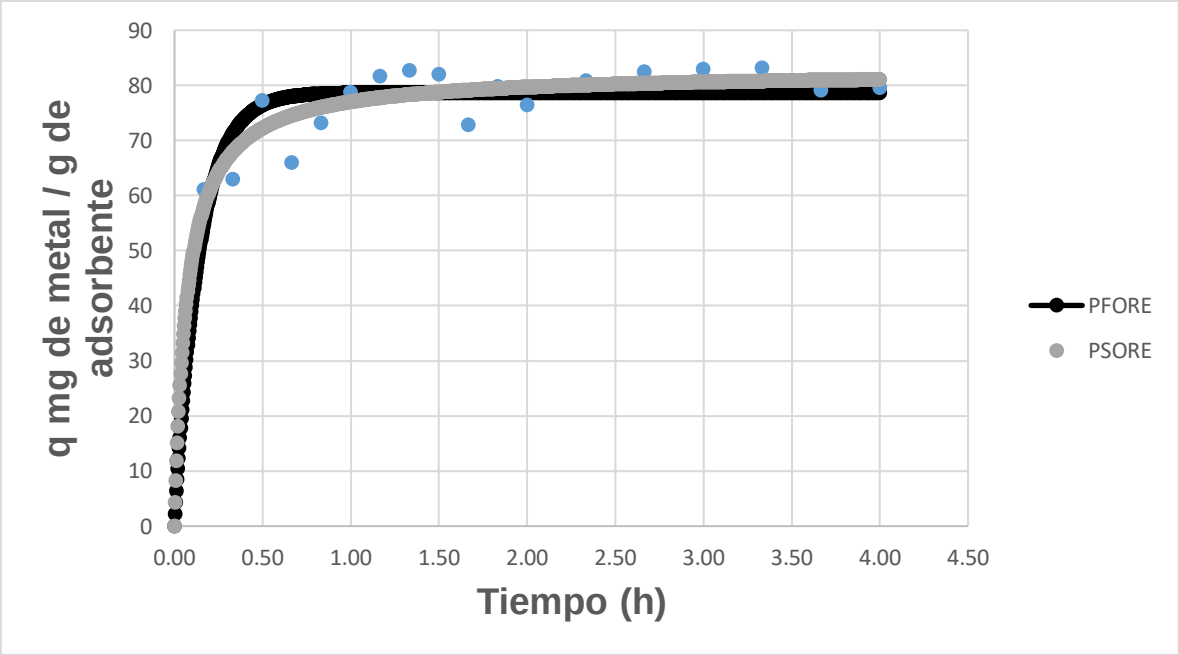
3.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

Es la relación entre el adsorbente y el adsorbato, la velocidad con la que interactúa en este caso el adsorbato adherido al adsorbente.

3.4.1. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE PLOMO (Pb^{+2})

En el estudio de cinética de adsorción se mostrará variables obtenidas mediante la aplicación de modelos pseudo primer y pseudo segundo orden.

Gráfico 11. Estudio cinético de Pb^{+2} con raquis de banano puro

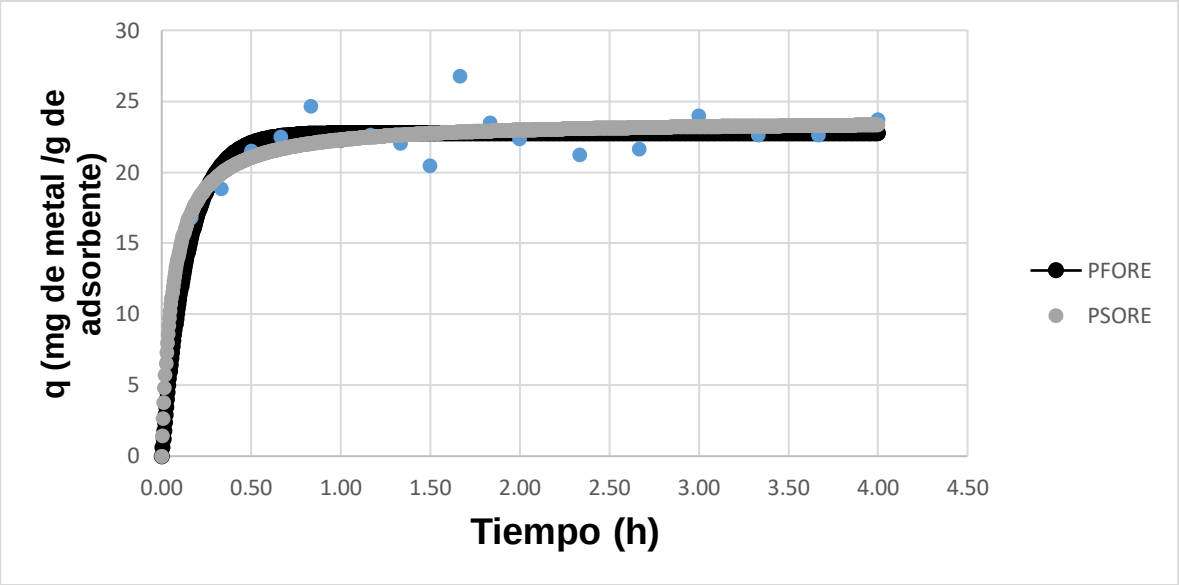


Dosis 1g/L, Volumen 500 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 4 horas, Agitación 120 rpm, Concentración 100 ppm pH_l 3

El estudio cinetico de adsorcion para el material raquis de banano puro su q_e de 78,7 mg/g y un r^2 de 0,93 en el modelo pseudo primer orden (PFO) mientras que para el modelos pseudo segundo orden con fue elegido porque tuvo una q_e de 82.5 mg/g y su r^2 de 0,95.

En la grafica siguiente se observa el comportamiento cinético del metal con el material pared celular.

