



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

**“ANÁLISIS COMPARATIVO MEDIANTE ISOTERMAS DE  
ADSORCIÓN: FREUNDLICH Y LANGMUIR PARA REMOCIÓN  
DE  $Pb^{2+}$  EN MEDIO ACUOSO.”**

**Trabajo de titulación:**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**QUÍMICO**

**AUTOR:**

**PAÚL JAVIER DELGADO MENDOZA**

**Riobamba - Ecuador**

**2021**



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

**“ANÁLISIS COMPARATIVO MEDIANTE ISOTERMAS DE  
ADSORCIÓN: FREUNDLICH Y LANGMUIR PARA REMOCIÓN  
DE Pb<sup>2+</sup> EN MEDIO ACUOSO.”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**QUÍMICO**

**AUTOR:** PAÚL JAVIER DELGADO MENDOZA

**DIRECTOR:** Dr. FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCÉS PhD.

Riobamba – Ecuador  
2021

**©2021, Paúl Javier Delgado Mendoza**

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

Yo, Paúl Javier Delgado Mendoza declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos del documento provienen de otras fuentes y se encuentran debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académico de los contenidos de este trabajo de integración curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de Enero del 2021.



**Paúl Javier Delgado Mendoza**

**080325025-7**

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

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo Investigativo “**ANÁLISIS COMPARATIVO MEDIANTE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN: FREUNDLICH Y LANGMUIR PARA REMOCIÓN DE Pb<sup>2+</sup> EN MEDIO ACUOSO**”, de responsabilidad del señor **PAÚL JAVIER DELGADO MENDOZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. – Carlos Alcibar Medina Serrano  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
**CARLOS ALCIBAR  
MEDINA SERRANO**

20/01/2021

Dr. – Fausto Manolo Yaulema Garcés PhD.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**



Firmado electrónicamente por:  
**FAUSTO MANOLO  
YAULEMA GARCÉS**

20/01/2021

Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Msc.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
**ADRIAN ALEJANDRO  
RODRIGUEZ PINOS**

20/01/2021

## **DEDICATORIA.**

Lleno de orgullo, este proyecto va dedicado a mi familia, especialmente a mis padres: Amado y Beatriz por inculcarme valores que hoy en día me han forjado como persona, a ellos les dedico mi éxito y mis futuros logros en la vida personal y profesional, a mis hermanas: Shirley y Nohelia por estar siempre apoyándome en los momentos más difíciles y motivarme a seguir adelante por el buen camino, va por ustedes.

Paúl Delgado Mendoza

## AGRADECIMIENTO

A mi Dios y la Virgen de Monserrate, padre y madre celestial que son luz en la oscuridad, los que me acompañan en los momentos de soledad con su ejército de Ángeles que cuidan mis espaldas todos los días.

A mis padres y hermanas, que, por su sacrificio, sabiduría y paciencia, me han apoyado incondicionalmente a lo largo de estos años, en darme fuerzas para continuar y estar siempre ahí para guiarme por el camino correcto.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la Facultad de Ciencias, especialmente al Dr. Fausto Yaulema Garcés y Miembro del tribunal Ing. Adrián Rodríguez Pino que más allá de ser mi Director de Tesis y asesor de la misma, me han permitido adquirir conocimientos necesarios para una correcta ética profesional y un buen desenvolvimiento en lo académico y laboral.

A mis amigos que han estado cerca de mí para apoyarme, especialmente a Marcelo Ramírez, por ser un gran camarada incondicional que la vida dispuso a lo largo de mi viaje y fuente de inspiración e iluminación en mis momentos difíciles, y ahora en los momentos de gloria.

Paúl Delgado Mendoza

## TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
INDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4

### CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1 Antecedentes de la investigación.....	5
1.2 Marco teórico.....	7
1.2.1 Remoción de metales pesados.....	7
1.2.2 Plomo.....	7
1.2.2.1 Propiedades del plomo.....	8
1.2.3 Adsorción en disoluciones acuosas.....	9
1.2.4 Fenómenos de adsorción.....	10
1.2.5 Isotermas de Adsorción.....	11
1.2.6 Tipos de Isotermas de Adsorción.....	11
1.2.7 Adsorción.....	12
1.2.8 Termodinámica de Adsorción.....	13
1.2.8.1 Energía libre de Gibbs.....	13
1.2.9 Simulación Computacional.....	14
1.2.10 Modelos matemáticos de Freundlich y Langmuir.....	15
1.3 Bases conceptuales.....	16
1.3.1 Teoría de Isotermas.....	16
1.3.2 Mecanismo de adsorción sorbato-adsorbente.....	16
1.3.3 Tipos de AdsorPción.....	17
1.3.3.1 Adsorción física.....	17

1.3.3.2	<i>Adsorción química</i> .....	17
1.3.3.3	<i>Diferencias entre adsorción química y adsorción física</i> .....	17
1.3.4	<b><i>Implicación ambiental</i></b> .....	18
1.3.5	<b><i>Biosorción</i></b> .....	19
1.3.6	<b><i>Isoterma de Freundlich</i></b> .....	20
1.3.7	<b><i>Isoterma de Langmuir</i></b> .....	20
1.3.8	<b><i>Constante de distribución</i></b> .....	21
1.3.9	<b><i>Coco (cocos nucífera)</i></b> .....	21
1.3.10	<b><i>Banana (musa paradisiaca)</i></b> .....	22
1.3.11	<b><i>Componentes químicos de la cáscara de banano y estopa de coco</i></b> .....	23
1.3.11.1	<i>Hemicelulosa</i> .....	23
1.3.11.2	<i>Celulosa</i> .....	23
1.3.11.3	<i>Pectina</i> .....	24
1.3.12	<b><i>Variables que afectan los procesos de adsorción</i></b> .....	24
1.3.12.1	<i>pH</i> .....	24
1.3.12.2	<i>Temperatura</i> .....	25
1.3.12.3	<i>Concentración de Adsorbente</i> .....	25
1.3.12.4	<i>Inferencias de sustancias</i> .....	26
1.3.13	<b><i>Modelos cinéticos de adsorción</i></b> .....	26
1.3.13.1	<i>Modelo cinético de primer orden</i> .....	26
1.3.13.2	<i>Modelo cinético de segundo orden</i> .....	27
1.4	<b>Base legal</b> .....	27
1.4.1	<i>Normativa Legal Ecuatoriana</i> .....	28

## **CAPÍTULO II**

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	29
2.1	<b>Tipo de Investigación</b> .....	30
2.1.1	<i>Según el método de investigación</i> .....	30
2.1.2	<i>Según el objeto</i> .....	30
2.1.3	<i>Según el nivel de profundización en el objeto de estudio</i> .....	30
2.1.4	<i>Según la manipulación de las variables</i> .....	30
2.1.5	<i>Según el tipo de inferencia</i> .....	30
2.1.6	<i>Según el periodo temporal</i> .....	31
2.1.7	<i>Según la condición de estudio</i> .....	31
2.2	<b>Diseño de la investigación</b> .....	31

2.3	Identificación de las variables .....	31
2.4	Planteamiento de la hipótesis .....	31
2.5	Matriz de Consistencia.....	32
2.6	Localización de estudio.....	33
2.7	Población de estudio .....	33
2.8	Tamaño de muestra .....	33
2.9	Técnica de recolección de datos.....	34
2.10	Excel.....	34
2.11	Análisis estadístico inferencial.....	34

### CAPÍTULO III

<b>3</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Características generales de la estopa de coco .....</b>	<b>35</b>
<i>3.1.1</i>	<i>Características físicas y mecánicas de la estopa de coco.....</i>	<i>36</i>
<i>3.1.2</i>	<i>Características físicas y químicas de la estopa de coco. ....</i>	<i>36</i>
<i>3.1.3</i>	<i>Principales características químicas de la fibra de coco. ....</i>	<i>36</i>
<i>3.1.4</i>	<i>Composición química de la estopa de coco.....</i>	<i>37</i>
<i>3.1.5</i>	<i>Estudios morfológicos, físicos y químicos de la estopa de coco. ....</i>	<i>37</i>
<i>3.1.5.1</i>	<i>Espectroscopía Infrarroja.....</i>	<i>37</i>
<i>3.1.5.2</i>	<i>Análisis XRD (Difracción de rayos x) .....</i>	<i>39</i>
<i>3.1.5.3</i>	<i>Análisis SEM.....</i>	<i>40</i>
<b>3.2</b>	<b>Características generales de la cáscara de banano. ....</b>	<b>42</b>
<i>3.2.1</i>	<i>Características físicas y químicas de la cáscara de banano. ....</i>	<i>42</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Características físicas de la cáscara de banano. ....</i>	<i>43</i>
<i>3.2.3</i>	<i>Características químicas de la cáscara de banano .....</i>	<i>44</i>
<i>3.2.4</i>	<i>Estudios morfológicos, físicos y químicos de la cáscara de banano. ....</i>	<i>45</i>
<i>3.2.4.1</i>	<i>Espectroscopía infrarroja .....</i>	<i>45</i>
<i>3.2.4.2</i>	<i>Análisis XDR (Difracción de rayos x) .....</i>	<i>46</i>
<i>3.2.4.3</i>	<i>Análisis SEM cáscara de banano .....</i>	<i>47</i>
<b>3.3</b>	<b>Capacidad de adsorción del <math>Pb^{2+}</math> en medio acuoso con estopa de coco (cocos nucífera).....</b>	<b>48</b>
<i>3.3.1</i>	<i>Concentración de <math>Pb^{2+}</math> adsorbido a varias concentraciones y temperatura constante con estopa de coco. ....</i>	<i>48</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Concentración de <math>Pb^{2+}</math> adsorbido a varios intervalos de tiempo a temperatura ambiente con estopa de coco. ....</i>	<i>49</i>

3.3.3	<i>Concentración de Pb<sup>2+</sup> adsorbido a varias temperaturas con estopa de coco.</i>	50
3.3.4	<i>Concentración de Pb<sup>2+</sup> adsorbido a varias medidas de pH a temperatura constante con estopa de coco.</i>	51
3.3.5	<i>Isoterma de Adsorción de Freundlich del Pb<sup>2+</sup> en solución acuosa con estopa de coco.</i>	52
3.3.6	<i>Isoterma de Adsorción de Langmuir del Pb<sup>2+</sup> en solución acuosa con estopa de coco.</i>	54
3.3.7	<i>Cinética de adsorción de Pb<sup>2+</sup> en solución acuosa con estopa de coco.</i>	55
3.4	<b>Capacidad de adsorción del pb<sup>2+</sup> en medio acuoso con cáscara de banano (<i>musa paradisiaca</i>).</b>	<b>58</b>
3.4.1	<i>Concentración de Pb<sup>2+</sup> adsorbido a varias concentraciones y temperatura constante con cáscara de banano.</i>	58
3.4.2	<i>Concentración de Pb<sup>2+</sup> adsorbido a varios intervalos de tiempo a temperatura ambiente con cáscara de banano.</i>	59
3.4.3	<i>Concentración de Pb<sup>2+</sup> adsorbido a varias temperaturas con cáscara de banano.</i>	60
3.4.4	<i>Concentración de Pb<sup>2+</sup> adsorbido a varias medidas de pH y temperatura constante con cáscara de banano.</i>	61
3.4.5	<i>Isoterma de Adsorción de Langmuir del Pb<sup>2+</sup> en solución acuosa con cáscara de banano.</i>	62
3.4.6	<i>Isoterma de Adsorción de Freundlich del Pb<sup>2+</sup> en solución acuosa con cáscara de banano.</i>	63
3.4.7	<i>Cinética de adsorción de Pb<sup>2+</sup> en solución acuosa con cáscara de banano.</i>	65
3.5	<b>Prueba de normalidad shapiro-wilks.</b>	<b>66</b>
	<b>DISCUSIÓN</b>	<b>69</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>71</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>72</b>
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Propiedades físicas del plomo en el ambiente. ....	8
<b>Tabla 2-1:</b> Propiedades químicas del plomo en el ambiente. ....	9
<b>Tabla 3-1:</b> Diferencias entre Fisisorción y Quimisorción. ....	17
<b>Tabla 4-1:</b> Límites máximos permisibles de algunos elementos químicos para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado y cuerpos de agua dulce. ....	29
<b>Tabla 1-3:</b> Composición del coco. ....	35
<b>Tabla 2-3:</b> Principales características físicas y mecánicas de la fibra de coco. ....	36
<b>Tabla 3-3:</b> Características químicas de la fibra de coco. ....	37
<b>Tabla 4-3:</b> Composición química de la estopa de coco. ....	37
<b>Tabla 5-3:</b> Composición química cáscara de banano. ....	44
<b>Tabla 6-3:</b> Adsorción de $Pb^{2+}$ a distintas concentraciones con estopa de coco. ....	48
<b>Tabla 7-3:</b> Variación del tiempo en la adsorción de $Pb^{2+}$ en medio acuoso con estopa de coco. ....	49
<b>Tabla 8-3:</b> Adsorción de $Pb^{2+}$ a diferentes temperaturas en medio acuoso con estopa de coco. ....	50
<b>Tabla 9-3:</b> Adsorción de $Pb^{2+}$ a varias medidas de pH en medio acuoso con estopa de coco. ....	51
<b>Tabla 10-3:</b> Valores para gráfica de Isoterma de Freundlich con estopa de coco. ....	52
<b>Tabla 11-3:</b> Constantes empíricas para isoterma de adsorción de Freundlich. ....	53
<b>Tabla 12-3:</b> Valores para gráfica de Isoterma de Langmuir con estopa de coco. ....	54
<b>Tabla 13-3:</b> Parámetros de adsorción para Isoterma de Langmuir con estopa de coco. ....	55
<b>Tabla 14-3:</b> Valores para gráfica del modelo cinético de adsorción de segundo orden. ....	56
<b>Tabla 15-3:</b> Parámetros cinéticos de adsorción de $Pb^{2+}$ en medio acuoso con estopa de coco. ....	57
<b>Tabla 16-3:</b> Adsorción de $Pb^{2+}$ a distintas concentraciones con cáscara de banano. ....	58
<b>Tabla 17-3:</b> Variación del tiempo en la adsorción de $Pb^{2+}$ en medio acuoso con cáscara de banano. ....	59

<b>Tabla 18-3:</b> Adsorción de Pb <sup>2+</sup> a diferentes temperaturas en medio acuoso con cáscara de banano.....	60
<b>Tabla 19-3:</b> Adsorción de Pb <sup>2+</sup> a varias medidas de pH en medio acuoso con cáscara de banano.....	61
<b>Tabla 20-3:</b> Valores para gráfica de Isoterma de Langmuir con cáscara de banano. ....	62
<b>Tabla 21-3:</b> Parámetros de adsorción para Isoterma de Langmuir.....	63
<b>Tabla 22-3:</b> Valores para gráfica de Isoterma de Freundlich con cáscara de banano.....	64
<b>Tabla 23-3:</b> Parámetros de adsorción para Isoterma de Freundlich. ....	65
<b>Tabla 24-3:</b> Valores para gráfica del modelo cinético de adsorción de segundo orden con cáscara de banano.....	65
<b>Tabla 25-3:</b> Parámetros cinéticos de adsorción de Pb <sup>2+</sup> en medio acuoso con cáscara de banano .....	66
<b>Tabla 26-3:</b> Procesamiento de datos a analizarse de las Isotermas de adsorción para ambos bioadsorbentes.....	66
<b>Tabla 27-3:</b> Análisis descriptivo - exploratorio para Isotermas de adsorción para ambos bioadsorbentes.....	67
<b>Tabla 28-3:</b> Resultados de la prueba de normalidad para datos de isotermas de adsorción para ambos bioadsorbentes .....	67

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Efecto de la concentración en la adsorción de $Pb^{2+}$ con estopa de coco. ....	48
<b>Gráfico 2-3:</b> Efecto de la variación del tiempo en la adsorción de $Pb^{2+}$ con estopa de coco. ...	49
<b>Gráfico 3-3:</b> Efecto de la temperatura en la adsorción de $Pb^{2+}$ con estopa de coco.....	50
<b>Gráfico 4-3:</b> Efecto del pH en la adsorción de $Pb^{2+}$ con estopa de coco .....	51
<b>Gráfico 5-3:</b> Isoterma de adsorción de Freundlich del $Pb^{2+}$ en medio acuoso con estopa de coco.....	53
<b>Gráfico 6-3:</b> Isoterma de adsorción de Langmuir del $Pb^{2+}$ en medio acuoso con estopa de coco. ....	54
<b>Gráfico 7-3:</b> Cinética de Adsorción de $Pb^{2+}$ con estopa de coco en medio acuoso. ....	56
<b>Gráfico 8-3:</b> Efecto de la concentración en la adsorción de $Pb^{2+}$ con cáscara de banano.....	58
<b>Gráfico 9-3:</b> Efecto de la variación del tiempo en la adsorción de $Pb^{2+}$ con cáscara de banano. ....	59
<b>Gráfico 10-3:</b> Efecto de la temperatura en la adsorción de $Pb^{2+}$ con cáscara de banano .....	60
<b>Gráfico 11-3:</b> Efecto del pH en la adsorción de $Pb^{2+}$ con cáscara de banano .....	61
<b>Gráfico 12-3:</b> Isoterma de adsorción de Langmuir del $Pb^{2+}$ en medio acuoso con cáscara de banano.....	62
<b>Gráfico 13-3:</b> Isoterma de adsorción de Freundlich del $Pb^{2+}$ en medio acuoso con cáscara de banano.....	64
<b>Gráfico 14-3:</b> Cinética de Adsorción de $Pb^{2+}$ con cáscara de banano en medio acuoso. ....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Pendientes de isothermas con respecto al valor de n .....	11
<b>Figura 2-1:</b> Principales tipos de isothermas de adsorción .....	12
<b>Figura 3-1:</b> Curvas teóricas de Langmuir (negro), Freundlich (rojo), Tempkin (verde), y los puntos analizados (azul). .....	15
<b>Figura 4-1:</b> Mecanismo de adsorción de adsorbato por medio de la estructura microporosa del adsorbente. ....	17
<b>Figura 5-1:</b> Representación gráfica de lugares de la superficie del adsorbente donde se organizan las moléculas de adsorbato. ....	19
<b>Figura 6-1:</b> Mecanismos implicados en la biosorción .....	19
<b>Figura 7-1:</b> Morfología del coco nucífera. ....	22
<b>Figura 8-1:</b> Morfología de la planta de banano. ....	22
<b>Figura 9-1:</b> Estructura química de la hemicelulosa. ....	23
<b>Figura 10-1:</b> Estructura química de la celulosa. ....	23
<b>Figura 11-1:</b> Estructura química de la pectina.....	24
<b>Figura 12-1:</b> Diagrama de especiación del Pb <sup>2+</sup> en solución acuosa. ....	25
<b>Figura 1-3:</b> Fibra, polvo y estopa de coco .....	35
<b>Figura 2-3:</b> Espectroscopía de estopa de coco con carbón activado con a) ZnCl <sub>2</sub> y Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> . .	38
<b>Figura 3-3:</b> Difracción de rayos x de carbón activado con ZnCl <sub>2</sub> y Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	39
<b>Figura 4-3:</b> Morfología sobre la superficie de carbón activado a 3000x Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	40
<b>Figura 5-3:</b> Morfología sobre la superficie de carbón activado a 3000x ZnCl <sub>2</sub> .....	41
<b>Figura 6-3:</b> Material lignocelulósico .....	42
<b>Figura 7-3:</b> Grado de Maduración del banano.....	43
<b>Figura 8-3:</b> Espectroscopía infrarroja de la cáscara de banano.....	45
<b>Figura 9-3:</b> Difracción de rayos x de cáscara de banano. ....	46
<b>Figura 10-3:</b> Microscopia de barrido electrónico de la cáscara de banano. ....	47

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo realizar un análisis comparativo a base de estudios científicos relacionados con Isotermas de adsorción de Freundlich y Langmuir con dos tipos de bioadsorbentes ejecutados a nivel nacional e internacional mediante revisión bibliográfica disponible en base de datos de reconocida divulgación. Parte de la información necesaria se encuentra a diferentes dimensiones de trabajo experimental, lo cual dificulta la comparación a dimensiones similares, por lo tanto, se tomó como valor referencial el porcentaje de remoción de  $Pb^{2+}$  en estopa de coco y cáscara de banano para la comparación. Para evitar la oblicuidad de publicación, se comprendió investigaciones que aún no han sido publicadas en revistas de alto impacto, por lo cual nos direcciona a estudiar sin un método o protocolo estándar, de tal manera que, esto conlleva a obtener resultados fortuitos como lo evidenciamos en este reporte. La eficiencia del proceso de adsorción se estudió en varios parámetros: datos relacionados con características fisicoquímicas, pH, concentración, temperatura, tiempo, cinética de adsorción e isotermas de adsorción de Freundlich y Langmuir. Se concluye que, de acuerdo con la revisión de datos, el modelo cinético suministró resultados de mecanismo de reacción pseudo-segundo orden, así mismo, los valores de las isotermas de adsorción se ajustaron de mejor manera a la Isoterma de Langmuir para ambos bioadsorbentes, presentando un coeficiente de correlación  $R^2 = 0,99$  en estopa de coco y  $R^2 = 0,98$  en cáscara de banano. Los resultados muestran que la estopa de coco y cáscara de banano se pueden utilizar como adsorbentes de bajo costo para la eliminación de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso. Se recomienda expandir el estudio de la caracterización morfológica y fisicoquímica de la estopa de coco y cáscara de banano para comprender de mejor manera las interacciones entre el adsorbato-adsorbente involucradas en el proceso.

**Palabras clave:** <QUÍMICA>, <ADSORCIÓN>, <PLOMO (Pb)>, <ESTOPA DE COCO (*Cocos nucifera*)>, <CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca*)>, <ISOTERMA DE FREUNDLICH>, <ISOTERMA DE LANGMUIR>, <BASES DE DATOS>.



Firmado electrónicamente por:  
HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA

0587-DBRAI-UPT-2021

2021-01-28

## ABSTRACT

The objective of this research is to carry out a comparative analysis based on scientific studies related to Freundlich and Langmuir adsorption isotherms with two types of bio adsorbents executed at a national and international level using previous studies. One part of the information is found at different dimensions of experimental work, which makes it difficult to compare similar dimensions, therefore, the percentage of removal of Pb<sup>2+</sup> in coconut tow and banana peel was taken as a reference value for comparison. To avoid similarity in the published research was used that has not yet been published in high impact journals, this led us to study without a standard method or protocol, which leads to obtaining fortuitous results as evidenced in this report. The efficiency of the adsorption process was studied in various parameters such as data related to physicochemical characteristics, pH, concentration, temperature, time, adsorption kinetics, and Freundlich and Langmuir adsorption isotherms. It was concluded that according to the data review, the kinetic model gave results of a pseudo-second-order reaction mechanism, likewise, the values of the adsorption isotherms were better adjusted to the Langmuir Isotherm for both bio adsorbents, presenting a correlation coefficient  $R^2 = 0.99$  in coconut tow and  $R^2 = 0.98$  in the banana peel. The results show that coconut tow and banana peel can be used as low-cost adsorbents for the removal of Pb<sup>2+</sup> in an aqueous medium. It is recommended to expand the study of the morphological and physicochemical characterization of coconut tow and banana peel to better understand the interactions between the adsorbate-adsorbent involved in the process.

**Keywords:** <CHEMISTRY> <LEAD (Pb)> <COCONUT STOP (*Cocos nucifera*)> <BANANA SHELL (*Musa paradisiaca*)> <FREUNDLICH ISOTHERM> <LANGMUIR ISOTHERM> <DATABASE>

## INTRODUCCIÓN

Los modelos de isothermas de adsorción son aquellos que definen cual es la relación que tiene la cantidad adsorbida de un elemento o sustancia y su concentración en un equilibrio determinado, todo a una constante temperatura. Son diseños de gran importancia para una tarea específica en base a la correlación de datos experimentales. Existen diversos modelos que se investigan acerca de las isothermas de adsorción con la finalidad de obtener información puntual e importante sobre el proceso de adsorción y varias propiedades que determinan la afinidad del adsorbente. Entre los sistemas de adsorción que son más utilizados se pueden mencionar los más importantes que son el de Freundlich y Langmuir. Estos modelos nos permiten tener una descripción variada de como ocurre la adsorción del adsorbato sobre el adsorbente. (Moreno *et al.*, 2011, pp. 291).

Uno de los recursos renovables e indispensable para la vida de los seres humanos, animales y plantas, es el agua. No obstante, con el pasar del tiempo, la contaminación ha sido un factor que ha conllevado a alterar propiedades fisicoquímicas debido a actividades antropogénicas, de tal modo que, ésta se vuelve no útil para muchos de sus usos, e inclusive, ha llegado a convertirse en vehículo de polución a los seres vivos que la consumimos. (Castro, 2014, pp. 2-4).

Desde hace muchos años atrás se ha producido la remoción de metales pesados, pero hoy en día, se ha convertido en un grave problema en la sociedad, esto debido a las descargas en aguas residuales que contaminan ríos y mares de nuestro país y de todo el mundo. Por este motivo las actividades industriales de extracción metalúrgica la han convertido en un vertedero habitual mediante residuos químicos, residuos radioactivos, aguas sin previo tratamiento y metales pesados. (Castro, 2014, pp. 3-4).

La contaminación por metales pesados, específicamente el  $Pb^{2+}$  en medio acuoso, ha ido incrementado a medida de desarrollo de nuevas industrias las cuales producen efluentes sin previo tratamiento que se descargan en ríos o causes, aumentando de esta manera el riesgo en la salud de la población por causa de organismos vivos presentes. De esta manera, se escoge la viabilidad de realizar una revisión bibliográfica descriptiva – exploratoria acerca de la capacidad de adsorción de la estopa de coco y cáscara de banano e isothermas de adsorción en remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso, ya que se consideran desperdicios de bajo costo y su efectividad de utilizarlos como una elección factible tanto del punto de vida económico como ambiental. (Pérez, 2019, pp. 5-7).

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El  $Pb^{2+}$  en medio acuoso es considerado un componente tóxico a la salud humana como efecto de contaminación antrópica. El  $Pb^{2+}$  incluso a bajas concentraciones puede originar diversos problemas en el ser humano. Las fuentes antropogénicas habituales incluyen el uso perdurable de pinturas, combustible que contienen altas concentraciones de  $Pb^{2+}$ , la actividad minera y refinerías en sus procesos de obtención de derivados del petróleo.

