



**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TESIS**

**“FILTROS DE CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao*) PARA LA ADSORCIÓN DE PLOMO (II) EN AGUAS DE RELAVE MINERO – 2019”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR LA BACHILLER:  
SOTO LLANCO, CANDY PRISCILA

**ASESOR**  
MG. CARVO BALTAZAR, OSCAR SAUL

**HUANCAYO-PERÚ**

**2019**

**ASESOR**

**MG. CARVO BALTAZAR, OSCAR SAUL**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación es dedicado:

En primer lugar, a Dios por estar conmigo siempre.

En segundo lugar, a mi madre Clarisa Llanco Machuca, a mis hermanos José y Pamela que siempre han sido una base sólida en la cual me apoyo para lograr mis objetivos.

En tercer lugar, a mis buenos amigos con los cuales compartimos gratos momentos.

## **AGRADECIMIENTO**

A los docentes de la Universidad Alas Peruanas, los cuales me instruyeron durante los años de estudio.

Para finalizar, agradezco a mis compañeros de clase, con los cuales pasamos momentos gratos, siempre aprendiendo uno del otro.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I .....	15
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1 Caracterización de la realidad problemática .....	15
1.2 Formulación del problema.....	16
1.2.1 Problema general .....	16
1.2.2 Problemas específicos .....	16
1.3 Objetivos .....	17
1.3.1 Objetivo general .....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 Justificación .....	17
1.5 Importancia .....	18
1.6 Limitaciones .....	18
CAPÍTULO II .....	19
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	19
2.1 Marco referencial .....	19

2.1.1	Antecedentes de la investigación .....	19
2.1.2	Referencias históricas .....	21
2.2	Marco legal .....	23
2.2.1	Decreto supremo .....	23
2.3	Marco conceptual.....	24
2.4	Marco teórico .....	26
2.4.1	El plomo y su reacción con el agua .....	26
2.4.2	Consecuencias con el plomo.....	27
2.4.3	Calidad de Agua .....	27
2.4.4	Tratamientos de metales pesados con adsorbentes .....	28
2.4.5	Eliminación y retención de metales pesados en aguas .....	28
2.4.6	Variedades conocidas del “ <i>Theobroma cacao</i> ” .....	29
2.4.7	Cosecha de las mazorcas o bellotas del cacao.....	30
2.4.8	Frecuencia de la recolección del cacao.....	31
2.4.9	Desechos del proceso de beneficio del cacao .....	31
2.4.10	Propiedades de la Cáscara de cacao.....	32
2.4.11	Adsorción .....	32
2.4.12	Filtros.....	33
CAPÍTULO III .....		36
3	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....	36
3.1	Metodología .....	36
3.1.1	Método .....	36
3.1.2	Proceso Experimental .....	37
3.1.3	Desarrollo de ensayos o pruebas experimental .....	51
3.1.4	Tipo de investigación.....	52
3.1.5	Nivel de la investigación .....	52

3.2	Diseño de la investigación .....	52
3.3	Hipótesis de la investigación.....	53
3.3.1	Hipótesis general.....	53
3.3.2	Hipótesis específicas.....	54
3.4	Variables.....	54
3.4.1	Variable independiente.....	54
3.4.2	Variable dependiente.....	54
3.5	Cobertura del estudio.....	54
3.5.1	Universo .....	54
3.5.2	Población.....	54
3.5.3	Muestra .....	54
3.5.4	Muestreo .....	55
3.6	Técnicas e instrumentos .....	56
3.6.1	Técnicas de la investigación.....	56
3.6.2	Instrumentos de la investigación .....	56
3.7	Procesamiento estadístico de la información.....	56
3.7.1	Estadísticos .....	56
3.7.2	Representación .....	56
CAPITULO IV.....		57
4	ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS ....	57
4.1	Resultados .....	57
4.2	Discusión de resultados .....	61
4.2.1	Caracterización de metales pesados en las aguas de relave minero.....	61
4.2.2	Caracterización química de la cáscara de cacao sin modificar ....	62

4.2.3	Determinación de la mayor adsorción de Pb (II) de las aguas de relaves mineros utilizando filtros de cáscara de cacao .....	65
4.2.4	Determinación del pH óptimo para la adsorción de Pb (II) en aguas de relave minero utilizando filtros de cáscara de cacao.....	68
4.3	Contrastación de Hipótesis .....	69
4.3.1	Contrastación de la hipótesis .....	69
	CONCLUSIONES .....	75
	RECOMENDACIONES .....	76
	BIBLIOGRAFÍA .....	77
	ANEXOS: .....	83
	A.....	83
	B.....	93

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$Ad$  = Adsorción.

$\% Ad$  = Porcentaje de adsorción.

$Ce$  = Concentración de equilibrio.

$C_i$  = Concentración inicial.

$dL$  = Decilitro.

$d$  = Precisión (error máximo admisible en terminos de proporción).

$mm$  = Milímetros.

$m$  = Metros.

$m^2$  = Metros cuadrados.

$m^3$  = Metros cúbicos.

$\#$  = Número de mallas.

$N$  = Total de la población.

$Pb$  = Metal plomo.

$pH$  = Potencial de hidrógeno.

$p$  = Proporción esperada (en este caso  $5\% = 0,05$ ).

$q = 1 - p$  (en este caso  $1 - 0,05 = 0,95$ ).

$Q$  = Caudal ( $m^3/d$ ).

$T$  = Tiempo.

$\mu g$  = Microgramo.

$V$  = Volumen.

$Z_\alpha$  = Nivel de significancia.

EPPs = Equipo de Protección Personal.

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: LMP en actividades mineras y/o metalúrgicas</i> .....	23
<i>Tabla 2: Consecuencia del plomo en la sangre</i> .....	27
<i>Tabla 3: Propiedades de la cáscara de cacao</i> .....	32
<i>Tabla 4: Factor de corrección</i> .....	39
<i>Tabla 5: Cálculo del área total</i> .....	41
<i>Tabla 6: Tiempo promedio del flotador</i> .....	42
<i>Tabla 7: Granulometría de la cáscara de cacao</i> .....	47
<i>Tabla 8: Pesos de la cáscara de cacao sin modificar</i> .....	48
<i>Tabla 9: Pesos de la cáscara de cacao modificado</i> .....	49
<i>Tabla 10: Esquema experimental</i> .....	50
<i>Tabla 11: Diseño de investigación</i> .....	53
<i>Tabla 12: Valores a reemplazar en la fórmula</i> .....	55
<i>Tabla 13: Barrido ICPOES-Totales</i> .....	58
<i>Tabla 14: Concentración de Pb (II) después del proceso de adsorción con cáscara de cacao sin modificar</i> .....	59
<i>Tabla 15: Concentración de Pb (II) después del proceso de adsorción con cáscara de cacao modificado</i> .....	60
<i>Tabla 16: %Adsorción de Pb (II) con cáscara de cacao sin modificar</i> .....	66
<i>Tabla 17: % Adsorción de Pb (II) con cáscara de cacao modificado</i> .....	67
<i>Tabla 18: Porcentaje de adsorción de Pb (II) con cáscara de cacao sin modificar y cáscara de cacao modificado</i> .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Cacao criollo</i> .....	29
<i>Figura 2: Theobroma cacao forastero</i> .....	30
<i>Figura 3: Theobroma cacao trinitarios</i> .....	30
<i>Figura 4: Cáscara de cacao</i> .....	31
<i>Figura 5: Estructura del cacao</i> .....	32
<i>Figura 6: Muestreo en el relave minero</i> .....	38
<i>Figura 7: Medida del caudal</i> .....	40
<i>Figura 8: FT-IR espectro de la cáscara de cacao sin modificar</i> .....	62
<i>Figura 9: FT-IR de la cáscara de cacao modificado</i> .....	64
<i>Figura 10: Comparación múltiple de la adsorción de Pb (II)</i> .....	68
<i>Figura 11: Información del factor</i> .....	70
<i>Figura 12: Resultados de Anova</i> .....	70
<i>Figura 13: Gráfica de la probabilidad normal</i> .....	71
<i>Figura 14: Gráfica de efectos principales para el porcentaje de adsorción de Pb (II)</i> .....	71
<i>Figura 15: Comparaciones por parejas de Tukey</i> .....	72
<i>Figura 16: Gráfica de interacción para el porcentaje de remoción de Pb (II)</i> ...	73
<i>Figura 17: Diferencias de las medias para el porcentaje de remoción de Pb (II)</i> .....	74

## RESUMEN

Los metales pesados como el plomo representan grandes peligros para el medio ambiente, a pesar de esto las aguas de relaves mineros presentan grandes concentraciones de plomo que deben ser removidos, el presente trabajo de investigación utilizó cáscara de cacao sin modificar y modificado para los pH (3, 4, 5 y 6) con la finalidad adsorber plomo en aguas de relave minero.

En primer lugar se caracterizó químicamente las aguas de relave minero, además se realizaron análisis por el método de Espectroscopia de infrarrojos con transformadas de Fourier de las cáscaras de cacao sin modificar y modificado, en éste último se identificó grupos funcionales como carboxilo, hidroxilo, alcoholes y fenoles características estructurales que influyen en su capacidad de adsorción; en la caracterización de cáscara de cacao modificado se encontraron grupos hidroxilo y carbonilo y se advirtió bandas más anchas de vibración de estiramiento de grupos alifáticos, grupos funcionales con nitrógeno y azufre presente en su estructura, éstas características potenciaron la capacidad de adsorción de la cáscara de cacao modificado.

En segundo lugar la parte experimental fue desarrollada según la metodología propuesta, se preparó dos tipos filtros a base de cáscara de cacao sin modificar y modificado; la modificación del adsorbente se realizó mediante el método de impregnación vía húmeda con ácido clorhídrico y las muestras de agua de relave minero fueron evaluados a diferentes pH.

Entre los resultados: para la cáscara de cacao modificado a un pH 3 fue de 97,076% y 78,153% para un pH 6 los porcentajes de adsorción de Pb (II), cuando se utilizó cáscara de cacao sin modificar los resultados fueron de un 76,769 % a un pH de 3 y 47,538% para un pH 6 de adsorción de Pb (II) respectivamente; por lo cual el valor óptimo es de pH 3 y el mejor adsorbente es la cáscara de cacao modificado con los cuales se obtuvo los mejores porcentajes de adsorción de Pb (II).

## ABSTRACT

Heavy metals such as lead represent great environmental hazards due to their toxicity in plants, animals and humans, despite this the mine tailings present large concentrations of lead that must be removed in order not to modify the initial characteristics of the sources of water, this research work used unmodified and modified cocoa husk for pH (3, 4, 5 and 6) in order to adsorb lead in mine tailings waters.

First, the tailings waters were chemically characterized, and the analysis was carried out using the infrared spectroscopy method with Fourier transforms of the unmodified and modified cocoa shells. In the latter, functional groups were identified, such as carboxyl, hydroxyl, alcohols and phenols structural characteristics that influence their adsorption capacity; in the characterization of modified cocoa shell, hydroxyl and carbonyl groups were also found and broader bands of stretch vibration of aliphatic groups, functional groups with nitrogen and sulfur present in its structure were noticed, these characteristics potentiated the capacity of adsorption of the shell of modified cocoa.

In the second place, the experimental part was developed according to the proposed methodology, which indicates that two types of filters were prepared based on cocoa husk, unmodified and modified; the modification of the adsorbent was carried out by the wet impregnation method with hydrochloric acid and the water samples from the mine tailings were evaluated at different pH.

Among the results when the modified cocoa shell was used at pH 3 was 97.076% and 78.153% for a pH 6 the Pb (II) adsorption percentages, when cocoa husk was used without modifying the results were of 76.769% a pH of 3 and 47.538% for a pH 6 of Pb (II) adsorption respectively; therefore, the optimum value is pH 3 and the best adsorbent is the modified cocoa shell with which the best percentages of Pb (II) adsorption were obtained.

## INTRODUCCIÓN

En América Latina se calcula que cuatro millones de personas están expuestas a concentraciones elevadas de plomo; más aún los centros poblados que se encuentran aledañas a las actividades mineras o industriales.

Se sabe que uno de los problemas ambientales más conocidos en nuestra sociedad es la producción de efluentes residuales con una alta concentración de metales traza, para el tratamiento de éstos efluentes es necesario invertir demasiado dinero, por lo cual son emitidos de manera directa a los cuerpos de agua cercanos. Se conocen procedimientos para remover metales pesados tóxicos como son: separación por membrana, coagulación, evaporación, precipitación, etc. , que en su gran mayoría son costosos y producen una alta cantidad de lodos. Rimarachin, et al.(2015).

Por lo expuesto, se investigan nuevos métodos de tratamientos para los relaves mineros con la finalidad de reducir costos, entre los más baratos y eficientes encontramos el método de adsorción. Este método utiliza como medio filtrante a materiales orgánicos y tienen la finalidad de filtrar aguas contaminadas dándole un valor al material orgánico que normalmente es desechado sin ser aprovechado.

En el Perú, las actividades agroindustriales generan residuos, éstos son cáscaras de frutos que son aprovechados casi siempre, pero cuando no son aprovechados, acaban en su gran mayoría en los suelos, donde se aglomeran vectores perjudiciales para el cacaotero y para el ser humano. Vargas, et al. (2018).

Las cáscaras de cacao han sido reconocidas como un gran adsorbedor para la eliminación de plomo; por tanto es usado en esta investigación como la biomasa que tiene como función remover el plomo de las aguas de relaves mineros.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Caracterización de la realidad problemática**

A nivel mundial uno de los problemas de contaminación ambiental se debe al desarrollo de la actividad minera e industrial, éstas generan efluentes residuales con una acumulación alta de metales pesados. Bermejo Campos, (2016) manifiesta que los contaminantes metálicos, en comparación a los contaminantes orgánicos, no se degradan con facilidad en el medio ambiente debido a que forman sustancias complejas llamadas quelatos, éstos contaminantes tienden a acumularse en la cadena alimenticia, los cuales son venenos acumulativos en los consumidores. La eliminación del plomo del medio ambiente es prioritaria debido a su toxicidad. Acosta, et al. (2007).