Gráfico 12. Estudio cinético de Pb^{+2} con pared celular del raquis de banano



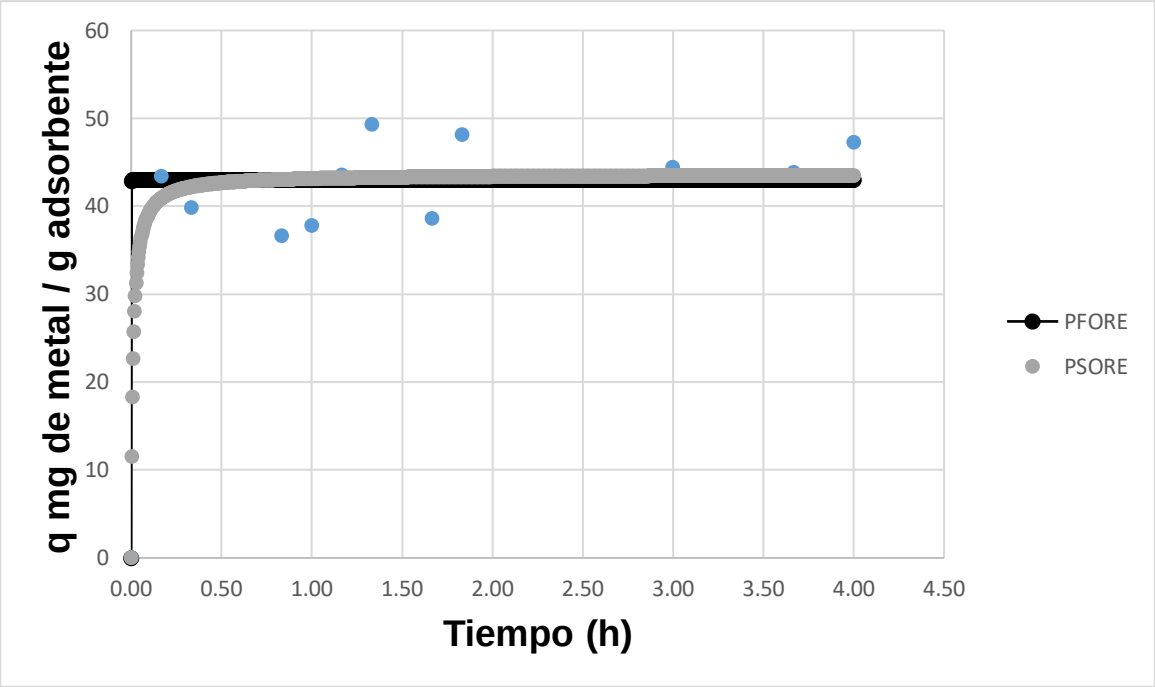
Dosis 1g/L, Volumen 500 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 4 horas, Agitación 120 rpm, Concentración 100 ppm pH_l 5

Evaluados por ambos modelos matemáticos donde (PFO) su q_e fue de 22,7 mg/g y con un r^2 de 0,93 mientras que el modelo (PSO) con una qe un poco más alta con 23,6 mg/g y su respectivo r^2 de 0,93. El material de otras investigaciones BPEG y celulosa tuvieron una mejor q_e que el material evaluado en este trabajo mientras que el coeficiente de relacion de la pared celular fue mejor con r^2 de 0,93 todos estos trabajos se ajustaron mejor con (PSO) pseudo segundo orden [55 56].

3.4.2. CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE CADMIO (Cd^{+2})

El estudio cinético con el metal pesado Cd^{+2} se lo evaluó con el material raquis de banano puro y fue sometido a los modelos matemáticos (PFO) y (PSO).

Gráfico 13. Estudio cinético de Cd^{+2} con raquis de banano puro

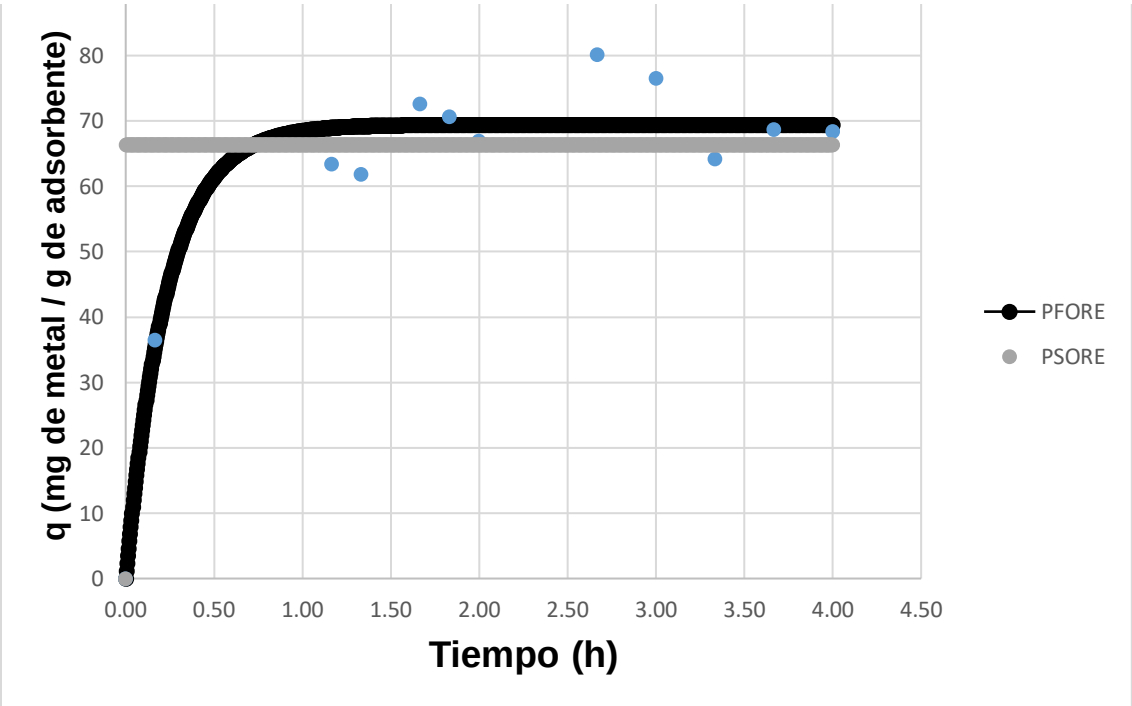


Dosis 1g/L, Volumen 500 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 4 horas, Agitación 120 rpm, Concentración 100 ppm pH_l 7

Se realizó el estudio cinético en donde el modelo (PFO) tiene q_e de 42,9 mg/g y su coeficiente relación r2 de 0,90 mientras que el modelo con el que más se ajusta fue el (PSO) donde se obtuvo los siguientes datos q_e fue de 43,6 mg/g con R^2 de 0,90.

También se realizó el estudio cinético con el material pared celular del raquis de banano con el metal pesado Cd^{+2} donde también fueron aplicados los modelos matemáticos para la respectiva gráfica.

Gráfico 14. Estudio cinético de Cd^{+2} con pared celular del raquis de banano



Dosis 1g/L, Volumen 500 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 4 horas, Agitación 120 rpm, Concentración 100 ppm pH_l 7

Los resultados obtenidos fueron los siguientes en donde (PFO) qe es alrededor 69,4 mg/g con r2 de 0,94 mientras que el modelo matemático (PSO) con qe de 66,3 mg/g y su coeficiente de relación r2 = 0,75. Por lo tanto el modelo matemático con el cual el material se ajusta es el pseudo primer orden (PFO).