La contaminación por  $Pb^{2+}$  en medio acuoso es un problema que ha incrementado en la actualidad y como consecuencias ha conllevado a personas a padecer síntomas como daños en el sistema nervioso, encefalitis y cáncer, incluso si el nivel de tolerancia es bajo; de esta manera es que aumentan el número de pacientes contaminados por el consumo de estas aguas (Sanchez. 2019. pp. 9-10).

En las plantas la contaminación por  $Pb^{2+}$  puede inhibir la actividad fotosintética, disminuyendo el crecimiento de sus tejidos la síntesis de enzimas y ocasionar estrés oxidativo, ocasionado por falta de agua y la baja disponibilidad de elementos nutricionales esenciales (Cruz y Jaci. 2018. pp. 64-75).

La Organización Mundial de la Salud (2017) menciona que la salubridad y la calidad del agua son fundamental para el desarrollo y el bienestar óptimo de los seres humanos, de tal manera que, se hace necesario proporcionar acceso al agua potable como herramienta eficaz para promover la salud, por lo tanto, la recopilación de información de distintas fuentes bibliográficas nos permitirá conocer la eficiencia de adsorción de la estopa de coco y cáscara de banano en basados en parámetros que permitirán ser aplicados en proyectos experimentales para la remoción y purificación de aguas contaminadas por metales pesados, en este caso el  $Pb^{2+}$  en medio acuoso.

## **JUSTIFICACIÓN.**

La utilización de metales pesados, incluido el plomo, favorece en gran parte al desarrollo de la humanidad debido a son utilizados en gran número de actividades como la minería, las industrias de transformación como: la elaboración de insecticidas, pinturas, tuberías de agua, fertilizantes, pesticidas y en el embalaje de alimentos. Según Organización mundial de la salud (2019), el  $Pb^{2+}$  es un metal tóxico que se encuentra presente en medio acuoso, capaz de generar efectos negativos en los seres vivos y el medio ambiente, está incluido en la lista de los diez productos químicos causantes de graves problemas de salud pública.

El presente estudio permite determinar mediante las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir en base a revisión bibliográfica exploratoria de datos experimentales, la capacidad de adsorción del  $Pb^{2+}$  y la eficiencia en remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso de la estopa de coco y la cáscara de banano mediante un análisis comparativo de los coeficientes de adsorción de estudios en diferentes bases de datos que permitirán conocer parámetros como la cinética de reacción, la concentración adsorbida después de la remoción del ion metálico y permitiendo saber las concentraciones que se lograrán llegar a límites permisibles de concentración determinados en la legislación ambiental en el TULSMA en medio acuoso.

La investigación se llevará a cabo mediante la compilación de información existente en varias bases de datos lo cual esto puede ser útil para investigadores que anhelan llevar sus conocimientos al laboratorio, de esta forma el investigador podrá contar con información puntual sobre remoción de metales pesados en este caso  $Pb^{2+}$  por medio de las isothermas de Freundlich y Langmuir principalmente aplicando la estopa de coco y la cascará de banano dando a conocer su eficiencia tomando en cuenta parámetros necesarios para su remoción.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo General**

- Comparar la eficiencia de estudios basados en isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir de la estopa de coco y cáscara de banano para la remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis exploratorio de información acerca de las características físicas y químicas de la estopa de coco y la cascara de banano.
- Elaborar las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir de la estopa de coco y la cascara de banano para la remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso.
- Determinar la eficiencia adsorción de  $Pb^{2+}$  en estopa de coco y cáscara de banano mediante la concentración, variación del tiempo y cinética de adsorción.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1 Antecedentes de la investigación

Según las investigaciones realizadas por Pérez y Ventura (2019, pp. 7-9) , en la propuesta de diseño de un sistema de remoción de plomo en aguas, utilizando estopa de coco como medio adsorbente, plantea tomar como medio comparativo las isothermas de adsorción para evidenciar variables que determinan los parámetros y las condiciones necesarias en la relación de las concentraciones inicial y final de la adsorción, así mismo, obteniendo resultados óptimos con el modelo de isoterma de Freundlich donde presenta mejor ajuste para los datos, e indicando una alta afinidad en la captación de plomo sobre el carbón activado de estopa de coco.

Los modelos de Freundlich y Langmuir son los más utilizados para describir con éxito el equilibrio de adsorción; cuando se trabaja con residuos orgánicos. Por lo cual Castro (2015, pp. 15-17), nos indica en su investigación que el uso de cáscara de banano como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo, en aguas contaminadas se comprobó que la cáscara de banano presenta un gran potencial para la remoción de  $Pb^{2+}$ , debido a los grupos funcionales hidroxilos, carboxilos y alquilo presentes en su estructura molecular, este tipo de residuo se puede considerar como una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales con contenido de ion de plomo debido a que la presencia de los grupos funcionales carboxilo, carbonilo, sulfidrilo, fostato e hidroxilo, pueden contribuir a enlazar los contaminantes como el plomo. (Junxiong *et al.*, 2009, pp- 534-535).

#### **Estudios realizados en Isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir con biomasa.**

Según estudios realizados en el año 2019 por el Centro de ciencia e investigación de materiales en Japón y el Centro de excelencia para la investigación de materiales avanzados, Arabia Saudita (Awual, 2019, pp. 20-24), se realizó un estudio cinético con isothermas de adsorción utilizando biomasa para la remoción de  $Pb^{2+}$ , la cual utilizaron las isothermas de Freundlich y Langmuir para evaluar la eficiencia y la cinética de reacción, así como la influencia de la concentración de los metales. Los datos de la cinética correspondieron a una reacción de segundo orden. En el experimento comprobaron que la adsorción se ajusta mejor al modelo de Freundlich y Langmuir debido a que los metales fueron adsorbidos y recuperados posteriormente.

De acuerdo a la investigación ejecutada por Garcés *et al* (2015, pp. 12-14) realizaron investigaciones sobre la adsorción de iones de metales pesados en aguas, realizadas a nivel mundial, revelan la capacidad de adsorción de diferentes biomasa residuales como la cáscara de plátano, cáscara de limón, cáscara de naranja, quitosano, desechos de tallo de uva, entre otros. El análisis de ajuste de los datos experimentales obtenidos en el proceso a los modelos de isoterma de Freundlich y Langmuir permitieron estimar el grado de purificación que puede ser alcanzado, la cantidad de adsorbente requerido, y la sensibilidad del proceso respecto a la concentración del producto. Los modelos cinéticos permiten darle explicación al fenómeno de adsorción dentro de un proceso específico, estableciendo la velocidad con la cual los contaminantes son retirados del medio acuoso.

Según lo mencionado por Inga (2012, pp. 18-22), las isotermas de Freundlich y Langmuir permitieron determinar la extensión y factibilidad de la adsorción a un pH neutro por el cual se demostró que las constantes resultaron útiles para la evaluación de la capacidad de adsorción y el ajuste de los parámetros en las ecuaciones. Existen muchos modelos para describir el fenómeno de adsorción de metales pesados, sin embargo, las isotermas mencionadas nos proporcionan datos eficientes para comprender el fenómeno de adsorción en biofiltros.

De acuerdo al estudio realizado por Romero-González *et al* (2007, pp. 25-28), determinan que la biomasa producida de los residuos industriales demuestran un gran potencial para la remoción de  $Pb^{2+}$  de soluciones acuosas. La experimentación realizada involucra a varios factores como el pH, la dependencia del tiempo y la capacidad de adsorción. Las isotermas de adsorción de Freundlich y Langmuir fueron utilizadas para describir la biosorción del  $Pb^{2+}$ . Utilizaron como biomasa el desecho agrícola del Agave Tequilana Weber generados en la producción de tequila, donde el coeficiente de correlación para la isoterma de Freundlich fue mucho mayor con respecto a la isoterma de Langmuir.

Como lo menciona Cabrera (2017, pp. 15-20), los modelos matemáticos de Freundlich y Langmuir, son los que demuestran la capacidad de adsorción máxima del bioadsorbente, en este caso, el tomate de árbol, obteniendo resultados con correlaciones altas y una alta remoción de  $Pb^{2+}$  llegando a la conclusión de que este biofiltro posee una afinidad por los iones de plomo, pese a que el estudio se realizó para remover también cromo, el bioadsorbente obtuvo una mayor capacidad de remoción sobre el plomo que por el cromo.

## 1.2 Marco Teórico

### 1.2.1 Remoción de metales pesados

Los metales pesados son considerados como un grupo de alto riesgo para la salud humana al ser no biodegradables, resultandos tóxicos a concentraciones mínimas y su capacidad para reagruparse en diferentes organismos. La remoción de estos y la recuperación en medio acuoso ha sido aludido en muchas publicaciones donde se utiliza varias combinaciones de metales pesados y biofiltros. Estos metales son considerados como un grupo de alto riesgo para la salud humana al ser no biodegradables, resultandos tóxicos a concentraciones mínimas y su capacidad para reagruparse en diferentes organismos. Aun así, existen ventajas que evidencian la viabilidad de usar métodos que hoy son mucho más económicos que el uso de métodos tradicionales, nombrando así algunos como:

- La utilización de recursos renovables que son manufacturados a bajo precio.
- Poseen una alta capacidad de retener iones metálicos de manera eficiente y a corto tiempo.
- Tienen la suficiencia de tratar grandes volúmenes de agua contaminada, debido a el corto tiempo de acción durante el proceso.
- Se invierte poco capital.
- La remoción se da bajo parámetros o condiciones fisicoquímicas, donde se incluye el pH, la temperatura y cinética de reacción.
- Los bioadsorbentes tienen la capacidad de reducir en gran porcentaje metales a grandes volúmenes de solución.

(Reyes *et al.*, 2006, pp. 61-62)

### 1.2.2 Plomo

El plomo (Pb) es un metal pesado, de número atómico 82, se encuentra en la corteza terrestre o también en el ambiente, esto se debe a fuentes fijas o móviles causadas por actividades antropogénicas o naturales. Presenta un aspecto gris y es usado con frecuencia con fines industriales. Dentro de la actividad minera, se puede extraer fácilmente de varios minerales para obtener, sulfuros de plomo, carbonato de plomo, sulfato de plomo, cromatos, arseniatos y otros. Se obtiene para la elaboración de pinturas y compuestos liberados al aire en la combustión del

carbono y aceite. En forma de partícula puede viajar a grandes distancias, contaminándose también suelos, ríos, lagos y lagunas (Rodríguez., 2016, pp. 252-254).

Sus isótopos son: 204, 206, 207 y 208, varios compuestos que contienen plomo presentan mayor solubilidad en el agua tales como: el acetato de plomo ( $\text{PbC}_2\text{H}_3\text{O}_4$ ), acetato de plomo hidratado  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , el cloruro de plomo ( $\text{PbCl}_2$ ), el nitrato de plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) y el subacetato de plomo ( $\text{Pb}_2\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_6$ ) (Inga, 2012, pp. 26-27).

### 1.2.2.1 Propiedades del plomo

El plomo pertenece al grupo IV A de la tabla periódica, forma compuestos por lo cual su estado de oxidación es  $2^+$  y  $4^+$ , el más común es  $2^+$ . Este metal es anfotérico, de esta manera forma sales, entre ellas las plúmbicas y plumbosas. No se corroe al aire, agua y suelo fácilmente, no obstante, puede producir una capa que protege a varias sales insolubles de plomo (Andrade, 2019, pp. 30-32).

El plomo es extraído del mineral llamado galena, que contiene un 80% de plomo y un 20% se encuentra como sulfuro de plomo. El plomo es utilizado para obtener nitrato de plomo (II) en la elaboración de explosivos especiales como la azida de plomo  $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ , en pigmentos de pinturas que contienen el ion metálico. El  $\text{Pb}^{2+}$  es aleado con el antimonio para tipos de imprenta, embalaje de papel de plomo, revestimiento de cámaras en la producción de ácido sulfúrico, como aditivo en la industria del vidrio y en la industria de jebes. El  $\text{Pb}^{2+}$  y  $\text{Pb}^{4+}$  es utilizado como protector de rayo x y radiación gamma. (Rodríguez., 2016, pp. 255-256). Las características del  $\text{Pb}^{2+}$  van a ser detectadas de acuerdo a la concentración por la cual el catión se encuentra en solución, de tal manera que, a bajas cantidades resulta ser muy tóxico para la salud, es un catión incoloro en solución y cuando se encuentra a pH menores a 7, imposibilita el cambio del estado cuántico del electrón, lo que dificulta la visualización de longitudes de onda en el espectro visible (Cuizano et al, 2010, pp. 124-126).

**Tabla 1-1:** Propiedades físicas del plomo en el ambiente.

Estado ordinario	Sólido
Densidad	11340 kg/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	600,61 K (327 °C)
Punto de ebullición	2022 K (1749 °C)
Entalpía de vaporización	177,7 kJ/mol
Entalpía de fusión	4,799 kJ/mol

Presión de vapor	4,21 * 10 <sup>7</sup> Pa a 600k
Temperatura chica	7,196 (-266 °C)
Módulo de compresibilidad	46 GPa
Estructura Cristalina	Cúbica centrada en las caras
Calor específico	129 J/(K kg)
Conductividad eléctrica	4,81 * 10 <sup>6</sup> S/m
Conductividad térmica	35,3 W/(K-m)
Módulo elástico	16 GPa
Módulo de cizalladura	5.6 Gpa
Coefficiente de Poisson	0.44
Velocidad del sonido	1260 m/s a 293,15 K (20 °C)

Fuente: (Andrade, 2019, pp. 33-34)

**Tabla 2-1:** Propiedades químicas del plomo en el ambiente.

Nombre	Plomo
Símbolo	Pb
Número	82
Serie química	Metales del bloque p
Grupo	14
Período	6
Bloque	p
Masa atómica	207.2 u
Configuración electrónica	[Xe] 6s <sup>2</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6p <sup>2</sup>
Dureza Mohs	1,5

Fuente: (Andrade, 2019, pp. 33-34)

### ***1.2.3 Adsorción en disoluciones acuosas***

Es el proceso mediante el cual las partículas de sustancias o iones se adhieren a la superficie o incluso poros de una sustancia que se encuentra en estado sólido llamada adsorbente. La adsorción es el principio por el cual se fundamenta la instalación de filtros industriales, para remover sustancias químicas indeseables en líquidos. Es un proceso que permite la captación activa o pasiva de iones metálicos en medio acuoso. El uso de la remoción de contaminantes en medio acuoso es una vía que evita problemas subsecuentes como la generación de lodos químicos, lo

que conlleva a generar un uso alternativo a materiales que hoy en día se desecha en nuestros hogares (Tovar *et al.*, 2015, pp. 110-111).

#### **1.2.4 Fenómenos de adsorción**

Hay que tener en cuenta el equilibrio de fases para poder valorar los fenómenos de adsorción, el contacto que tienen del adsorbato y el adsorbente a una determinada temperatura, dependiendo de aquello se podrá evaluar dicho fenómeno en la relación que tienen las concentraciones entre la fase sólida y el medio acuoso donde ocurre la reacción (Doménech, 2006, pp. 46-47). La gran parte de las isothermas obedecen a la ecuación siguiente:

$$C_{i,s} = K_F C_{i,A}^n$$

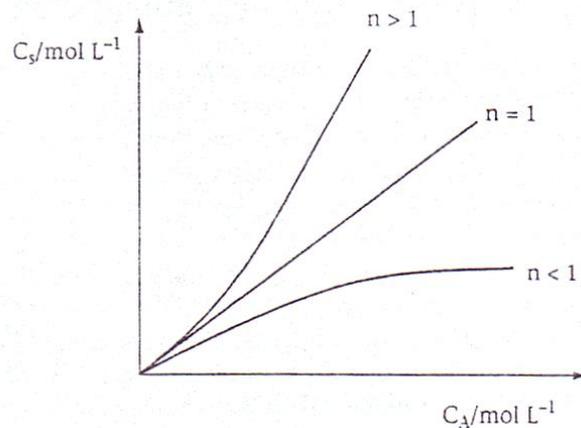
Donde:

$K_F$  = Constante de adsorción de Freundlich

$n$  = Constante empírica del sistema de adsorción.

$C_{i,A}$  = Concentraciones de las especies en sólido (S), adimensional, ya que representa actividad

Los tipos de isothermas están definidos conforme el valor de  $n$ . Si  $n < 1$ , tan pronto como aumenta la concentración del adsorbente en la solución, resulta más difícil la sorción. Si  $n = 1$ , a medida que exista un aumento en la concentración de la especie disuelta, aumenta la concentración en este caso de la especie sólida y la adsorción será más favorable. Existen casos por la cual  $n$  puede ser mayor a 1, donde puede intensificarse la adsorción gracias a que las primeras moléculas en contacto son modificadas, y, por lo tanto, se intensifica la adsorción (Doménech, 2006, pp. 46-47).



**Figura 1-1:** Pendientes de isoterma con respecto al valor de  $n$

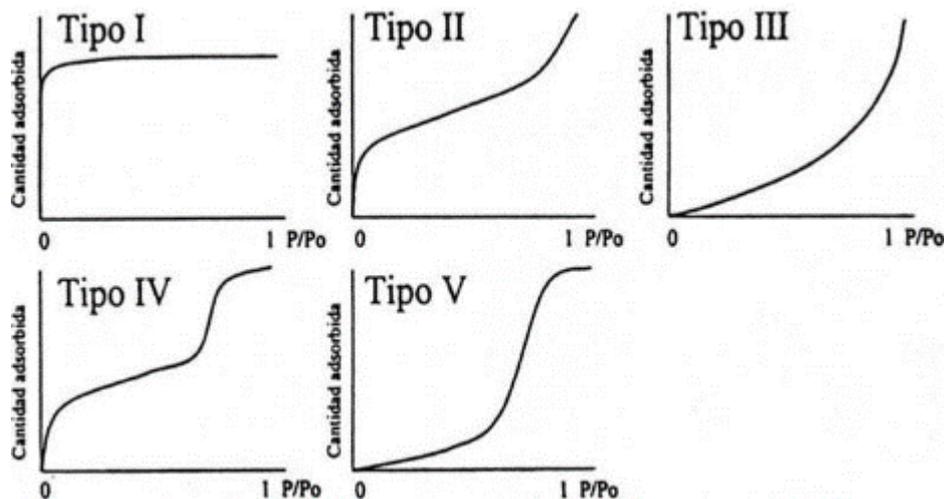
**Fuente:** (Doménech, 2006, pp. 47).

### 1.2.5 Isotermas de Adsorción

Las isotermas de adsorción describen el equilibrio que existe en el equilibrio del sorbato en disolución y el adsorbente, donde la concentración del soluto está expresada en unidades de masa (ppm, mg de soluto/L o también en unidades molares mm/L), dicha concentración del soluto en fase líquida está expresada como masa adsorbida de cierto soluto por unidad de masa del adsorbente (mg soluto/g adsorbente) (Cruz y Jaci., 2018, pp. 18).

### 1.2.6 Tipos de Isotermas de Adsorción

El equilibrio descrito por la adsorción de un material en una superficie a temperatura constante está determinado por las isotermas de adsorción o también llamadas isotermas de sorción, lo cual puede evidenciar la cantidad de material que se encuentra unido a la superficie (el sorbato) como una función del material presente en el gas o en la disolución. Son obtenidas a partir de datos para posteriormente analizar su correlación y regresión. Cabe recalcar que los resultados que se obtienen se afirman con el cálculo realizado de las isotermas teóricas, esto quiere decir que la interpretación obtenida de las cinéticas se debe apoyar con las resultantes de las isotermas de adsorción, indicando si es de primer orden el fenómeno dado o de segundo orden en los casos que puedan presentarse en los resultados (García *et al.*, 2019, pp. 123-124).



**Figura 2-1:** Principales tipos de isothermas de adsorción

Fuente: (García *et al.*, 2019, pp. 123-124)

### 1.2.7 Adsorción

La adsorción es el proceso en la cual una sustancia, ya sea líquida o gaseosa, se adhiere a la superficie de un sólido. Dicha sustancia que se fija en la superficie recibe el nombre de adsorbato y la fase que la retiene es llamada adsorbente (Herrejón y Rodríguez, 2008, pp. 12-13).

Los procesos fisicoquímicos de adsorción están comprendidos por un proceso heterogéneo de contacto entre un bioadsorbente de origen natural y el metal pesado en forma de ion en medio acuoso. No se puede pretender una sola teoría que explique estos procesos de adsorción, la razón por la cual es debido a que el adsorbato y el adsorbente poseen propiedades físicas y químicas muy distintas. El adsorbente tiene un efecto por el cual el proceso de adsorción se basa en su composición química y estructura física, siendo variada y heterogénea. Tampoco se puede hablar de adsorbentes polares o apolares. Por esta razón, si los biofiltros contienen sustancias que pueden contribuir o favorecer el proceso de adsorción, se alcanza el resultado adsorptivas transcurso de la remoción (Villón, 2013, pp. 8-9).

### 1.2.8 *Termodinámica de Adsorción*

Para desarrollar un proceso con un modelo eficaz y preciso para la remoción de contaminantes en medio acuoso, los investigadores utilizan parámetros como: la cinética de adsorción, el equilibrio de sorción y las ecuaciones termodinámicas, requisitos básicos esenciales. De tal manera que la termodinámica de adsorción permite observar una compensación o descompensación de entalpía o entropía en la reacción química. (Anastopoulos y Kyzas, 2016, pp. 174)

#### 1.2.8.1 *Energía libre de Gibbs*

La energía libre de Gibbs ( $\Delta G_0$ ) nos indica cuan espontánea es la reacción química, calculándose de la siguiente manera:

$$\Delta G_0 = -RT \ln K$$

Donde:

R = Constante universal de los gases.

K = Es la constante en equilibrio.

La energía libre de Gibbs tiene como resultado valores positivos y negativos, por la cual confirma la espontaneidad o no espontaneidad del proceso de adsorción. El cambio en entalpía ( $\Delta H_0$ ) indica si existe liberación de energía o hay succión en la adsorción, lo que demuestra si es un proceso exotérmico o endotérmico. Otro parámetro para conocer en termodinámica de adsorción es el cambio de entropía ( $\Delta S_0$ ), de tal manera que expresa si la aleatoriedad aumenta (valores positivos) o disminuye (valores negativos), en el proceso de adsorción. (Anastopoulos y Kyzas 2016, pp. 175).

Los estudios termodinámicos de adsorción se calculan mediante ecuaciones, pero en la mayoría de los estudios, los autores que investigan el proceso de adsorción por medio de la termodinámica toman como valor referencial el coeficiente de correlación  $R^2$ . Para estimar el valor de la energía libre de Gibbs, tomamos como dato K (variable de constante en equilibrio). Si usamos  $\Delta G_0$ , se estima el  $K_L$  como constante en equilibrio obtenido de la Isoterma de Langmuir. El cálculo de  $\Delta G_0$  en la Isoterma de Langmuir es factible para adsorbatos o adsorbatos neutros que poseen una

carga muy débil. Se determina como resultado que la variable K se muestra de manera adimensional multiplicando este valor por el número de unidades de moles por litro de solución.

(Anastopoulos y Kyzas 2016, pp. 175-176)

De tal manera que la energía libre de Gibbs es calculada por la siguiente ecuación:

$$\Delta G_0 = -RT \ln \left[ \frac{K_L}{y_e} \times \left( \frac{\text{mol}}{L} \right) \right]$$

Donde:

$y_e$  = Coeficiente de actividad

$K_L$  = Constante de equilibrio de la isoterma

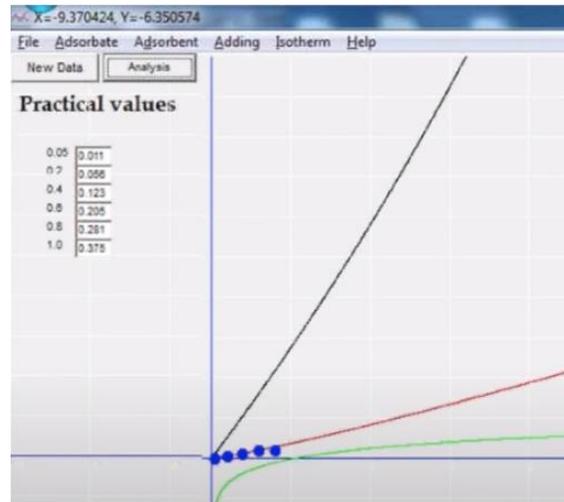
Los valores que se utilizan para los modelos de ecuaciones termodinámicas son  $C_e$  (mg/L) y  $Q_e$  (mg/g) que son las concentraciones en fase líquida y la cantidad de soluto adsorbida en el equilibrio, respectivamente,  $b_L$  (L/mol) del modelo de isoterma de Langmuir,  $Q_e/C_e$  es la proporción donde  $Q_e$  es adsorbido debido a la concentración (mg/L) y  $C_e$  es el residuo debido a la concentración en solución (mg/L),  $Q_m$  es calculado de las constantes de Langmuir y es la capacidad máxima de adsorción en mg/g y  $b_L$  en unidades de L/mg,  $K_0$  puede ser evaluado graficando  $\ln(Q_e/C_e)$  versus  $q_e$  (Anastopoulos y Kyzas 2016, pp. 175-177).

### ***1.2.9 Simulación Computacional***

La simulación computacional permite al investigador desarrollar modelos que permitan posibilitar la obtención de información necesaria acerca de sistemas moleculares y como estos actúan. La computación permitiría obtener métodos debidamente formulados por la cual pudieran implementarse con bajo costo y un tiempo razonable (Polzella y Lodeyro., 2015, pp. 569-570).

La simulación de isothermas de adsorción también permite al investigador explicar interacciones que tienen las moléculas interpretado por la animación computacional. De esta manera se conoce la eficiencia de bioadsorbentes y como estos actúan en medio acuoso, permitiendo conocer el porcentaje de producto obtenido y cómo se comporta en la reacción, de esta manera por medio de las isothermas de Freundlich y Langmuir se permitirá clasificar al bioadsorbente usado (Polzella y Lodeyro., 2015, pp. 148-149).

La simulación computacional a lo largo de los años ha sido una vía accesible para los investigadores el conocer y explicar cómo suceden dichas interacciones moleculares que a la vista del ser humano es imposible notarse. No obstante, hay varias aplicaciones donde la simulación es aplicada en representaciones gráficas del proceso de remoción de contaminantes en aguas residuales y controlar el avance de la remoción al utilizar modelos matemáticos como el de Freundlich y Langmuir (Guevara et al, 2016, pp. 148-150).