En el Perú, la minería cumple un rol importante de nuestra economía, pues aporta más del 60% de nuestros ingresos. Sin embargo, contamina nuestros cuerpos de agua con relaves mineros. Estos relaves mineros contienen metales pesados como son: cadmio, arsénico, plomo, cobre y cromo; cambiando así la calidad de las aguas.

El plomo es un metal altamente dañino para el ser humano y nuestro medio de vida. Es un metal que se acumula, no es biodegradable y se concentra principalmente en la sangre. La exposición al plomo se relaciona con riesgos neurológicos y alteración del comportamiento, incluida la capacidad intelectual reducida según la revista NCYT (2018).

En la región de Cerro de Pasco en el distrito de Simón Bolívar se evidencia contaminación de plomo, Astete, muestra resultados de su investigación en el cual, pobladores de Quiulacocha, de edades entre 1 a 10 años tienen plomo en la sangre en un rango mayor a 10 ug/dL y menor de 20 ug/dL, demostrando así que las poblaciones cercanas a relaves mineros, también presentan altos niveles de plomo en la sangre. Astete, et al. (2009).

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 Problema general

- ¿Cuál es la adsorción de Pb (II) utilizando filtros de cáscara de cacao "*Theobroma cacao*" en las aguas de relave minero?

### 1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué metales pesados presentan las aguas de relaves mineros?
- ¿Cuál de los filtros de cáscara de cacao "*Theobroma cacao*" tiene la mayor adsorción de Pb (II) en las aguas de relaves mineros?
- ¿Cuál fue el pH óptimo utilizado en los filtros de cáscara de cacao "*Theobroma cacao*", para la adsorción de Pb (II) en las aguas de relaves mineros?

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Determinar la adsorción de Pb (II) utilizando filtros de cáscara de cacao "*Theobroma cacao*" en las aguas de relave minero.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los metales pesados presentes en las aguas de relaves mineros.
- Determinar cuál de los filtros de cáscara de cacao "*Theobroma cacao*" tiene la mayor adsorción de Pb (II) en las aguas de relaves mineros.
- Determinar el pH óptimo utilizado en los filtros de cáscara de cacao "*Theobroma cacao*", para la adsorción de Pb (II) en las aguas de relaves mineros.

## 1.4 Justificación

Las explotaciones mineras se llevan a cabo en su gran mayoría en lugares cercanos a nuestros cuerpos de agua. La presencia de metales pesados en los cuerpos de agua afecta a la agricultura de la zona. Larios, et al., (2015)

La eliminación de éstos metales pesados en los cuerpos de agua es de vital importancia; ya que éstos metales afectan la salud del ser humano (por acumularse en la sangre), a la vida animal y vegetal (impide la síntesis de clorofila).

La presente investigación usó filtros de cáscara de cacao de la especie "*Theobroma cacao*" para la adsorción de Pb (II) en aguas de relave minero del afluente de la laguna Quiulacocha. Ésta laguna tiene diversos problemas ambientales, ya que viene siendo expuesta al vertimiento de relaves mineros, generándose así cambios de las características iniciales

de sus aguas, en la presente investigación se utilizará aguas de un afluente de la laguna Quiulacocha, como referencia para simular el tratamiento utilizando filtros de cáscara de cacao modificado y sin modificar con el fin de disminuir la presencia de Pb (II) en aguas de relave minero.

### **1.5 Importancia**

Lo que se quiere lograr con ésta investigación es contribuir con un método de adsorción de Pb (II) utilizando filtros de cáscara de cacao. El Perú es uno de los países que más produce cacao orgánico a nivel mundial, la región Junín está incluida dentro de las zonas de alta producción de cacao, el Perú aumentó la productividad respecto al año 2017 en un 21,3% y nuestra región incrementó en un 11,27%, respecto al año 2017, reportado en un informe técnico N° 09 – setiembre 2018 del sector de producción nacional, por lo expuesto anteriormente, hay residuos significativos de cáscara de cacao, los cuales por el momento no son reutilizados por los productores, la cáscara de cacao es almacenada a los extremos de las chacras lo cual genera aglomeración de vectores, como moscas, sancudos, etc.

Entonces el uso de la cáscara de cacao es de vital importancia ya que se evita la aglomeración de vectores, además se trata las aguas de relaves mineros los cuales tienen metales pesados que son perjudiciales para la vida.

### **1.6 Limitaciones**

Elevados costos para la construcción de los filtros.

El escalamiento del filtro para un caudal real es escaso, la mayoría de trabajos de investigación lo realizan en Bach.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Marco referencial

##### 2.1.1 Antecedentes de la investigación

(Lara, Tejada, Villabona, Arrieta, & Conde, 2016). Hacen referencia en su artículo que: “Para determinar el efecto de la altura en la remoción de plomo y cadmio, usando como material adsorbente a la cáscara de cacao se realizaron experimentos para adsorberlo, resultando 91,32% y 87,80% respectivamente, por un lapso de 4,5 horas. Los resultados que se obtuvieron fueron favorables, porque se determinó que el uso de las cáscaras de cacao es eficiente en la remoción de plomo y cadmio”.

(Mânzatu, Boldizsár, & Majdik, 2016) en su artículo nos indican que el objetivo fue investigar el potencial de adsorción de la materia no tratada y tratada químicamente (tratamiento con  $NaOH$  y  $H_2O_2$ ); para la eliminación del Pb (II) de la solución acuosa. En el estudio tuvieron como variables las concentraciones iniciales de plomo,

temperatura, tamaño de partícula y pH inicial. Obteniendo como resultado una capacidad máxima de adsorción de 4,8 y 2,9 mg/g para la materia tratada y para el material no tratado fue de 3,7 mg/g.

(Kede et al., 2015) en su artículo que lleva por título “La adsorción de mercurio (II) en carbones activados derivados de **Theobroma cacao**” mencionan que: La influencia del pH y tiempo de contacto son de vital importancia para la adsorción, lo demostraron mediante una serie de experimentos por lotes. Ajustaron los datos y encontraron que la mayor remoción de mercurio fue de  $105 \text{ mg g}^{-1}$  para una concentración inicial de mercurio de 100 ppb. También se detalla que la difusión de poros jugó un papel importante en la adsorción, y la difusión intrapartícula fue el paso limitante de la velocidad durante los primeros 30 minutos. Un estudio FTIR reveló que los grupos funcionales carbonilo y azufre presentes en la superficie del material adsorbente estaban involucrados en la interacción química con el mercurio (II).

(Tejada, Herrera, & Nuñez, 2015) nos mencionan que la remoción de níquel y plomo es beneficioso en un sistema Batch. La solución que utilizaron era binaria, usando dos tipos de biomasa: cáscara de naranja y tusa de maíz. Las concentraciones que usaron variaron en 25, 50, 75 y 100 ppm para cada metal, el proceso de la adsorción lo llevaron a cabo a un potencial de hidrógeno de 6,0 con un tamaño de partícula de 0,5 mm. Obteniendo que las concentraciones iniciales y las soluciones binarias no interfieren en el porcentaje de remoción de los contaminantes, además que las isothermas Freundlich y Langmuir ofrecen una buena adaptación para los datos experimentales. Resultando que la capacidad de remoción  $Pb (II) > Ni (II)$  para las cáscaras de naranja, y de  $Ni (II) > Pb (II)$  para la tusa de maíz.

(Osakwe, Sanni, Said, Adamu, & Zubairu, 2014) en el artículo titulado: “La adsorción de metales pesados de las aguas residuales usando *Digitata adonosia*, cáscaras de frutas y *Theobroma cacao* como adsorbentes” hacen referencia que: La adsorción de iones de metales pesados usando carbón activado de *Digitata adosonia*, cáscaras de frutas y *Theobroma cacao*, mostraron su eficacia como adsorbentes para eliminar  $Pb^{2+}$  y  $Cd^{2+}$  de las aguas residuales. Ambas muestras fueron aplastadas en diferentes tamaños de partícula 300 y 450 micras. El porcentaje de eliminación de  $Pb^{2+}$  y  $Cd^{2+}$  aumentó con la disminución de la concentración inicial de iones metálicos, con el aumento del tiempo de contacto y la dosis adsorbente. La capacidad de adsorción fue de 41,20 mg/g y 29,89 mg/g para ADFS y TCP, respectivamente. Los resultados experimentales demostraron que los parámetros del proceso, tales como: la dosis de adsorbente, la concentración inicial del metal, y tiempo de contacto afectan a la absorción de ambos adsorbentes para la absorción de Pb (II) y Cd (II).

### 2.1.2 Referencias históricas

(Luzardo, Velasco, Alves, Cinturón, & Lázaro Cazorla, 2015). En su artículo que tiene por título “Caracterización química de residuos sólidos agroforestales para su utilización como adsorbentes de metales presentes en una muestra sintética” donde indican que: los grupos funcionales que se encuentran en la estructura química de las fibras de cáscaras de coco, cacao y eucalipto; influyen la capacidad de remoción de los iones  $Cd^{+2}$  y  $Cu^{+2}$ . Determinaron la capacidad de adsorción de las cáscaras utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. Para  $Cd^{+2}$ , verificaron una correlación significativa entre la capacidad de adsorción y algunos grupos funcionales químicos específicos presentes en la fibra. El uso potencial de éstas exfoliaciones, como adsorbente de iones  $Cd^{+2}$ , se centra en la existencia de grupos funcionales  $OH$ , tales

como: *aril - OH*, *aril - O - CH<sub>2</sub>* de ácidos fenólicos carboxílicos, así como grupos carbonilo derivados de sales de ácidos carboxílicos, en éstas fibras.

(Tovar Tejada, Villabona Ortiz, & Jimenez Villadiego, 2017). Mencionan que se hicieron dos modificaciones químicas con *NaOH* y *HCl* a la cáscara de cacao para adsorber al cromo (VI) y utilizaron dos métodos para observar el comportamiento de adsorción del material, donde se puede concluir que la superficie de la cáscara de cacao es heterogénea. Adicionalmente, observaron que la cáscara de cacao modificado con Ácido clorhídrico puede absorber mayor cantidad de cromo (VI).

(Cruz Pérez, 2014) en su investigación titulada “Evaluación de materiales adsorbentes para remoción del cadmio en el agua” mencionó que: “Éste experimento tiene como objetivos: llevar acabo la remoción del Cadmio presente en el agua con 4 materiales adsorbentes y comparar las concentraciones de los metales pesados en el agua con los LMP establecidos en las normas nacionales e internacionales. Se utilizó 12 Columnas de PVC hidráulico 2” de diámetro, utilizando filtros marca Whatman de 125 mm de diámetro para no dejar pasar los materiales adsorbentes, posteriormente en cada columna colocó 10 gr de cada material respectivamente, agregó 2 litros de agua con 0,4 ppm en cada columna con tiempo de retención de 30 minutos. En el segundo experimento se llevó acabo el mismo procedimiento, pero con una concentración del Cadmio de 0,8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos. Además, llevó a cabo un análisis de varianza completamente al azar. Siendo los tratamientos; T1: zeolita acondicionada con cloruro férrico, T2: arena verde tratada con cloruro férrico, T3: arena verde, T4: H.R (ruminalhealth). En el primer experimento el tratamiento más eficiente para adsorber el

Cadmio fue el T4 (ruminalhealth) ya que adsorbe 0,15 ppm, que corresponde al 37,5% de adsorción; en el segundo experimento el tratamiento más eficiente fue el T3 (arena verde), el cual disminuyó en un 0,19 ppm que corresponde al 23,75 % del Cadmio que se adsorbió”.

## 2.2 Marco legal

### 2.2.1 Decreto supremo

#### Ley General del Ambiente (LEY N° 28611)

El (Ministerio del Ambiente, 2005) nos indica lo siguiente:

- Artículo I: Del derecho y deber fundamental: “Todos tienen derecho a vivir en un ambiente sano y equilibrado”
- Artículo IX: Del principio de responsabilidad ambiental: “Toda persona que cause cualquier tipo de daño al medio ambiente debe contar con medidas que permitan restaurarlo y, si encaso no se pudiera se debe indemnizar por los daños ocasionados”.
- El Límite Máximo Permisible – LMP:  
Es la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros, químicos, físicos y biológicos, que lo caracterizan.

*Tabla 1: LMP en actividades mineras y/o metalúrgicas*

Parámetro	unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6-9	6-9
Sólidos totales en suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Plomo total	mg/L	0,2	0,16

*Fuente: Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.*

### 2.3 Marco conceptual

**Toxicidad del plomo:** “El plomo es un metal que se encuentra en el aire, agua y suelo como un agente contaminante. Además, éste afecta a la salud humana pero principalmente al sistema nervioso central (SNC)”.(Cruz Pérez, 2014)

**Aguas de relave minero:** Los relaves mineros son desechados por medio de los procesos mineros, éstos contienen metales pesados que provocan daño al ambiente y a la salud humana. (Gonzales Jimenez & Guerra Moreno, 2016)

**La agroindustria:** La agroindustria tiene la capacidad de fomentar el desarrollo económico, social y ambiental global; siempre y cuando mantenga el equilibrio entre la actividad desarrollada y la protección del medio ambiente en cada una de las etapas del proceso (Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018).

**Deshechos agroindustriales:** Los desechos que son eliminados de las industrias sin darles un proceso adecuado son considerados altamente contaminantes para el medio ambiente y la salud. Por consecuencia la gran mayoría de éstos, son vertidos en rellenos sanitarios o quemados eliminando grandes cantidades de ( $CO_2$ ). (Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018).

**Cáscara de cacao:** Es considerado un buen agente adsorbente para la remoción de los iones de metales pesados, especialmente del plomo (II) y cobre (II). (Lara et al., 2016).

**Adsorción:** Este proceso consiste en la adherencia de las partículas del fluido a la superficie del material adsorbente (viva o muerta), (Rueda, Volzone, & Martinez, 2010), la denominación del material depende de la función que realice en el sistema, de acuerdo a eso puede ser adsorbente

(superficie sólida) o adsorbato (solución). (Escobar et al., 2018). En éste proceso se encuentran variables que afectan a la capacidad tales como: el tamaño de partícula, relación disolución-adsorbente y el potencial de hidrógeno (Romero Bonilla & Rios Elizalde, 2014).