El material presentado en otros estudios como BPEG su coeficiente de relación fue bajo. Sin embargo, q_e obtuvo 94,9 mg/g fue mayor mientras que coeficiente de correlación fue igual que el material pared celular de raquis de banano[55 56].

3.5. ADSORCIÓN Y DESORCIÓN (REUSABILIDAD DEL MATERIAL)

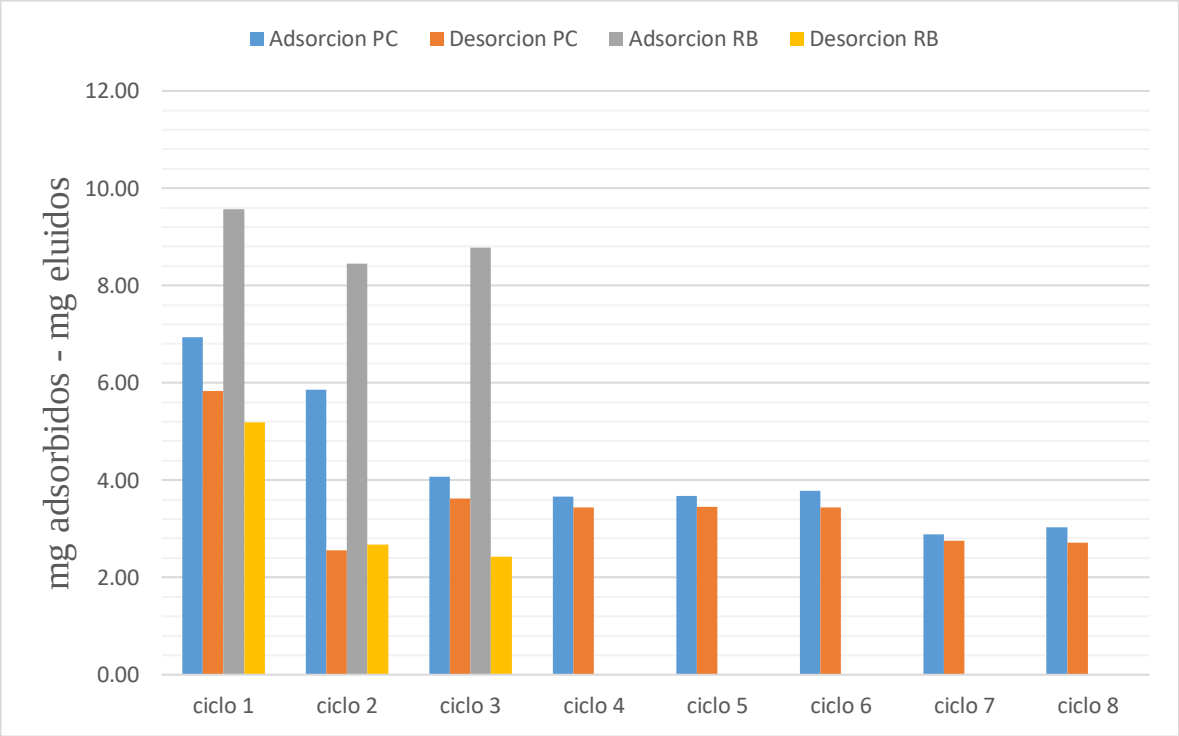
Es de suma importancia la evaluación del material de estudio por este motivo el raquis de banano puro y pared celular r/b fueron sometidos a igual condiciones para realizar su adsorción-desorción en donde adsorción se la realizo con los metales pesado inmerso a este

estudio y la desorción se realizó con el eluyente HNO_3 con dos molaridades que fue 0.5M y 1M.

3.5.1. ADSORCIÓN Y DESORCIÓN DE PLOMO (Pb^{+2})

A continuación, se podrá divisar la gráfica en la cual se encuentra el material pared celular y raquis de banano evaluando su reusabilidad una concentración de 1M.

Gráfico 15. Adsorción-Desorción de Pb^{+2}, HNO_3 1M

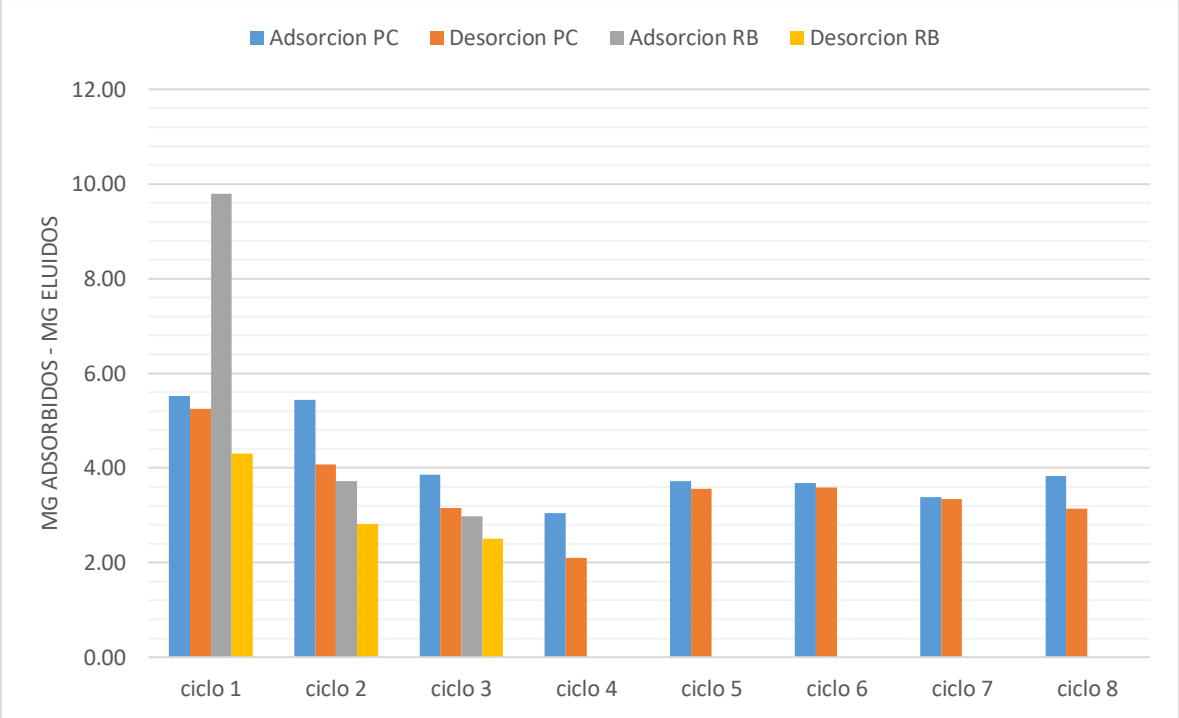


Dosis 1g/L, Volumen 100 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 48 horas-ciclo, Agitación 120 rpm, Concentración 100 ppm pH_I 3 - 5

En la gráfica se puede observar que el material raquis de banano tiene un mayor efecto en adsorción del metal, se trabajó con el eluyente HNO_3 1M mediante inspección del material filtrado luego de la desorción se pudo constatar que su durabilidad solo fue de 3 ciclos mientras que la pared celular obtuvo una mayor reusabilidad esto se determinó verificando la naturaleza con el cual el material termino el ciclo 8.