**Figura 3-1:** Curvas teóricas de Langmuir (negro), Freundlich (rojo), Tempkin (verde), y los puntos analizados (azul).

**Fuente:** (Guevara et al, 2016, pp. 149)

### ***1.2.10 Modelos matemáticos de Freundlich y Langmuir***

La evaluación del equilibrio de adsorción de un sistema adsorbato y adsorbente se valora por las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir utilizando los modelos matemáticos, obteniendo de esta manera puntos experimentales que caen en las gráficas donde estos nos permiten obtener datos estadísticos que son necesarios para el análisis de la gráfica teórica de los modelos de las isothermas (Aguirre et al., 2011, pp. 7-14).

Cuando el equilibrio no se alcanza, indica que no está saturado el adsorbente en las gráficas de isothermas, esto quiere decir que, absolutamente toda la superficie no ha alcanzado a encubrirse con el adsorbato y por medio de los modelos matemáticos se observa y relaciona que isoterma tiene más eficiencia en la remoción. (Alatríste et al. 2016, pp 144-145).

Para representar las isotermas de adsorción se propone diversos modelos matemáticos de los cuales los más utilizados son el de Freundlich y Langmuir, pero también existen otros modelos como el de BET (propuesto por Stephan Brunauer, Paul Emmett y Edgard Teller) y el modelo de Redlich Peterson (Cabrera, 2017, pp. 63).

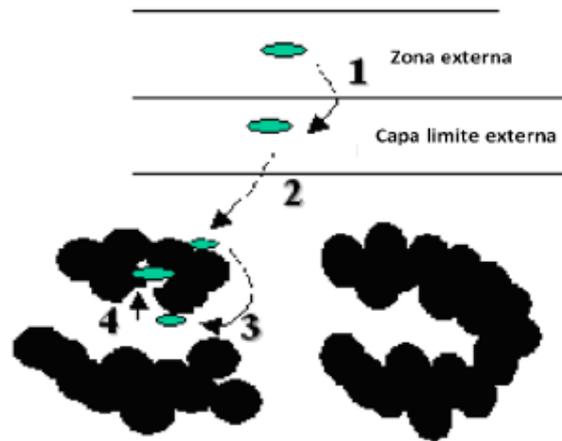
### **1.3 Bases conceptuales**

#### ***1.3.1 Teoría de Isotermas***

La palabra adsorción y remoción de metales pesados tiene una alta correlación con las isotermas de adsorción por la cual existe una determinación de varios parámetros entre ellos “q”, existente en las ecuaciones que miden la capacidad de adsorción del adsorbato y del adsorbente, este último expresado en mg de sustrato/ g del adsorbente, y el parámetro “C” la cual expresa la cantidad de adsorbato en la solución después de haber llegado al equilibrio en el proceso de adsorción (Lazo et al. 2008, pp. 4-6).

#### ***1.3.2 Mecanismo de adsorción sorbato-adsorbente.***

Este proceso ocurre en varias etapas consecutivas que se encuentran comprendidas para el proceso de adsorción donde la fase del adsorbato se acerca o se adhiere a la superficie del adsorbente, luego de esto, viaja por medio de una estructura porosa a varios sitios activos que se encuentran ubicados en la superficie interna de los poros del adsorbente. Finalmente se produce el fenómeno de adsorción, en la cual el adsorbato es retenido en sitios activos para así poder moverse a través de la difusión superficial (Aylas, 2018, pp. 8-9).



**Figura 4-1:** Mecanismo de adsorción de adsorbato por medio de la estructura microporosa del adsorbente.

Fuente:(Aylas, 2018, pp. 8-9)

### 1.3.3 Tipos de Adsorción

#### 1.3.3.1 Adsorción física

Es el contacto que existe entre la superficie del adsorbente y el metal que se encuentra producido mediante fuerzas de atracción electrostática o de Van der Waals. Normalmente este proceso, se presenta en la adsorción para la remoción de diversos materiales (Vega & Gracia, 2015, pp. 190-191).

#### 1.3.3.2 Adsorción química

La adsorción química es la interacción química que se produce entre el sólido y la sustancia adsorbida. Las fuerzas covalentes representan un papel importante debido a que es llevada a cabo cuando la sustancia se une a la superficie (Hayeeye *et al*, 2014, pp. 189-181).

#### 1.3.3.3 Diferencias entre adsorción química y adsorción física

**Tabla 3-1:** Diferencias entre Fisorción y Quimisorción.

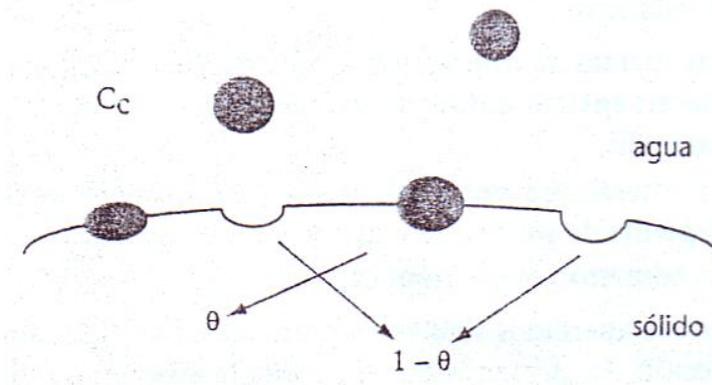
Fisorción	Quimisorción
- En la fisorción las especies que interaccionan mantienen su estructura, quiere decir que conservan su identidad.	- Las especies que interaccionan cambian su estructura con respecto al material

	precursor, por lo tanto, las especies cambian su forma.
- Si incrementa la temperatura se reduce la adsorción, esto quiere decir que es un proceso reversible.	- Si incrementa la temperatura, ayuda en la adsorción, lo que es un proceso irreversible.
- La adsorción toma cualquier lugar en cualquier parte del adsorbente.	- La adsorción se lleva en puntos específicos en la superficie.
- Existe la formación de una monocapa o multicapa.	- Se forma una monocapa.
- Los enlaces son más débiles.	- Enlaces más fuertes de corto alcance.
- Carecen de reacciones tales como: descomposición y neutralización.	- Existen reacciones de disociación, catálisis, reconstrucción.

Fuente: (Aylas, 2018, pp. 8-9)

#### 1.3.4 Implicación ambiental

La reacción por la cual las moléculas de adsorbato son unidas mediante enlace químico del adsorbato a la fase adsorbente se llama adsorción química. Para tener éxito en la remoción metales pesados en medio acuoso, dependerá mucho de la naturaleza del adsorbato y el adsorbente. Dependiendo de la interacción que ocurra en la interfase en medio acuoso, la isoterma puede ajustarse a modelos con valores generales. Normalmente son utilizadas las isotermas de Freundlich y Langmuir para la analizar la reacción que existe entre un sólido y el medio acuoso, o también son aplicables entre un medio gaseoso y sólido. La superficie del bioadsorbente contienen un gran número de porosidades en su superficie, llamados sitios de adsorción, por lo cual las moléculas del adsorbato se acomodan a estos lugares en la superficie del adsorbente. En una fracción definida, los sitios ocupados están representados como  $\theta$  (grados de recubrimiento) mientras los espacios libres en la superficie del sólido se representan como  $1 - \theta$  (Doménech, 2006, pp. 48-49).

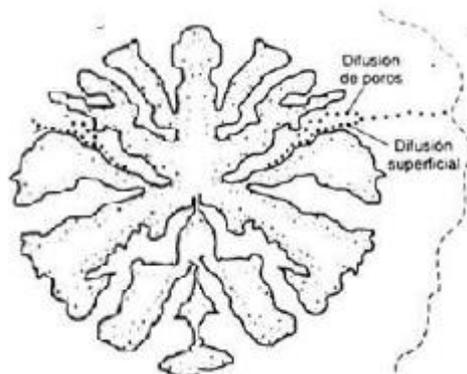


**Figura 5-1:** Representación gráfica de lugares de la superficie del adsorbente donde se organizan las moléculas de adsorbato.

**Fuente:** (Doménech, 2006, pp. 48)

### 1.3.5 Biosorción

La biosorción está descrita como la supresión, mediante materiales que carecen de vida, de metales pesados en medio acuoso. Es un proceso económico debido a que usa biofiltros naturales como algunos desechos orgánicos (cáscara de arroz, marlo de maíz, estopa de coco, salvado de soja, cáscara de banano, cáscara de naranja, cáscara de limón, cáscara de piña, etc). Existen varios métodos eficientes para la eliminación de metales pesados, como pueden ser: ósmosis inversa, precipitación química, intercambio iónico, por lo que son procesos importantes utilizados en industrias para la remoción de metales pesados. Por lo tanto los biomateriales que se utilizan en estos procesos, reaccionan en un corto periodo, produciendo resultados favorables en la investigación (Sala *et al.* 2010, pp 113-114).



**Figura 6-1:** Mecanismos implicados en la biosorción

**Fuente:** (Ancalla y Huanca, 2020, pp. 7)

### 1.3.6 *Isoterma de Freundlich*

El modelo de Freundlich es válido para superficies heterogéneas y predice un aumento en la concentración de las especies iónicas adsorbidas en la superficie del sólido cuando aumenta la concentración de determinadas especies en la fase líquida. El modelo implica que la energía de adsorción disminuye exponencialmente en el punto final de los centros de adsorción de un adsorbente (Araújo *et al.* 2018, pp. 13). El modelo de Freundlich se puede describir mediante la siguiente ecuación:

$$\ln Q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$$

Dónde:

$K_F$  = Constante relacionada con la capacidad de sorción del adsorbente, indicativa de la afinidad entre las especies.

$n$  = Constante relacionada con la intensidad de sorción, indicativa del efecto de la concentración de metales.

$1/n$  nos muestra la intensidad de la adsorción mientras que  $K_F$  y  $n$  están determinadas por la gráfica lineal de  $\ln Q_e$  versus  $\ln C_e$

(Ogechukwu, 2015, pp. 66-67)

### 1.3.7 *Isoterma de Langmuir*

El modelo de Langmuir se basa en el supuesto de que todos los sitios de adsorción son "igualmente activos", la superficie es energéticamente homogénea y se forma una cobertura de superficie monocapa sin interacción entre las moléculas adsorbidas. Además, hay un cambio de energía libre para todos los sitios de adsorción considerando que no hay interacción adsorbente-adsorbato (Araújo *et al.* 2018, pp. 12-13). El modelo de Langmuir se describe mediante la ecuación linealizada:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{Q_m b}$$

Dónde:

$Q_e$  = Cantidad de adsorbato que puede ser absorbida por una unidad de masa del adsorbente en equilibrio ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

$C_e$  = Concentración del metal en solución al equilibrio.

$Q_m$  = Capacidad máxima de adsorción

$b$  = Constante de Langmuir, la cual es relacionada entre la afinidad del adsorbente y al adsorbato.

### **1.3.8 Constante de distribución**

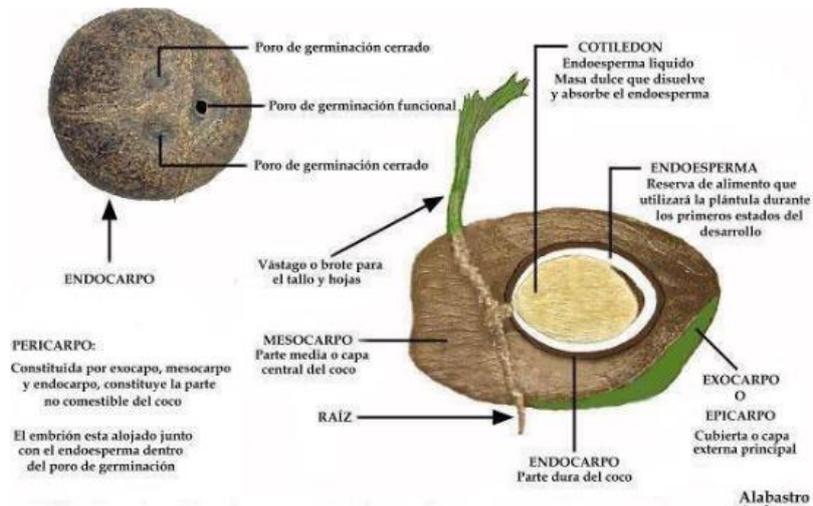
La constante de distribución es aquella que representa una relación directa entre las concentraciones del medio acuoso y el sólido. En general se está expresada como:

$$K_d = \frac{C_{i,S}}{C_{i,A}}$$

Las expresiones  $C_{i,S}$  y  $C_{i,A}$  son concentraciones de las especies en sólido (S) y en medio acuoso (A), normalmente estas constantes no tienen dimensiones, ya que representan actividades. Dicha relación depende mucho de los sistemas acuosos de interés ambiental suelen ser muy diluidos, por lo cual se puede considerar el coeficiente de actividad una sustitución aceptable de concentración en disolución. El adsorbato en fase sólida si debe expresarse en  $\text{mg}/\text{kg}$ , mientras que la concentración en fase acuosa se expresaría en  $\text{mg}/\text{L}$ . De esta manera,  $K_d$  está dado en  $\text{L}/\text{mg}$  (Doménech, 2006, pp. 49-51).

### **1.3.9 Coco (cocos nucífera)**

El coco es un fruto carnoso de mide aproximadamente de 20 a 30cm de longitud, presentando una forma ovoidal y que puede llegar a pesar más de 2kg. Presenta una parte externa fibrosa que es el mesocarpio y otra parte interna que es el endocarpio, donde encontraremos también el endospermo adherido, de color blanco y agradable olor. Dicha pulpa puede ser ingerida incluyendo en su interior una cavidad central que contiene un líquido transparente y azucarado conocido como agua de coco. Perteneciente a la familia de las palmáceas, por la cual se obtiene varios productos entre los cuales encontramos, abrigos, bebidas y como fuente de alimento (Larios, 2019. pp 20-21).



**Figura 7-1:** Morfología del coco nucífera.

Fuente: (Larios, 2019, pp. 20-21)

### 1.3.10 *Banana (musa paradisiaca)*

La cáscara de banano cuando es molida se llega a obtener un polvo bastante fino, este tiene la capacidad de remover metales pesados en medio acuoso por medio de un proceso de bioadsorción, de manera económica y eficiente. Normalmente se realiza estos procesos mediante carbón activado, que es un producto industrial adsorbente que retiene sobre su superficie, un porcentaje de estos metales, llegando a obtener aportaciones positivas al medio ambiente. Dichas moléculas tienen la facultad de atraer carga positiva de los metales pesados (Annadurai, 2018, pp. 185-186).



**Figura 8-1:** Morfología de la planta de banano.

Fuente: (Albán y Del Rosario, 2014, pp. 5)

### 1.3.11 Componentes químicos de la cáscara de banano y estopa de coco

La cáscara de banano igual que la estopa de coco, principalmente contiene compuestos químicos como: hemicelulosa, celulosa y pectina, los cuales se detallan de la siguiente manera:

#### 1.3.11.1 Hemicelulosa

Es un heteropolisacárido que forma parte de la composición química, de esta manera, conforma aproximadamente la tercera parte de los carbohidratos leñosos de otras plantas. La hemicelulosa se encuentra formada por unidades de glucosa, xilosa, arabinosa, descartando la celulosa, forma parte de las paredes celulares de las plantas y el método de extracción se lo realiza mediante hidrólisis ácido o enzimática (Castro, 2015, pp. 53-54).

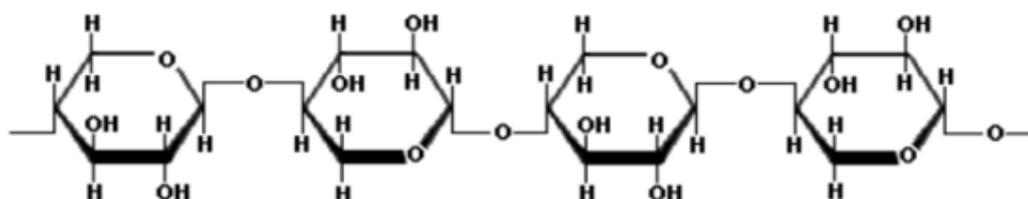


Figura 9-1: Estructura química de la hemicelulosa.

Fuente: (Castro, 2015, pp. 53-54).

#### 1.3.11.2 Celulosa

Es un homopolisacárido cadenas extensas que carece de ramificaciones de  $\beta$ -D-glucosa, a diferencia del almidón, este tiene grupos  $-\text{CH}_2\text{OH}$  las cuales van de manera alterna por encima y debajo del plano espacial de la molécula. De tal modo, la carencia de cadenas laterales permite la formación de estructuras rígidas por medio de las moléculas de celulosa (Castro, 2015, pp. 53).

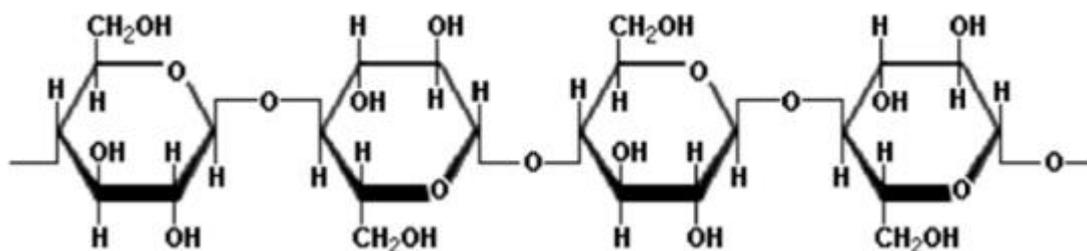
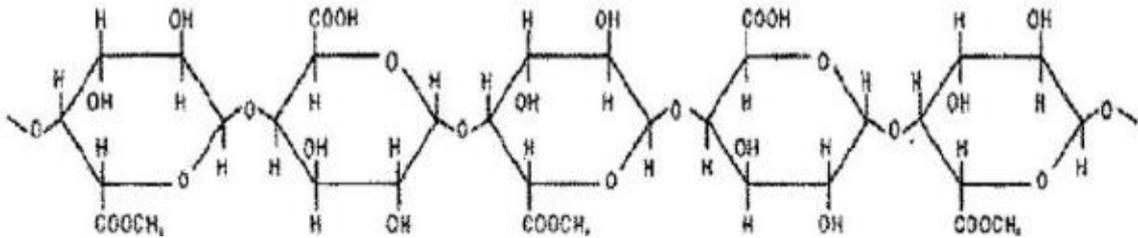


Figura 10-1: Estructura química de la celulosa.

Fuente: (Castro, 2015, pp. 53)

### 1.3.11.3 Pectina

La pectina determina el grado de disponibilidad y porosidad en la superficie de la biomasa que actúa en la biosorción del medio, de tal modo que, proporcionan superficies que se encuentran cargadas que regulan el pH y el balance iónico en la reacción. Constituyen el 30% de la masa seca de la pared celular de los vegetales (Castro, 2015, pp. 54).



**Figura 11-1:** Estructura química de la pectina

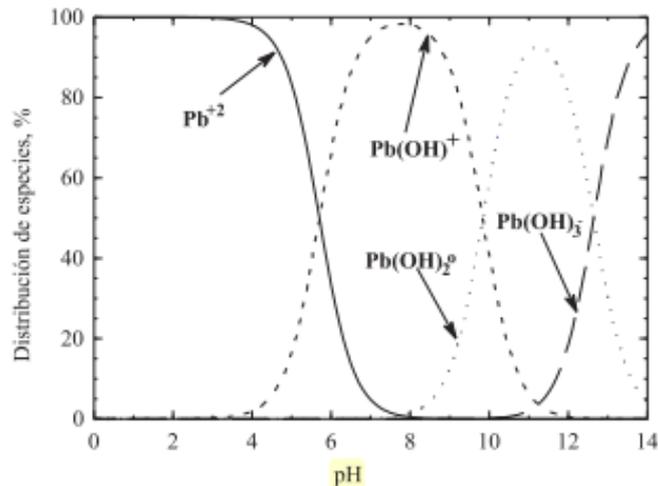
Fuente: (Castro, 2015, pp. 54).

### 1.3.12 Variables que afectan los procesos de adsorción

Existen diferentes variables que afectan los procesos de adsorción, entre los cuales están:

#### 1.3.12.1 pH

En medio acuoso las propiedades de la superficie del adsorbente dependen del intercambio que existe en los compuestos superficiales y el agua. En este proceso los complejos son ionizados en medio acuoso por reacciones químicas en la cual existe aceptación y donación de protones, dichas interacciones que ocurren en este proceso dependen de la especie iónica localizada en el medio acuoso (Ramos, 2017, pp 161-163). En la especiación, el  $Pb^{2+}$  se forma de manera predominante a  $pH \leq 4$  y los iones  $Pb(OH)^+$  son formados a partir de  $pH > 4$ , por la cual se produce un mayor porcentaje de  $Pb(OH)^+$  a  $pH=8$ , por lo que a partir de este pH mencionado ya se empezaría a precipitar como  $Pb(OH)_2$ : y a partir de  $pH = 11.4$  la mayor parte del plomo se encontraría como  $Pb(OH)_2^0$ , y lo sobrante quedaría como  $Pb(OH)^+$  Y  $Pb(OH)_3^-$ , por último, si el  $pH=13$  se formaría el  $Pb(OH)_3^-$ , encontrándose en mayores cantidades que los compuestos anteriores (Ramos, 2017, pp 162-164).



**Figura 12-1:** Diagrama de especiación del  $Pb^{2+}$  en solución acuosa.

Fuente: (Ramos, 2017, pp. 164)

### 1.3.12.2 *Temperatura*

La temperatura influye en el equilibrio de adsorción, representa un decrecimiento a temperaturas superiores a  $35^{\circ}C$ , esto quiere decir que a medida que aumenta la temperatura disminuye la capacidad de adsorción. Es un proceso exotérmico, por la cual las moléculas adsorbidas tienen la energía suficiente para dominar la atracción y se retire de esa superficie de adsorción (Ramos, 2017, pp. 162-167).

### 1.3.12.3 *Concentración de Adsorbente*

En medio acuoso la concentración del adsorbente es de gran importancia en la remoción de metales pesados. Los sólidos adsorbentes deben tener un área superficial de contacto por la unidad de masa del adsorbente, eso quiere decir que el adsorbente tenga porosidad. La porosidad está comprendida por la materia orgánica que se usa para prepararlo, para posteriormente su activación. De esta manera, los materiales porosos, en el momento de seccionarse constituirán partículas de menor dimensión, ayudando a la capacidad de equilibrio con el tamaño de la partícula (Ramos, 2017, pp. 157-159).

#### 1.3.12.4 *Inferencias de sustancias*

La disposición sincrónica de dos o más sustancias en medio acuoso durante el proceso de adsorción, puede llegar a estar alterado con respecto a las condiciones de equilibrio de adsorción, por la mutua interacción entre los componentes presentes en la reacción (Inga, 2012, pp. 24-25).

#### 1.3.13 *Modelos cinéticos de adsorción*

Está descrita como la velocidad en la cual cambia la concentración del adsorbato con el transcurso del tiempo hasta llegar al equilibrio. El orden de reacción describe la remoción del metal mediante el bioadsorbente de estudio. La cinética de adsorción se encuentra limitada debido a los mecanismos de transporte de masa y las propiedades que tienen el adsorbente y adsorbato (Aylas, 2018, pp. 11-12)

##### 1.3.13.1 *Modelo cinético de primer orden*

Está basado en la teoría de suposición en la cual los iones metálicos ocupan un sitio o lugar de adsorción en la superficie del material adsorbente, por lo que, en términos de cinética de reacción, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.3030} t$$

Dónde:

$q_e$  = Cantidad de soluto adsorbido en el equilibrio por unidad de masa de adsorbente, (mg.g<sup>-1</sup>)

$q_t$  = Cantidad de soluto adsorbido en el equilibrio por unidad de masa de adsorbente al tiempo t, (mg.g<sup>-1</sup>)

$k_1$  = Constante de velocidad de primer orden, (min<sup>-1</sup>)

(Tejada et al, 2012, pp.14)

### 1.3.13.2 Modelo cinético de segundo orden

Está basado en la suposición de que el adsorbato es adsorbido en dos sitios activos del biofiltro. Este modelo fue desarrollado para específicamente procesos de adsorción química entre el adsorbato y el adsorbente, y se basa en la capacidad de sorción del sólido, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

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

Dónde:

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

$q_t$  = Cantidad de soluto adsorbido en el equilibrio por unidad de masa de adsorbente al tiempo  $t$ , ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )

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

(Tejada, 2012, pp. 14)

## 1.4 Base legal

La Organización mundial de la salud (2018), en su cuarta edición publicada recientemente, indica un valor de 0.01 mg/l ( $10\mu\text{g}/\text{l}$ ), es un valor provisional, ya que el valor de referencia se lo calcula por medio de una cuantificación alcanzable y a la existencia de validación que están consideradas sobre los riesgos que realmente ocurren en las personas a bajas concentraciones, que son relativos a la capacidad cancerígena del plomo. No debería permitirse más instalaciones o fuentes que contengan plomo, tales como, soldaduras de plomo, tubería a base de plomo, es recomendable utilizar accesorios que estén fabricados a base de aleaciones con bajo contenido de plomo. Este metal es considerado dentro de las cuatro categorías contempladas en los estándares de la calidad ambiental.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y Unión Europea (UE), indican que el límite permitido de plomo en el agua potable y en aguas superficiales que son destinadas al consumo humano, es de 0.010, 0.015, y  $0.010 \text{ mg}/\text{L}^{-1}$ , mencionando así de esta manera que, el límite máximo permitido en la descarga debe ser menor que el permitido en los sistemas de alcantarillado (Porras y Martinez, 2019, pp. 21-26).

En el año 2016, la normativa internacional la Agencia de Protección Ambiental, estableció en su documento el límite permitido de plomo en agua potable, lo cual establece límites permisibles de 0.015 ppm (Agencia de Protección Ambiental, 2016).

#### ***1.4.1 Normativa Legal Ecuatoriana***

La contaminación del agua por metales pesados ha llegado a tener un nivel de riesgo alto para la salud de los seres vivos, lo que conlleva a tener regulaciones internacionales mucho más estrictas y han forzado a la investigación de soluciones mucho más eficientes y de bajo costo para minimizar la contaminación (Cabrera, 2017, pp.12-13).