**Adsorción física:** En la adsorción física ocurren fenómenos, que se encuentran asociados a las fuerzas de estabilización molecular o fuerzas de Van der Waals. (Candelaria Tejada Tovar, Villabona Ortiz, & Ruiz Rangel, 2012)

**La adsorción química:** En este proceso ocurren interacciones químicas primarias (enlaces covalentes) es decir, tienen la atracción a iones opuestos. Dentro de este proceso ocurre la selectividad, donde se forman compuestos en la superficie del material y otros factores que colaboran con el proceso. (Laiza Cueva & Zegarra Vargas, 2016)

**Adsorbente:** Los adsorbentes son biomásas que se encuentran disponibles en el ambiente, o son productos que no son utilizados en la industria, y pueden ser aprovechados con el propósito de capturar sustancias contaminantes. (Cardona , Vargas & Zepeda , 2013).

**Lignocelulosa:** Las plantas poseen en su pared celular la lignocelulosa, que se encuentra compuesta por la lignina, celulosa y hemicelulosa y el porcentaje en el que se encuentre su composición va variar dependiendo de la especie que se utilice. (Cuervo, Folch Mallol, & Quiroz Castañeda, 2009)

**Temperatura:** Las reacciones que ocurren en la adsorción en su gran mayoría son exotérmicas; por lo tanto, la adsorción aumenta cuando se eleva la temperatura (Salazar Caya & Rodríguez, 2017). Para la remoción de plomo es necesario el incremento de temperatura porque disminuye el tiempo de contacto, por lo que se incrementa la exposición de los grupos

funcionales que reaccionan con el mismo.(Acosta, Moctezuma-Zárate, Cárdenas, & Gutiérrez, 2007)

**Tiempo de contacto:** Es el periodo que se requiere para capturar al metal, además, es un factor importante para la operación y diseño en el proceso de adsorción.

**Cinética de bioadsorción:** Mediante la cinética de bioadsorción se puede conocer la velocidad en que se adsorben los metales en los bioadsorbentes. (Vera, Uguña, García, Flores, & Vázquez, 2015).

**Potencial de hidrógeno en la solución:** Determina la desprotonación y protonación de los grupos funcionales que se encuentran en el material adsorbente (Lara et al., 2016).

**Iones presentes en solución:** Los iones encontrados en los efluentes industriales pueden afectar el porcentaje de remoción de metales pesados como: *Cr, Cd y Pb* (Fabián et al., 2009).

**Concentración inicial del metal:** Es el factor de concentración de una especie metálica. (Lara et al., 2016).

**Filtración:** Es un proceso mecánico por el cual se permite la retención de partículas, microorganismos y material coloidal de una sustancia acuosa mediante la utilización de un medio filtrante, el cual permite que el agua pase mejorando con ello sus propiedades químicas. (Cruz Pérez, 2014).

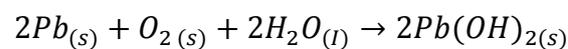
## 2.4 Marco teórico

### 2.4.1 El plomo y su reacción con el agua

Es un metal pesado, flexible, color azulado, hierve a  $1725^{\circ}\text{C}$  e inelástico. Es parcialmente resistente al ataque de  $\text{HCl}$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , el

plomo muy rara vez se le encuentra en su forma elemental, lo encontramos en forma de galena, carbonato, uranio, cerusita y de torio. (Raraz Palpán, 2015)

(Gonzales Jimenez & Guerra Moreno, 2016) nos mencionan que el plomo directamente con el agua no reacciona, pero cuando es expuesto al aire húmedo, su reactividad aumenta como se muestra en la siguiente reacción:



#### 2.4.2 Consecuencias con el plomo

El plomo se incorpora en la sangre y se almacena en los tejidos, órganos, dientes y huesos. En la siguiente tabla se muestra cuáles son los efectos de la sangre:

*Tabla 2: Consecuencia del plomo en la sangre*

<b>Efectos</b>	<b>Nivel del plomo en la sangre (mcg/dL)</b>
Encefalopatía	100
Problemas de concentración, cambio de carácter e insomnio.	60-70
Daños en el riñón	40
Reducción de los glóbulos rojos	50
Presión arterial alta	30
Anemia	60

*Fuente: (Departamento de salud y servicios humanos de los Estados Unidos, 2007)*

#### 2.4.3 Calidad de Agua

Se centra en describir las características del agua, tales como químicas, físicas y biológicas, en su estado natural o cuando han sido contaminadas por el hombre, esta agua debe ser inocua para el ser que lo utilice, es decir, no debe de causar ningún tipo de daño (Arce & Calderón, 2017).

#### **2.4.3.1 Parámetros físicos del agua**

Conductividad eléctrica:

Nos indica la capacidad que tiene el agua para transportar corriente eléctrica. (Leguía Ramírez & Puma Torres, 2016).

#### **2.4.3.2 Parámetros químicos del agua**

Potencial de hidrógeno (*pH*):

Este valor se refiere a la concentración de iones de hidrógeno [ $H^+$ ], el cual determina si la solución se encuentra ácida o alcalina, existe una escala para la medición y esta tiene un rango de 0 a 14, donde 7 representa la neutralidad. (Leguía Ramírez & Puma Torres, 2016).

#### **2.4.4 Tratamientos de metales pesados con adsorbentes:**

La eliminación del plomo es importante ya que altera significativamente la vida animal y la del ser humano, debido a ésta alteración en los años recientes, ha existido un interés creciente en el uso de bioadsorbentes provenientes de desechos agrícolas, los cuales también han sido utilizados en la remoción de Pb (II). (Acosta et al., 2007).

#### **2.4.5 Eliminación y retención de metales pesados en aguas**

Hay tres categorías para realizar procesos biotecnológicos para el tratamiento de aguas contaminadas que contengan metales tóxicos como son: La captación, bioadsorción y precipitación mediante biopolímeros purificados. Las eliminaciones de los metales pesados por procesos biológicos son de menor costo y altamente eficientes.

El tratamiento químico es totalmente costoso porque el agente activo no se puede recuperar para que pueda ser reutilizado y éste

proceso elimina lodos con réstos de metales pesados de alta concentración que dificultan su eliminación. Algunos metales pesados son necesarios para el metabolismo y crecimiento microbiano, pero en bajas concentraciones. (Romero Bonilla & Rios Elizalde, 2014).

## 2.4.6 Variedades conocidas del “*Theobroma cacao*”

### 2.4.6.1 Criollos

Es del tipo más cultivado, sin embargo, es un árbol muy susceptible a enfermedades, por lo que han sido reemplazados por otro tipo de árboles: como el “forastero”. La calidad de cacao que produce esta variedad es la mejor (Hebbar, Bittenbender, & Doherty, 2010).

*Figura 1: Cacao criollo*



*Fuente:(Baena & García,2012)*

### 2.4.6.2 Forasteros

Son de la variedad más fuerte, son menos susceptibles a enfermedades y plagas que los “criollos”. Es rico en sabor a chocolate, posee semillas de color púrpura y son de tonalidad morada (Hebbar et al., 2010).

*Figura 2: Theobroma cacao forastero*



*Fuente: (Baena & García Cardona, 2012)*

#### **2.4.6.3 Trinitarios**

Los trinitarios se dan por la unión de dos variedades (criollo y forastero). Sus hojas y troncos son gruesos, por lo que son una variedad muy fuerte, sus mazorcas poseen distintas tonalidades (Hebbar et al., 2010).

*Figura 3: Theobroma cacao trinitarios*



*Fuente: (Baena & García Cardona, 2012)*

#### **2.4.7 Cosecha de las mazorcas o bellotas del cacao**

Este proceso depende de la madurez de las mazorcas de cacao, también se puede advertir por un olor especial, otra manera de

saber si el cacao ya está listo para ser cosechado es un sonido característico, el cual simula que hay algo desprendido en su interior. La maduración oscila entre 5,5 y 6,5 meses después del cuajamiento o fecundación de la flor.(Julián Moreno & Alfonso Sanchez, 1989).

#### **2.4.8 Frecuencia de la recolección del cacao**

La continuidad de la cosecha va a depender de la cantidad de frutos maduros, puede ser hasta semanal, si en caso existen enfermedades la cosecha puede adelantarse para eludir las pérdidas. (Tapia F & Villavicencio P, 2007).

#### **2.4.9 Desechos del proceso de beneficio del cacao**

En la producción de cacao, el primer desecho es la cáscara, que es obtenida después del desvainado y corresponde el 90% del fruto. Estos desechos son un gran problema para la agricultura ya que, no le dan reutilización, debido a sus características que presentan. (Baena & García Cardona, 2012).

*Figura 4: Cáscara de cacao*



*Fuente: Elaboración Propia.*

#### 2.4.10 Propiedades de la Cáscara de cacao

Las características fisicoquímicas que presentan las cáscaras de cacao son las siguientes:

*Figura 5: Estructura del cacao*



*Fuente: (Navarro & Mendoza, 2009)*

*Tabla 3: Propiedades de la cáscara de cacao*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
% Humedad	11,40
% Cenizas	6,58
% Proteínas	8,59
% Fibra	12,14
% Grasa Cruda	9,93
% Carbohidratos	51,36
% Carbono Orgánico	10
$T_{fusión}/^{\circ}C$	30 – 35

*Fuente: (Serruya, Soledad, & Gutiérrez, 2009)*

#### 2.4.11 Adsorción

La adsorción es un fenómeno fisicoquímico debido a sus múltiples aplicaciones, tanto en la industria química como en el laboratorio. Tubert, et al.(1997).

Se centra en separar un componente disuelto en una corriente (liquida o gas) por medio de una retención del sólido (adsorbente). El proceso de separación pasa por tres mecanismos éstos son: estérico (por la dimensión de los poros que permite el paso de pequeñas moléculas), cinético (por las velocidades de difusión en los poros) y equilibrio (porque los adsorbentes presentan propiedades que permitan la retención de distintas especies). Grisales, et al.(2016)

#### **2.4.11.1 Procedimiento de la adsorción**

Son empleados para: Recuperar metales, purificar aguas residuales, separar componentes, entre otros. Cuando las situaciones experimentales son controladas, el material es capaz de capturar selectivamente sobre su superficie iones libres en una fase acuosa envolvente, fenómeno que permite retener un ion metálico en particular. (Rueda et al., 2010).

#### **2.4.11.2 Aplicación de la adsorción con biomásas**

Se utiliza para la purificación de aguas residuales, ya que presenta una buena capacidad de adsorción, este va a depender de las características del material que se va a utilizar. Las biomásas son: fáciles de obtener, reutilizables, económicas y, se pueden utilizar dos biomásas de forma paralela con el propósito de remover diferentes tipos de iones metálicos. (Vera et al., 2015)

#### **2.4.12 Filtros**

Los filtros se utilizaron para la purificación del agua, en la actualidad éstos son más sofisticados, se diferencian por la fuerza

que provoca el flujo: gravedad o presión, este último, puede ser a causa de un equipo de bombeo. Por el tipo de material que contienen puede ser homogéneo o simple, se llaman duales cuando se tiene dos tipos de materiales y múltiples, cuando se tiene más de dos tipos de materiales.

(Cortéz & Limpio, 2013) nos menciona que: “cada vez que se trate entre 2800 y 3750 litros de agua filtrada se debe reemplazar el filtro de carbón. Además, el tamaño de los poros y de las partículas van a influir en la capacidad de remoción”.

Para saber si un filtro de carbón activado está funcionando correctamente es someter a un análisis el agua que ya ha sido filtrado, ya que el color ni el olor se pueden utilizar como referente. (Cortéz & Limpio, 2013).

#### **2.4.12.1 Filtración:**

La filtración es un proceso en la cual se llevarán a cabo la separación de un sólido con un líquido, debido a que en el filtro se retienen o adhieren los sólidos para luego dejar paso al filtrado. En este tipo de proceso se aplica la ley de Darcy, donde indica que el caudal que se atraviesa era proporcional a la sección del área y a la diferenciación de las alturas ( $\Delta h = h_1 - h_2$ ) que será dividida por la inferencial de las longitudes ( $\Delta l = \Delta l_2 - \Delta l_2$ ).

Según se muestra:

$$Q = kA \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

Donde

$k = \text{Constante de permeabilidad} .$

$A =$  Área de sección transversal, en  $m^2$

$\Delta h = (h_1 - h_2)$  Diferenciación de las alturas.

$\Delta l = (\Delta l_1 - \Delta l_2)$  Diferenciación de las longitudes.

En la filtración para la adsorción de solutos se pueden usar distintos tipos de materiales, pero entre los que más resaltan encontramos al carbón activado. Este material posee una alta capacidad de adsorber compuestos inorgánicos, metales pesados e inorgánicos pero debido a su costo elevado es muy poco usado.

## **CAPÍTULO III**

### **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Metodología**

Se usó una metodología aplicada y experimental, en la cual se desarrolló los procedimientos previos y experimentales que tienen como fin usar los conocimientos de antecedentes.

##### **3.1.1 Método**

En la presente investigación se desarrolló el método experimental porque se aplica la observación de fenómenos ocurridos en esta investigación, además se realizaron pensamientos abstractos con las cuales se elaboraron las hipótesis y se diseñó el experimento el cual es nuestro objeto de estudio controlando los fenómenos para probar la validez de la hipótesis.

## **3.1.2 Proceso Experimental**

### **3.1.2.1 Ubicación geográfica:**

El trabajo de investigación se realizó, en primer lugar en el Distrito de San Martín de Pangoa el centro poblado Naylamp de Sonomoro ubicado en el departamento de Junín con la recolección de la cáscara de cacao, en segundo lugar fue en el departamento de Cerro de Pasco en el distrito de Simón Bolívar, del cual se realizó la toma de muestras del agua de relave y el tercer lugar fue en el laboratorio de la Universidad Alas Peruanas filial – Huancayo, donde se procesó la biomasa y se realizó el experimento.