Luego se pasó a evaluar con una molaridad de 0,5M como se puede apreciar a continuación.

Gráfico 16. Adsorción-desorción de Pb $^{+2}$, HNO_3 0,5M



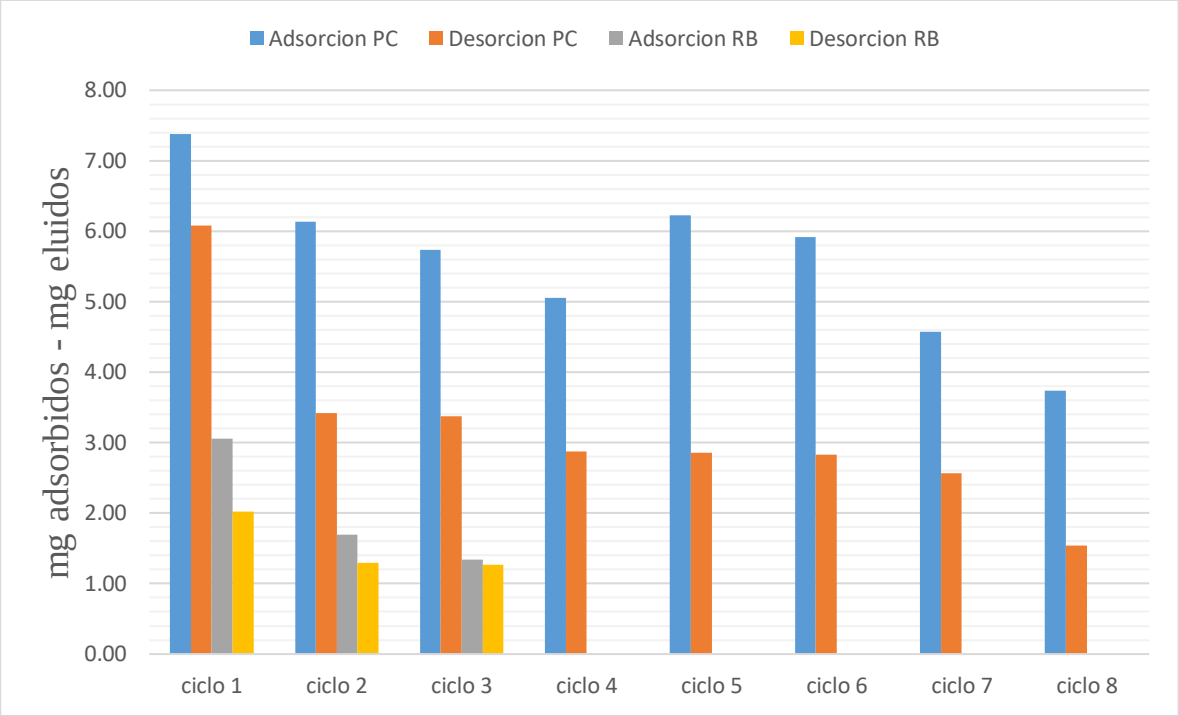
Dosis 1g/L, Volumen 100 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 48 horas-ciclo, Agitación 120 rpm, Concentración 100 ppm pH_I 3 - 5

La mejor durabilidad la obtuve el material pared celular de raquis de banano alcanzando los 8 ciclos con capacidad de mg adsorbidos 3,83 por lo tanto el material mostró degradabilidad en el último ciclo.

3.5.2. ADSORCIÓN Y DESORCIÓN DE CADMIO (Cd^{+2})

Con el material raquis de banano y pared celular r/b se realizó el mismo procedimiento para evaluar su reusabilidad en esta ocasión con el metal Cd^{+2}. A continuación se observará el respectivo gráfico con eluyente HNO3 a una concentración 1M.

Gráfico 17. Adsorción-desorción de Cd^{+2}, HNO_3 1M



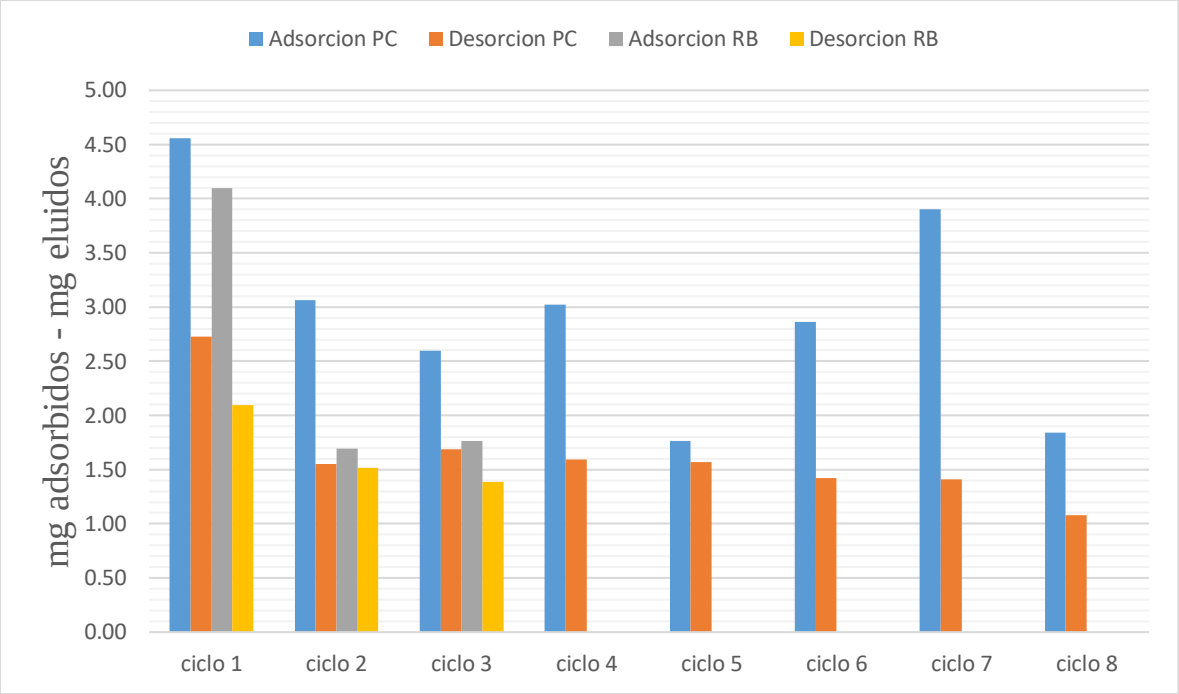
Dosis 1g/L, Volumen 100 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 48 horas-ciclo, Agitación 120 rpm, Concentración 100 ppm pH_l 7

En la gráfica se puede observar que los mg de adsorción que obtiene el material raquis de banano son altas y la desorción con el eluyente a la concentración 1M es buena sin embargo el material se deshace al tercer ciclo.