La normativa de calidad ambiental y de uso de descarga de efluentes, recurso agua resuelve los límites que se permiten, tanto como los distintos usos y como proceder para determinar la presencia de contaminantes en el agua. La norma está dictada bajo la defensa de la ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Esta norma es aplicada cuando se capta la misma y es referida al consumo humano y uso doméstico, y es dirigida a aguas que requieran tratamiento convencional, cumpliendo con los límites permisibles. (MAE, 2011, pp. 286-339)

De esta manera, el plomo a nivel hídrico con respecto a la normativa legal ecuatoriana está enfocada de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) para la descarga de efluentes en medio acuoso (Cabrera, 2017, pp. 12-13).

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible al sistema de alcantarillado público.</b>	<b>Límite máximo permisible en un cuerpo de agua dulce.</b>
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0	2,0
Boro	B	mg/l	-	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02	0,02
Cobalto	Co	mg/l	0,5	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0	1,0
Cromo IV	Cr <sup>6+</sup>	mg/l	0,5	0,5
Fósforo	P	mg/l	15	10

Hierro	Fe	mg/l	25,0	10,0
Manganeso	Mn	mg/l	10,0	2,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,01	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0	2,0
Plata	Ag	mg/l	0,5	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,5	0,2
Selenio	Se	mg/l	0,5	0,1
Vanadio	V	mg/l	5,0	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10	5,0

**Tabla 4-1:** Límites máximos permisibles de algunos elementos químicos para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado y cuerpos de agua dulce.

**Fuente:** (MAE, 2011, pp. 325-332)

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Tipo de Investigación

##### *2.1.1 Según el método de investigación*

El proyecto se lo realizó de manera cuantitativa, debido a que se obtuvieron datos a partir de la recopilación de fuentes bibliográficas de manera no sistemática en bases de datos.

##### *2.1.2 Según el objeto*

La investigación es aplicada ya que se emplearon conocimientos científicos para darle una solución al problema.

##### *2.1.3 Según el nivel de profundización en el objeto de estudio*

Es una investigación descriptiva - exploratoria porque se buscó conocer la eficiencia de las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir en estopa de coco y cáscara de banano para la remoción de plomo en medio acuoso.

##### *2.1.4 Según la manipulación de las variables*

Es una investigación no experimental

##### *2.1.5 Según el tipo de inferencia*

Se aplicó la investigación deductiva ya que permitió colegir la eficiencia de uno de los dos bioadsorbente para la remoción de plomo en medio acuoso.

### **2.1.6 Según el periodo temporal**

Es una investigación transversal ya que esta investigación se realizó en un tiempo determinado donde se dará una solución al problema planteado de acuerdo con la hipótesis del presente estudio.

### **2.1.7 Según la condición de estudio**

De esta manera se procedió a realizar una investigación de laboratorio computacional porque se hizo una comparación mediante el diseño de las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir para dar a conocer la eficiencia de bioadsorbente mediante el uso de software con parámetros involucrados en la reacción.

## **2.2 Diseño de la investigación**

La presente investigación propuso realizar un análisis comparativo de artículos científicos de divulgación y revisión acerca de las isoterma de adsorción de Freundlich y Langmuir en estopa de coco y cáscara de banano para la remoción de plomo en medio acuoso. Puesto que se han identificado características fisicoquímicas bioadsorbentes en estopa de coco y cáscara de banano que permitieron comparar las concentraciones de plomo en medio acuoso después de la remoción, de esta manera se realizó un análisis de la eficiencia de cada uno de ellos mediante las isothermas de adsorción para investigaciones futuras en la reducción de la contaminación ambiental.

## **2.3 Identificación de las variables**

**Variable independiente:** Concentración de adsorbato y tiempo de adsorción del  $Pb^{2+}$  en solución acuosa.

**Variable dependiente:** Constante  $K_d$  (constante de distribución) de las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir en estopa de coco y cáscara de banano.

## **2.4 Planteamiento de la hipótesis**

Mediante las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir se puede evidenciar que la estopa de coco y cascara de banano presenta diferencias significativas en la remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso.

## 2.5 Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
<p>La emisión de altas concentraciones de <math>Pb^{2+}</math> contaminan el recurso acuífero por su descarga en cuerpos de aguas sin ningún tratamiento.</p>	<p><b>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b></p> <p><b>Objetivo General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparar la eficiencia de estudios basados en isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir de la estopa de coco y cáscara de banano para la remoción de <math>Pb^{2+}</math> en medio acuoso.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las características fisicoquímicas de la estopa de coco y la cascara de banano.</li> <li>• Elaborar las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir de la estopa de coco y la cascara de banano para la remoción de <math>Pb^{2+}</math> en medio acuoso.</li> <li>• Determinar la eficiencia adsorción de <math>Pb^{2+}</math> en estopa de coco y cáscara de banano mediante la variación del tiempo y la concentración.</li> </ul>	<p>Mediante las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir se puede evidenciar que la estopa de coco y cascara de banano presenta diferencias significativas en la remoción de <math>Pb^{2+}</math> en medio acuoso.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> Concentración de adsorbato y tiempo de adsorción del <math>Pb^{2+}</math> en solución acuosa.</p> <p><b>Indicadores:</b> Valores de concentración del adsorbato, tiempo de reacción y la cinética química de <math>Pb^{2+}</math> adsorbido en solución acuosa.</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Constante <math>K_d</math> (constante de distribución) de las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir en estopa de coco y cáscara de banano.</p> <p><b>Indicadores</b> Porcentaje de <math>Pb^{2+}</math> absorbido posterior a la remoción en medio acuoso.</p>

## **2.6 Localización de estudio**

La investigación se llevó a cabo mediante modelos matemáticos tomando como referencias bases de datos de varios estudios en diferentes países, dicha información es extraída de artículos científicos de gran relevancia y lugares en la base de datos validados para su divulgación.

## **2.7 Población de estudio**

Para la selección de población de estudio se consideró estudios publicados hasta el año 2019, tomándose únicamente aquellos datos que tengan actividad relacionada con la remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso, isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir y bioadsorbentes (estopa de coco y cáscara de banano) con ensayos realizados a nivel teórico o experimental. Con la finalidad de conseguir información disponible, se laboró con toda la población en revistas, artículos, tesis de pregrado y posgrado con los parámetros establecidos requeridos para el estudio, descartando de tal manera una muestra necesaria para la investigación.

De esta manera se procedió a la investigación exhaustiva en todas las plataformas de estudios realizados en Ecuador, por medio el DSpace de las universidades nacionales y, así mismo, se realizó una búsqueda de manera general e internacional en GOOGLE SCHOLAR, con la finalidad de obtener información más clara y concisa del tema de investigación. Con la finalidad de obtener y clasificar la mayor cantidad de artículos científicos se procedió a realizar también una búsqueda minuciosa en revistas científicas (CIRC), tomando en cuenta de esta manera, datos validados de artículos de reconocida divulgación. De la misma manera, se llevó a cabo la validación de calidad, para aquellas revistas contenidas en base de datos Scopus mediante el portal SRJ (Scimago Journal and Country Rank)

## **2.8 Tamaño de muestra**

El tamaño de la muestra corresponde a la población en mención que provienen de bases de datos que tienen relación directa con la contaminación del plomo en medio acuoso publicadas en artículos de gran relevancia tomando en cuenta como principal parámetro la concentración y el tiempo de adsorción del adsorbato y el adsorbente. Se revisaron un total de 150 documentos, de estos únicamente se validaron 70 por encontrarse únicamente orientados la investigación de isothermas de adsorción, remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso, simulación computacional y bioadsorbentes (estopa de coco y cáscara de banano).

## **2.9 Técnica de recolección de datos**

La información es recolectada mediante revisión bibliográfica de fuentes como: Scielo, Scopus, Researchgate, Elsevier, Google Scholar y varias fuentes de divulgación reconocidos a nivel mundial.

## **2.10 Excel**

Excel es una hoja de cálculo desarrollada por la empresa Microsoft que presenta una herramienta computacional que permite realizar de manera rápida y eficiente, tablas, gráficos y cálculos. De esta manera se proporcionó información mucho más comprensible e interpretativa para la comunidad investigativa acerca del comportamiento de las isothermas de adsorción con el ajuste de datos en el software, así mismo, proporcionándonos ajustes indicativos considerando la ventaja y desventaja de usar esta hoja de cálculo con respecto a Matlab<sup>R</sup>.

## **2.11 Análisis estadístico inferencial**

Para el análisis estadístico en el presente proyecto empleará para los resultados de eficiencia de remoción por medio de las Isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir un diseño de experimentos comparativo simple, con la ayuda del software SPSS para una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con un nivel de confianza del 95% y significancia del 0,05, se procederá a utilizar el coeficiente de correlación y la regresión lineal simple en cada una de las isothermas como las dos técnicas estadísticas más utilizadas para obtener el coeficiente de distribución de las mismas, posteriormente se analiza la remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso para conocer la actividad de adsorción de cada uno de ellos para comparar su eficiencia por medio del análisis estadístico.

## CAPÍTULO III

### 3 MARCO DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

#### 3.1 Características generales de la estopa de coco

Los componentes que posee la estopa de coco permiten que se pueda utilizar en múltiples usos en diversos campos de aplicación en industrias.

**Tabla 1-3:** Composición del coco

Composición del coco	Composición de la copra
15% Cáscara	65% Aceite
43% Fibra	17.5 % Agua
30% Copra	17.5 % Pasta
12% Agua de coco	

Fuente: (Larios, 2019, pp. 23)

La estopa de coco posee características que resultan una gran ventaja para la industria hoy en día, en la agro-renovación, biodegradabilidad y biosorción con una alta porosidad hasta el 95% que le confiere una buena distribución en medio acuoso. De esta manera, gracias a su contenido de lignina que es >45%, asegura una estabilidad y rentabilidad en la retención de otros sustratos orgánicos. (Esther y López, 2015, pp. 9-13)



**Figura 1-3:** Fibra, polvo y estopa de coco

Fuente: (Estupiñan y Sánchez, 2019, pp. 36)

Dentro de algunas características generales de la estopa de coco tenemos:

- La estopa de coco está compuesta por celulosa y lignocelulosa.
- Es un material que no es tóxico y es económico.
- Su estructura permite usarse para realizar varias modificaciones químicas.
- Cuando llega a una etapa de madurez adquiere un aspecto color amarillento.
- Es resistente a daño por agua con alto contenido alcalino.
- La estopa de coco posee fibras que tienen longitudes que oscilan entre 150 y 300 mm con un diámetro entre 0.1 y 1.5 mm.

(Gudiel *et al.*, 2018, pp. 7-9)

### 3.1.1 Características físicas y mecánicas de la estopa de coco.

**Tabla 2-3:** Principales características físicas y mecánicas de la fibra de coco.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Masa específica real	Kg/m <sup>3</sup>	1,177
Absorción máxima	%	93.8
Ruptura por elongamiento	%	23.9 a 51.4
Resistencia a la tracción	Mpa	95 a 118
Módulo de elasticidad	Gpa	2.8

Fuente: (Toj Atz, 2008, pp. 14)

### 3.1.2 Características físicas y químicas de la estopa de coco.

- La estopa de coco tiene un pH aproximado de 5.5-6.5.
- Posee una conductividad eléctrica menor a 0.8 mS/cm.
- La capacidad de retener agua es de aproximadamente el 50%.
- Posee una capacidad de intercambio catiónico de 70-100 meq/100 g.
- La relación de carbono nitrógeno es de 80:1.

### 3.1.3 Principales características químicas de la fibra de coco.

La fibra de coco está compuesta por un gran porcentaje en relación de carbono nitrógeno por lo que esto le otorga una gran resistencia a ser degradada de manera fácil, por lo que adquiere una

gran estabilidad en reacciones químicas de remoción por medio de carbón activado (Toj Atz, 2008, pp.19)

**Tabla 3-3:** Características químicas de la fibra de coco.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Nitrógeno total	%	0.51
Fósforo total, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.20
Potasio total, K <sub>2</sub> O	%	0.60
Calcio total, CaO	%	1.40
Magnesio total, MgO	%	0.20
Sodio total, NaO	%	0.187
Hierro total, Fe	%	0.206

Fuente: (Toj Atz, 2008, pp.19)

### 3.1.4 Composición química de la estopa de coco

**Tabla 4-3:** Composición química de la estopa de coco.

Composición		(%)
Lignina		42,3
Celulosa		32,3
Pentanososa		14,7
Grasa saponificales		5,1
Grasa Insaponificales		0,7
Cenizas	MnO	0,95
	K <sub>2</sub> O	0,059
	Na <sub>2</sub> O	0,003
	SiO <sub>2</sub>	0,701
Proteínas		1,2

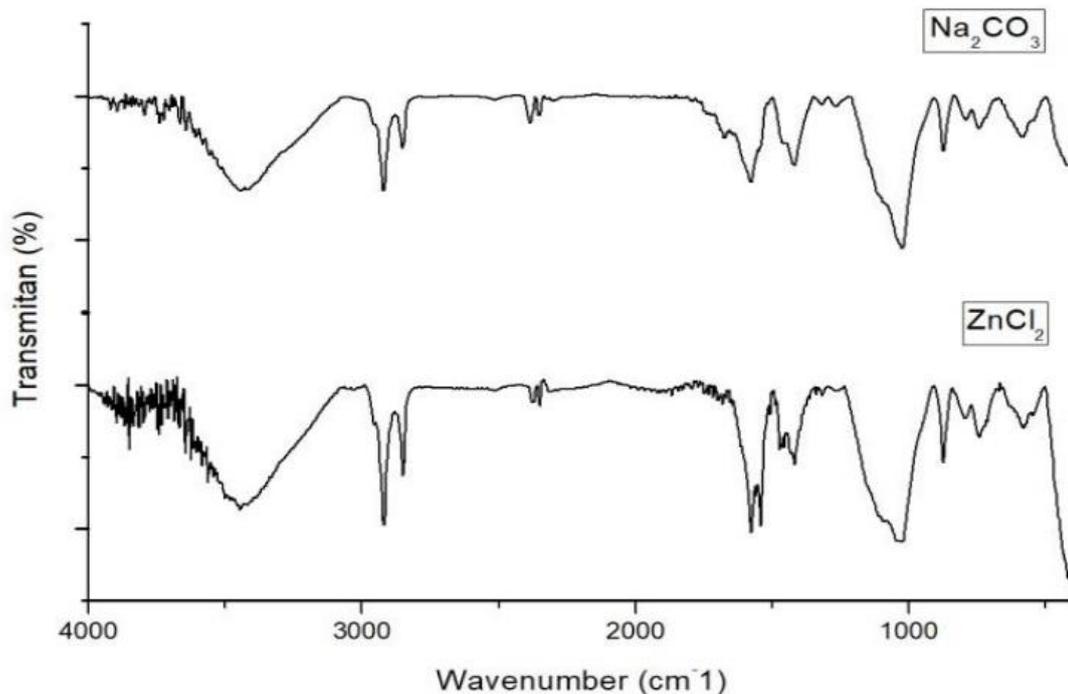
Fuente: (Gudiel *et al.* 2018, pp. 7-8)

### 3.1.5 Estudios morfológicos, físicos y químicos de la estopa de coco.

#### 3.1.5.1 Espectroscopía Infrarroja

El carbón activado se produce a partir de estopa de coco mediante activación física y química. Con método de pirólisis, la temperatura de activación óptima para la activación física es 600 °C, y para química, la activación consistió en sumergirlo en el activador ZnCl<sub>2</sub> al 10% y Na<sub>2</sub>Ca<sub>3</sub> al

10%. De acuerdo a Bakti y Gareso (2018, pp. 33-34), el carbón activado fue analizado por Fourier Métodos de transformación infrarroja (FTIR) y difracción de rayos X (XRD). El resultado de FTIR mostró que la estopa de coco logra convertirse en carbono. Los resultados de XRD confirman la existencia de varias fases de cristales como el grafito alrededor de los picos de  $36^\circ$  y  $44^\circ$ , hay dos picos de difracción anchos y pueden ser interconectados con contenido de carbono y grafito. El resultado de SEM mostró que la carbonización del pirólisis y los procesos de activación crearon porosidad y una gran superficie de absorción.



**Figura 2-3:** Espectroscopía de estopa de coco con carbón activado con a) ZnCl<sub>2</sub> y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

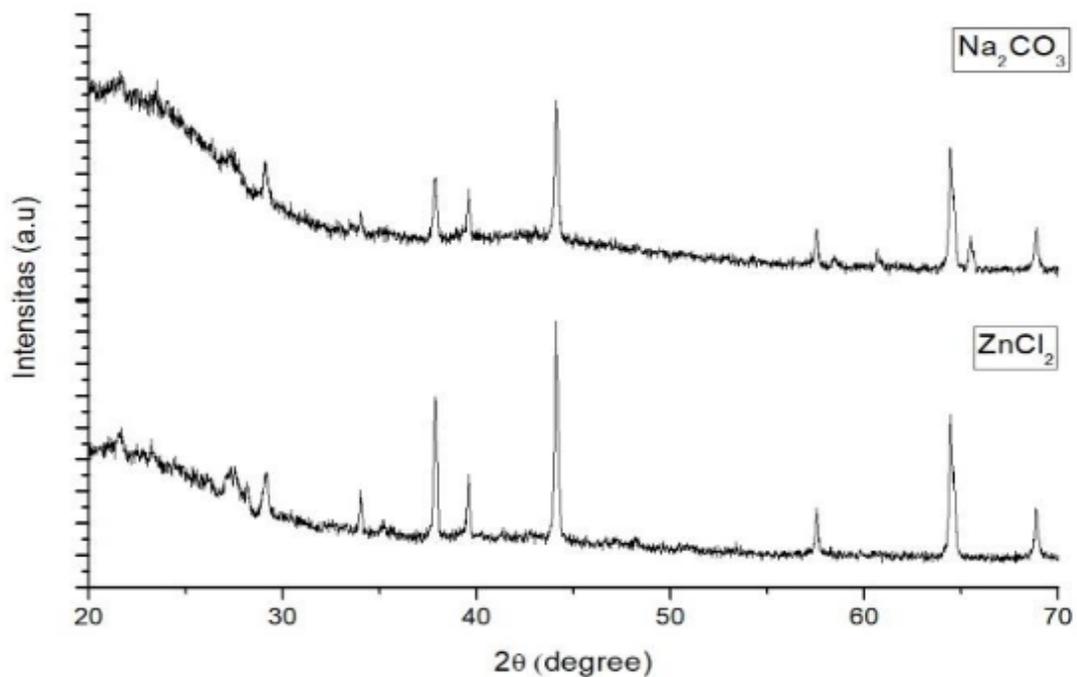
**Fuente:** (Bakti y Gareso, 2018, pp. 35)

De acuerdo a la revisión de datos experimentales, el estudio indicado por Bakti y Gareso (2018 pp. 36) los espectros FTIR contienen bandas fuertes a 3200-3500 cm<sup>-1</sup> para vibración de estiramiento de grupos hidroxilo (OH). La estructura contiene muchos enlaces de carbono que también actúan como removedores de hidrógeno, y los átomos de oxígeno de ese la frecuencia puede contener estiramiento de grupos aminos (NH<sub>2</sub>) y alcohol (OH) perdido durante la activación a 600 °C. Esta indica la deshidratación de la celulosa y componentes de lignina. Mientras tanto, el pico de absorción a 2900-2850 cm<sup>-1</sup> para la vibración de estiramiento (CH) del grupo (-CH)<sub>3</sub> está completamente eliminado del carbón activado muestra. El grupo carbonilo (C = O) fue observado en muestras de ZnCl<sub>2</sub> y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en 1740-1700 cm<sup>-1</sup> se espera que

provenza de la red de lignina. Los picos que van desde 1200-1000  $\text{cm}^{-1}$  muestran la presencia de estiramiento (CO) y 830  $\text{cm}^{-1}$  (Si-O) como resultado de la sílice conteniendo minerales.

El estudio realizado por Krishna y Patel (2019, pp. 4-9), en la preparación de nanopartículas a partir de estopa de coco nos indica que un pico ancho en la región de 3435  $\text{cm}^{-1}$  es caracterizado por la presencia de vibraciones de estiramiento OH. CH estirando la vibración presente en la cáscara del coco se refleja desde el pico a 2902  $\text{cm}^{-1}$ . El pico a 1744  $\text{cm}^{-1}$  se puede atribuir al carbonilo no conjugado grupos presentes en los anhídridos urónicos. Los picos en la región de 1649-1641  $\text{cm}^{-1}$  se atribuyen a la OH flexión del agua adsorbida. El pico de 1609  $\text{cm}^{-1}$  confirma el estiramiento del enlace C = C presente en los anillos de benceno y las vibraciones de estiramiento de CO se reflejan en 1247  $\text{cm}^{-1}$  (perteneciente a anillos fenólicos) y 1031  $\text{cm}^{-1}$  (perteneciente a éteres) picos. Los pequeños picos en la región de 616  $\text{cm}^{-1}$  a 895  $\text{cm}^{-1}$  se deben principalmente a la flexión del CH vibraciones debidas a anillos aromáticos presentes en diferentes componentes de la cáscara de coco.

### 3.1.5.2 Análisis XRD (Difracción de rayos x)



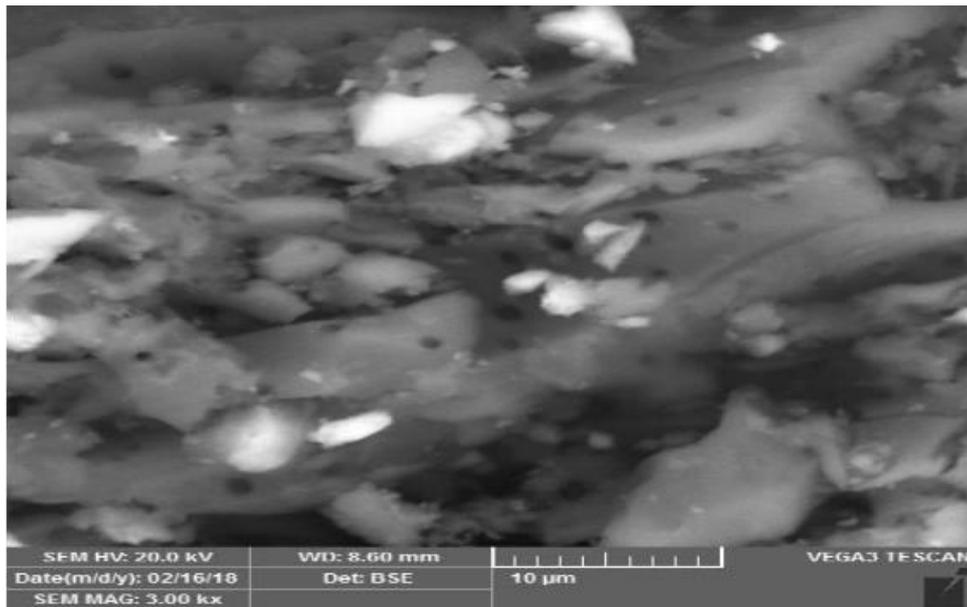
**Figura 3-3:** Difracción de rayos x de carbón activado con  $\text{ZnCl}_2$  y  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Fuente: (Bakti y Gareso, 2018, pp. 37)

Los picos de difracción son observados en el ángulo de difracción de  $2\theta = 29,5^\circ$ ,  $34,6^\circ$  y  $39,4^\circ$  respectivamente que corresponde a minerales de silicato, mineral de hierro, y cuarzo. Mientras que el resto de otros picos que se observan en la difracción ángulo de  $44,5^\circ$  correspondiente a sodalita, analcima y silicato de sodio, respectivamente. Las muestras contienen dos picos de difracción amplios y puede ser atribuido a la presencia de carbono y grafito (Bakti y Gareso, 2018, pp. 36). Para el carbono no transportado, un pico afilado observado a  $44,5^\circ$  puede deberse a la presencia de Zn y Na utilizados durante el proceso de activación de carbono. Los resultados están de acuerdo con la investigación realizada por Kushwaha, Sreelatha y Padmaja (2013, pp. 43-46).

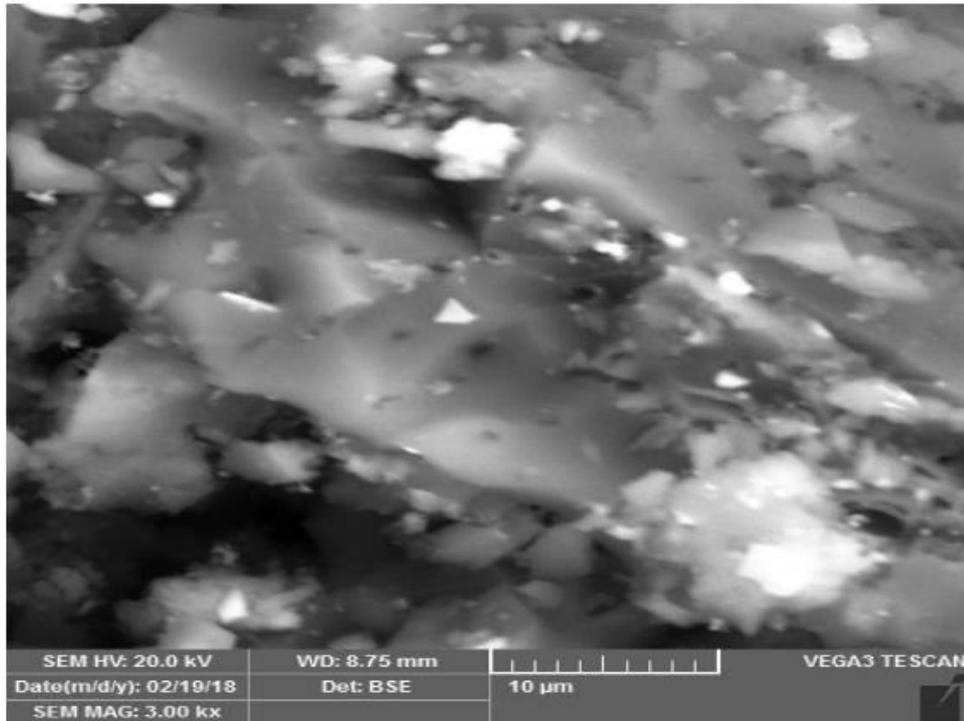
De acuerdo a la investigación realizada por Krishna y Patel (2019, pp. 8-15) los datos, proporciona patrones de difracción de rayos X de partículas de cáscara de coco crudas y de tamaño nanométrico. Los picos más amplios en la gráfica de nanopartículas reflejan el hecho de que se ha producido una reducción de tamaño. Los picos principales se encontraron en ángulos de difracción de  $22,1^\circ$ ,  $26,7^\circ$  y  $34,7^\circ$  ( $2\theta$ ). Los picos a  $26,7^\circ$  y  $34,7^\circ$  confirman la presencia de las fases de  $\text{SiO}_2$ .