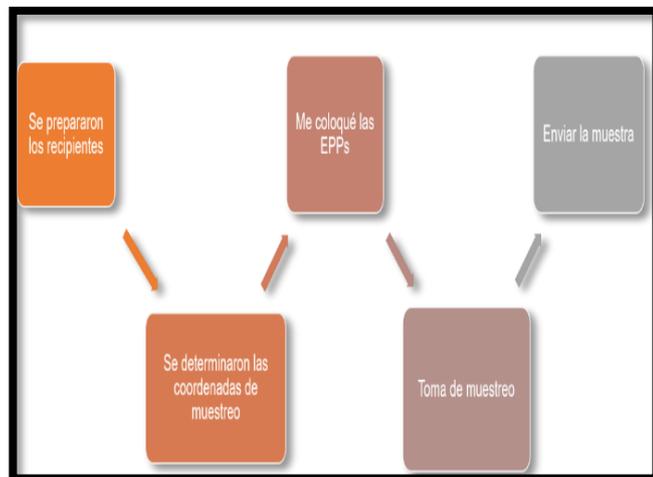
### **3.1.2.2 Recolección de muestra**

Para la toma de muestra se utilizó el Protocolo propuesto la Autoridad Nacional del Agua, (2016), el cual tiene el siguiente procedimiento:

- Se rotuló los recipientes para la toma de muestra con información necesaria (nombre del muestreador y el punto muestreo).
- El punto de muestreo se realizó en las siguientes coordenadas UTM X=35991; Y=8816624.
- Previamente a la toma de muestra se prepararon las soluciones estándar de pH. Además de los materiales (frascos) y equipos necesarios.
- Para tomar las muestras del relave minero se usaron adecuadamente los EPPs (Equipo de Protección Personal).

- Para la toma de muestra se llenaron en frascos de polietileno de alta densidad (PE-HD) de 500 mL con una porción de agua del efluente. Éste fue sumergido en dirección contraria al flujo, dejé un espacio para colocar el ácido como preservante (ácido nítrico).
- Se almacenaron los frascos en el cooler de forma vertical para que sea enviado al Laboratorio de Yauli donde fueron analizados.
- Por último, siguiendo los mismos procedimientos, se recolectaron tres baldes de plástico transparente, cada uno con una capacidad de 35L de agua de relave minero, para el desarrollo de los ensayos experimentales.

*Figura 6: Muestreo en el relave minero*



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.1.2.3 Medición de caudal del relave minero

El Ministerio de Agricultura y Riego, (2015) en su Manual N°5 nos menciona el método del flotador para realizar la medición del caudal. Mediante el siguiente cálculo:

$$Q = f_c \times A \times (L/T)$$

Donde:

$Q$  = Es el caudal, en  $m^3/s$

$L$  = Es la longitud entre A y B (en metros)

$A$  = Es el área, en  $m^2$

$T$  = Es el tiempo promedio en segundos

$f_c$  = Es el factor de corrección (relacionado con la velocidad).

El valor de  $f_c$  se debe relacionar de acuerdo al tipo de río o canal y a la profundidad del mismo, de acuerdo a los valores de la siguiente tabla.

Tabla 4: Factor de corrección

Tipo de cauce	Factor de corrección ( $F_c$ )
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15	0,8
Canal en Tierra, profundidad del agua >15 cm	0,7
Riachuelos profundidad del agua > 15cm	0,5
Canales de tierra profundidad del agua	0,25-0,5

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).

*Figura 7: Medida del caudal*



*Fuente : Elaboración Propia*

Para hallar el cálculo matemático se debe seguir los siguientes pasos:

- Seleccionamos el lugar adecuado, es necesario que se realice en una longitud alrededor de 5 a 10 metros, donde el agua discurra libremente.
- Se midió un tramo de 5 metros.
- Se ubicaron dos puntos (1 y 2) en el tramo. El punto "1" fue el de inicio y el punto "2" fue la llegada.
- Se dividió el ancho del cauce en tramos iguales de 13 cm.
- Los valores de las profundidades obtenidas se mostrarán en la tabla N°5.
- Se procedió a medir el área parcial mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Area } i = \frac{(h_0 + h_1)}{2} * e$$

Donde:

$h_0$  = Altura inicial, para cada caso

$h_1$  = Altura de la siguiente profundidad

$e$  = En este caso es 0,13 m

Tabla 5: Cálculo del área total

Espacios	Metros	Profundidades	Cantidades (m)	Área parcial
$e_0$	0	$h_1$	0	0
$e_1$	0,13	$h_2$	0,11	0,007
$e_2$	0,13	$h_3$	0,15	0,0169
$e_3$	0,13	$h_4$	0,17	0,0208
$e_4$	0,13	$h_5$	0,10	0,0175
$e_0$	0,13	$h_6$	0	0,0006
Área total (m <sup>2</sup> )			0,074 m <sup>2</sup>	

Fuente: Elaboración propia

- Se procedió a lanzar un flotador a tres metros del punto “1”. Cuando el flotador pasó por el punto “1” se empezó a medir el tiempo y cuando este llegó al punto “2” se finalizó la toma del tiempo. En la siguiente tabla se muestran los tiempos recorridos del flotador en un tramo de cinco metros.

Tabla 6: Tiempo promedio del flotador

N° de lanzamiento	Tiempo
1	13,3 seg.
2	14,9 seg.
3	13,99 seg.
4	14,99 seg.
Tiempo promedio	13,5 seg.

Fuente: Elaboración propia.

- Posteriormente, hallaremos la velocidad según se muestra:

$$v = \frac{L}{T_p} = \frac{5(m)}{13,5 (seg)}$$

$$v = 0,3846 \text{ m/s}$$

- Por último, se procedió aplicar el modelo matemático de caudal donde el valor obtenido fue de  $1710,72 \text{ m}^3/d$  como se muestra a continuación:

$$Q = f_c \times A \times (L/T)$$

Donde:

$$f_c = 0,7 \text{ de acuerdo a la tabla N}^\circ 4$$

Entonces:

$$Q = 0,7 \times 0,074 \text{ m}^2 \times 0,3846 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,00198 \text{ m}^3/\text{s} \cong 1710,72 \text{ m}^3/d$$

#### 3.1.2.4 Cálculo de la dimensión del filtro

- Según (Higuera Cobos, Arroyave Londoño, & Florez Garcia, 2009) para determinar la dimensión del filtro, es de suma importancia conocer el caudal porque con este se puede hallar el número de filtros necesarios que se usaron en la adsorción mediante el siguiente modelo matemático:

$$N = 0,044\sqrt{Q}$$

Donde:

$N$  = número de filtros.

$Q$  = caudal  $m^3/d$

Reemplazando:

$$N = 0,044\sqrt{1710,72}$$

$$N = 1.819 \cong 2$$

- Se halló el área del filtro mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{Q}{V}$$

Donde:

$A$  = área.

$Q$  = caudal.

$V$  = velocidad de filtración ( $180 m/d$ ) ,según (Higuera Cobos et al., 2009)

Reemplazando:

$$A = \frac{855.36 \text{ m}^3/d}{180 \text{ m/d}} = 4,752 \text{ m}^2$$

- Para dimensionar el filtro a escala laboratorio se utilizó un escalamiento de 152,4 (Higuera Cobos et al., 2009) el cual afecta de manera directa al área, obteniendo un área de 0,0311m<sup>2</sup> como se muestra a continuación:

$$"A" = \frac{4.752 \text{ m}^2}{152,4}$$

$$A = 0.0311 \text{ m}^2 \cong 310 \text{ cm}^2$$

- Para el escalamiento de la velocidad (Higuera Cobos et al., 2009) utilizó 12,5. Según se muestra:

$$v" = \frac{180 \text{ m/d}}{12,5} = 14,4$$

- Por último, se halló el ancho y largo del filtro mediante los siguientes modelos:

$$b = \sqrt{310} = 17.60 \cong 18 \text{ cm}$$

$$Lf = b * 1.2 = 21.6 \cong 22 \text{ cm}$$

### 3.1.2.5 Construcción del filtro

El filtro que se utilizó en esta investigación es el horizontal, compuesto por cinco cámaras que se encuentran conectadas entre sí y construido con un material acrílico. (Batista et al., 2016) Para la

construcción de este filtro se debe seguir los siguientes pasos:

- Se dividirán cuatro paredes, el material del filtro tiene un espesor de 0,2 cm.
- Cada pared que divide debe tener una abertura en la parte inferior de 2, 3, 4 y 5 centímetros; con la finalidad que a través de estas aberturas fluya el agua. Entre la cámara una y dos la pared tenía una abertura de 2 cm en la parte inferior, entre la cámara dos y tres tenía una abertura de 3 cm en el lado superior. Por último, se tiene a la pared de la cámara cuatro y cinco que contiene una abertura de 5 cm en la parte superior.

#### **3.1.2.6 Preparación del material adsorbente (Cáscara de cacao de la especie *Theobroma cacao*)**

- Primero, se recolectó las cáscaras de cacao del centro poblado Naylamp Sonomoro, Distrito de San Martín de Pangoa, departamento de Junín, Perú.
- Para obtener la materia prima deseada (cáscara de cacao) se separó la cáscara de cacao de sus vainas.
- Se embolsaron las cáscaras de cacao para ser enviadas a la provincia de Huancayo.
- Lavar la cáscara de cacao con agua destilada para eliminar las resinas reductoras e impurezas.
- Se procedió a cortar las cáscaras de cacao con una medida aproximada de 5 cm, con el propósito que se pueda manipular.
- Se secó en un horno a 90°C por un lapso de 24 horas.

- Se llevó a un molino convencional las cáscaras de cacao para la reducción del tamaño.
- Por último, se tamizaron las cáscaras de cacao con mallas #4 (4.76mm), #10 (1.65mm), #20 (0.841mm) y #3/8 (9.5mm).

### 3.1.2.7 Activación química del adsorbente:

Según (Lavado Meza Carmencita, Sun Kou, & Recuay Arana, 2012) el procedimiento que se sigue para la activación química por el método de impregnación vía húmeda, es la siguiente:

- La cáscara de cacao se activó por medio del ácido clorhídrico con el 50% de pureza, y la proporción usada es de:
 
$$\frac{1g}{g(cc)} \left[ masa\ activante \frac{g}{masa} de\ cáscara\ de\ cacao \right]$$
- La materia obtenida se lavó con agua destilada para ingresar a la estufa.
- Para secar la materia se ingresó a un horno con una temperatura 110°C. Después dos horas se obtuvo el cacao activado (material adsorbente modificado).

### 3.1.2.8 Caracterización del adsorbente:

Según (Acevedo, Giraldo, & Moreno-Piraján, 2017) se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Las muestras obtenidas se sometieron a un análisis de espectroscopía de infrarrojos con transformada de Fourier (FTIR) (Modelo FTIR-8700 de la marca SHIMADZU) con el propósito de determinar los grupos funcionales presentes.
- Para que la muestra ingrese al FTIR se molió la muestra en un mortero.

- Una vez molida la muestra se mezcló con *KBr* (Bromuro de potasio), conformando una pastilla para el ingreso al FTIR.

### 3.1.2.9 Determinación de los componentes en el filtro

Los valores que se usaron en la investigación se indican en la siguiente tabla:

*Tabla 7: Granulometría de la cáscara de cacao*

<b>Capa</b>	<b>Peso (gramos)</b>
Cáscara de cacao (malla # 4)	200 g
Cáscara de cacao (malla # 20)	100 g
Cáscara de cacao (malla # 10)	150 g
Cáscara de cacao (malla#3/8)	50 g

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.1.2.10 Modificación del pH

Para modificar el pH se utilizó 20 gramos del reactivo de *NaOH* que fueron disueltos en 500 mL de agua destilada. Inmediatamente, se ajustó el pH por goteo a las aguas de relaves mineros. Alcanzando un pH de 3, 4, 5 y 6.

### 3.1.2.11 Filtros de cáscara de cacao

Para esta investigación se utilizó dos filtros, el primer filtro es de cáscara de cacao sin modificar, el segundo filtro se usó cáscara de cacao modificado.

Para las corridas experimentales de los filtros se tuvo un caudal de ingreso al filtro de 0,35 mL/seg y un volumen de 4 L por cada corrida.

- El Filtro N°1 (la cáscara de cacao sin modificar) contenía cuatro capas de cacao con diferentes masas y granulometrías, entre capa y capa se dejaba un vacío con el propósito de facilitar el fluido del agua.

*Tabla 8: Pesos de la cáscara de cacao sin modificar*

Capa	Peso (mm)	Agua a tratar			
		pH			
Cáscara de cacao sin modificación química (malla#4)	200 g	3	4	5	6
Cáscara de cacao sin modificación química (malla # 20)	100 g	3	4	5	6
Cáscara de cacao sin modificación química (malla # 10)	150 g	3	4	5	6
Cáscara de cacao sin modificación química (malla#3/8)	50 g	3	4	5	6

*Fuente: Elaboración propia*

- En el Filtro N°2 se encuentra la cáscara de cacao que fue modificada químicamente con ácido clorhídrico (HCl) a 1N y se utilizaron 9,2 mL para cada tamaño de cáscara de cacao modificado. Este filtro compone de cuatro capas de cacao modificado a diferentes granulometrías y dejando un espacio entre las capas con el fin de facilitar el paso del fluido.

Tabla 9: Pesos de la cáscara de cacao modificada

Capa	Peso (mm)	Agua a tratar pH			
		3	4	5	6
Cáscara de cacao modificado químicamente con ácido clorhídrico (HCl). (malla # 3/4)	200 g	3	4	5	6
Cáscara de cacao modificado químicamente con ácido clorhídrico (HCl). (malla # 3/8)	100 g	3	4	5	6
Cáscara de cacao modificado químicamente con ácido clorhídrico HCl (malla # 4 )	150 g	3	4	5	6
Cáscara de cacao modificado químicamente con ácido clorhídrico (HCl). (malla # 10)	50 g	3	4	5	6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Esquema experimental

Caracterización físico químicos de las aguas de relave minero	Recolección de la cáscara de cacao	Preparación del adsorbente	Filtro	pH	Corrida Experimental
Muestreo finito, para su posterior análisis.	50 kg de cáscara de cacao	Lavado y secado del adsorbente  Caracterización del adsorbente  Activación química del adsorbente	Dimensionamiento del filtro tipo columna. (Higuera Cobos et al., 2009)	Valores de pH para la investigación pH =3, pH =4, pH =5 y pH =6  Sm= Adsorbente sin modificaciones  M= Adsorbente modificado	R <sub>1</sub> R <sub>1</sub> R <sub>1</sub> R <sub>1</sub>  R <sub>2</sub> R <sub>2</sub> R <sub>2</sub> R <sub>2</sub>  R <sub>3</sub> R <sub>3</sub> R <sub>3</sub> R <sub>3</sub>  R <sub>4</sub> R <sub>4</sub> R <sub>4</sub> R <sub>4</sub>  R <sub>1</sub> R <sub>1</sub> R <sub>1</sub> R <sub>1</sub>  R <sub>2</sub> R <sub>2</sub> R <sub>2</sub> R <sub>2</sub>  R <sub>3</sub> R <sub>3</sub> R <sub>3</sub> R <sub>3</sub>  R <sub>4</sub> R <sub>4</sub> R <sub>4</sub> R <sub>4</sub>
R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> y R <sub>4</sub> : Son las repeticiones por cada corrida experimental.					