El material pared celular del raquis de banano tiene mejor rendimiento por la mayor cantidad de ciclos con el cual el material realiza el estudio con cantidades aceptables de adsorción entre el material y la solución con el metal pesado, también hubo una buena interacción por parte del material y el eluyente y a partir del octavo ciclo el material presentaba desgaste en la estructura esto se verifico visualmente y una lectura final donde el material ya no realizo adsorción después del último ciclo.

En la siguiente grafica se mostrará la interacción entre los materiales y el mismo eluyente pero con una concentración más baja.

Gráfico 18. Adsorción-desorción de Cd^{+2}, HNO_3 0,5M



Dosis 1g/L, Volumen 100 mL, Temperatura 25°C, Tiempo de contacto 48 horas-ciclo, Agitación 120 rpm, Concentración 100 ppm pH_l 7

El resultado que logro aplicando adsorción y desorción con los materiales en esta ocasión con el mismo eluyente, pero con una concentración baja podemos divisar que el material raquis de banano tiene bueno resultados, pero la reusabilidad no es beneficiosa porque el material a partir del tercer ciclo no muestra características con las cuales se puede seguir con el proceso. La pared celular muestra buen rendimiento esta entre 4,5 – 1,00 aproximadamente en relación a los mg de adsorción y desorción esto se da hasta el octavo ciclo ya que a partir de ahí el material presenta degradación, poca capacidad de adsorción con el metal.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES

- El raquis del de banano es un residuo lignocelulósico del cual se puede obtener un 65,51% de material adsorbente para ser utilizado como adsorción de metales pesados como el plomo (Pb^{+2}) y cadmio (Cd^{+2}).
- El análisis de estudio de adsorción con pared celular dio porcentajes altos estos fueron de 64,79% para plomo (Pb^{+2}) y para cadmio (Cd^{+2}) es de 95,55%.
- Para el estudio de equilibrio la pared celular se ajustó el modelo matemático de Langmuir donde su capacidad máxima de adsorción de 73 mg Pb^{+2} /g y r^2 = 0,94, y Cadmio de 361 mg Cd^{+2} /g y r^2 = 0,92.
- En el estudio de adsorción y desorción el material pared celular de raquis de banano la capacidad de reusabilidad fue alta con 8 ciclos.
- La caracterización del material pared celular de raquis de banano fueron para extraíbles de 5,97%, de Lignina 38,82, de Holocelulosa 58,17%, de Celulosa 38,25 y de Hemicelulosa 19,92.

CAPÍTULO V

5. RECOMENDACIONES

- Seguir cada una de las normas al momento de realizar los análisis de esta manera los datos son más fiables y realizar por triplicado cada ensayo que se haga dentro de la investigación.
- Realizar más investigaciones con diferentes desechos con los cuales cuenta la provincia en gran abundancia y puede servir para tratar distintos tipos de contaminaciones con diferentes metales que se encuentra presentes en cuerpo de aguas en soluciones acuosa.
- El material pared celular de raquis de banano sin duda es una alternativa para la disminución de contaminación, llevándolo este material industrialmente para la remoción de metales pesados, con esto se podría ayudar a los productores bananeros dándoles valor agregado a unos de sus principales desechos con los cuales no son más que desperdicios.

BIBLIOGRAFÍA

(1) Munir, T.; Hussain, M.; Naseem, S. Water pollution-A menace of freshwater Biodiversity : A Review water pollution-A menace of freshwater biodiversity : A Review. *J. Entomol. Zool. Stud.* **2016**, *4* (June), 578–580.

(2) Dusa, A. A.; Timothy, N.; Magili, S. T.; Tukur, S. Determination of heavy metals in Boreholes , Hand Dug wells and surface water in some selected areas of Mubi North Local Government Area Adamawa State , Nigeria . *Int. Res. J. Chem. Chem. Sci.* **2017**, *4* (1), 75–81.

(3) Medina, D. P. 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* **2010**, *23*, 81–88.

(4) Acharya, J.; Kumar, U.; Rafi, P. M. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified agricultural waste material as potential adsorbent-A Review. *Int. J. Curr. Eng. Technol.* **2018**, *8* (3), 526–530.

(5) Paniagua, J. V. Estudio evaluativo de los metales contaminantes y sus alternativas de prevención. *Rev. Cienc. y Desarro.* **2012**, *14*, 9–14.

(6) Tejada-tovar, C.; Villabona-ortiz, Á. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas* **2015**, *18* (34), 109–123.

(7) Salman, M.; Athar, M. Biosorption of heavy metals from aqueous solutions using indigenous and modified lignocellulosic materials. *Env. Sci Biotechnol* **2015**, *14*, 211–228. https://doi.org/10.1007/s11157-015-9362-x.

(8) González, A. G.; Pokrovsky, O. S.; Santana-casiano, J. M.; González-dávila, M. bioadsorption of heavy metals. *Prospect. Challenges Algal Biotechnol.* **2017**, 233–255. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1950-0.

(9) PALACIOS, M.; Zalamea, T. Caracterización química de la biomasa procedente de las hojas, pseudotallo, raquis y pseudopeciolo de la planta de banano y su relación con el poder calorífico, Universidad de Cuenca, 2016.

(10) Morales, José Uriel Medina; Sánchez, M; Hidalgo, A; Jiménez, E; Ruíz, T; Espinosa, M; Delgado, R. Un estudio sobre el potencial del uso de residuos lignocelulósicos. *MICA* **2018**, *1* (1), 6–23.

(11) Govil, A. K. K. P. K. Soil Contamination due to heavy metals from an industrial area of Surat , Gujarat , Western India. *Env. Monit Assess* **2007**, 263–264. https://doi.org/10.1007/s10661-006-9224-7.

(12) Duruibe, J. O. Ogwuegbu, M. O. C. Egwurugwu, J. N. Heavy metal pollution and human biotoxic Effects. *Int. J. Phys. Sci.* **2007**, *2* (5), 112–118.