### 3.1.5.3 Análisis SEM.



**Figura 4-3:** Morfología sobre la superficie de carbón activado a 3000x  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Fuente: (Bakti y Gareso, 2018, pp 37)



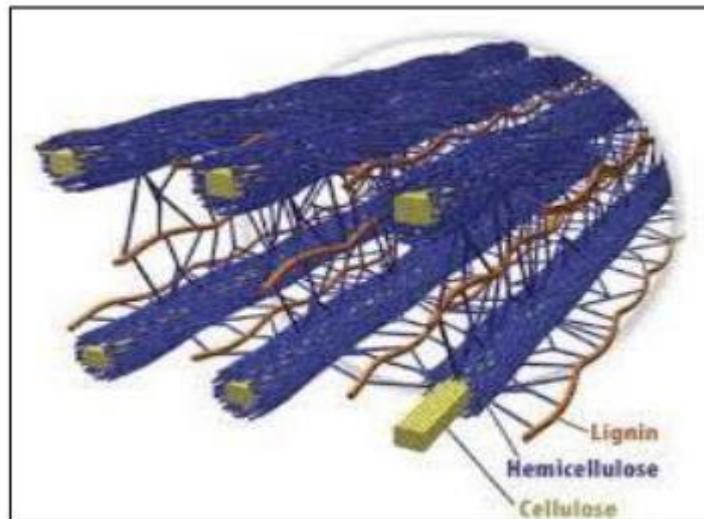
**Figura 5-3:** Morfología sobre la superficie de carbón activado a 3000x ZnCl<sub>2</sub>

Fuente: (Bakti y Gareso, 2018, pp. 37)

La porosidad muy alta fue observada en la superficie externa del ZnCl<sub>2</sub> y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, morfología SEM muestra poros visibles en muestras de ZnCl<sub>2</sub> y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, aparente poros que indican carbón activado los procesos fueron exitosos (Bakti y Gareso, 2018, pp. 38-39). La investigación de Pradhan (2011, pp. 40-52) indica que la etapa de activación produce una extensa superficie externa con gran cantidad de poros. La topología de la superficie difería fuertemente entre la cáscara de coco cruda y carbón activo físico y químico.

### 3.2 Características generales de la cáscara de banano.

La cáscara de banano contiene un 90% de almidón en azúcares. Es un compuesto lignocelulósico que se encuentra compuesto por celulosa, lignina y hemicelulosa, pero los componentes varían de acuerdo donde se origina el residuo orgánico. El compuesto principal para la adsorción de iones de metales pesados del recurso hídrico es la lignina, ya que son polímeros insolubles en agua, obteniendo una estructura en tres dimensiones debido al acoplamiento aleatorio de los radicales, de esta manera, da lugar a un polímero amorfo, en este caso, la lignina (Cerna, 2019, pp. 7).

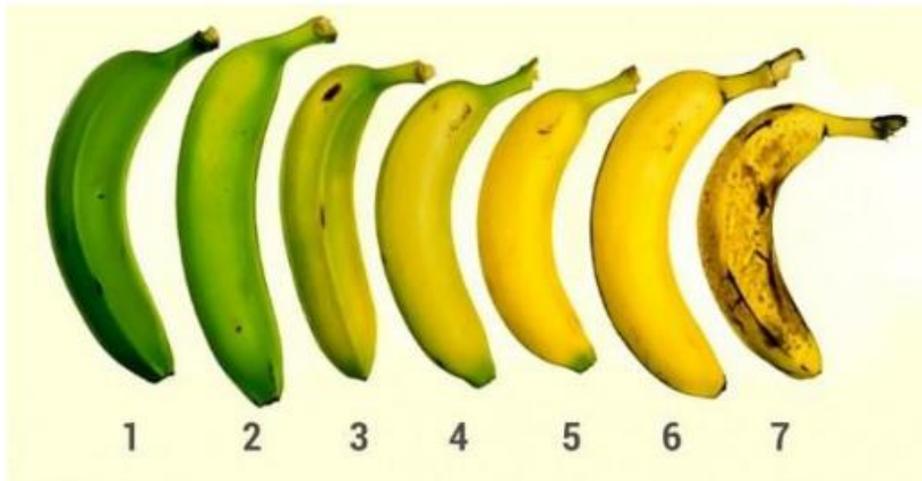


**Figura 6-3:** Material lignocelulósico

Fuente: (Lara y Méndez, 2019, pp. 32)

#### 3.2.1 Características físicas y químicas de la cáscara de banano.

Dependiendo del proceso de crecimiento y de maduración del banano, la cáscara presentará un sin número de propiedades físicas y químicas. Debido a la complejidad de los procesos bioquímicos que tiene en el transcurso del desarrollo del banano, es difícil analizar todas sus características y propiedades juntas, por lo que consigue clasificar por partes, en físicas y químicas. (Rivera, 2014, pp. 14).



**Figura 7-3:** Grado de Maduración del banano

**Fuente:** (Mendoza y Martínez, 2018, pp. 24)

### 3.2.2 *Características físicas de la cáscara de banano.*

La cáscara de banano representa el 30-40% del peso total de la fruta (Mendoza y Martínez, 2018, pp 24). De las características físicas se pueden mencionar algunas como tamaño, color, aroma, sabor y textura, entre otras más, así mismo se pueden tener propiedades esenciales como: térmicas y eléctricas. La forma de la cáscara de banano es alargada por la cual su espesor puede variar, presenta una ligera curvatura y su longitud oscila entre 17 y 22cm. De acuerdo con la maduración y crecimiento del banano, la cáscara puede presentar una coloración amarilla o cuando está sobre-madurado, se presenta en coloración marrón, de textura blanda por lo general. Presenta un aroma característico debido a compuestos volátiles que lo conforman, como son: butiratos, ésteres de acetato, alcoholes y cetonas (Rivera, 2014, pp.14-16).

En la actualidad se consume una gran cantidad de banano, pero si se tomara la cáscara para utilizarse, tendría como destino la purificación o limpieza del recurso acuífero para solucionar problemas ambientales. Debemos conocer que una pequeña concentración de 5ml por 100 de líquido puede ser capaz de realizar una purificación de un 65% de aguas con metales como, uranio, plomo, cadmio y níquel. Como concepto general, la cáscara de banano tarda dos años en biodegradarse (Cema, 2019, pp. 6-7).

### 3.2.3 Características químicas de la cáscara de banano

Del mismo modo, como lo menciona Castro (2015, pp. 52) la cáscara de banano tiene una composición química con características que le confiere varias de sus propiedades, en la cual destacan compuestos como: almidón, humedad, hemicelulosa, celulosa, lignina, magnesio, calcio y cenizas, las cuales se representan en porcentaje en base seca, representándolo de la siguiente manera:

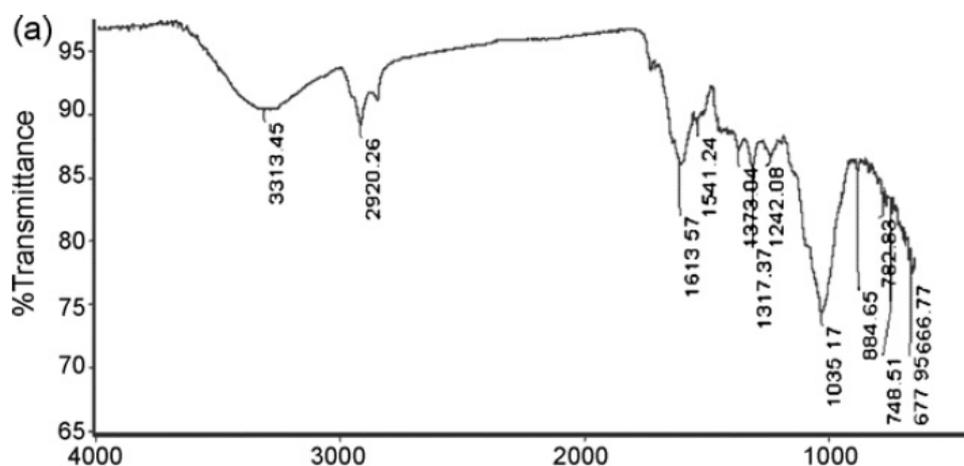
**Tabla 5-3:** Composición química cáscara de banano.

<b>COMPONENTES</b>	<b>CÁSCARA DE BANANO (%)</b>
Almidón	39,89
Humedad	89,1
Hemicelulosa	14,8
Celulosa	13,2
Lignina	14
Magnesio	0,16
Calcio	0,26
Cenizas	11,37

Fuente: (Castro, 2015, pp. 53)

### 3.2.4 Estudios morfológicos, físicos y químicos de la cáscara de banano.

#### 3.2.4.1 Espectroscopía infrarroja



**Figura 8-3:** Espectroscopía infrarroja de la cáscara de banano.

Fuente: (Memon et al. 2008, pp. 261)

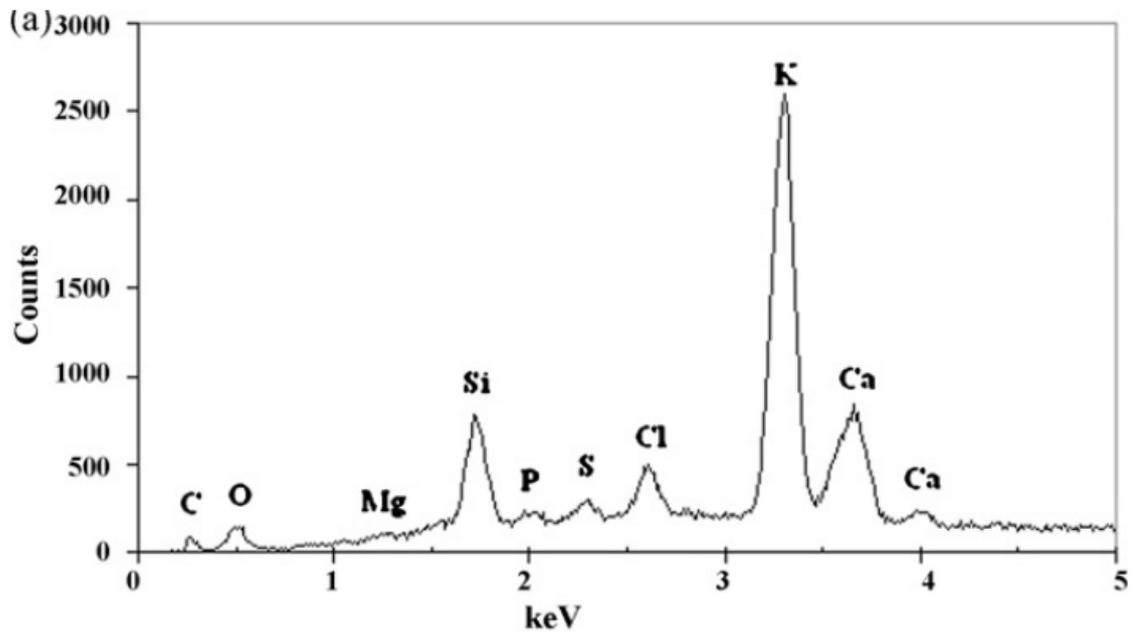
De acuerdo a la investigación realizada por Memon et al (2008, pp 261), las bandas que aparecen en 3313.4, 2920,3, 2850,6, 1734, 1613,6, 1317,4, 1035,2 y 884.6 $\text{cm}^{-1}$  evidenciando en la gráfica estiramiento OH, estiramiento C – H del alcano, estiramiento C – H y CO de ácido carboxílico o éster, COO – anión estiramiento, flexión OH, estiramiento C – O de éster o éter y N – H deformación de las aminas respectivamente, de estos, los grupos carboxilos e hidroxilos jugaron un papel importante en la eliminación de Iones Pb (II). Como era de esperar, una reducción significativa en la intensidad de los picos de OH, C – H y especialmente –COOH a 3336, 2906 y 1623  $\text{cm}^{-1}$  respectivamente se registraron en los espectros de cáscara de banano.

De acuerdo al estudio realizado por Kamsonlian et al. (2011, pp. 5), las bandas débiles al modo de estiramiento C-H, representa la naturaleza alifática de las cáscaras. Las bandas de absorción de encuentran alrededor de 1637,45-1637,65  $\text{cm}^{-1}$  a 1384,45-1438,70  $\text{cm}^{-1}$  y son características de C = C en anillos aromáticos. Además, los picos a 1054,40  $\text{cm}^{-1}$  y 1071,46  $\text{cm}^{-1}$  se atribuyen al estiramiento de Si-O y a la flexión de Si-O, lo que indica la presencia de sílice (Fig. 9-3).

Como lo menciona Alaa El-Din et al (2018. pp. 2061-2068), las bandas en la región de 3400  $\text{cm}^{-1}$  indica la presencia de un grupo fuerte hidroxilo. La banda a 2925  $\text{cm}^{-1}$  se asigna al estiramiento C-H. También, la banda a 1735  $\text{cm}^{-1}$  corresponde el estiramiento del grupo carbonilo C=O (banda de hemicelulosa). La banda a 1633  $\text{cm}^{-1}$  asignada corresponde al enlace -CH. En adición, la banda

1258  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al estiramiento C-O (banda de lignina) y la banda de 1063  $\text{cm}^{-1}$  representa al estiramiento C-OR.

### 3.2.4.2 Análisis XDR (Difracción de rayos x)

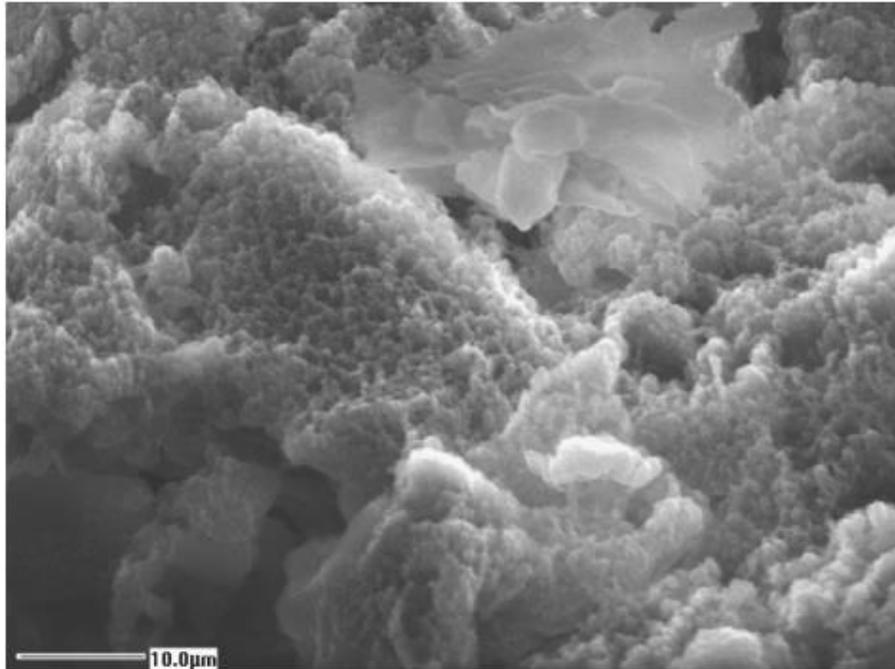


**Figura 9-3:** Difracción de rayos x de cáscara de banana.

**Fuente:** (Memon et al, 2008, pp 262)

De tal manera que la investigación realizada por Kamsonlian et al, (2011, pp. 4), el análisis EDX de cáscara de banana lo representado de acuerdo al peso porcentual de las composiciones químicas disponibles en la superficie de la siguiente manera: 30,12%, 33,22% de C, 41,81%, 44,12% de O, 15,60%, 13,02% de K, 1,32%, 1,12% de Si, 0,32%, 0,4% de Ca, 2,03%, 1,30% de Na, 0,8%, 1,34% de Al y 2,33%, 3,30% de Mg. De ahí que se observe la existencia de proteínas y polisacáridos dentro de la cubierta celular de biomasa.

### 3.2.4.3 Análisis SEM cáscara de banano



**Figura 10-3:** Microscopia de barrido electrónico de la cáscara de banano.

**Fuente:** (Memon et al, 2008, pp. 262)

La morfología superficial de la cáscara de banano se estudió con el uso de SEM. Una estructura microporosa (Fig.10-3) se observó en una resolución de 1500x mientras que la imagen de la cáscara de plátano se tomó con un tamaño de partícula de  $10\mu\text{m}$  (Memon et al, 2008, pp. 264). Estas cifras mostraron que las cáscaras tienen una superficie irregular y porosa (Kamsonlian et al. 2011, pp. 4).

El estudio realizado por Alaa El-Din et al. (2018, pp. 2061-2068), encontró que la cáscara de banano mediante espectroscopía de barrido electrónico, tiene una morfología irregular y una superficie bastante porosa. Estos poros pueden hacer que la entrada de los iones metálicos en las partes internas del material sea más fácil y útil en el proceso de sorción.

### 3.3 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL $Pb^{2+}$ EN MEDIO ACUOSO CON ESTOPA DE COCO (*Cocos nucifera*).

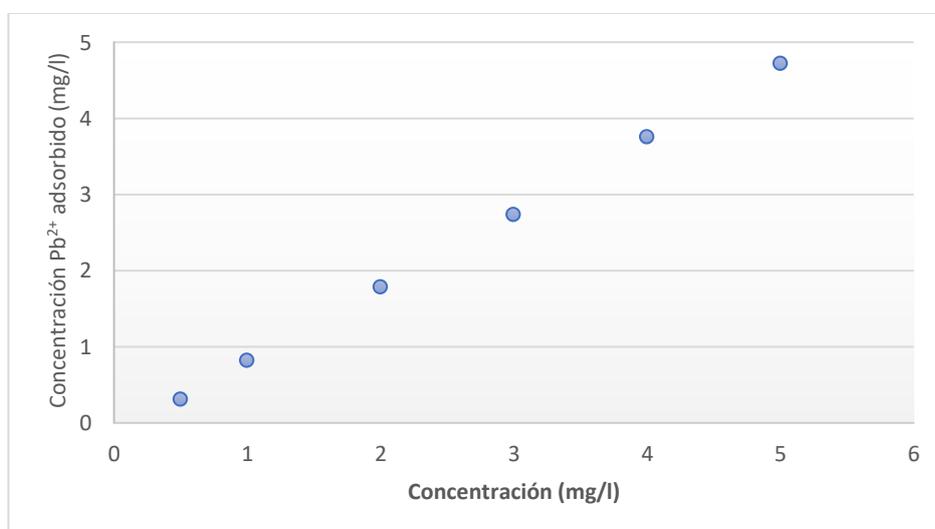
#### 3.3.1 Concentración de $Pb^{2+}$ adsorbido a varias concentraciones a 25°C con estopa de coco.

El efecto de la concentración en la adsorción del ion metálico fue estudiado a temperatura constante. La concentración del  $Pb^{2+}$  adsorbido incrementa a medida que aumenta la concentración inicial. Esto se debe al hecho que a medida que aumenta la concentración, hay mayor disponibilidad del  $Pb^{2+}$  para ser adsorbido (Okafor et al, 2012, pp. 12358-12359).

**Tabla 6-3:** Adsorción de  $Pb^{2+}$  a distintas concentraciones con estopa de coco.

Adsorbente (g)	Volumen $Pb^{2+}$ en solución (mg/l)	Concentración inicial (mg/l)	Concentración final de $Pb^{2+}$ adsorbido (mg/l)	% Adsorbido
0,5	25	0,5	0,309	38,2
0,5	25	1,0	0,819	18,1
0,5	25	2,0	1,786	10,7
0,5	25	3,0	2,730	9
0,5	25	4,0	3,757	6,1
0,5	25	5,0	4,720	5,6

Fuente: (Okafor et al, 2012, pp. 12359)



**Gráfico 1-3:** Efecto de la concentración en la adsorción de  $Pb^{2+}$  con estopa de coco.

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

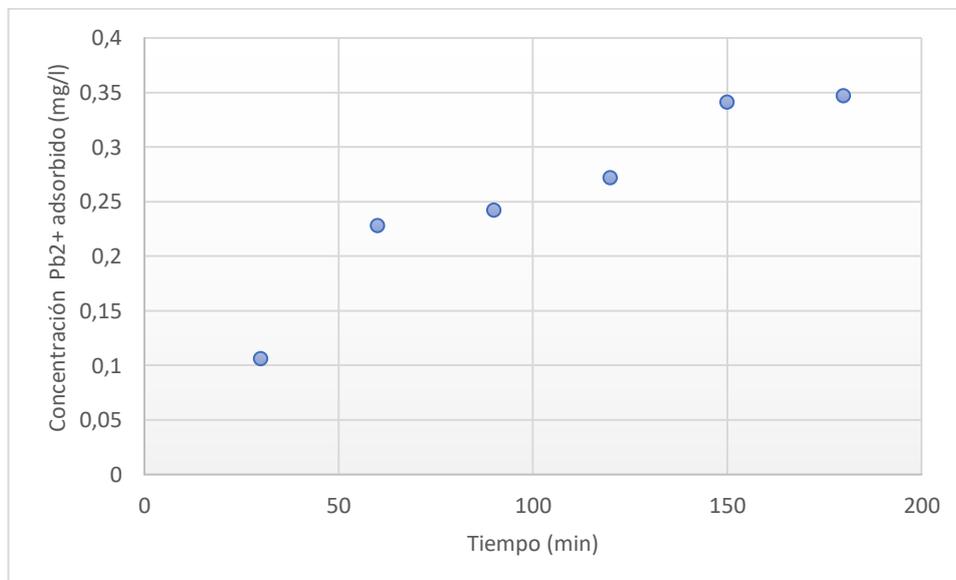
### 3.3.2 Concentración de $Pb^{2+}$ adsorbido a varios intervalos de tiempo a $25^{\circ} C$ con estopa de coco.

Evidenciamos que a medida que la concentración del ion metálico adsorbido en la estopa de coco incrementa con el tiempo. Esto se debe también a la migración de una mayor cantidad de ion metálico en la solución por la capa límite del adsorbente a los sitios activos de este a medida que transcurre el tiempo. La adsorción mejora con la continuidad de agitación, esto es debido a que disminuye la resistencia de la capa límite de sitios activos del adsorbente, de esta manera se logra un aumento de la energía cinética en los iones metálicos hidratados.

**Tabla 7-3:** Variación del tiempo en la adsorción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso con estopa de coco.

Adsorbente (g)	Volumen $Pb^{2+}$ en solución (mg/l)	Tiempo (min)	Concentración inicial (mg/l)	Concentración final de $Pb^{2+}$ adsorbido (mg/l)	% Adsorbido
0,5	25	30	0,5	0,106	78,8
0,5	25	60	0,5	0,228	54,4
0,5	25	90	0,5	0,242	51,6
0,5	25	120	0,5	0,272	46,6
0,5	25	150	0,5	0,341	31,8
0,5	25	180	0,5	0,347	30,6

Fuente: (Okafor et al, 2012, pp. 12359)



**Gráfico 2-3:** Efecto de la variación del tiempo en la adsorción de  $Pb^{2+}$  con estopa de coco.

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

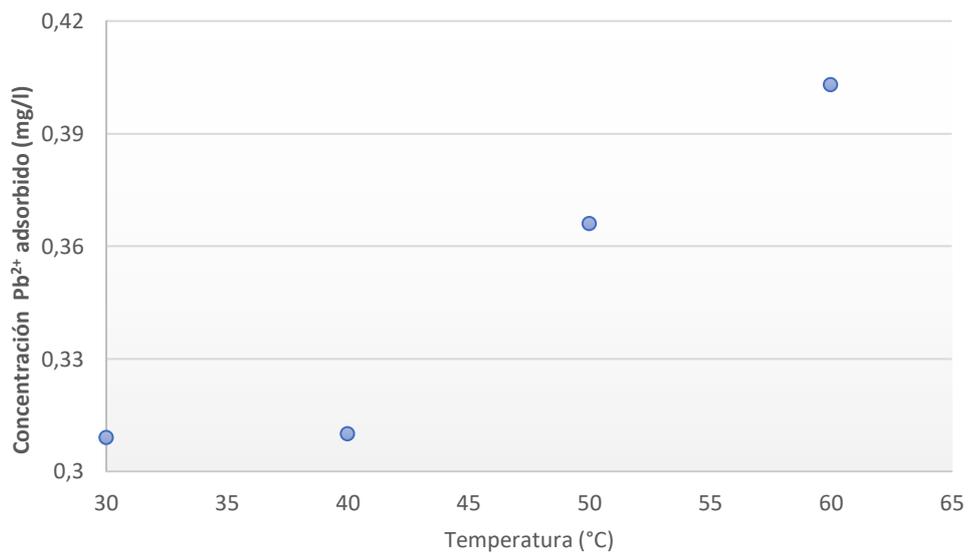
### 3.3.3 Concentración de $Pb^{2+}$ adsorbido a varias temperaturas con estopa de coco a 25°C.

La temperatura puede afectar al comportamiento de la adsorción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso. El efecto de la temperatura, como nos indica la revisión del artículo, fue estudiada a una concentración de 0.5 mg/l por 30 minutos. Con el incremento de la temperatura entre el rango de 30°C a 60°C se evidenció un resultado de eficiencia de adsorción del  $Pb^{2+}$  óptimo, eso se debe a la interacción de la capa superficial del adsorbente y del ion metálico en solución.