Fuente :Elaboración Propia

### 3.1.3 Desarrollo de ensayos o pruebas experimental

#### 3.1.3.1 Materiales

- Frascos.
- Marcadores.
- Etiquetas para los frascos.
- Cuaderno para anotaciones.
- Vasos de precipitación de 250 mL.
- Vasos de precipitación de 100 mL.
- Vasos de precipitación de 50 mL.
- Mallas para el tamizaje (#4 (4.76 mm), #10 (1.65 mm), #20 (0.841 mm) y #3/8 (9.5 mm)).
- Varilla de vidrio.
- Probeta de 25 mL.
- Probeta de 50 mL.
- Probeta de 100 mL
- Matraz.
- Ácido clorhídrico (500 mL).
- Hidróxido de sodio (20 g).
- Agua destilada (5000 mL) .
- Mallas separadoras para los adsorbentes.
- Regla.
- 12000 g de cáscara de cacao.
- Cooler.

#### 3.1.3.2 Equipos

- 01 Biofiltro multicámaras
- 01 Estructura metálica
- 01 Molino convencional
- 02 Balanzas semianalíticas
- 01 pH-metro

01 Cámara fotográfica

01 Cronometro

#### **3.1.4 Tipo de investigación**

El tipo de investigación que se realizó fue la investigación aplicada ya que tuvo como objetivo crear nueva tecnología a partir de los conocimientos adquiridos a través de la investigación estratégica para determinar si éstos pueden ser útilmente aplicados con o sin mayor refinamiento para los propósitos definidos.

#### **3.1.5 Nivel de la investigación**

El nivel de investigación utilizada fue la investigación explicativa cuya finalidad es explicar el comportamiento de una variable en función de otras en el cual se plantea una relación de causa y efecto requiere de un control tanto metodológico como estadístico.

### **3.2 Diseño de la investigación**

El diseño que se aplicó fue el diseño de bloques completamente aleatorio (DBCA). Este tipo de diseño son aplicables a unidades experimentales que puedan ser agrupadas, donde la cantidad de tratamientos sea igual a la cantidad de unidades por grupo.

Tabla 11: Diseño de investigación

		pH ( $\alpha_i$ )			
		Ph <sub>1</sub> =3	Ph <sub>2</sub> =4	Ph <sub>3</sub> =5	Ph <sub>4</sub> =6
S	M	X <sub>111</sub>	X <sub>121</sub>	X <sub>131</sub>	X <sub>141</sub>
		X <sub>112</sub>	X <sub>122</sub>	X <sub>132</sub>	X <sub>142</sub>
$\beta_j$		X <sub>113</sub>	X <sub>123</sub>	X <sub>133</sub>	X <sub>143</sub>
	M	X <sub>211</sub>	X <sub>221</sub>	X <sub>231</sub>	X <sub>241</sub>
		X <sub>212</sub>	X <sub>222</sub>	X <sub>232</sub>	X <sub>242</sub>
		X <sub>213</sub>	X <sub>223</sub>	X <sub>233</sub>	X <sub>243</sub>

Fuente: Elaboración propia

### Modelo Aditivo Lineal

$$X = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- X = Observación cualesquiera dentro del experimento
- $\mu$  = Media poblacional
- $\alpha_i$  = potencial de hidrógeno (pH)
- $\beta_j$  = Cáscara de cacao (SM= sin modificar, M= modificado)
- $\varepsilon_{ij}$  = Error experimental
- i = 1, 2, ....., t; tratamientos
- j = 1, 2, ....., r; repeticiones

### 3.3 Hipótesis de la investigación

#### 3.3.1 Hipótesis general

No se logra adsorber Pb (II) utilizando filtros de cáscara de cacao “*Theobroma cacao*” en aguas de relave minero.

### 3.3.2 Hipótesis específicas

- Los metales presentes en las aguas de relave minero son: As, Cu, Fe, Pb y Zn y sobrepasan el 0,3 ppm; 0,10 ppm; 5 ppm; 0,3 ppm y 4 ppm respectivamente.
- El filtro con cáscara de cacao modificado adsorbe un 56% de Pb (II) de las aguas de relaves mineros.
- El pH óptimo utilizado en los filtros de cáscara de cacao para la adsorción de plomo (II) en aguas de relaves mineros es de 5.

## 3.4 Variables

### 3.4.1 Variable independiente

A: Tipos de filtros de cáscara de cacao.

B: Potencial de hidrógeno (pH).

### 3.4.2 Variable dependiente

Adsorción de Pb (II).

## 3.5 Cobertura del estudio

### 3.5.1 Universo

$1710,72 \text{ m}^3/d$

### 3.5.2 Población

La población se calcula dividiendo  $855.36 \text{ m}^3/d$ , entre 152,4 para escalar a laboratorio convirtiendo a mililitros por segundo,  $64,93 \text{ mL/s}$ .

### 3.5.3 Muestra

Se utilizó el modelo matemático para el “cálculo de la muestra poblaciones finitas”, este resultado se dónde se tiene la finalidad de determinar el número de muestra. Como se muestra a continuación:

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 * P * q}{e^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * P * q}$$

Donde:

N = Total de la población

Zα= (0,37) al cuadrado (si la seguridad es del 71,14%)

p = proporción esperada (en este caso 5% = 0,5)

q = 1 – p (en este caso 1-0,5 = 0,5)

e = precisión (en la investigación se usará un 10%).

*Tabla 12: Valores a reemplazar en la fórmula*

<b>P =</b>	<b>0,5</b>
<b>Q =</b>	0,5
<b>E =</b>	0,1
<b>Z<sub>(α%)</sub> =</b>	0,37
<b>N =</b>	64,93
<b>n =</b>	x

*Fuente: Elaboración propia*

$$n = \frac{64,93 * 0,37^2 * (0,5 * 0,5)}{0,10(64,93 - 1) + 0,37^2 * (0,5 * 0,5)}$$

$$n = 0,35 \text{ mL/s}$$

Remplazando los valores en la ecuación se obtiene una muestra de 0,35 mL/s del afluente de la laguna de Quiulacocha (agua de relave minero).

#### **3.5.4 Muestreo**

El muestreo que se realizó de acuerdo a los pasos descritos por el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos

Hídricos Superficiales de la (Autoridad Nacional del Agua, 2016). Además, en el proyecto el parámetro que se quiere evaluar es la concentración del plomo en el afluente de la laguna Quiulacocha por lo que se utilizó ácido nítrico para la conservación de la muestra.

## **3.6 Técnicas e instrumentos**

### **3.6.1 Técnicas de la investigación**

- Técnicas documentales: fuentes primarias de información, fuentes secundarias de información
- Técnicas de campo: objetivos de la observación, requisitos al observar.

### **3.6.2 Instrumentos de la investigación**

- Procedimiento de muestreo (Según el Protocolo de monitoreo del ANA).
- Reportes emitidos por los laboratorios donde fueron llevados analizar las muestras de las aguas de relaves mineros.
- Resúmenes de trabajo.

## **3.7 Procesamiento estadístico de la información**

### **3.7.1 Estadísticos**

Prueba de ANOVA

### **3.7.2 Representación**

Las representaciones de la parte experimental se darán por medio de reportes de laboratorios, los cuales se mostraron mediante imágenes y representaciones gráficas de barra, líneas, proyecciones y cuadros de registro de datos.

## **CAPITULO IV**

# **ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1 Resultados**

Se tomaron muestras de relave minero ubicado en el centro poblado de Quiulacocha en el distrito de Simón Bolívar Cerro de Pasco; de acuerdo al protocolo y metodología ya explicada, esta muestra fue caracterizada por el método de ICP (plasma de acoplamiento inductivo) OES (espectrofotómetro de emisión óptico).

Los resultados de las concentraciones de los metales pesados del relave minero se presentan en la Tabla 13, éstos resultados fueron obtenidos del Reporte LQY-9.1-57– del Laboratorio Yauli.

Tabla 13: Barrido ICPOES-Totales

<b>Parámetros</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidades</b>
<b>pH</b>	2,93	Unid.
<b>Al</b>	1,23	ppm
<b>As</b>	1,51	ppm
<b>Cd</b>	0,01	ppm
<b>Cr</b>	0,00	ppm
<b>Cu</b>	2,06	ppm
<b>Fe</b>	123,54	ppm
<b>K</b>	16,38	ppm
<b>Mg</b>	42,34	ppm
<b>Mn</b>	38,98	ppm
<b>Na</b>	5,21	ppm
<b>Pb</b>	0,65	ppm
<b>Sr</b>	0,92	ppm
<b>Zn</b>	1,23	ppm

*Fuente: Elaboración Propia*

El adsorbente fue obtenido del centro poblado Naylamp de Sonomoro, este adsorbente se activó químicamente como explica la metodología; en el proceso de las corridas experimentales se comparó la mayor adsorción de Pb (II) de las cáscaras de cacao sin modificar y cáscara de cacao modificado con ácido clorhídrico obtenidos en las pruebas experimentales las cuales se detallan en el reporte N° 39-2019, siendo éstas el analizadas por espectrofotometría de absorción atómica en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la UNCP que se encuentra en el Anexo IIB.

*Tabla 14: Concentración de Pb (II) después del proceso de adsorción con cáscara de cacao sin modificar*

<b>CÁSCARA DE CACAO SIN MODIFICAR</b>			
<b>CONCENTRACIÓN DE Pb(II)</b>			
<b>REPLICAS</b>			
<b>pH</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
3	0,175 ppm	0,151 ppm	0,186 ppm
4	0,178 ppm	0,192 ppm	0,183 ppm
5	0,292 ppm	0,259 ppm	0,275 ppm
6	0,323 ppm	0,336 ppm	0,341 ppm

*Fuente: Elaboración Propia*

En la Tabla 14 se registran las concentraciones de Pb (II) en las muestras de relaves mineros después del proceso de adsorción con cáscara de cacao sin modificar, cuando el pH fue de 3 las concentraciones de Pb (II) fueron de 0,175 ppm; 0,151 ppm y 0,186 ppm en las réplicas de I, II y III, Para el pH 4 las concentraciones fueron: 0,178 ppm; 0,192 ppm, 0,183 ppm en las réplicas I, II, y III; para el pH 5 las concentraciones de Pb (II) en las réplicas I, II y III fueron de 0,292 ppm; 0,259 ppm y 0,275 ppm respectivamente, finalmente cuando el pH fue de 6 las concentraciones de Pb (II) en el relave fueron 0,323 ppm; 0,336 ppm y 0,341 ppm en las réplicas I, II y III respectivamente.

Tabla 15: Concentración de Pb (II) después del proceso de adsorción con cáscara de cacao modificado

<b>CÁSCARA DE CACAO MODIFICADO</b>			
<b>CONCENTRACION DE Pb(II)</b>			
<b>REPLICAS</b>			
<b>pH</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
3	<0.020 ppm	<0.020 ppm	<0.020 ppm
4	<0.020 ppm	<0.020 ppm	<0.020 ppm
5	0,049 ppm	0,059 ppm	0,068 ppm
6	0,118 ppm	0,122 ppm	0,142 ppm

*Fuente: Elaboración Propia*

En la Tabla 15 se registran las concentraciones de Pb (II) en las muestras de relaves mineros después de la adsorción con cáscara de cacao modificado, se realizaron tres replicas para cada muestra con un determinado valor de pH.

La adsorción de Pb (II) del relave minero fue evaluado a valores de pH de 3, 4, 5 y 6; los valores de concentración de Pb (II) después del proceso de adsorción con la cáscara de cacao modificado fueron menores a 0,02 ppm con un pH de 3 y pH 4, esto debido a que el instrumento de medición no registra valores inferiores a 0,02; cuando se trabajó con un pH de 5 la concentración final del Pb (II) fue de 0,049 ppm; 0,059 ppm y 0,068 ppm en las réplicas I, II y III respectivamente; para el pH de 6 la concentración de Pb (II) fue de 0,118 ppm; 0,122 ppm y 0,142 ppm en la réplica I, II y III respectivamente; después de haber analizado todos éstos datos se observa que la menor adsorción de la concentración de Pb (II) es de 0,142 ppm en la tercera replica cuando el pH de la muestra fue de 6.

## 4.2 Discusión de resultados

### 4.2.1 Caracterización de metales pesados en las aguas de relave minero

Las caracterizaciones de metales pesados presentes en las aguas de relave minero fueron obtenidas mediante el método de “barrido de espectro de emisión atómica de plasma por acoplamiento inductivo” (ICP-OES), el agua de relave minero presentó inicialmente un pH de 2,93.

En la Tabla 13 se muestra el registro de los metales pesados presentes en la muestra de agua de relave minero, sus concentraciones fueron: superiores a 10 ppm fueron el Fe a una concentración de 123,54 ppm, el Mg a 42,34 ppm, Mn a 38,98 ppm y potasio a 16,38 ppm; con valores de concentración inferiores a 10 ppm en la muestra de relave se observaron al Cu, Na, Zn, Al, As con concentraciones de 2,06 ppm, 5,21 ppm, 1,23 ppm, 1,23 ppm y 1,51 ppm respectivamente, finalmente se observaron metales pesados a concentraciones menores a 1 ppm los cuales fueron: Cd a 0,01 ppm, el Pb a 0,65 ppm y el Sr a 0,92 ppm.

La concentración del As, Cu, Fe, Pb y Zn en la muestra de relave minero sobrepasa el 0,1ppm; 0,5ppm; 2ppm; 0,2ppm y 1,5ppm respectivamente, éstos valores han sido establecidos como límites máximos permisibles para éstos metales en efluentes mineros, según el D.S. 010-2010-MINAM.