(13) Chen, H.; Teng, Y.; Lu, S.; Wang, Y.; Wang, J. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Sci. Total Environ.* **2015**, *512–513*, 143–153. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.025.

(14) Pellera, F.; Giannis, A.; Kalderis, D.; Anastasiadou, K.; Stegmann, R.; Wang, J.; Gidarakos, E. Adsorption of Cu (II) ions from aqueous solutions on biochars prepared from agricultural by-products. *J. Environ. Manage.* **2012**, *96* (1), 35–42. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.10.010.

(15) Islam, S.; Ahmed, K.; Raknuzzaman, M. Heavy metal pollution in surface water and sediment : a preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecol. Indic.* **2015**, *48*, 282–291. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016.

(16) Rai, P. K.; Lee, S. S.; Zhang, M.; Tsang, Y. F.; Kim, K. H. Heavy netals in food Crops: Health Risks, Fate, Mechanisms, and Management. *Environ. Int.* **2019**, *125* (November 2018), 365–385. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067.

(17) Selvam, S.; Antony Ravindran, A.; Venkatramanan, S.; Singaraja, C. Assessment of heavy metal and bacterial pollution in coastal aquifers from SIPCOT Industrial Zones, Gulf of Mannar, South Coast of Tamil Nadu, India. *Appl. Water Sci.* **2017**, *7* (2), 897–913. https://doi.org/10.1007/s13201-015-0301-3.

(18) Ayangbenro, A. S.; Babalola, O. O. A New strategy for heavy metal polluted environments: a review of microbial biosorbents. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2017**, *14* (1). https://doi.org/10.3390/ijerph14010094.

(19) Paul, D. Research on heavy metal pollution of river Ganga: A Review. *Ann. Agrar. Sci.* **2017**, *15* (2), 278–286. https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.04.001.

(20) Carocci, A.; Catalano, A.; Lauria, G.; Sinicropi, M. S.; Genchi, G. Lead toxicity, intioxidant defense and environment. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* **2015**, *238*, 22–28. https://doi.org/10.1007/398.

(21) Malar, S.; Vikram, S. S.; Favas, P. J. C.; Perumal, V. Lead heavy metal toxicity induced changes on growth and antioxidative enzymes level in water hyacinths [Eichhornia Crassipes (Mart .)]. *Bot. Stud.* **2014**, 1–11. https://doi.org/10.1186/s40529-014-0054-6.

(22) Zhang, W.; Yang, J.; Wu, X.; Hu, Y.; Yu, W.; Wang, J.; Dong, J.; Li, M.; Liang, S.; Hu, J.; et al. A critical review on secondary lead recycling technology and its prospect. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2016**, *61*, 108–122. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.046.

(23) Wani, A. L.; Ara, A.; Usmani, J. A. Lead toxicity : a review. *Interdiscip. Tecnol.* **2015**, *8* (2), 55–64. https://doi.org/10.1515/intox-2015-0009.

(24) Hillman, A. L.; Abbott, M. B.; Valero-garcés, B. L.; Morellon, M.; Barreiro-lostres, F.; Bain, D. J. Lead pollution resulting from roman gold extraction in northwestern Spain. *The Holocene* **2017**, *27* (10), 1465–1474. https://doi.org/10.1177/0959683617693903.

(25) Sarwar, N.; Imran, M.; Shaheen, M. R.; Ishaque, W.; Kamran, M. A.; Matloob, A.; Rehim, A.; Hussain, S. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. *Chemosphere* **2017**, *171*, 710–721. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116.

(26) Devóz, P. P.; Gomes, W. R.; Araújo, M. L. De; Ribeiro, L.; Pedron, T.; Maria, L.; Antunes, G.; Lemos, B.; Jr, F. B.; Rafael, G.; et al. Lead (Pb) Exposure induces

disturbances in epigenetic status in workers exposed to this metal. *J. Toxicol. Environ. Heal. Part A* **2017**, *80* (19–21), 1–8. https://doi.org/10.1080/15287394.2017.1357364.

(27) Shahzad, B.; Tanveer, M.; Che, Z.; Rehman, A.; Cheema, S. A.; Sharma, A.; Song, H.; Rehman, S. ur; Zhaorong, D. Role of 24-Epibrassinolide (EBL) in mediating heavy metal and pesticide induced oxidative stress in plants: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2018**, *147* (September 2017), 935–944. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.066.

(28) Ghosh, D.; Saha, R.; Ghosh, A.; Nandi, R.; Saha, B. A review on toxic cadmium biosorption from contaminated wastewater. *Desalin. Water Treat.* **2015**, *53* (2), 37–41. https://doi.org/10.1080/19443994.2013.846233.

(29) Hayat, M. T.; Nauman, M.; Nazir, N.; Ali, S.; Bangash, N. *Environmental Hazards of cadmium : past , present , and future*; Elsevier Inc., 2019. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814864-8.00007-3.

(30) Rizwan, M.; Ali, S.; Abbas, T.; Adrees, M.; Zia-ur-rehman, M.; Ibrahim, M.; Abbas, F.; Farooq, M.; Nawaz, R. Residual effects of biochar on growth , photosynthesis and cadmium uptake in rice (Oryza Sativa L .) under Cd stress with different water conditions. *J. Environ. Manage.* **2018**, *206*, 676–683. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.035.

(31) TULSMA. norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : recurso agua. *Libr. VI- Anexo 1 Texto unificado Legis. Secund. del Medio Ambient.* **2011**, 8–9.

(32) Mo, J.; Yang, Q.; Zhang, N.; Zhang, W.; Zheng, Y.; Zhang, Z. A review on agro-industrial waste (AIW) derived adsorbents for water and wastewater treatment. *J. Environ. Manage.* **2018**, *227* (April), 395–405. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.069.

(33) Girotto, F.; Alibardi, L.; Cossu, R. food waste generation and industrial uses : a review. *Waste Manag.* **2015**, *45*, 32–41. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.008.

(34) Perez, S.; Dupont, C.; Guillemain, A. characterisation of the most representative agricultural and forestry biomasses in france for gasification. *Waste and Biomass Valorization* **2015**, *6* (4), 515–526. https://doi.org/10.1007/s12649-015-9374-3.

(35) Domínguez, J. M. G.; González, M. C. F. How does phosphoric acid interact with cherry stones ? a discussion on overlooked aspects of chemical activation. *Wood Sci. Technol.* **2018**, *52* (6), 1645–1669. https://doi.org/10.1007/s00226-018-1047-5.

(36) Al-qahtani, K. M. Water purification using different waste fruit cortexes for the removal of heavy metals. *J. Taibah Univ. Sci.* **2016**, *10* (5), 700–708. https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.09.001.