**Tabla 8-3:** Adsorción de  $Pb^{2+}$  a diferentes temperaturas en medio acuoso con estopa de coco.

Adsorbente (g)	Volumen $Pb^{2+}$ en solución (mg/l)	Concentración inicial (mg/l)	Temperatura (°C)	Concentración final de $Pb^{2+}$ adsorbido (mg/l)	% Adsorbido
0,5	25	0,5	30	0,309	38,2
0,5	25	0,5	40	0,310	38
0,5	25	0,5	50	0,366	26,8
0,5	25	0,5	60	0,403	19,4

Fuente: (Okafor et al, 2012, pp. 12359)



**Gráfico 3-3:** Efecto de la temperatura en la adsorción de  $Pb^{2+}$  con estopa de coco

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

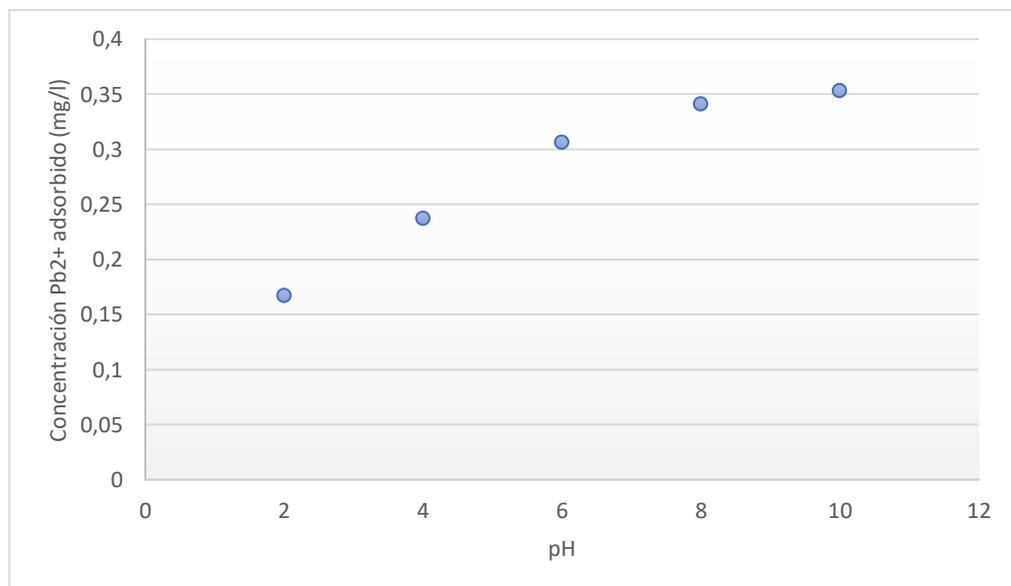
### 3.3.4 Concentración de $Pb^{2+}$ adsorbido a varias medidas de pH a 25°C con estopa de coco.

El pH es un parámetro importante para controlar la adsorción de un ion metálico porque este afecta la solubilidad del ion metálico. El efecto del pH, como nos indica el artículo, fue estudiado a una concentración de 0.5 mg/l por 30min a temperatura constante. La concentración del ion adsorbido incrementa a medida que aumenta el pH 2 ácido a pH 10 alcalino. Cuando el pH de la adsorción incrementa, en este caso de 2 a 10, existe un incremento correspondiente de deprotonación de la superficie del adsorbente, por lo que favorece a la adsorción en cargar positivamente a las especies y a los sitios de la superficie del adsorbente.

**Tabla 9-3:** Adsorción de  $Pb^{2+}$  a varias medidas de pH en medio acuoso con estopa de coco.

Adsorbente (g)	Volumen $Pb^{2+}$ en solución (mg/l)	Concentración inicial (mg/l)	pH	$Pb^{2+}$ adsorbido (mg/l)	% Adsorbido
0,5	25	0,5	2	0,167	66,60
0,5	25	0,5	4	0,237	52,60
0,5	25	0,5	6	0,306	38,80
0,5	25	0,5	8	0,341	31,80
0,5	25	0,5	10	0,353	29,40

Fuente: (Okafor et al, 2012, pp. 12359)



**Gráfico 4-3:** Efecto del pH en la adsorción de  $Pb^{2+}$  con estopa de coco

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

### 3.3.5 Isoterma de Adsorción de Freundlich del $Pb^{2+}$ en solución acuosa con estopa de coco.

Como lo indica Okafor *et al.* (2012, pp. 12364), el procedimiento experimental del estudio se llevó a cabo con 0,5 g de adsorbente, parámetro importante para la elaboración de la isoterma de Freundlich. De tal manera, de los datos obtenidos en la bibliografía, la fórmula queda de la siguiente manera para la isoterma:

$$\log x/m = \log k + n \log c$$

Donde:

$x/m$  = Concentración del ion metálico adsorbido por unidad de masa de adsorbente

$x$  = Cantidad de ion metálico adsorbido

$m$  = Masa de adsorbente

$c$  = Concentración del ion metálico en solución

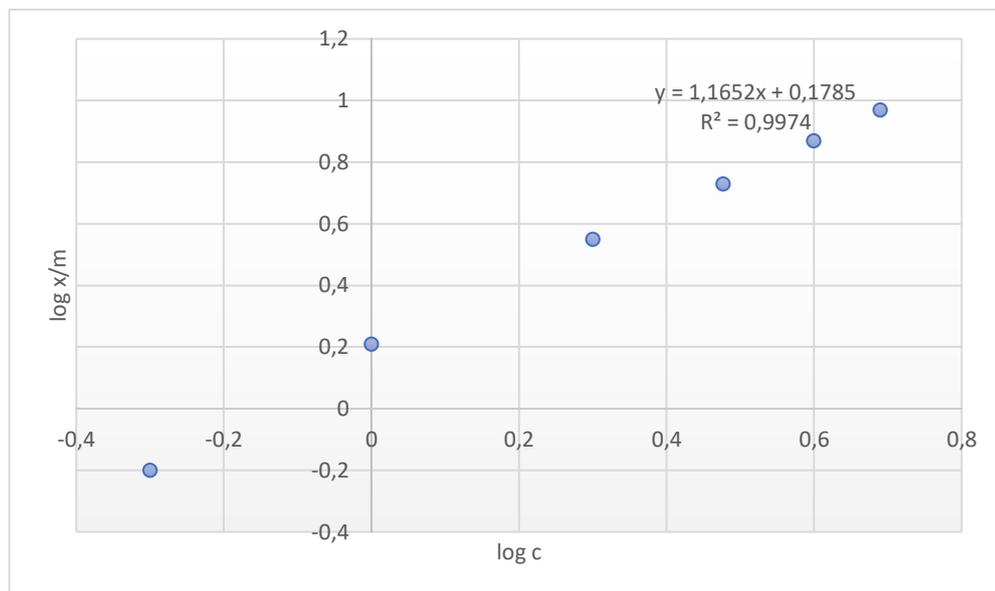
$k$  y  $n$  = Constantes empíricas

**Tabla 10-3:** Valores para gráfica de Isoterma de Freundlich con estopa de coco

Masa de adsorbente (g) (m)	Ion metálico adsorbido ( $Pb^{2+}$ ) (mg/l)	Concentración ion metálico en solución (mg/l)	log c	log x/m
0,5	0,309	0,5	-0,30	-0,20
0,5	0,819	0,5	0	0,21
0,5	1,786	0,5	0,30	0,55
0,5	2,730	0,5	0,477	0,73
0,5	3,757	0,5	0,60	0,87
0,5	4,720	0,5	0,69	0,97

Fuente: (Okafor *et al.*, 2012, pp. 12365)

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza



**Gráfico 5-3:** Isotherma de adsorción de Freundlich del Pb<sup>2+</sup> en medio acuoso con estopa de coco.

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

Donde:

$$\log x/m = \log k + n \log c$$

$$y = mx + b$$

Pendiente: 1,17

Ordenada: 0,18

$$\text{Log } c = 0,18$$

$$c = 10^{0,18}$$

$$c = 1,51$$

**Tabla 11-3:** Constantes empíricas para isoterma de adsorción de Freundlich

Ion Metálico	Estopa de coco		
	<i>n</i>	<i>c</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
Pb <sup>2+</sup>	1,17	1,51	0,997

Fuente: (Okafor *et al.*, 2012, pp. 12365)

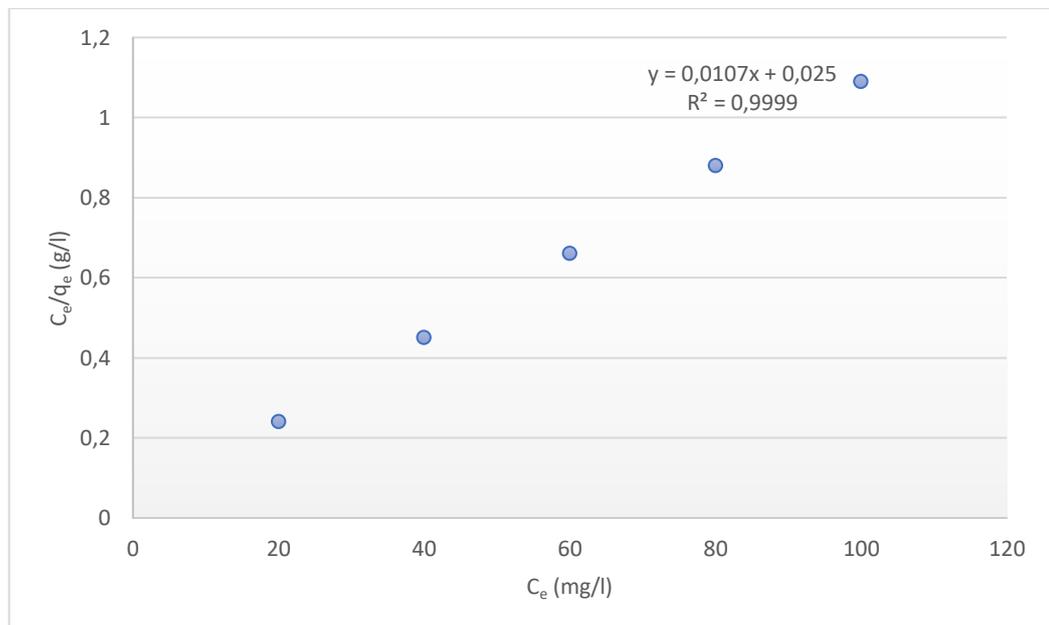
### 3.3.6 Isoterma de Adsorción de Langmuir del $Pb^{2+}$ en solución acuosa con estopa de coco.

**Tabla 12-3:** Valores para gráfica de Isoterma de Langmuir con estopa de coco.

$C_e$ (mg/l)	$C_e/q_e$ (g/l)
20	0,24
40	0,45
60	0,66
80	0,88
100	1,09

Fuente: (Caccin *et al.* 2016, pp. 9)

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.



**Gráfico 6-3:** Isoterma de adsorción de Langmuir del  $Pb^{2+}$  en medio acuoso con estopa de coco.

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

Donde:

Pendiente: 0,0107

Ordenada: 0,025

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{Q_m b}$$

$$y = mx + b$$

$$Q_m = \frac{1}{0,0107}$$

$$Q_m = 93,45$$

$$b = \frac{1}{(0,4026)(93,45)}$$

$$b = 0,24$$

**Tabla 13-3:** Parámetros de adsorción para Isoterma de Langmuir con estopa de coco.

Adsorbente	$Q_m$ (mg/g)	$b$ (l/mg)	$R^2$
Estopa de coco	93,45	0,24	0,999

### 3.3.7 Cinética de adsorción de $Pb^{2+}$ en solución acuosa con estopa de coco

La cinética de adsorción depende del adsorbato, las condiciones experimentales, temperatura, concentración y los valores de pH. Existen diferentes modelos cinéticos de adsorción, los cuales son: cinética de adsorción de primer orden, cinética de adsorción de segundo orden, ecuación de Elovich y el modelo de difusión intraparticular. De acuerdo con la revisión bibliográfica y de los datos obtenidos del artículo Okafor *et al.* (2012, pp. 12366), el modelo aplicado es el cinético de segundo orden, expresado de la siguiente manera:

$$t/q_t = 1/kq_e^2 + t/q_e$$

Donde:

$q_e$  = Cantidad de adsorbato adsorbida en el equilibrio (mg/l)

$q_t$  = Tiempo de contacto en solución

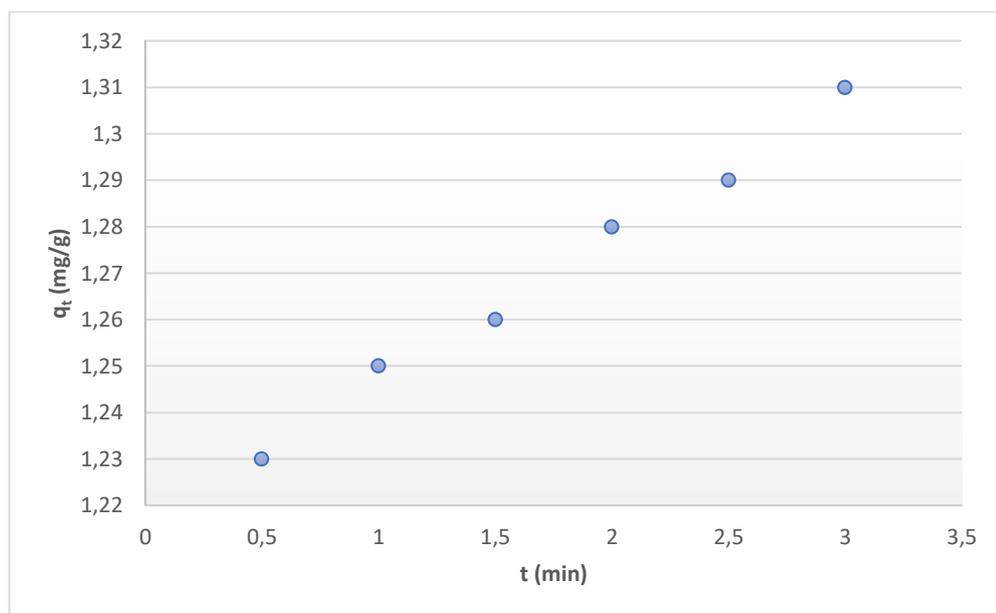
$k$  = Constante cinética de segundo orden ( $\text{min}^{-1}$ )

**Tabla 14-3:** Valores para gráfica del modelo cinético de adsorción de segundo orden

t (min)	q <sub>t</sub> (mg/g)
0,5	1,23
1	1,25
1,5	1,26
2	1,28
2,5	1,29
3	1,31

Fuente: (Okafor et al, 2012, pp. 12366)

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza



**Gráfico 7-3:** Cinética de Adsorción de Pb<sup>2+</sup> con estopa de coco en medio acuoso.

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

Donde:

Pendiente: 0,030

Ordenada: 1,21

$$t/q_t = 1/kq_e^2 + t/q_e$$

$$y = mx + b$$

$$y = 0,030 (x) + b$$

$$\text{Log } b = 1,21$$

$$b = 10^{1,21}$$

$$b = 16,44$$

**Tabla 15-3:** Parámetros cinéticos de adsorción de Pb<sup>2+</sup> en medio acuoso con estopa de coco

Modelo cinético de segundo orden	Parámetros		
	q <sub>e</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )	k <sub>1</sub> (g.mg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
	0,030	16,44	0,99

Fuente: (Okafor et al, 2012, pp. 12367)

### 3.4 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL $Pb^{2+}$ EN MEDIO ACUOSO CON CÁSCARA DE BANANO (*Musa Paradisiaca*).

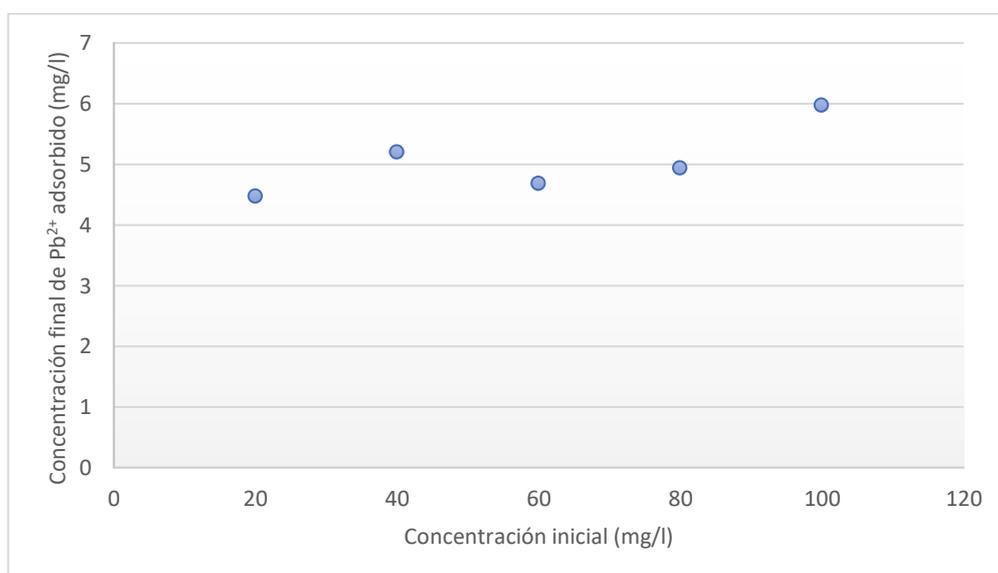
#### 3.4.1 Concentración de $Pb^{2+}$ adsorbido a varias concentraciones a 25° C con cáscara de banana.

La capacidad aniónica del sorbente depende de la concentración del ion metálico en la solución, esto quiere decir que, a medida que aumenta la concentración del ion metálico ( $Pb^{2+}$ ), incrementa la capacidad de adsorción, dando de esta manera una mayor colisión entre los iones  $Pb^{2+}$  y los adsorbentes (Ogechukwu, 2015, pp. 84).

**Tabla 16-3:** Adsorción de  $Pb^{2+}$  a distintas concentraciones con cáscara de banana

Volumen $Pb^{2+}$ en solución (mg/l)	Concentración inicial (mg/l)	Concentración final de $Pb^{2+}$ adsorbido (mg/l)	% Adsorbido
40	20	4,47	89,34
40	40	5,20	52,00
40	60	4,68	31,19
40	80	4,94	24,70
40	100	5,97	22,28

Fuente: (Ogechukwu, 2015, pp. 109)



**Gráfico 8-3:** Efecto de la concentración en la adsorción de  $Pb^{2+}$  con cáscara de banana. Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

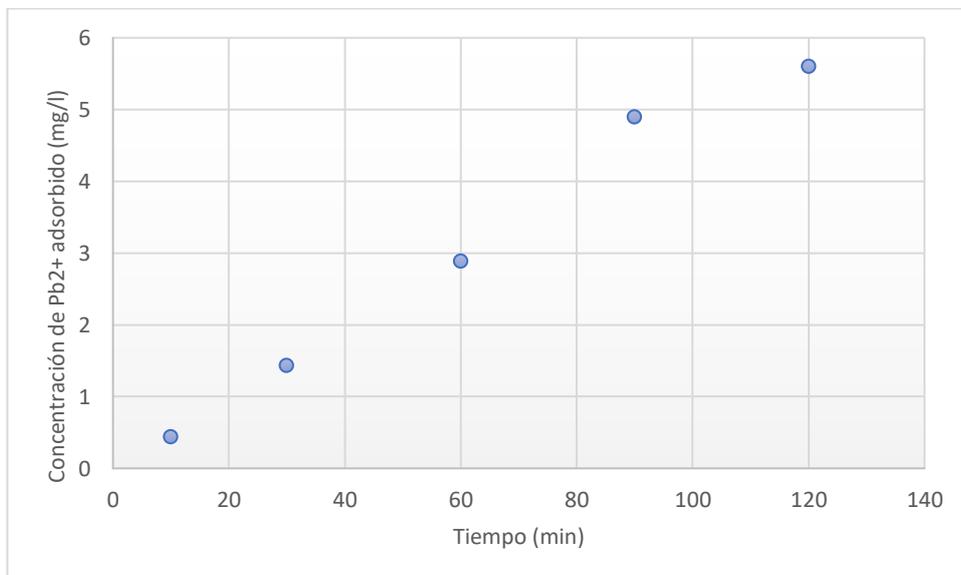
**3.4.2 Concentración de  $Pb^{2+}$  adsorbido a varios intervalos de tiempo a 25° C con cáscara de banana.**

La variación del tiempo incrementa con respecto a las capacidades de adsorción del adsorbente. La capacidad de adsorción incrementa en los rangos de 10 minutos a 120 minutos, donde se evidencia la mayor capacidad de adsorción. En los 120 minutos existe una interacción apta entre las moléculas del adsorbente y adsorbato, por lo cual, existe mayor retención del ion metálico a medida que hay una variación de tiempo en aumento. (Ogechukwu, 2015, pp. 82)

**Tabla 17-3:** Variación del tiempo en la adsorción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso con cáscara de banana.

Tiempo (min)	Volumen $Pb^{2+}$ en solución (mg/l)	Concentración inicial (mg/l)	Concentración final de $Pb^{2+}$ adsorbido (mg/l)	% Adsorbido
10	40	38,26	0,44	4,35
30	40	34,26	1,43	14,34
60	40	28,45	2,89	28,88
90	40	20,41	4,90	48,97
120	40	17,60	5,60	55,98

Fuente: (Ogechukwu, 2015, pp. 110)



**Gráfico 9-3:** Efecto de la variación del tiempo en la adsorción de  $Pb^{2+}$  con cáscara de banana.

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

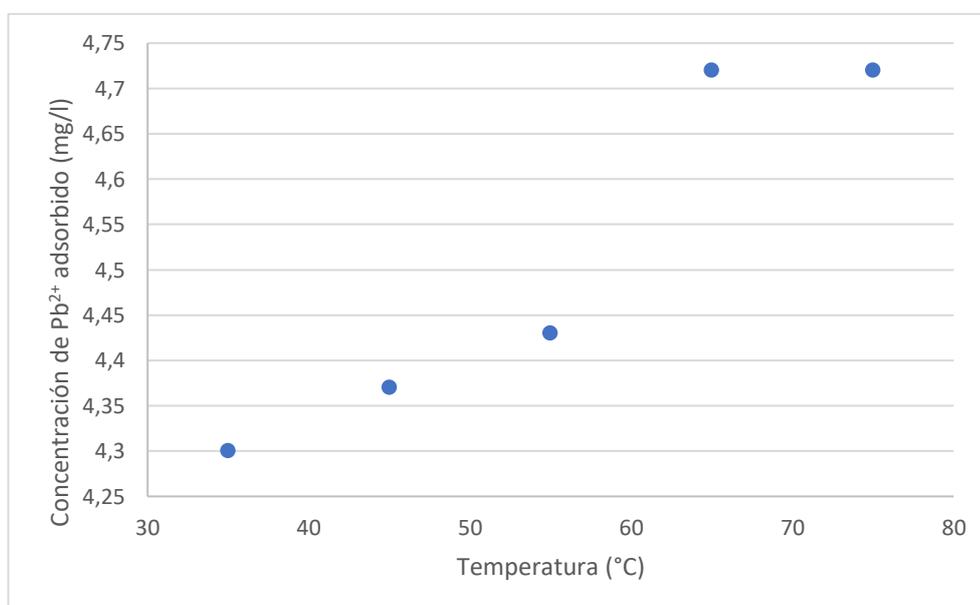
### 3.4.3 Concentración de $Pb^{2+}$ adsorbido a varias temperaturas con cáscara de banano.

Como lo menciona Ogechukwu (2015, pp 110-112) la temperatura es un factor importante en el proceso de adsorción, evidenciando de esta manera el decrecimiento de la concentración del ion metálico adsorbido a medida a la temperatura incrementa. En el estudio de Shi-Mei Xu *et al.*, (2005), reporta una similar mención en los efectos de la temperatura sobre la concentración residual de los iones metálicos divalentes adsorbidos. Demostrando de tal manera, el incremento de la temperatura de 35°C a 65°C una retención de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso.

**Tabla 18-3:** Adsorción de  $Pb^{2+}$  a diferentes temperaturas en medio acuoso con cáscara de banano.

Temperatura (°C)	Volumen $Pb^{2+}$ en solución (mg/l)	Concentración inicial (mg/l)	Concentración final de $Pb^{2+}$ adsorbido (mg/l)	% Adsorbido
35	40	18,54	4,30	53,65
45	40	18,13	4,37	54,67
55	40	17,84	4,43	55,38
65	40	16,37	4,72	59,09
75	40	16,39	4,72	59,03

Fuente: (Ogechukwu, 2015, pp. 111)



**Gráfico 10-3:** Efecto de la temperatura en la adsorción de  $Pb^{2+}$  con cáscara de banano

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

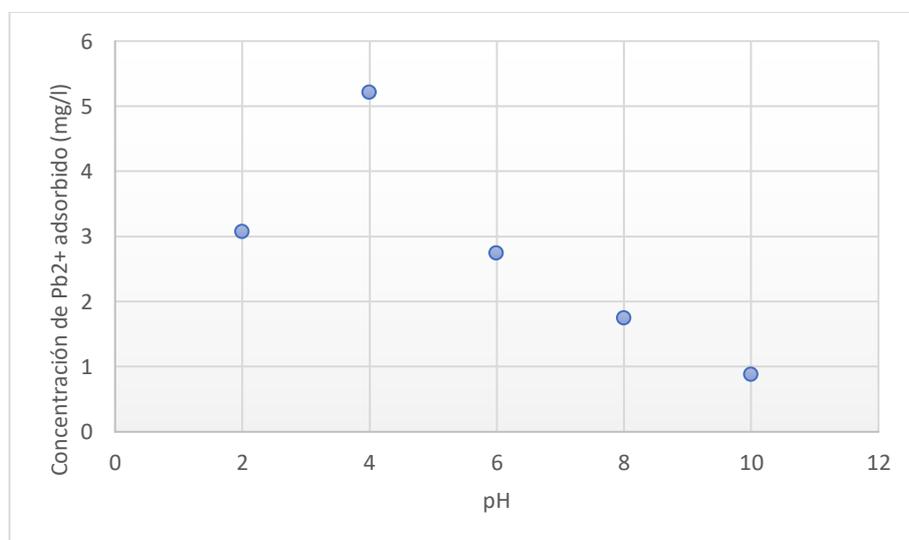
**3.4.4 Concentración de  $Pb^{2+}$  adsorbido a varias medidas de pH a 25°C con cáscara de banano.**

La capacidad de adsorción con cáscara de banano incrementa desde pH 2 a pH 4. A pH 2 los adsorbentes se encuentran protonados a gran medida, de esta manera los iones metálicos no pueden interactuar por la disminución de carga negativa. Awokoya y Moronkola (2012, pp. 130-134), mencionan un incremento en la capacidad de adsorción cuando el pH incrementa y dicha capacidad es mayormente notable a pH 6, mientras que Ogechukwu Vincentia (2015, pp. 60-64) cuando el pH se encuentra por encima de 4, la adsorción empieza a disminuir. La diferencia de esto se ve atribuida por la concentración del ion metálico y la dosificación del adsorbente usada en el proceso de adsorción.