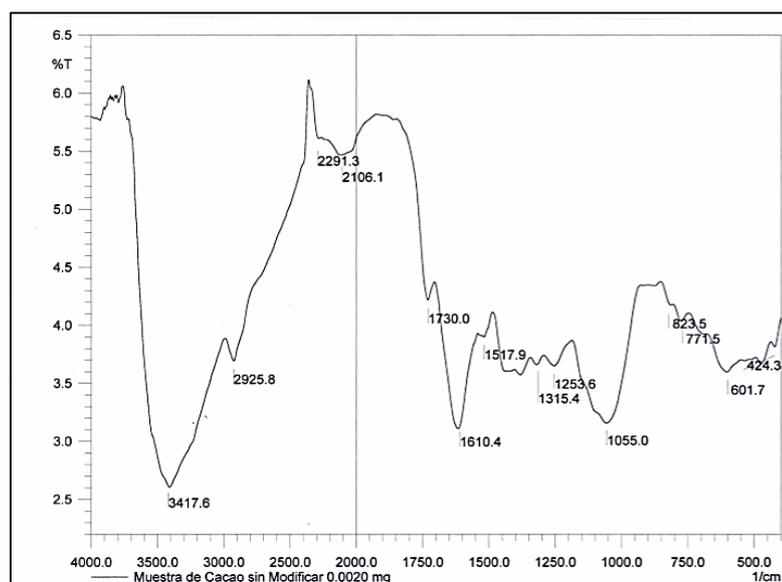
En relación al Pb (II), se realizaron procesos de adsorción con cáscara de cacao modificado y sin modificar para disminuir esta concentración hasta valores permitidos por la norma, por este motivo la concentración inicial de plomo será tomada de este análisis y las concentraciones de Pb (II) después del proceso de

adsorción fueron trabajados con los resultados proporcionados por el laboratorio de la “Universidad Nacional del Centro”.

#### 4.2.2 Caracterización química de la cáscara de cacao sin modificar

Se caracterizó el adsorbente sin modificar, utilizado en el trabajo de investigación, la técnica que se usa para dicha caracterización fue de espectroscopía infrarrojos con transformadas de Fourier (FTIR) realizada en el laboratorio de la Universidad Nacional del Centro.

Figura 8: FT-IR espectro de la cáscara de cacao sin modificar



Fuente: Elaboración Propia)

Los resultados obtenidos en el FT-IR se muestran en la Figura 8, en la cual se observan 14 bandas de adsorción que representan los grupos funcionales presentes en la cáscara de cacao sin modificar, a continuación detallaremos cada uno: la banda ancha de 3417,6  $\text{cm}^{-1}$  indica la presencia del grupo funcional hidroxilo O-H; el pico a 2925,8  $\text{cm}^{-1}$  se atribuyó a la vibración de estiramiento C-H de los grupos metileno; la banda de absorción a 1610,4  $\text{cm}^{-1}$  es el pico característico de los enlaces C=C; Los picos entre 1315,4  $\text{cm}^{-1}$  y

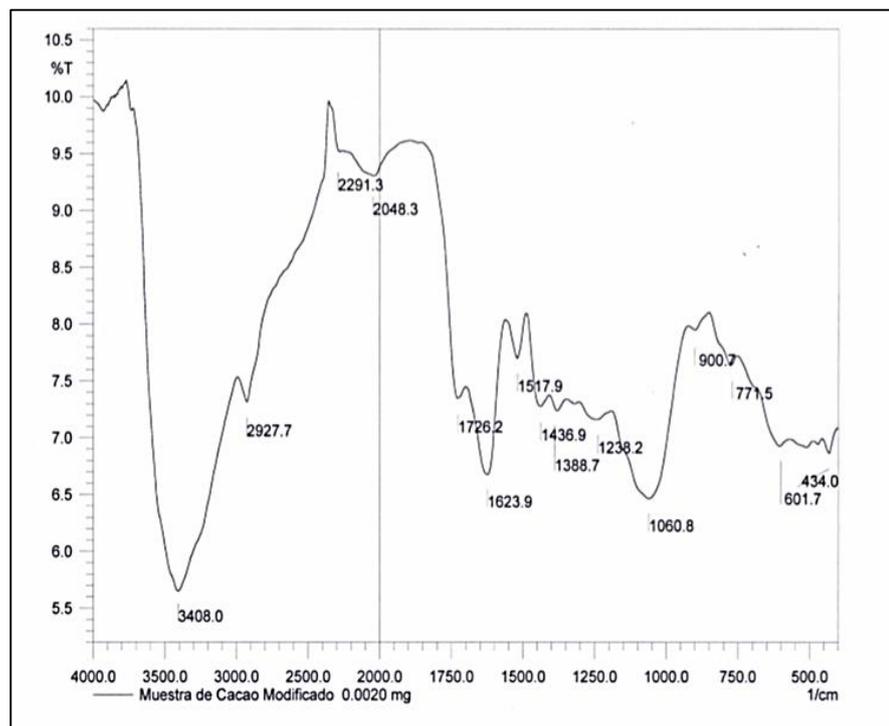
1055,0  $\text{cm}^{-1}$  representan las vibraciones de flexión del grupo funcional amino N-H y el grupo de alcoholes C-OH, respectivamente; La banda a 771,5  $\text{cm}^{-1}$  representa la absorción del anillo aromático sustituido, éstas bandas de adsorción se aproximan a las bandas obtenidas en la caracterización de una muestra de cáscara de cacao estudiado por (Njoku, Ayuk, Oguzie, & Ejike, 2012).

La banda de 1253,6  $\text{cm}^{-1}$  representa a las características de las fibras de aril-O-CH<sub>2</sub> fenoles y ácidos carboxílicos en cáscaras de cacao, esta banda ancha es próxima a la banda 1256  $\text{cm}^{-1}$  obtenida el caracterización química de la cáscara de cacao en la investigación de (Luzardo et al., 2015) y (Zhong, Peng, Yang, & Sun, 2012) los cuales estudiaron las características adsorbentes de diversas biomásas, infiere que existe una correlación entre el aumento de la capacidad de adsorción y el aumento de la intensidad de éstas bandas, que van desde 1208  $\text{cm}^{-1}$  -1256  $\text{cm}^{-1}$  para diferentes condiciones de pH, afirmando de esta manera que los grupos carboxílicos, influyen en la adsorción de iones metálicos, que coinciden con nuestros resultados.

Las bandas anchas de 2291,3  $\text{cm}^{-1}$  y 1517,9  $\text{cm}^{-1}$  indican la presencia de grupos funcionales alifáticos que presentan el enlace C-H y C=C respectivamente; en la banda de 2106,1  $\text{cm}^{-1}$  se infiere la presencia de grupos funcionales que presentan el enlace C $\equiv$ C, en el caso de la banda ancha de 1730,0  $\text{cm}^{-1}$  infieren la presencia de ácidos carboxílicos o fenoles que presenten el enlace C=O, al igual que en la banda ancha de 823,5  $\text{cm}^{-1}$  se presentan ácidos carboxílicos que presentan el enlace C-O, éstos datos fueron obtenidos del libro de (Silverstein, Webster, & Kiemle, 2005).

Para poder determinar cómo influye la modificación del adsorbente en el proceso de adsorción del Pb (II) presente en las aguas de relave minero, se realizó una prueba FTIR de la cáscara de cacao modificado.

*Figura 9: FT-IR de la cáscara de cacao modificado*



*Fuente: Elaboración Propia.*

Los resultados en la Figura 9, se observa la diferencia de las bandas anchas con las obtenidas en la Figura 8 que evidencia los resultados del FTIR de la cáscara de cacao sin modificar.

El análisis de la cáscara de cacao modificado presenta el pico de adsorción de 3408,0 cm<sup>-1</sup> que presenta al grupo hidroxilo pero en menor intensidad que en la figura 8, asimismo se observa un incremento en la vibración de estiramiento de los grupos alifáticos presente en el pico de 2927,7 cm<sup>-1</sup>, en los picos de adsorción de 2048,3 cm<sup>-1</sup> y 1726,2 cm<sup>-1</sup> se advierte la presencia de enlaces

C≡C y ácidos carboxílicos respectivamente aunque en menor proporción que en el FTIR de la cáscara de cacao sin modificar; en relación a la presencia de los enlaces dobles de C=C y C=O en los grupos aromáticos y carbonilo éster se observa un incremento en relación a la figura 8 ya que se observa un pico de adsorción de 1623,9 cm<sup>-1</sup>, los valores de banda ancha obtenidos se aproximan a los presentados en el trabajo de investigación de (Candelaria Tejada Tovar, Villabona Ortiz, & Garcés Jaraba, 2015).

Aparecen en este FTIR nuevos picos que no se habían presentado en el caso anterior, como por ejemplo el pico de 1436,9 cm<sup>-1</sup>, 1060,8 cm<sup>-1</sup> y de 1238,2 cm<sup>-1</sup> advierten de la presencia de enlaces C-N, también se observa la banda ancha de 1388,7 cm<sup>-1</sup> que indica la presencia de enlaces estables de C-H, por otro lado se observa el pico de banda ancha de 900,7 cm<sup>-1</sup> el cual nos indica la presencia de ácidos carboxílicos ya que presentan el enlace C-O, la identificación de los grupos funcionales a las diferentes bandas de ancha se obtuvieron en el libro (Silverstein et al., 2005). Éstos nuevos picos en conjunto con los grupos hidroxilos fueron importantes para mejorar los procesos de adsorción según se demuestra en el trabajo de (Tovar Tejadada et al., 2017).

#### **4.2.3 Determinación de la mayor adsorción de Pb (II) de las aguas de relaves mineros utilizando filtros de cáscara de cacao**

Antes de determinar que filtro tiene la mayor adsorción de Pb (II), se halló el porcentaje de adsorción aplicando la siguiente fórmula.

$$\frac{CO - CF}{CO} * 100 = \% \text{ de adsorción}$$

Donde:

Co= concentración inicial.

CF= concentración final.

Remplazando los valores de la Tabla 14 en la fórmula, se obtuvo la siguiente Tabla 16.

*Tabla 16: %Adsorción de Pb (II) con cáscara de cacao sin modificar*

<b>%DE ADSORCIÓN DE Pb (II) CON CÁSCARA DE CACAO SIN MODIFICAR</b>			
<b>pH</b>	<b>REPLICAS</b>		
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
3	73.076	76.769	71.384
4	72.615	70.461	71.846
5	55.076	60.153	57.692
6	50.307	48.307	47.538

*Fuente: Propia*

En la tabla 16 se observa los porcentajes de adsorción de Pb (II) que se logró en el proceso de adsorción utilizando cáscara de cacao sin modificar, notándose que se logró un porcentaje de adsorción de 76,769% cuando se trabajó con pH de 3 y 72,615 % a un pH de 4, en contraste con el 47,538% como menor porcentaje de adsorción de Pb (II) obtenido al trabajar con un pH de 6.

Para la tabla 17 se reemplazó los valores de la tabla 15 en la fórmula mencionada inicialmente los resultados obtenidos muestran los porcentajes de adsorción de Pb (II) utilizando como adsorbente cáscara de cacao modificado.

Tabla 17: % Adsorción de Pb (II) con cáscara de cacao modificado

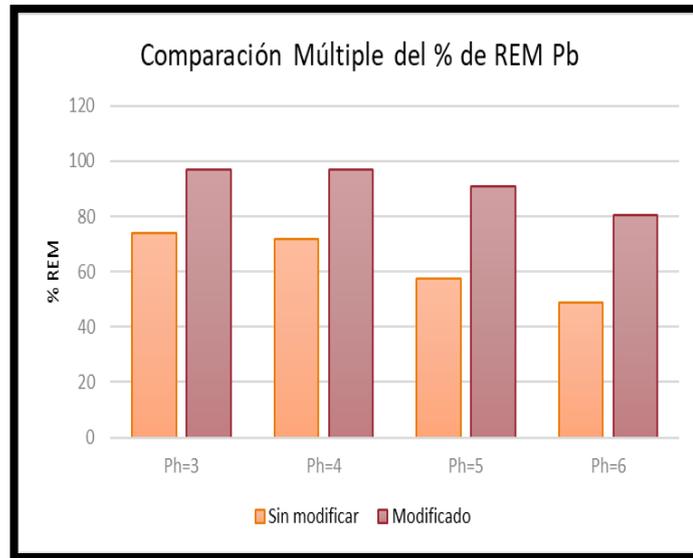
<b>%DE ADSORCIÓN DE Pb(II) CON CÁSCARA DE CACAO MODIFICADO</b>			
<b>pH</b>	<b>REPLICAS</b>		
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>3</b>	97.076	97.076	97.076
<b>4</b>	97.076	97.076	97.076
<b>5</b>	92.461	90.923	89.538
<b>6</b>	81.846	81.230	78.153

Fuente: *Elaboración Propia*

Para poder calcular un porcentaje de adsorción a pH de 3 y 4 se optó por evaluarlo a valores de concentración final de Pb (II) de 0,019 ppm debido a que en los resultados se observa <0,02 ppm, valor que no puede utilizarse para obtener un porcentaje por lo tanto con una concentración final de Pb (II) de 0,019 ppm que se logro un 97,076% como mayor porcentaje de remoción cuando el pH fue de 3, en contraste con un 78,153% y el menor porcentaje de adsorción se dio cuando se utilizó el pH 6.

#### 4.2.4 Determinación del pH óptimo para la adsorción de Pb (II) en aguas de relave minero utilizando filtros de cáscara de cacao

Figura 10: Comparación múltiple de la adsorción de Pb (II)



Fuente: *Elaboración Propia*

En la Figura 10 se observa una comparación múltiple del porcentaje de adsorción de Pb (II), cuando se utilizó la cáscara de cacao sin modificar el mayor porcentaje de adsorción obtenido fue para un pH 3 el cual se obtuvo en la réplica II siendo un 76,769% de adsorción, en contraste a un pH de 6 lograndose un 50,307%, el cual se obtuvo en la réplica I.