(37) Sahmoune, M. N. Performance of streptomyces rimosus biomass in biosorption of heavy metals from aqueous solutions. *Microchem. J.* **2018**, *141* (2017), 87–95. https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.05.009.

(38) Camarero-espinosa, S.; Endes, C.; Mueller, S.; Petri-fink, A.; Rothen-rutishauser, B.; Weder, C.; James, M.; Clift, D.; Foster, E. J. Elucidating the potential biological impact of cellulose nanocrystals. *Fibers* **2016**, *21* (4), 1–15. https://doi.org/10.3390/fib4030021.

(39) Dussan, K.; Dooley, S.; Monaghan, R. Integrating compositional features in model compounds for a kinetic mechanism of hemicellulose pyrolysis. *Chem. Eng. J.* **2017**, *328*, 943–961. https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.07.089.

(40) Kapu, N. S.; Yuan, Z.; Chang, X. F.; Beatson, R.; Martinez, D. M.; Trajano, H. L. Biotechnology for biofuels insight into the evolution of the proton concentration during autohydrolysis and dilute - acid hydrolysis of hemicellulose. *Biotechnol. Biofuels* **2016**, *224* (9), 1–10. https://doi.org/10.1186/s13068-016-0619-6.

(41) Ralph, J.; Lapierre, C.; Boerjan, W. Lignin structure and its engineering. *Curr. Opin. Biotechnol.* **2019**, *56*, 240–249. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.02.019.

(42) Azimi, A.; Azari, A.; Rezakazemi, M.; Ansarpour, M. Removal of heavy metals from industrial wastewaters: A review. *ChemBioEng Rev.* **2017**, *4* (1), 37–59. https://doi.org/10.1002/cben.201600010.

(43) Crini, G.; Lichtfouse, E.; Wilson, L. D.; Morin-crini, N. *Adsorption-Oriented processes using conventional and non-conventional adsorbents for wastewater Treatment*; 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92111-2.

(44) Nadeem, R.; Manzoor, Q.; Iqbal, M.; Nisar, J. Biosorption of Pb (II) onto immobilized and native mangifera indica waste biomass. *J. Ind. Eng. Chem.* **2016**, *35*, 185–194. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.12.030.

(45) Vijayaraghavan, K.; Balasubramanian, R. Is biosorption suitable for decontamination of metal-bearing wastewaters ? a critical review on the state-of-the-art of biosorption processes and future directions. *J. Environ. Manage.* **2015**, *160*, 283–296. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.030.

(46) Anastopoulos, I.; Bhatnagar, A.; Lima, E. C. Adsorption of rare earth metals : a review of recent literature. *J. Mol. Liq.* **2016**, *221*, 954–962. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.06.076.

(47) Dias, P.; Scheufele, F. B.; Módenes, N.; Espinoza, F.; Marin, P.; Kroumov, D.; Borba, C. E. Kinetic , Equilibrium and thermodynamic phenomenological modeling of reactive dye adsorption onto polymeric adsorbent. *Chem. Eng. J.* **2016**, *307*, 466–475. https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.104.

(48) Ayawei, N.; Ebelegi, A. N.; Wankasi, D. Modelling and interpretation of adsorption isotherms. *J. Chem.* **2017**, *2017*.

(49) Tan, K. L.; Hameed, B. H. Insight into the adsorption kinetics models for the removal of contaminants from aqueous solutions. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* **2017**, *74*, 25–48. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.01.024.

(50) Moussout, H.; Ahlafi, H.; Aazza, M.; Maghat, H. Critical of linear and nonlinear equations of pseudo-first order and pseudo-second order kinetic models. *Karbala Int. J. Mod. Sci.* **2018**, *4* (2), 244–254. https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2018.04.001.

(51) Simonin, J. On the comparison of pseudo-first order and pseudo-second order rate laws in the modeling of adsorption kinetics. *Chem. Eng. J.* **2016**, *300*, 254–263. https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.079.

(52) Sluiter, A.; Ruiz, R.; Scarlata, C.; Sluiter, J.; Templeton, D.; Sluiter, A.; Ruiz, R.; Scarlata, C.; Sluiter, J.; Templeton, D. *Determination of extractives in biomass laboratory analytical procedure (LAP) Issue Date : 7 / 17 / 2005 determination of extractives in biomass laboratory analytical procedure (LAP)*; 2008.

(53) Properties, C. *Acid-Insoluble lignin in wood and pulp (Reaffirmation of T 222 Om-02)*; 2006.

(54) Lopez, K. Caracterización química y determinación de propiedades físico-mecánicas, tensión y flexión de la madera Danto (Vatairea Lundellii), a escala laboratorio., Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.

(55) Marquez, D.; Mora, R. Aplicación de Biopolímero Basado En Raquis de Banano - Polietilenglicol Para Adsorción de Plomo y Cadmio, Universidad Técnica de Machala, 2019.

(56) Paladines, D.; Tinoco, B. Obtención de celulosa a partir de raquis de banano aplicado a la remoción de plomo y cadmio en solución acuosa, Universidad Técnica de Machala, 2019.

(57) Alberto, F.; Villa, A.; Anaguano, A. H. Determinación del punto de carga cero y punto isoeléctrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de colorantes. *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.* **2013**, *4* (2145–6097), 27–36.