**Tabla 19-3:** Adsorción de  $Pb^{2+}$  a varias medidas de pH en medio acuoso con cáscara de banano.

pH	Volumen $Pb^{2+}$ en solución (mg/l)	Concentración inicial (mg/l)	Concentración final de $Pb^{2+}$ adsorbido (mg/l)	% Adsorbido
2	40	27,69	3,07	30,77
4	40	19,04	5,21	52,13
6	40	29,04	2,74	27,39
8	40	33,02	1,74	17,44
10	40	36,49	0,88	8,77

Fuente: (Ogechukwu, 2015, pp. 109)



**Gráfico 11-3:** Efecto del pH en la adsorción de  $Pb^{2+}$  con cáscara de banano  
Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

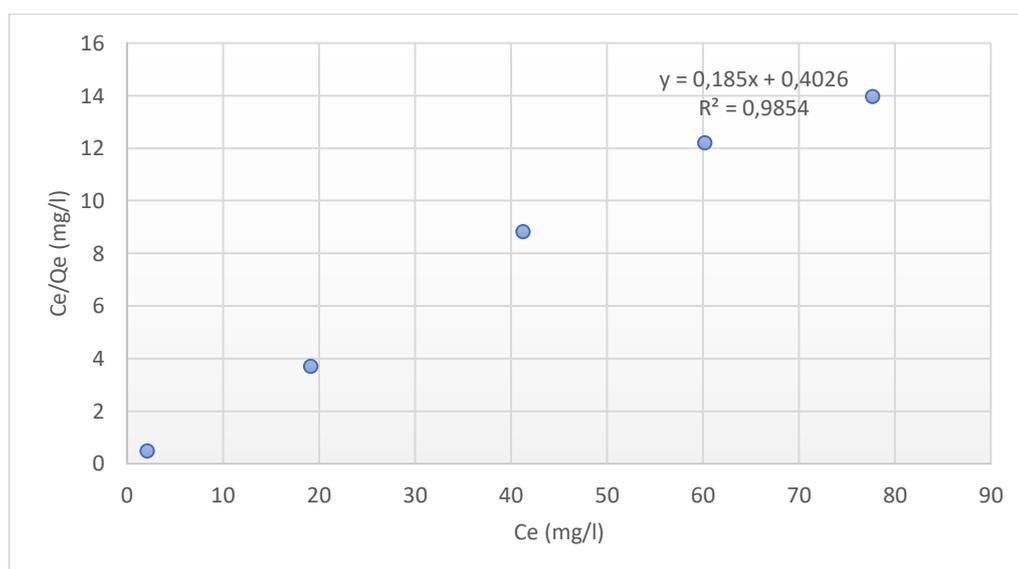
### 3.4.5 Isoterma de Adsorción de Langmuir del $Pb^{2+}$ en solución acuosa con cáscara de banano.

Según el estudio realizado por Ogechukwu (2015, pp. 110-113), en la máxima adsorción, la molécula de adsorbato no se deposita sobre otra que ya se encuentra adsorbida, solamente son depositadas en la superficie libre del adsorbente, por lo cual no existen interacciones laterales entre moléculas vecinas adsorbidas.

**Tabla 20-3:** Valores para gráfica de Isoterma de Langmuir con cáscara de banano.

Concentración (mg/l)	$C_e$ (mg/l)	$C_e/Q_e$ (mg/l)
20	2,13	0,48
40	19,20	3,69
60	41,29	8,82
80	60,24	12,19
100	77,72	13,95

Fuente: (Ogechukwu, 2015, pp. 111)



**Gráfico 12-3:** Isoterma de adsorción de Langmuir del  $Pb^{2+}$  en medio acuoso con cáscara de banano.

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

Donde:

Pendiente: 0,185

Ordenada: 0,4026

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{Q_m b}$$

$$y = mx + b$$

$$Q_m = \frac{1}{0,185}$$

$$Q_m = 5,40$$

$$b = \frac{1}{(0,4026)(5,40)}$$

$$b = 0,46$$

**Tabla 21-3:** Parámetros de adsorción para Isoterma de Langmuir.

Adsorbente	$Q_m$ (mg/g)	b (l/mg)	$R^2$
Cáscara de banano	5,40	0,46	0,98

Fuente: (Ogechukwu, 2015, pp. 87)

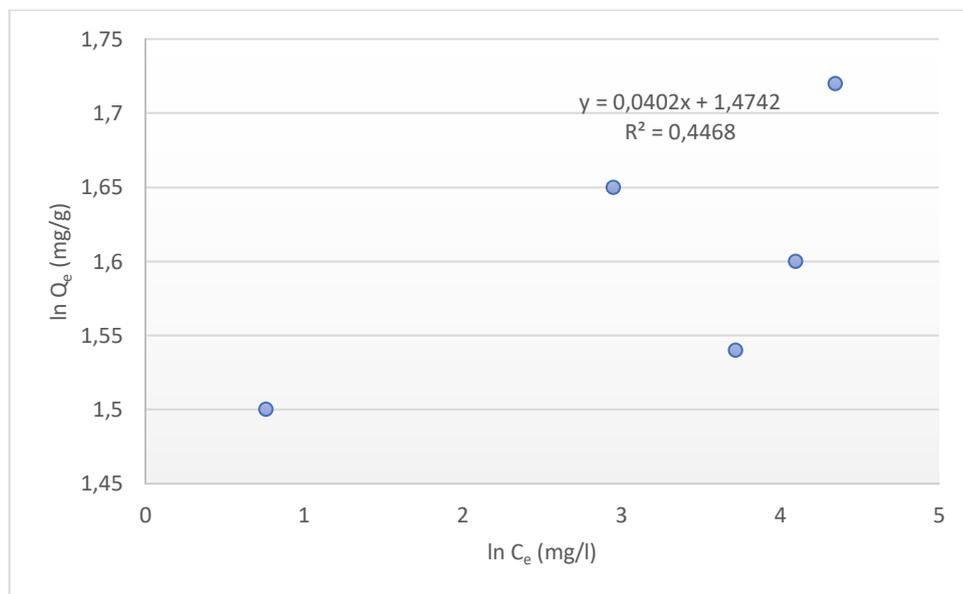
### 3.4.6 *Isoterma de Adsorción de Freundlich del $Pb^{2+}$ en solución acuosa con cáscara de banano.*

De acuerdo al estudio experimental realizado por Ogechukwu (2015, pp. 111-114),  $K_F$  nos indica la capacidad que tienen los adsorbentes en el proceso de adsorción. El valor de n nos indica cuan favorable ha sido el sistema adsorbente/adsorbato. Por lo cual, si se obtienen valores que se encuentran entre rango de 1 a 10, esto representa una adsorción óptima en el proceso, por lo cual se puede evidenciar en las gráficas de las isothermas que en Freundlich los valores se ajustan menos en comparación de Langmuir. De tal manera que, los valores de Langmuir se ajustan a una mejor adsorción con cáscara de banano.

**Tabla 22-3:** Valores para gráfica de Isoterma de Freundlich con cáscara de banano

Concentración (mg/l)	ln C <sub>e</sub> (mg/l)	ln Q <sub>e</sub> (mg/g)
20	0,76	1,50
40	2,95	1,65
60	3,72	1,54
80	4,10	1,60
100	4,35	1,72

Fuente: (Ogechukwu, 2015, pp. 112)



**Gráfico 13-3:** Isoterma de adsorción de Freundlich del Pb<sup>2+</sup> en medio acuoso con cáscara de banano

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

Donde:

Pendiente: 0,04 (1/n)

Ordenada: 1,47

$$\frac{1}{n} = 0,04$$

$$n = \frac{1}{0,04}$$

$$n = 25$$

**Tabla 23-3:** Parámetros de adsorción para Isoterma de Freundlich.

Adsorbente	Parámetros		
	1/n	n	R <sup>2</sup>
Cáscara de banano	0,04	25	0,45

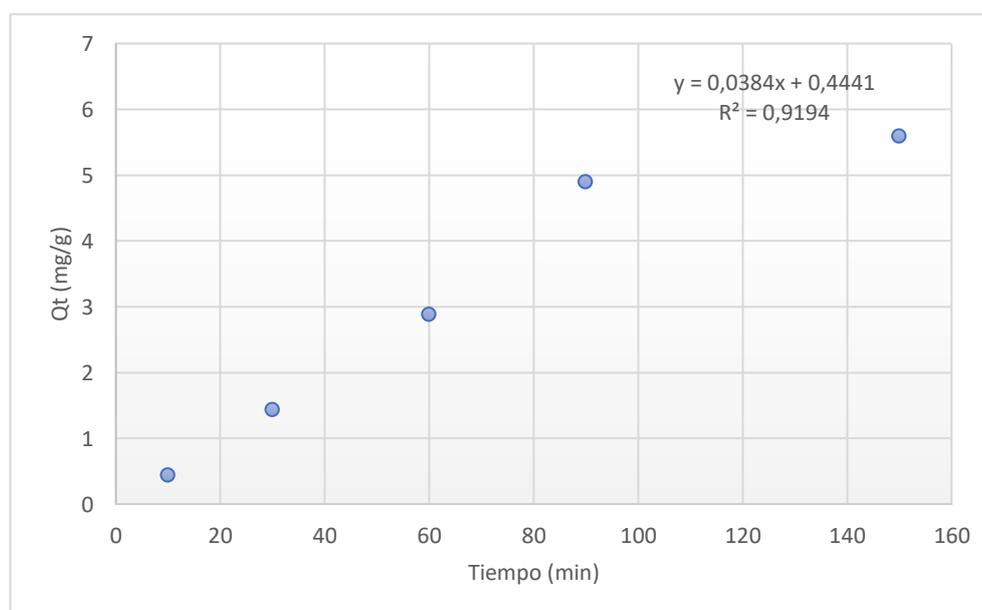
Fuente: (Ogechukwu, 2015, pp. 91)

### 3.4.7 Cinética de adsorción de Pb<sup>2+</sup> en solución acuosa con cáscara de banano.

**Tabla 24-3:** Valores para gráfica del modelo cinético de adsorción de segundo orden con cáscara de banano.

Tiempo (min)	Qt (mg/g)
10	0,44
30	1,44
60	2,89
90	4,90
150	5,60

Fuente: (Ogechukwu, 2015, pp. 112)



**Gráfico 14-3:** Cinética de Adsorción de Pb<sup>2+</sup> con cáscara de banano en medio acuoso.

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

Donde:

Pendiente: 0,038

Ordenada: 0,44

$$t/q_t = 1/kq_e^2 + t/q_e$$

$$y = mx + b$$

$$y = 0,038 (x) + b$$

$$\text{Log } b = 0,44$$

$$b = 10^{0,44}$$

$$b = 2,75$$

**Tabla 25-3:** Parámetros cinéticos de adsorción de Pb<sup>2+</sup> en medio acuoso con cáscara de banano

Modelo cinético de segundo orden	Parámetros		
	q <sub>e</sub> (mg. g <sup>-1</sup> )	k <sub>1</sub> (g.mg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
	0,038	2,75	0,92

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

### 3.5 Prueba de normalidad Shapiro-Wilks.

**Tabla 26-3:** Procesamiento de datos a analizarse de las Isotermas de adsorción para ambos bioadsorbentes

Resumen de procesamiento de casos						
	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	%	N	%	N	%
<b>Datos isotermas adsorción ambos bioadsorbentes</b>	21	100,0%	0	0,0%	21	100,0%

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

**Tabla 27-3:** Análisis descriptivo - exploratorio para Isotermas de adsorción para ambos bioadsorbentes

Descriptivos				
		Estadístico	Desv. Error	
<b>Datos isotermas adsorción ambos bioadsorbentes</b>	Media		3,0754	,84452
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,3138	
		Límite superior	4,8371	
	Media recortada al 5%		2,6333	
	Mediana		1,6000	
	Varianza		14,977	
	Desv. Desviación		3,87006	
	Mínimo		,24	
	Máximo		13,95	
	Rango		13,71	
	Rango intercuartil		2,98	
	Asimetría		1,998	,501
	Curtosis		3,213	,972

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

**Tabla 28-3:** Resultados de la prueba de normalidad para datos de isotermas de adsorción para ambos bioadsorbentes

Pruebas de normalidad						
	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl.	Sig.	Estadístico	gl.	Sig.
Datos isotermas adsorción ambos bioadsorbentes	,297	21	,000	,695	21	,000
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Realizado por: Paúl Delgado Mendoza, 2020.

El estadístico de prueba Shapiro Wilk con la corrección de Lilliefors presentan los resultados un nivel de significancia de 0,000, realizando el test con los antecedentes de concentraciones finales (mg/g) de  $Pb^{2+}$  adsorbido en medio acuoso de las isothermas de ambos bioadsorbentes, tal manera que, el p-valor (sig) = 0,000 > 0,05, aceptamos la hipótesis general planteada en nuestra metodología de estudio, al deducir que mediante las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir si se puede evidenciar que la estopa de coco y cascara de banano presenta diferencias significativas en la remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso, rechazando otro tipo de hipótesis debido a que por medio de las isothermas no se presenta igualdad en la remoción del ion metálico en medio acuoso. Cabe mencionar que la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov<sup>a</sup>, se toma en cuenta cuando los datos a analizarse descriptivamente son mayores a 50, concluyendo que el test de Shapiro-Wilk resulta con mejor eficiencia debido a que los valores son menores a 50.

## DISCUSIÓN

De acuerdo con los valores obtenidos bajo revisión bibliográfica de las tablas de concentración de  $Pb^{2+}$  adsorbido a varias concentraciones y temperatura constante con estopa de coco y cáscara de banano, existe un mayor porcentaje de adsorción de  $Pb^{2+}$ , teniendo en cuenta que las concentraciones iniciales son mayores en la cáscara de banano que la estopa de coco, obteniendo un 89% de adsorción a una concentración inicial de 20 mg/l, los datos provenientes de la estopa de coco muestran un 38,2% de adsorción a una concentración inicial de 0,5 mg/l, lo cual permite deducir que los dos bioadsorbentes tienen una gran capacidad de remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso, pero debido a que el porcentaje de adsorciones de los valores consiguientes de la cáscara de banano difiere muy poco, este biofiltro tendría mayor eficiencia en remoción de  $Pb^{2+}$ , teniendo en cuenta como parámetro inicial las diferentes concentraciones para la respectiva adsorción.

Mediante los valores de concentración de  $Pb^{2+}$  adsorbido a varios intervalos de tiempo a temperatura ambiente con estopa de coco y cáscara de banano, podemos observar que a 30min de la reacción, los valores de porcentaje de adsorción en estopa de coco es de 78,8% mientras que en la cáscara de banano es de 14,34%, de tal manera que, la estopa de coco a una concentración de 0,5 mg/l que es menor a la de cáscara de banano, 34,26 mg/l, tiene mayor porcentaje de adsorción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso, de esta manera determinando que mediante el parámetro de variación del tiempo, la adsorción en estopa de coco es mayor a concentraciones menores que la cáscara de banano, como nos muestra la revisión bibliográfica.

Conforme a los resultados de estudios experimentales de varios autores, coincidiendo con datos de estudios realizados a nivel del laboratorio, se evidencia, que a los 3min de contacto de adsorción, existe una remoción de 1,31 mg/g de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso, si se toma el valor de 30 min de la cáscara de banano, se observa una remoción de 1,44 mg/g del ion metálico, por lo cual se puede determinar que la estopa de coco puede adsorber los iones de  $Pb^{2+}$  en menor tiempo de reacción a diferencia de la cáscara de banano a los 3min, sin embargo, se puede evidenciar que en el ensayo con la cáscara de banano, el tiempo, la concentración y la adsorción, tienen algo en común relacionándose una con otra; la variación de tiempo y la adsorción es directamente proporcional, significa que, a mayor tiempos de contacto en solución, existe una mayor adsorción en ambos casos.

De acuerdo con la información proporcionada por los artículos científicos, se encontró gran similitud en cuanto a los análisis espectrométricos realizados en la estopa de coco y la cáscara de banano, entre ellos: espectroscopía infrarroja, difracción de rayos x y microscopía de barrido

electrónico. Cada uno estos análisis brindan información necesaria para saber el comportamiento sorbato-adsorbente que existe para la remoción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso.

La espectroscopía infrarroja proporcionó datos de los grupos funcionales existentes en la estopa de coco y cáscara de banano, de tal manera que, la estopa de coco en el análisis de datos proporcionados por Hidayu et al. (2013, pp. 379-384) para carbón activado, indica que durante el endurecimiento y la activación en el proceso, la mayor parte de los grupos funcionales, se pierde el pico de adsorción. Esto se debe a que los grupos funcionales del espectro la materia prima se evapora cuando se suministra calor a la muestra, mientras que Bakti y Gareso (2018, pp. 35-36) indica que en la cáscara de banano se obtuvieron espectros infrarrojos del adsorbente que comprenden la naturaleza de los grupos funcionales presentes en el análisis. Los espectros mostraron una serie de picos, lo que indica la naturaleza compleja del adsorbente. Kushwaha, Gupta y Chattopadhyaya (2017, pp. 81-83) indica que la difracción de rayos x permite la rápida identificación de materiales particulados, arcillas y otros minerales, en consecuencia, en la estopa de coco en cuanto a la investigación realizada por Bakti y Gareso (2018, pp. 35-38) confirma la presencia de varias fases de cristales (grafito) alrededor de picos de  $36^\circ$  y  $44^\circ$ , con dos picos de difracción amplios y pueden atribuirse a la presencia de carbono y grafito, mientras que, para conocer la composición de la cáscara de plátano, Memon et al, (2008, pp. 262) proporcionó información acerca de la presencia de varios elementos junto con una alta cantidad de potasio, como elemento principal que compone la cáscara de banano, seguido de calcio, silicio, azufre, magnesio, carbono, fosforo y oxígeno. Según la investigación realizada por Basu, Guha y Ray (2017, pp. 604-607), la microscopía de barrido electrónico otorga información acerca de la superficie de la muestra a alta resolución con la interacción del electrón y la materia, de esta manera, la investigación realizada por Pradhan (2011, pp. 40-52) en estopa de coco, con un tamaño de partícula de  $10\mu m$ , indica que en la muestra durante la fase por la cual sucede la activación se forma una capa externa con una gran cantidad de poros en la superficie, la cantidad de sitios activos difieren en una cantidad notable en cáscara cruda y con carbón activado, de esto modo, la cáscara de banano con un tamaño de partícula de  $10\mu m$ , estas cifras mostraron que las cáscaras tienen una mayor superficie irregular y porosa (Kamsonlian et al. 2011, pp. 4).

## CONCLUSIONES

- De acuerdo con el análisis de las Isotermas de adsorción de Freundlich y Langmuir, se pudo evidenciar una comparación de adsorción de dos adsorbentes de costos bajos. Se demuestra la utilidad de las constantes para la capacidad de adsorción y el ajuste en las ecuaciones de Freundlich y Langmuir, por la cual, se permitió determinar la extensión y factibilidad de la adsorción.
- Se conoció las características fisicoquímicas de la estopa de coco y cáscara de banano es de gran importancia debido a que estos biofiltros poseen composiciones químicas que permiten determinar la eficiencia de cada uno de ellos.
- Las isotermas de adsorción permitieron estimar la capacidad de adsorción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso, adaptándose de acuerdo con los valores obtenidos de mejor manera a la isoterma de Langmuir en ambos biofiltros, obteniendo un ajuste de correlación de datos de  $R^2 = 0,997$  y  $R^2 = 0,999$  para Isoterma de Freundlich y Langmuir en estopa de coco, y,  $R^2 = 0,45$  y  $R^2 = 0,98$  en Isoterma de Freundlich y Langmuir en cáscara de banano respectivamente.
- El análisis de los datos de la bibliografía permitió determinar la eficiencia de los adsorbentes en los parámetros de concentración, tiempo y cinética de adsorción, de tal manera, reforzando conocimientos de adsorción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso por medio de estopa de coco y cáscara de banano.

## RECOMENDACIONES

- Antes de realizar un estudio basado en revisión bibliográfica de manera no sistemática en bases de datos, es recomendable examinar si existen estudios acerca del tema publicados en revistas de divulgación representativa.
- Al momento de planificar un estudio a base de fuentes bibliográficas, es necesario comprobar de los resultados, que los datos sean acordes al objeto de estudio.
- Tomar en cuenta que, al momento de recopilar información, tomar la mayor cantidad de artículos relacionados al tema, de esta manera descartar los menos representativos y tomar los mejores estudios para así tener numerosas comparaciones, por la cual tendría mayor peso en el sustento de la información.
- Utilizar un software avanzado que optimice valores en el momento del análisis de las isotermas como Matlab® o Sigmaplot, ya que permiten tener una mejor visualización con datos algorítmicos al momento de ejecutar la información.
- Se recomienda el estudio a dimensiones similares y sin modificación química para ambos bioadsorbentes para corroborar si hay la probabilidad de una variación en la adsorción de  $Pb^{2+}$  en medio acuoso en ambos casos.

## GLOSARIO

**Adsorción:** Resulta del proceso de sorción en la cual el adsorbato que se encuentra en un fase líquida o gaseosa se adhiere a la superficie de la fase sólida, el adsorbente (Tubert y Talanquer, 1997, pp. 186-187).

**Fisorción:** Es el proceso que se caracteriza por las Fuerzas de Van der Waals y dipolares, que son enlaces débiles, presenciando bajos calores de adsorción y una reversibilidad en el proceso (Cortés, 2009, pp. 9)

**Quimisorción:** Presenta enlaces fuertes entre el adsorbato y el adsorbente, los cuales pueden ser iónicos o covalentes, por medio de una correlación de tipo químico. Es un proceso irreversible y el proceso solo se realiza en monocapa (Cortés, 2009, pp. 10).

**Cinética química:** Es un área de la química que se encarga de estudiar la velocidad de la reacción, la manera en que la reacción cambia de acuerdo a los parámetros que se utilicen (Bender, Cutrera y Defago, 2007, pp. 1939)

**Equilibrio de adsorción:** El equilibrio de adsorción es alcanzado cuando hay una igualdad entre los iones del adsorbato en la solución y los iones del adsorbato que se encuentran en la superficie del adsorbente. Es la capacidad de retención entre la cantidad de adsorbato en el adsorbente por unidad de masa o volumen (Kayser, 2015, pp. 13).

**Isótopo:** Son aquellos elementos que se encuentran definidos por su número atómico que poseen distinto número de neutrones y distinto peso atómico. Por lo que los átomos se presentan con el mismo número atómico pero diferente peso atómico (Eroglu *et al*, 2012, pp 3).

**Coefficiente de correlación:** Aquel grado de asociación lineal que existe entre variables. Un valor de 0 no quiere decir que no existe correlación, ya que dichas variables pueden presentarse de forma no lineal (Pértegas, 2002, pp. 209).

**Reacción química:** Proceso termodinámico en la que se transforman dos o mas especies debido al incremento o disminución de las concentraciones de los reactivos y productos (Whitten et al., 1992, pp. 59).

## BIBLIOGRAFÍA

**AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL.**, *Información Básica sobre el Plomo en Agua Potable en Español US EPA*. [en línea]. Moffat, C & Whittle, K., England. 2016 [Consulta: 3 octubre 2020]. Disponible en: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/plomo.html>.

**AGUIRRE, R., et al:** "Estudio del efecto de la temperatura en los modelos matemáticos de isotermas de sorción de agua de películas biodegradables de quitosano". *Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Querétaro* [en línea], *Instituto Politécnico Nacional. Cerro Blanco No.141 Col. Colinas del Cimatario, C.P. 76090, Querétaro, Querétaro.*, vol. 21, no. 141, (2011), México pp. 7–14. [Consulta: 14 Agosto 2020]. Disponible en: <https://smbb.mx/congresos%20smbb/guadalajara15/PDF/XVI/trabajos/III/IIC-25.pdf>

**ALAA EL-DIN, et al,** "Study on the use of banana peels for oil spill removal". *Alexandria Engineering Journal* [en línea], 2018, Egipto, vol. 57, no. 3, pp. 2061–2068. [Consulta: 11 enero 2021]. ISSN 1110-0168. Disponible en DOI 10.1016/j.aej.2017.05.020.

**ALATRISTE, K., et al:** "Diseño preliminar de un simulador de las isotermas de adsorción de Freundlich". *The Open Chemical Engineering Journal* [en línea]. *Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla*, vol. 1, no. 1, México, pp. 142–146. [Consulta: 24 octubre 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Maria\\_Del\\_Rayo\\_Guevara/publication/319289951\\_Diseño\\_preliminar\\_de\\_un\\_simulador\\_de\\_las\\_isotermas\\_de\\_adsorción\\_de\\_Freundlich/inline/jsViewer/59a0ab51458515fd1fde91f8?inViewer=1&pdfJsDownload=1&origin=publication\\_detail&previewAsPdf=false](https://www.researchgate.net/profile/Maria_Del_Rayo_Guevara/publication/319289951_Diseño_preliminar_de_un_simulador_de_las_isotermas_de_adsorción_de_Freundlich/inline/jsViewer/59a0ab51458515fd1fde91f8?inViewer=1&pdfJsDownload=1&origin=publication_detail&previewAsPdf=false)

**ALBÁN, D. & DEL ROSARIO, L.,** Obtención de Aceite Lubricante a Partir de Residuos de Banano [en línea] (Tesis) (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de ingeniería automotriz, Riobamba, Ecuador, 2014, pp. 4-10. [Consulta: 15 Septiembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3136/1/65T00108.pdf>

**ANASTOPOULOS, I. & KYZAS, G.Z.,.** "Are the thermodynamic parameters correctly estimated in liquid-phase adsorption phenomena?" *Journal of Molecular Liquids* [en línea], 2016, vol. 218, pp. 174–185. [Consulta: 30 Noviembre 2020]. ISSN 01677322. Disponible

en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2016.02.059>.

**ANDRADE MENDOZA, E.**, Descontaminación de Pb (II) de aguas residuales mineras, por adsorción con estiercol de vaca (BOSTA) [en línea] (Tesis) (Grado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela Profesional de Ingeniería Química, Arequipa, Perú, 2019, pp. 17-34 [Consulta: 9 octubre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6925/EDMcccacm.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

**ANGELES VILLÓN, L.**, Adsorbentes sólidos de origen natural para metales pesados en solución acuosa [en línea] (Tesis) (Grado). Universidad del Callao, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Instituto de Investigación, Callao, Perú, 2013, pp 6-11. [Consulta: 27 octubre 2020] Disponible en: [http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1821/Luis\\_Informefinal\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1821/Luis_Informefinal_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**ANNADURAI, G., JUANG, R.S. & LEE, D.J.**, "Adsorption of Heavy Metals From Water Using Banana and Orange Peels". *Water Science and Technology* [en línea], *Department of Chemical Engineering, National Taiwan University*, vol 47 ,no 1. Taiwan pp. 185–190. [Consulta: 2 Noviembre 2020] Disponible en DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0049>

**ARAÚJO, C et al:** "Elucidation of mechanism involved in adsorption of Pb(II) onto lobeira fruit (*Solanum lycocarpum*) using Langmuir, Freundlich and Temkin isotherms." *Microchemical Journal* [en línea], 2018, Brasil, vol. 137, no. 1, pp. 348–354. [Consulta: 17 octubre 2020] ISSN 0026265X. Disponible en: DOI 10.1016/j.microc.2017.11.009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2017.11.009>.