Los resultados obtenidos en esta investigación se contrastan con los autores (Eggs et al., 2012) quienes utilizaron cáscara de arroz sin modificar para la adsorción de cromo hexavalente, evaluándose a pH de 2 y 6; lográndose un porcentaje de adsorción próximo a 75% cuando se trabajó a un pH de 2 en contraste cuando se utilizó el pH de 6 solo se logro un porcentaje de adsorción que oscilo entre 15% y 25% por lo tanto este trabajo de investigación respalda los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Para la cáscara de cacao modificado, el mayor porcentaje de adsorción de Pb (II) fue para un pH de 3 y 4 siendo el resultado de 97,076%, sin embargo el menor porcentaje de adsorción se dió para un pH 6 siendo el resultado de 78,153, ésto se reafirma con el trabajo de investigación de (Eggs et al., 2012) quienes aparte de utilizar cáscara de arroz sin modificar también utilizaron la cáscara de arroz modificado con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> logrando un adsorción de cromo que oscilo entre 75% y 100% cuando se trabajó a un pH de 2, sin embargo cuando se trabajó a un pH de 6 solo se alcanzó un porcentaje de adsorción próximo a 75%.

### 4.3 Contrastación de Hipótesis

Para poder corroborar las hipótesis del presente trabajo de investigación, se analizaron los resultados obtenidos mediante pruebas estadísticas éstas se realizaron mediante el software MINITAB versión 18.0.

#### 4.3.1 Contrastación de la hipótesis

Para el análisis de la comparación de los tratamientos se utilizaron los siguientes datos

*Tabla 18: Porcentaje de adsorción de Pb (II) con cáscara de cacao sin modificar y cáscara de cacao modificado*

	pH			
	Ph=3	Ph=4	Ph=5	Ph=6
Sin Modificar	73.0769231	72.6153846	55.0769231	50.3076923
	76.7692308	70.4615385	60.1538462	48.3076923
Modificado	71.3846154	71.8461538	57.6923077	47.5384615
	97.0769231	97.0769231	92.4615385	81.8461538
	97.0769231	97.0769231	90.9230769	81.2307692
Modificado	97.0769231	97.0769231	89.5384615	78.1538462

*Fuente: Elaboración propia.*

H<sub>0</sub>: todos los tratamientos son iguales.

H<sub>a</sub>: Por lo menos un tratamiento es diferente.

Donde:

H<sub>0</sub>: hipótesis nula.

H<sub>a</sub>: hipótesis alternativa.

### Información del Factor

Figura 11: Información del factor

Información del factor			
Factor	Tipo	Niveles	Valores
CARACT CÁSCARA	Fijo	2	MODIFICADO, SIN MODIFICAR
PH	Fijo	4	3, 4, 5, 6

Fuente: Elaboración Propia.

### Análisis de varianza

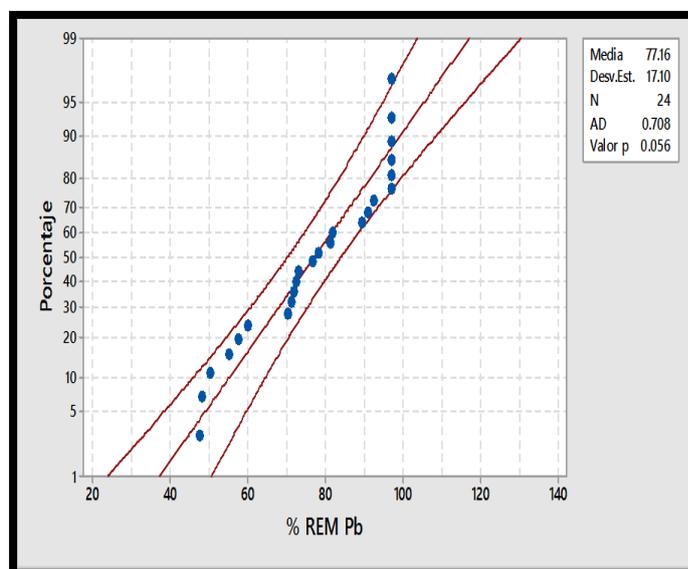
Figura 12: Resultados de Anova.

Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
CARACT CÁSCARA	1	4855.98	4855.98	1666.32	0.000	
PH	3	1720.11	573.37	196.75	0.000	
CARACT CÁSCARA*PH	3	104.44	34.81	11.95	0.000	
Error	16	46.63	2.91			
Total	23	6727.15				

Fuente: Elaboración Propia.

En el análisis estadístico ANOVA-modelo lineal general, se determinó el valor de p es igual a 0; esto infiere que se rechaza la H<sub>0</sub> (Hipótesis nula), por lo tanto se acepta la H<sub>a</sub> (Hipótesis alternativa).

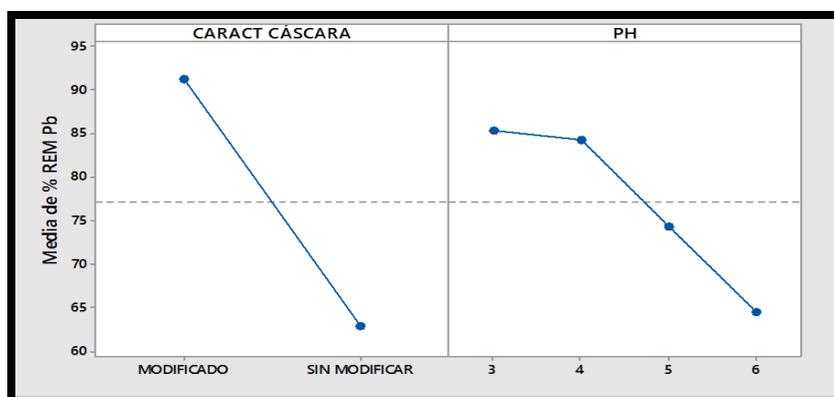
Figura 13: Gráfica de la probabilidad normal



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 13 se presenta la gráfica de probabilidad normal se utilizó los valores del porcentaje de remoción de Pb (II) de la cáscara de cacao sin modificar y cáscara de cacao modificado, observándose que el valor de p es de 0.056, comprobando así que la probabilidad es normal.

Figura 14: Gráfica de efectos principales para el porcentaje de adsorción de Pb (II)



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 14 muestra los efectos principales que determinaron el porcentaje de adsorción de Pb (II); para el adsorbente: se observa un valor de la media de 91,38 para la cáscara de cacao modificado, mientras que el valor de la media para la cáscara de cacao sin modificar fue de 62,93, con los resultados mencionados se puede validar que la cáscara de cacao modificado tiene un mayor porcentaje de adsorción de Pb (II) en las aguas de relave minero, para el potencial de hidrógeno (pH): para el pH de 3, pH 4, pH 5 y pH 6 los valores de la media son de 85, 410, 84,358, 74,307 y 64,564 respectivamente; validando así que el pH óptimo en ésta investigación es el pH 3 ya que tiene el mayor porcentaje de remoción de Pb (II) en aguas de relave minero.

Figura 15: Comparaciones por parejas de Tukey

ICs simultáneos de 95% de Tukey

Comparaciones para % REM Pb

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = % REM Pb, Término = CARACT CÁSCARA\*PH

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

CARACT CÁSCARA*PH	N	Media	Agrupación
MODIFICADO 3	3	97.0769	A
MODIFICADO 4	3	97.0769	A
MODIFICADO 5	3	90.9744	B
MODIFICADO 6	3	80.4103	C
SIN MODIFICAR 3	3	73.7436	D
SIN MODIFICAR 4	3	71.6410	D
SIN MODIFICAR 5	3	57.6410	E
SIN MODIFICAR 6	3	48.7179	F

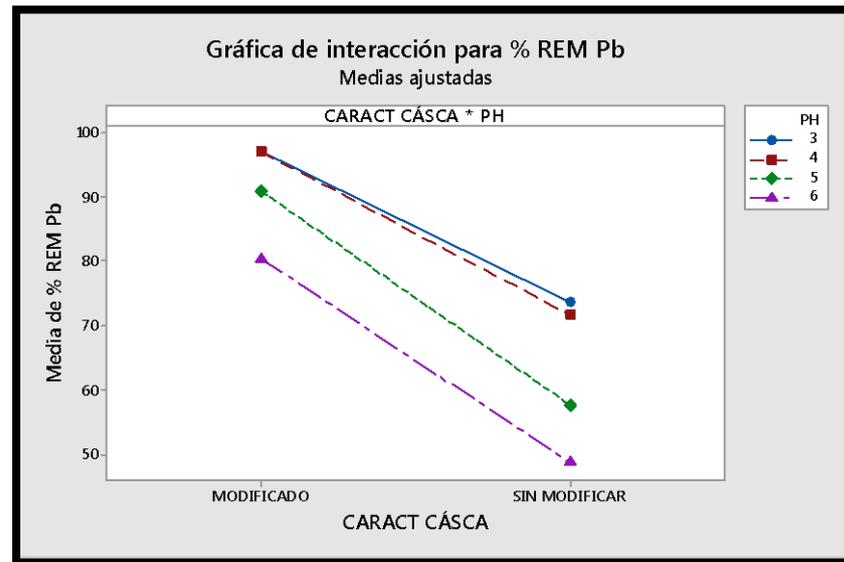
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 15 se observa que los mejores tratamientos se obtuvieron para la cáscara de cacao modificado, con los valores de pH 3 y 4; siendo el resultado de 97,076, éstos valores son iguales debido a que el instrumento de medición no registra valores inferiores a 0,02; mientras que los porcentajes menores de adsorción se obtuvieron con la cáscara de cacao sin modificar; para el pH 5, el valor es de 57,641 y para el pH 6 fue de 48,71;

constatando así que el mejor tratamiento se da para la cáscara de cacao modificado con un pH de 3.

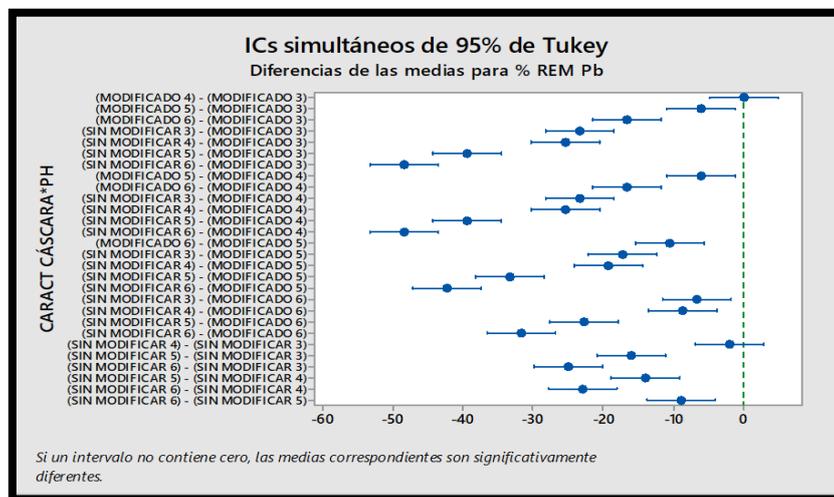
Figura 16: Gráfica de interacción para el porcentaje de remoción de Pb (II)



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 16 se observa la interacción del pH 3 y 4 para la cáscara de cacao modificado, teniendo los mejores resultados de adsorción de Pb (II), mientras que para la cáscara de cacao sin modificar también se obtiene un resultado favorable cuando se hace uso de los pH 3 y 4 para la adsorción de Pb (II).

Figura 17: Diferencias de las medias para el porcentaje de remoción de Pb (II)



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 17 nos muestra los tratamientos no significativos por su nivel de repetición y obtención de resultados iguales: la cáscara de cacao modificado con un pH 3 y pH 4 tienen similares resultados con los resultados de la cáscara de cacao sin modificar para un pH 3 y pH 4 los cuales son favorables para la adsorción de Pb (II).