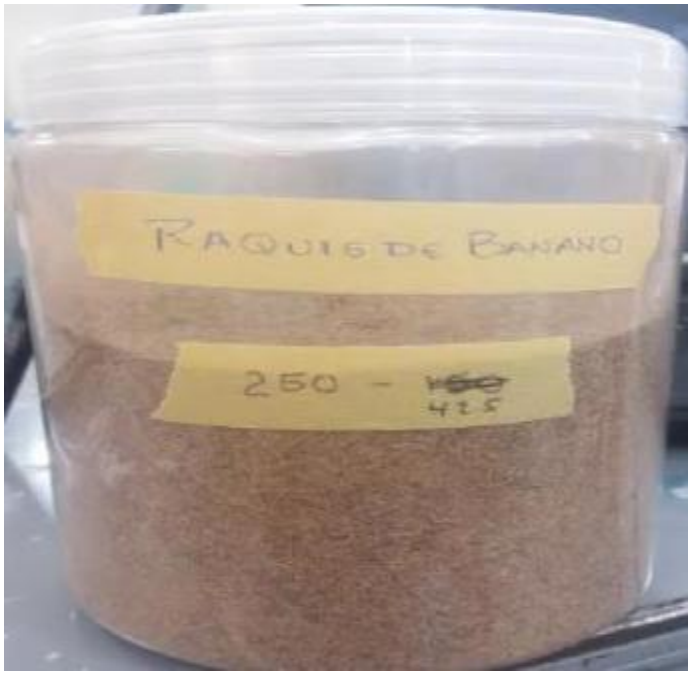
ANEXOS

Anexo 1. Troceado de raquis de banano

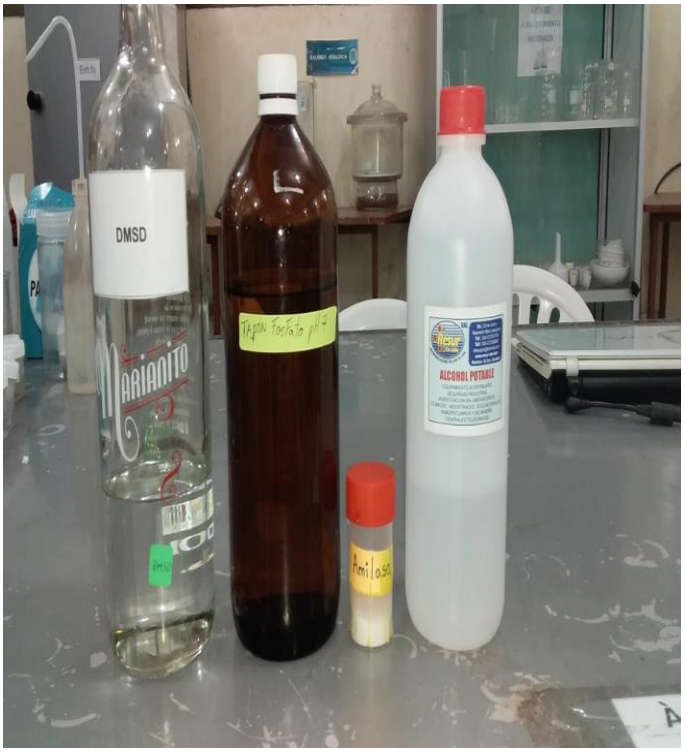
Anexo 2. Secado de raquis de banano troceado

Anexo 3. Molienda del raquis de banano

Anexo 4. Obtención de raquis 250 µm



Anexo 5. Soluciones para pared celular

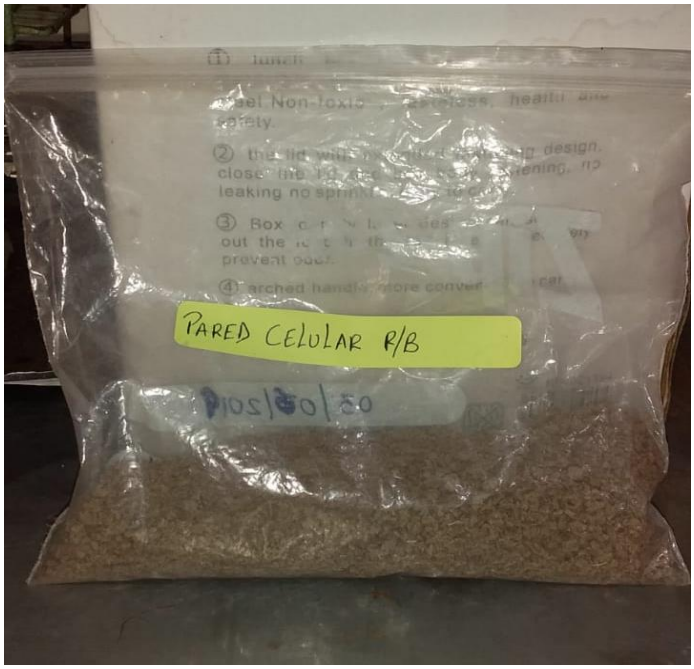


Anexo 6. Agitación del material obtenido

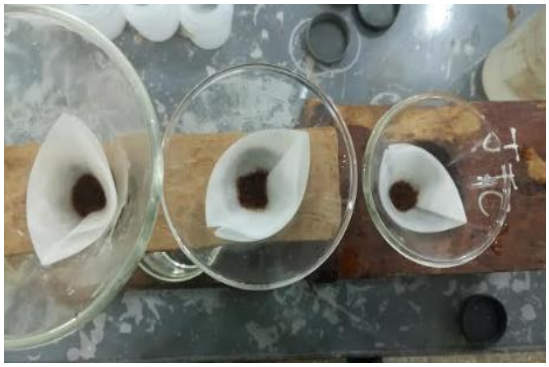
Anexo 7. Filtrado del material

Anexo 8. Secado del material

Anexo 9. Obtención de pared celular

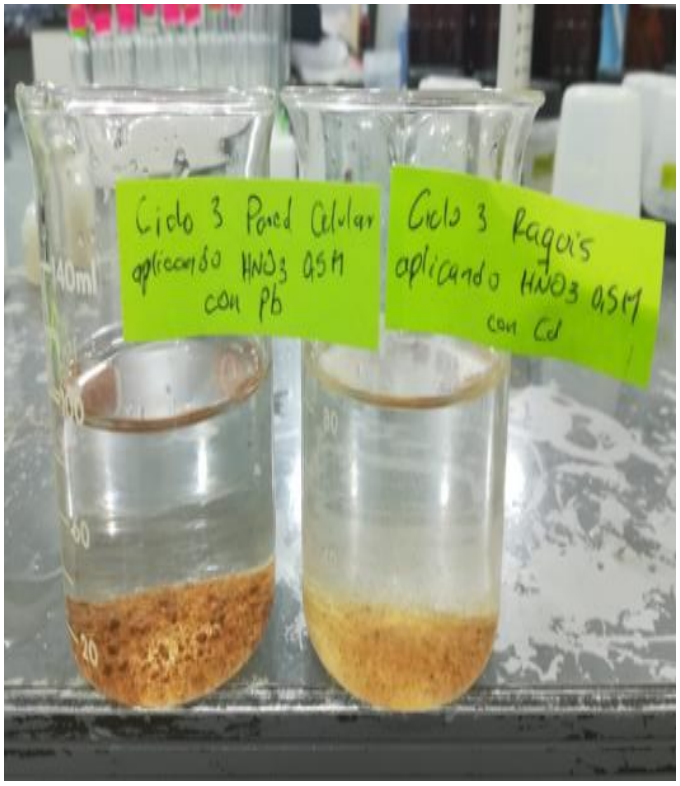


Anexo 10. Ciclo 1 HNO_3 0.5M



Anexo 11. Ciclo 1 HNO_3 1M

Anexo 12. Ciclo 3 0.5M



Anexo 13. Ciclo 3 1M

Anexo 14. Ciclo 8 0.5M

Anexo 15. Ciclo 8 1M