**AWOKOYA, K.N. & MORONKOLA, B.A.**, "Preparation and characterization of succinylated starch as adsorbent for the removal of Pb (II) ions from aqueous media". *International Journal of Engineering and Science* [en línea], vol. 1, no. 11 (2012), (Nigeria), pp. 18–24. [Consulta: 2 Diciembre 2020] Disponible en: <http://www.researchinventy.com/papers/v1i11/E0111018024.pdf>

**AWUAL, M.R.**, "Mesoporous composite material for efficient lead(II) detection and removal from aqueous media". *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea] vol. 7,

no. 3, (2019), (Arabia Saudita) pp. 679–5148. [Consulta: 10 Diciembre 2020] ISSN 22133437. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103124>. 2019.

**AYLAS OREJÓN, E.J.**, Estudio de la adsorción de fenol, 4-nitrofenol y 4-clorofenol utilizando carbón activado modificado con cobre [en línea] (Tesis) (Maestría), Universidad Pontificia Católica del Perú, Escuela de Postgrado, San Miguel, Perú, 2018 pp. 120 -146 [Consulta: 26 Septiembre 2020]. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/11521>.

**BAKTI, A.I. y GARESO, P.L.**, "Characterization of Active Carbon Prepared from Coconuts Shells using FTIR, XRD and SEM Techniques". *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni* [en línea], 2018, Indonesia, vol. 7, no. 1, pp. 33. [Consulta: 13 enero 2021] ISSN 2303-1832. Disponible en DOI 10.24042/jipfalbiruni.v7i1.2459.

**BASU, M., GUHA, A.K. y RAY, L.**, "Adsorption of Lead on Cucumber Peel". *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2017, India, vol. 151, pp. 603–615. [Consultado: 14 enero 2021] ISSN 09596526. Disponible en DOI 10.1016/j.jclepro.2017.03.028.

**BENDER, G., CUTRERA, G. & DEFAGO, A.**, "Cinética Química y analogías - un análisis de las propuestas de enseñanza". *International Journal of Science Education* [en línea], vol. 2, no. 19, (2019), (Argentina) pp. 1939–1945. [Consulta: 15 Agosto 2020]. Disponible en: <http://jornadasceyn.fahce.unlp.edu.ar/i-jornadas-2007/i-jornadas-2007/Bender.pdf>

**CABRERA ANDRADE, L.F.**, Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) [en línea] (Tesis de grado), Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Ambiental, Cuenca, Ecuador, 2017. pp. 172-178. [Consulta: 4 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14460>. 2017.

**CACCIN, M., et al:** "Removal of lead (II) from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from coconut shell". *Desalination and Water Treatment* [en línea], vol. 57, no. 10, (2016), (Italia) pp. 4557–4575. [Consulta: 20 Noviembre 2020]. ISSN 19443986. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.992974>

**CAI, J., et al:** "Effect of functional groups on sludge for biosorption of reactive dyes". *Journal of Environmental Sciences* [en línea] vol. 21, no. 4, (2009), China, pp. 534–538. [Consulta: 20 Septiembre 2020]. ISSN 10010742. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62304-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62304-9). 2009.

- CASTRO, B.,** Uso de la cáscara de banano (musa paradisiaca) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas [en línea] (Tesis) (Maestría), Universidad de Guayaquil, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Guayaquil, Ecuador, 2015. pp. 20 - 43. [Consulta: 2 Septiembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8641>
- CERNA W.,** Determinación de la dosis óptima de harina de cáscara de banano para adsorber plomo de agua del río Tingo Maygasbamba [en línea] (Tesis de grado), Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Chiclayo, Perú, 2019. pp. 6-20 [Consulta: 13 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32303><http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32303>. 2019
- CORTÉS F.,** Adsorción de agua en materiales compuestos y en Zeolita [en línea] (Tesis de PhD), Universidad Nacional de Colombia, Programa de Doctorado en Ingeniería Sistemas Energeticos, Escuela de Porcesos y Energía, Facultad de Minas, Medellín, Colombia, 2009, pp. 13 - 25. [Consulta: 3 Diciembre 2020]. Disponible en: [https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/libros/download/41\\_f801ea4f4e31a2474308b53dc68df68a](https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/libros/download/41_f801ea4f4e31a2474308b53dc68df68a)
- CRUZ, D. & JACI, H.,** Aplicación de adsorbentes de carbón preparados desde las cascaras de la fruta piña ( Ananas comosus ) para remover metales [en línea] (Titulo) (Grado), Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad Emprendedora, Escuela de Ingeniería Química, Huancayo, Perú, 2018. pp. 14 - 25. [Consulta: 20 Noviembre 2020]. Disponible en:<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4933/Dorregaray%20De%20La%20Cruz%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CUIZANO, N.A., et al.** "Relevancia del pH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas". *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], 2010, Perú, vol. 76, no. 2, pp. 123–130. [Consultado: 12 de enero 2021]. ISSN 1810-634X. Disponible: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v76n2/a02v76n2.pdf>
- DOMÉNECH, X.,** Química Ambiental para sistemas terrestres (libro), Edición 1. Barcelona España: Editorial Reverté, 2006 [Consulta: 24 Agosto 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=S4bjFOEXRzMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

**DUQUE, P. & GRACIA-FADRIQUE, J.,** "Van der Waals, más que una ecuación cúbica de estado". *Educacion Quimica* [en línea], 2015, México, vol. 26, no. 3, pp. 187–194. [Consulta: 30 Noviembre 2020]. ISSN 18708404. DOI 10.1016/j.eq.2015.05.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2015.05.003>.

**EROGLU S., et al,** "Isótopos estables: fundamentos y aplicaciones". *Microbiología Ambiental* [en línea], 2012, vol. 33, no. 645, 08028, pp. 3–8. [Consulta: 14 Noviembre 2020]. ISSN 1098-6596. 2012. Disponible en: [http://crinoidea.semicrobiologia.org/pdf/actualidad/SEM30\\_17.pdf](http://crinoidea.semicrobiologia.org/pdf/actualidad/SEM30_17.pdf)

**ESTHER, M. & LÓPEZ, R.,.** Estudio de Factibilidad para la Industrialización de la fibra de coco en el Recinto La Tolita, Pampa De Oro – Esmeraldas [en línea] (Tesis) (Grado), Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil - Ecuador. 2015. pp. 9 - 15. [Consulta: 11 Octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3633/1/UPS-GT000348.pdf>. 2015

**ESTUPIÑAN, E. & SÁNCHEZ, W.,** Plan de empresa para la creación de fibras de coco, empresa dedicada a la producción y comercialización de fibras y sustrato a partir de la estopa de coco [en línea]. Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Departamento de Operaciones y Sistemas, Programa de Ingeniería Industrial. Santiago de Cali, Colombia, 2019. pp. 28 - 39. [Consulta: 7 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/10996/5/T08570.pdf>

**GARCÉS, L., VILLABONA, Á. & TEJADA, C.,** "Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico", *M.Sc.Educación, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena* [en línea], 2015, Colombia, vol. 18, No.34, no. 0123–7799, pp. 109–123. [Consulta: 7 Noviembre 2020]. ISSN 0123-7799. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v18n34/v18n34a10.pdf>

**GARCÍA N., et al.,** "Análisis de la adsorción como método de pulimento en el tratamiento de aguas residuales". *Quivera: Revista de estudios territoriales* [en línea], 2019, México, vol. 1, n° 1 [Consulta: 22 Noviembre 2020] ISSN 1405-8626, pp. 109–129. ISSN 1098-6596. Disponible en DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.

**GUDIÉL, A., et al.,** Diseño De Planta De Producción Para La Obtención De Platos Biodegradables a Base De Estopa De Coco En La Provincia De Piura [en línea] (Tesis) (Maestría) Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Área departamental de Ingeniería

Industrial y de Sistemas, Piura , Perú, 2018. pp 7-26. [Consulta: 24 Noviembre 2020].  
Disponible en:  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3838/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_PLATOSBIODEGRADABLES.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3838/PYT_Informe_Final_Proyecto_PLATOSBIODEGRADABLES.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**GUEVARA, M., et al.**, "Simulador de isoterma de adsorción de Langmuir, Freundlich y Tempkin del colorante textil básico en diferentes bioadsorbentes", *Revista Tlamati Sabiduría* [en línea], 2016, México, ISSN 5(41), pp. 148–152. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/profile/Maria\\_Del\\_Rayo\\_Guevara/publication/319403670\\_Simulador\\_de\\_isoterma\\_de\\_adsorcion\\_de\\_Langmuir\\_Freundlich\\_y\\_Tempkin\\_del\\_colorante\\_textil\\_basico\\_en\\_diferentes\\_bioadsorbentes/inline/jsViewer/59a83fe2a6fdcc2398387493?inViewer=1&pdfJsDownload=1&origin=publication\\_detail&previewAsPdf=false](https://www.researchgate.net/profile/Maria_Del_Rayo_Guevara/publication/319403670_Simulador_de_isoterma_de_adsorcion_de_Langmuir_Freundlich_y_Tempkin_del_colorante_textil_basico_en_diferentes_bioadsorbentes/inline/jsViewer/59a83fe2a6fdcc2398387493?inViewer=1&pdfJsDownload=1&origin=publication_detail&previewAsPdf=false)

**HAYEYE, F.**, "Adsorption of Rhodamine B on activated carbon obtained from pericarp of rubber fruit in comparison with the commercial activated carbon". *Songklanakarin journal of science and technology* [en línea], 2014, Tailandia, vol. 36, n° 2, pp. 177-187, [Consulta: 9 Diciembre 2020]. ISSN 0125-3395. Disponible en:  
<http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/36-2/36-2-6.pdf>

**HERREJÓN M. & LIMÓN B.**, "Cinética e isoterma de adsorción de Pb(II) en suelo de Monterrey". *Ingenierías Nuevo León* [en línea], 2008, México , vol. 11, no. 41, pp. 24-31. [Consulta: 9 Diciembre 2020] ISSN 1405-0676. Disponible en:  
[http://www.ingenierias.uanl.mx/41/41\\_Cinetica.pdf](http://www.ingenierias.uanl.mx/41/41_Cinetica.pdf)

**INGA, P.**, Estudio isotérmico de biosorción de cadmio, cromo, plomo y zinc en solución acuosa empleando el pinzote (raquis) de plátano (*Musa paradisiaca* L.) [en línea] (Tesis) (Grado), Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2012, pp. 1–120. [Consulta: 22 Septiembre 2020]. Disponible en:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4065/1/UPS-QT02922.pdf>

**HIDAYU, A.R., et al.**, "Characterization of activated carbon prepared from oil palm empty fruit bunch using BET and FT-IR techniques". *Procedia Engineering* [en línea], 2013, Malaysia, vol. 68, pp. 379–384. [Consultado: 14 enero 2021]. ISSN 18777058. Disponible en DOI: 10.1016/j.proeng.2013.12.195.

**KAMSONLIAN, S., et al.**, "Characterization of Banana and Orange Peels: Biosorption Mechanism". *International Journal of Science Technology & Management* [en línea], 2011,

India, vol. 2, no. 4, pp. 1–7. [Consultado: 13 de enero 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Dr\\_Suresh\\_Sundaramurthy/publication/228325735\\_CHARACTERIZATION\\_OF\\_BANANA\\_AND\\_ORANGE\\_PEELSBIOSORPTION\\_MECHANISM/inline/jsViewer/00b7d52dfcf74aadf9000000?inViewer=1&pdfJsDownload=1&origin=publication\\_detail&previewAsPdf=false](https://www.researchgate.net/profile/Dr_Suresh_Sundaramurthy/publication/228325735_CHARACTERIZATION_OF_BANANA_AND_ORANGE_PEELSBIOSORPTION_MECHANISM/inline/jsViewer/00b7d52dfcf74aadf9000000?inViewer=1&pdfJsDownload=1&origin=publication_detail&previewAsPdf=false)

**KAYSER, J.,** Adsorción. [Blog]. [Consulta: 14 octubre 2020]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/356306608/CAPITULO2-pdf>. 2015.

**KRISHNA, S. y PATEL, C.M.,** "Preparation of coconut shell nanoparticles by wet-stirred media milling". *Materials Letters* [en línea], 2019, vol. 257, pp. 126738. ISSN 18734979. [Consultado: 16 de enero 2021]. Disponible en DOI: 10.1016/j.matlet.2019.126738.

**KUSHWAHA, A.K., GUPTA, N. y CHATTOPADHYAYA, M.C.,** "Adsorption behavior of lead onto a new class of functionalized silica gel". *Arabian Journal of Chemistry* [en línea], 2017, India, vol. 10, pp. S81–S89. [Consultado: 11 de enero 2021]. ISSN 18785352. Disponible en DOI: 10.1016/j.arabjc.2012.06.010.

**KUSHWAHA, S., SREELATHA, G. y PADMAJA, P.,** "Physical and chemical modified forms of palm shell: Preparation, characterization and preliminary assessment as adsorbents". *Journal of Porous Materials* [en línea], 2013, Estados Unidos, vol. 20, no. 1, pp. 21–36. [Consultado: 13 enero 2021]. ISSN 13802224. Disponible en DOI: 10.1007/s10934-012-9571-4. 2013.

**LARA M., & MÉNDEZ F.,** Evaluación de la producción de hidrógeno en un bioreactor a escala banco empleando bacterias de la especie *Clostridium butyricum* a partir de cáscaras de banana [en línea] (Tesis) (Grado), Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Programa de Ingeniería Química, Bogotá, Colombia, 2019, pp. 27-42. [Consulta: 17 octubre 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7609/1/6131996-2019-2-IQ.pdf>

**LARIOS .A.,** Evaluación de tres métodos de tratamiento químico de la fibra de coco para su uso como adsorbente de diesel en agua [en línea] (Tesis) (Maestría), Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Escuela Profesional de Ingeniería Química, Lambayeque, Perú, 2019. pp. 1-69. Disponible en: [Consulta: 30 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/4960/BC-TES->

3771%20LARIOS%20GILES.pdf?sequence=1&isAllowed=y

**LAZO, J., & LLANOS, B.,** "Síntesis Y Caracterización De Arcillas Organofílicas Y Su Aplicación Como Adsorbentes Del Fenol". *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], 2008, Perú, vol. 74, no. 1, pp. 3–19. [Consulta: 15 Septiembre 2020] ISSN 1810-634X. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Abel\\_Navarro/publication/262550046\\_Sintesis\\_y\\_caracterizacion\\_de\\_arcillas\\_organofilicas\\_y\\_su\\_aplicacion\\_como\\_adsorbentes\\_del\\_fenol/inline/jsViewer/587e98db08ae9a860ff53f17?inViewer=1&pdfJsDownload=1&origin=publication\\_detail&previewAsPdf=false](https://www.researchgate.net/profile/Abel_Navarro/publication/262550046_Sintesis_y_caracterizacion_de_arcillas_organofilicas_y_su_aplicacion_como_adsorbentes_del_fenol/inline/jsViewer/587e98db08ae9a860ff53f17?inViewer=1&pdfJsDownload=1&origin=publication_detail&previewAsPdf=false)

**MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA.,** *Revisión del anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del medio ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua*, 2011 Quito, Ecuador. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

**MEMON, J.R., et al,** "Characterization of banana peel by scanning electron microscopy and FT-IR spectroscopy and its use for cadmium removal". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* [en línea], 2008, Pakistan, vol. 66, no. 2, pp. 260–265. [Consultado: 12 enero 2021]. ISSN 09277765. Disponible en DOI: 10.1016/j.colsurfb.2008.07.001.

**MENDOZA, E. & MARTÍNEZ, M.,** Producción de alfa amilasa por fermentación en estado sólido de residuos agroindustriales (cáscaras de banano) utilizando bacillus subtilis [en línea] (Tesis) (Grado), Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química, Guayaquil, Ecuador, 2018. pp. 1-75. [Consulta: 10 Diciembre 2020] Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33219/1/401-1324%20-%20Fermentac%20en%20estado%20solido%20residuos%20agroindustr.pdf>

**MORENO, J., & GONZALEZ, F.,** "Adsorción de fenol en soluciones acuosas empleando monolitos de carbón activado de cáscara de coco: Isotermas y cinéticas de adsorción" . *Grupo de Investigación en Sólidos Porosos y Calorimetría* [en línea], Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Bogotá, Colombia., vol. 68, no. 554, pp. 290–295. [Consulta: 30 Agosto 2020] ISSN 00019704. 2011. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28370/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>

**NINA D., & HUANCA K.,** Estudio de bioadsorbentes para la remoción de plomo en tratamientos

de aguas [en línea] (Tesis) (Maestría), Universidad Peruana Unión, Facultad de Ciencias, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Juliaca, Perú, 2020. pp. 2-15 [Consulta: 10 Noviembre 2020]. Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11856/Monroy\\_Quispe\\_Rubi\\_Yessenia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11856/Monroy_Quispe_Rubi_Yessenia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**OGECHUKWU E.**, Insolation, Modification and characterization of unripe plantain (musa paradisiaca) peel starch for adsorption of lead in aqueous media [en línea] (Tesis) (Maestría). Department of Polymer and Textile Engineering, FUTU, Engr. Dr. M.U. Owerri, Nigeria, 2015. pp. 79-118. [Consulta: 19 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33933410.pdf>

**OKAFOR, P, et al.**, "Adsorption capacity of coconut (cocos nucifera L.) shell for lead, copper, cadmium and arsenic from aqueous solutions". *International Journal of Electrochemical Science* [en línea], 2012, Sudáfrica, vol. 7, no. 12, pp. 12354–12369. [Consulta: 21 Noviembre 2020] ISSN 14523981. Disponible en: <http://www.electrochemsci.org/papers/vol7/71212354.pdf>

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.**, Salubridad y calidad del agua. *WHO* [en línea], Ginebra, Suiza, 2017, ISBN: 978-92-4-354995-8 [Consulta: 28 julio 2020]. Disponible en: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/water-quality/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/es/).

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.**, Guías para la calidad del agua de consumo humano. Cuarta edición. Incorpora la primera adenda. [en línea], Ginebra, Suiza, 2018. 2018. [Consulta: 30 Noviembre 2020] ISBN 978-92-4- 354995-8. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD**, Intoxicación por plomo y salud: datos y cifras. *Nota descriptiva N°379* [en línea], Ginebra, Suiza, 2019, pp. 13. [Consulta: 28 julio 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.

**PÉREZ, N. & VENTURA, N.**, Propuesta de diseño de un sistema de remoción de plomo en aguas, a nivel de laboratorio, utilizando estopa de coco (cocos nucifera) como medio adsorbente [en línea] (Tesis) (Grado), Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, Ciudad

universitaria, El Salvador, 2019. pp. 1-224. [Consulta: 8 Agosto 2020] Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19515/>

**PÉRTEGAS, S., & PITA, S.,** "Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal". *Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Juan Canalejo* [en línea]., 2002, España, vol. 9, pp. 209–211. [Consulta: 20 Agosto 2020] ISSN 1134-3583. Disponible en: <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/pearson/pearson2.pdf>

**POLZELLA, S. y LODEYRO, P.,** "Una lectura sobre interacciones entre modelos y algoritmos en el emerger de la química computacional", *Revista Chymeia: Química Teórica y Computacional* [en línea], 2015, España, [Consulta: 30 Julio 2020] ISSN 1678-5169 Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282003000400010>

**PORRAS G., & MARTINEZ SUAREZ, F.,** "Adsorción del plomo mediante carbón activo de coronta de maíz de aguas contaminadas con relaves mineros" [en línea] (Tesis) (Maestría), Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Lima, Perú, 2019. pp. 12-87. [Consulta: 13 Agosto 2020]. Disponible en: [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2715/Franco\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2715/Franco_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**PRADHAN, S.,** 2011. Production and characterization of Activated Carbon produced from a suitable Industrial sludge [en línea] (Tesis) (Doctorado), Departament of Chemical Engineering National Institute of Technology Rourkela, India, 2011. pp. 29-44. [Consulta: 4 enero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/bjce/v26n1/v26n1a12.pdf>

**RAMOS, L.,** "Importancia y aplicaciones de la adsorción en fase líquida". *Centro de Investigación y Estudios de Posgrado, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí* [en línea], 2017, México no. 1, pp. 160–170. [Consulta: 20 Julio 2020] ISSN 01652370. Disponible en: [https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/3626/2016\\_978-84-7993-309-8.pdf](https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/3626/2016_978-84-7993-309-8.pdf)

**REYES, E., & SUAREZ, M.,** "Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa". *Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, UANL* [en línea], 2006, Perú, vol. 9, no. 31, pp. 59–64. [Consulta: 19 Septiembre 2020] ISSN 1405-0676. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v80n4/a02v80n4.pdf>

- RIVAS. S.**, Valoración de Hemicelulosas de Biomasa Vegetal [en línea] (Tesis) (Doctoral), Universidad de Vigo, Facultad de Ciencias de Ourense, Departamento de Ingeniería Química, Pontevedra, España, 2014. pp. 124-363. [Consulta: 7 Septiembre 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11093/141>
- RIVERA. K.**, Efecto del Estado de Madurez del Banano Cavendish en las Propiedades de hidratación de la Harina y Gel [en línea] (Tesis) (Grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil, Ecuador, 2014. pp. 14-28. [Consulta: 29 Octubre 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30751>
- RODRÍGUEZ A. & CUÉLLAR, I.**, "Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre". *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* [en línea], 2016, vol. 35, no. 3, pp. 251–271. [Consulta: 1 Diciembre 2020] ISSN 1025-5583. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v69n2/a11v69n2.pdf>
- ROMERO J., et al**, "Biosorption of Pb (II) by Agave tequilana weber (AGAVE AZUL) Biomass". *Revista Mexicana de Ingeniería Química* [en línea], 2007, México, vol. 6, no. 3, pp. 295–300. [Consulta: 3 Agosto 2020]. ISSN 1665-2738. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v6n3/v6n3a9.pdf>
- SALA, L.F., et al**, "Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho". *Química y Medio Ambiente* [en línea], 2010, México, vol. 1, no. 106(2), pp. 114–120. [Consulta: 18 Septiembre 2020] ISSN 1575-3417. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3235861.pdf>
- SANCHEZ, L.**, Evaluación de la remoción de arsénico desde medios acuosos por adsorción sobre arena recubierta con óxidos de hierro naturales [en línea] (Tesis) (Grado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Química, Riobamba, Ecuador, 2019. pp. 12-17. [Consulta: 18 Septiembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9702/1/156T0003.pdf>
- TEJADA TOVAR, C., VILLABONA ORTIZ, Á. & RUIZ RANGEL, V.**, "Biomasa residual para remoción de mercurio y cadmio: una revisión". *A review: Colciencias Tipo 3: Artículo de revisión* [en línea], 2012, Colombia, vol. 6, no. 14, pp. 11- 21. [Consulta: 27 Agosto 2020] ISSN 1692-0899. Disponible en DOI: 10.21774/ing.v6i14.189.
- TOJ ATZ, O.D.**, Caracterización física, mecánica y química de fibras de desecho del fruto del

coco, para utilización en matrices fibro-reforzadas [en línea] (Tesis) (Grado), Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Guatemala, 2008. pp. 13-15. [Consulta: 9 Octubre 2020]. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/08/08\\_8571.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/08/08_8571.pdf)

**TOVAR, C., VILLABONA, A. y GARCÉS, L.,** 2015. "Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico". *TecnoLógicas* [en línea], 2015, Colombia, vol. 18, no. 34, pp. 109. [Consulta: 7 Agosto 2020] ISSN 0123-7799. Disponible en DOI: 10.22430/22565337.209.

**TUBERT, I. y TALANQUER, V.,** "Sobre adsorción: para saber, experimentar y simular". *Educación Química* [en línea], 1997, EUA, vol. 8, no. 4, pp. 186–190. [Consulta: 12 Diciembre 2020] ISSN 0187-893X. Disponible en DOI: 10.22201/fq.18708404e.1997.4.66595.

**WHITTEN, K.W., et al.,** *Química General* [en línea]. Universidad de Georgia, Athenas, U.S.A, 1992. [Consulta: 8 Noviembre 2020], pp. 884. ISBN 9684229852. Disponible en: [https://www.academia.edu/38294066/Qu%C3%ADmica\\_Whitten\\_10\\_Edici%C3%B3n\\_pdf](https://www.academia.edu/38294066/Qu%C3%ADmica_Whitten_10_Edici%C3%B3n_pdf)

**XU, S.M., et al** "Removal of Pb (II) by crosslinked amphoteric starch containing the carboxymethyl group". *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2005, China. vol. 60, no. 3, pp. 301–305. [Consulta: 21 Noviembre 2020] ISSN 01448617. Disponible en DOI: :10.1016/j.carbpol.2005.01.018.

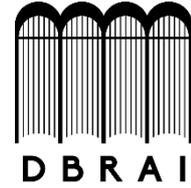
## ANEXOS

### ANEXO A: Criterios de calidad de aguas que para consumo humano y doméstico.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aluminio total	Al	mg/l	0,2
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Coliformes Totales	NMP	NMP/100 ml	20000
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,2
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Color	Color real	Unidades de Platino-Cobalto	75,0
Compuesto Fenólicos	Fenol	mg/l	0,001
Cromo	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	<2mg/l
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Difeniles Policlorinados	Concentración de agente activo		No detectable
Materia Flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,002
Nitratos	N	mg/l	10,0
Nitritos	N	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido removible por tratamiento convencional
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	>60% del OD Sat.
pH	pH		6-9
Plata	Ag	mg/l	0,05
<b>Plomo</b>	<b>Pb</b>	<b>mg/l</b>	<b>0,05</b>
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	250,0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100,0



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS  
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

**Fecha de entrega:** 04 / 02 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> PAÚL JAVIER DELGADO MENDOZA
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> CIENCIAS
<b>Carrera:</b> QUÍMICA
<b>Título a optar:</b> QUÍMICO
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

0587-DBRAI-UPT-2021