## CONCLUSIONES

1. Se determinó la adsorción de plomo (II) utilizando filtros de cáscara de cacao "*Theobroma cacao*" en aguas de relave minero el cual fue: 76,769% para la cáscara de cacao sin modificar y un 97,076% para la cáscara de cacao modificado.
2. Se determinó cuál de los filtros de cáscara de cacao "*Theobroma cacao*" tiene la mayor adsorción de Pb (II) de las aguas de relaves mineros, en el análisis de comparaciones por parejas de Tukey Se concluyó que el filtro de cáscara de cacao modificado para un pH 3 es el que tiene mayor adsorción de Pb (II).
3. Se caracterizó los metales pesados presentes en las aguas de relave minero, el cual presentó Fe, Mg, Mn, K, Na, Cu, As, Al, Zn, Sr, Pb y Cd a concentraciones de 123,54 ppm; 42,34 ppm; 38,98 ppm; 16,38 ppm; 5,21 ppm; 2,06 ppm; 1,51 ppm; 1,23 ppm; 1,23 ppm; 0,92 ppm; 0,65 ppm y 0,01 ppm respectivamente, para la investigación sólo se estudió la adsorción de Pb (II) el cual sobrepasó el 0,02 ppm establecido como límite máximo permisible para efluentes mineros.
4. Se determinó el pH óptimo utilizando filtros de cáscara de cacao de las aguas de relave minero para la adsorción de Pb (II); cuando se utilizó cáscara de cacao sin modificar la concentración de Pb (II) se redujo hasta un 0,151 ppm a un pH de 3; 0,178 ppm a un pH de 4; 0,259 ppm a un pH de 5 y 0,323 ppm a un pH de 6 notándose que la menor concentración de Pb (II) se logro a un pH de 3; en el proceso de adsorción con cáscara de cacao modificado la concentración de Pb (II) se redujo a valores menores de 0,02 ppm cuando los pH fueron 3 y 4, cuando los pH fueron 5 y 6 la concentración de Pb (II) se redujo hasta 0,049 ppm y 0,118 ppm respectivamente, analizando éstos valores se concluye que el pH de 3 es el valor óptimo para este estudio.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evaluar la adsorción de la cáscara de cacao modificado en la adsorción de metales pesados como: cromo, níquel, cadmio, cobre, entre otros.
2. Comparar la capacidad de adsorción de la cáscara de cacao modificado con hidróxido de sodio, ácido fosfórico y ácido cítrico para determinar que adsorbente logra mejores resultados en la adsorción de metales pesados.
3. Evaluar el uso de la cáscara de cacao para adsorber metales pesados presentes en aguas residuales domésticas y municipales.
4. Es recomendable realizar un ICP-MS a la cáscaras de cacao modificado y sin modificar después del proceso de adsorción para determinar la presencia del metal pesado en su estructura.
5. Evaluar la influencia del tiempo de contacto, cantidad de cáscara de cacao y concentración de HCl en la adsorción de metales pesados.
6. Comparar la eficiencia de adsorción de metales pesados de diferentes biomásas las que pueden ser: cáscara de coco, cáscara de plátanos, cáscara de arroz, cáscara de huevo, bagazo de caña, entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, S., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2017). Caracterización de carbones activados modificados con agentes quelantes para la adsorción de metales tóxicos en solución acuosa. *Afinidad LXXIV*, 578(June), 101–107.
- Acosta, I., Moctezuma-Zárate, M. de G., Cárdenas, J. F., & Gutiérrez, C. (2007). Bioadsorción de Cadmio (II) en Solución Acuosa por Biomasa Fúngica. *Biosorption of Cadmium (II) in Aqueous Solutions by Fungal Biomass. Información Tecnológica*, 18(1), 9–14.
- Arce, S., & Calderón, M. (2017). Suelos contaminados con plomo en la ciudad de La Oroya - Junín y su impacto en la calidad del agua del río Mantaro. *Repositorio de Tesis - UNMSM*, 20, 59. Retrieved from <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/6718>
- Astete, J., Cáceres, W., Gastañaga, M. del C., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T. Rodríguez, F. (2009). Intoxicación por plomo y otros de salud de poblaciones aledañas a relaves mineros. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 103(2), 217–223. <https://doi.org/10.1002/cpt.878>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Retrieved from <http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo.nacional.para.el.monitoreo.de.la.calidad.de.los.recursos.hidricos.superficiales.pdf>
- Baena, L. M., & García Cardona, N. A. (2012). *Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de Cascarilla de las semillas tostadas de theobroma cacao L. de la industria chocolatera colombiana*. 64. Retrieved from <https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/Elaboración.de.fibra.pdf>
- Batista, A., Cárdenas, O., Castillo, J., Madrid, K., Martínez, C., & Tejedor De León, A. (2016). *Diseño y construcción de filtro multicámaras horizontal por gravedad para tratamiento de efluentes Industriales*. 2(2016), 1–13. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a23.pdf>
- Cardona Gutiérrez, A. F., Cabañas Vargas, D. D., & Zepeda Pedreguera, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la

- eliminación de metales pesados , Pb ( II ) y Zn ( II ). *Ingeniería*, 17(1), 1–9.  
Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46729718001>
- Cortéz, J., & Limpio, D. (2013). *Diseño de una planta para la producción de filtros de carbono activado a partir de la cáscara de cacao*. Retrieved from <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS5967.pdf>
- Cruz Pérez, E. E. (2014). *Evaluación de materiales adsorbentes para remoción del cadmio en el agua*. Retrieved from [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2936/ESTeban oviedo santiago.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2936/ESTeban%20oviedo%20santiago.pdf?sequence=1)
- Cuervo, L., Folch Mallol, J. L., & Quiroz Castañeda, R. E. (2009). Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol. *Biotecnología*, (October 2014), 16–19. <https://doi.org/10.4018/ijcvip.2011040105>
- departamento de salud y servicios humanos de los estados unidos. (2007). *Toxicological Profile for Lead: Toxicokinetics*. (August), 156–175. <https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.1979.tb04725.x>
- Eggs, N., Salvarezza, S., Azario, R., Fernández, N., & García, M. (2012). Adsorption of hexavalent chromium in the chemically modified rice hask. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 3(3)(0718-8706), 141–151.
- Escobar, M., Lobo, G., Maza, M., Pineda, A., Romero, L., Velasquez, J., & De la Rosa, M. de los angeles. (2018). *Evaluación del uso de cáscara de huevo como sustrato adsorbente para la remoción de cromo (VI) en solución acuosa*. 1–15.
- Fabián, O., Cobos, H., Felipe, J., Londoño, A., Carlos, L., & Garcia, F. (2009). Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias de curtido de cueros. *Dyna*, 76(160), 107–119. <https://doi.org/0012-7353>
- Gonzales Jimenez, A. E., & Guerra Moreno, J. C. (2016). *Influencia de la velocidad de agitación y la temperatura sobre la adsorción de plomo ( Pb ) y zinc ( Zn ) con cáscara de plátano ( Musa Sapientum ) , en las aguas residuales de laboratorios de análisis químico*. 1–70.
- Grisales motato, A. L., & Rojas Arrieta, W. (2016). Obtencion de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción

de colorantes en aguas residuales industriales.

- Hebbar, P., Bittenbender, H. C., & Doherty, D. (2010). Perfil de producción y comercialización agrícola y forestal para la especie *Theobroma cacao*. In *Elevitch, C.R.*
- Higuera Cobos, O. F., Arroyave Londoño, J. F., & Florez Garcia, L. Carlos. (2009). Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros. *Año, 76*, 107–119.
- Julián Moreno, L., & Alfonso Sanchez, J. (1989). *Benefico del cacao*.
- Kede, C. M., Ndibewu, P. P., Kalumba, M. M., Panichev, N. A., Ngomo, H. M., & Ketcha, J. M. (2015). *Adsorption of Mercury(II) onto activated carbons derived from Theobroma cacao pod husk*. 226–235.
- Laiza Cueva, F. H., & Zegarra Vargas, T. M. (2016). *Influencia del Potencial de Hidrogeno y la granulometria sobre el ratio de concentración y el porcentaje de recuperación de oro Au, plata Ag, y cobre Cu en la flotación de un mineral tipo sulfuro con alto contenido de plata* (Vol. 126). <https://doi.org/10.1037//0033-2909.126.1.78>
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, Á., Arrieta, A., & Conde, C. G. (2016). *Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao*. 29(2), 113–124. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016009>
- Lavado Meza Carmencita, Sun Kou, M. del R., & Recuay Arana, N. (2012). Remoción De Cromo (VI) empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de eucalipto. *Revista de La Sociedad Química Del Perú, 78(1)*, 14–26. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2012000100003](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2012000100003)
- Leguía Ramírez, J. C., & Puma Torres, P. S. (2016). *diseño de filtros de bioarena para remover metales pesados en aguas de uso doméstico*. 1–198.
- Luzardo, F. H., Velasco, F. G., Alves, C. P., Cinturón, K. S., & Lázaro cazorla, L. (2015). *Chemical characterization of agroforestry solid residues aiming its utilization as adsorbents for metals in water*. 77–83.
- Mânzatu, C., Boldizsár, N., & Majdik, C. (2016). El efecto biosortivo del polvo de cono de abeto no tratado y modificado químicamente sobre la remova de Pb

- (II). *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(4), 623–632.  
<https://doi.org/10.1007/s00107-016-1123-1>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *Manual N°5 Medición de agua*. 28.  
Retrieved from <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2005). *Ley general del ambiente-Ley N°28611*.
- Navarro, M., & Mendoza, I. (2009). *Cultivo de cacao en sistemas agroforestales*.
- Njoku, V. O., Ayuk, A. A., Oguzie, E. E., & Ejike, E. N. (2012). Biosorption of Cd(II) from aqueous solution by Cocoa pod husk biomass: Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Separation Science and Technology*, 47(5), 753–761. <https://doi.org/10.1080/01496395.2011.626829>
- Osakwe, C. E., Sanni, I., Said, S., Adamu, & Zubairu. (2014). *Adsorption of Heavy Metals from Wastewaters Using Adonosia digitata Fruit Shells and Theobroma cacao Pods as Adsorbents: A Comparative Study*. 18(1), 11–18.
- Quiñones, E., Tejada, C., Arcia, C., & Ruiz, V. (2013). Remoción de plomo Y níquel en soluciones acuosas usando biomasa lignocelulósicas: una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 16(2), 479–489. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a23.pdf>
- Raraz Palpán, E. A. (2015). Determinación química toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – distrito de Yanacancha – Pasco. [Tesis Para Optar El Título Profesional de Químico Farmacéutico], 75.
- Rimarachin Varas, P., & Huaranga Moreno, F. (2015). Tratamiento de aguas de efluente minero-metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales. *Sciendo*, 18(2), 20–29.
- Romero Bonilla, H., & Rios Elizalde, P. (2014). *Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo*. Retrieved from <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1579/7/CD00006-Tesis.pdf>
- Rueda, M. L., Volzone, C., & Martinez, S. Y. (2010). Adsorción de cadmio en solución utilizando como adsorbente material tabáceo modificado. *Informacion Tecnologica*, 21(4), 75–78.

<https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4356it.09>

- Salazar Caya, I., & Rodríguez, L. A. (2017). *Desarrollo y evaluación de un material adsorbente a partir de residuos orgánicos para la adsorción de Cu+2 en soluciones*. 17.
- Serruya, A., Soledad, B., & Guitiérrez, J. (2009). *Evaluación de propiedades fisicoquímicas por análisis proximal y valor calórico como base para usos alternativos de la cascarilla de cacao como sub producto del procesamiento del cacao en grano*.
- Silverstein, Webster, & Kiemle. (2005). *Silverstein - Spectrometric Identification of Organic Compounds 7th ed.pdf* (pp. 1–550). pp. 1–550.
- Tejada, C., Herrera, A., & Nuñez, J. (2015). Adsorción competitiva de Ni (II) y Pb (II) sobre materiales residuales lignocelulósicos. *Investigaciones Andina*, 17(31), 1355–1367.
- Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=239040814007>
- Tejada Tovar, C., Ortiz, A. V., & paternina, e. r. (2016). *adsorción de ni (ii) por cáscaras de ñame (dioscorea rotundata) y bagazo de palma (elaeis guineensis) pretratadas adsorption of ni (ii) by pretreated yam peels (Dioscorea rotundata) AND OIL PALM PULP (Elaeis guineensis)*. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.4>
- Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, Á., & Garcés Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109–123. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, Á., & Nuñez Zarur, J. (2019). Uso de biomásas para la adsorción de plomo, níquel, mercurio y cromo. *Psychological Bulletin*, 126(1), 21. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.126.1.78>
- Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, A., & Ruiz Rangel, V. (2012). *Biomasa residual para la remoción de mercurio y cadmio: una revisión*. 2–3.
- Tovar Tejadada, C., Villabona Ortiz, A., & Jimenez Villadiego, M. (2017). *Remoción de cromo hexavalente sobre residuos de cacao pretratados químicamente*. 139–147.
- Tubert, I., & Talanquer, V. (1997). Sobre adsorción. *Psychological Bulletin*,

126(1), 21. <https://doi.org/10.37//0033-2909.126.1.78>

- Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.18359/RFCB.3108>
- Vera, L., Uguña, M. F., García, N., Flores, M., & Vázquez, V. (2015). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Afinidad Lxxiii*, 43–49.
- Vizcano Mendoza, L., & Fuentes Molina, N. (2015). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(1), 43. <https://doi.org/10.18359/rcin.432>
- Zhong, L. X., Peng, X. W., Yang, D., & Sun, R. C. (2012). Adsorption of heavy metals by a porous bioadsorbent from lignocellulosic biomass reconstructed in an ionic liquid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(22), 5621–5628. <https://doi.org/10.1021/jf301182x>

**ANEXOS:**  
**A**  
**LAGUNA QUIULACOCHA**  
ANEXO IA 1: Laguna Quiulacocha.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 2: Vista panorámica de la laguna Quiulacocha.



Fuente: Elaboración Propia

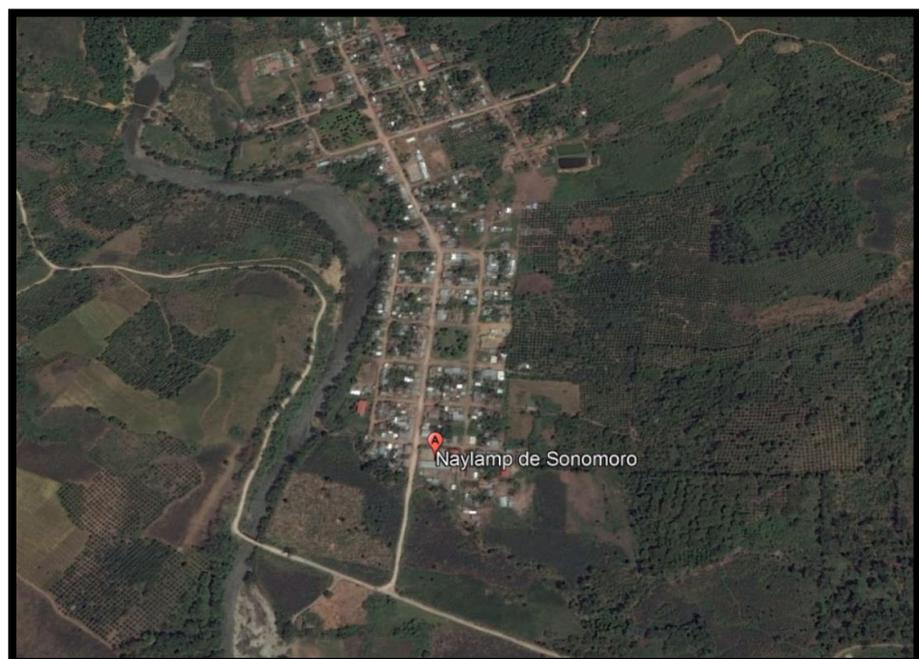
## TOMA DE MUESTRA Y RECOLECCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO

ANEXO IA 3: Muestreo en el afluente de la laguna Quiulacochoa.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 4: Lugar de la recolección de la cáscara de cacao.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 5: Recolección del Cacao "*Theobroma cacao*".



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 6: Desvainado del Cacao "*Theobroma cacao*"



Fuente: Elaboración Propia

## DESARROLLO DE LA PARTE EXPERIMENTAL EN EL LABORATORIO

ANEXO IA 7: Ingreso y salida de la cáscara de cacao "*Theobroma cacao*" del horno.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 8: Se trituraron las cáscaras de cacao en un molino convencional



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 9: Tamizado de las cáscaras de cacao utilizando mallas #4, #20, #10, #3/8.



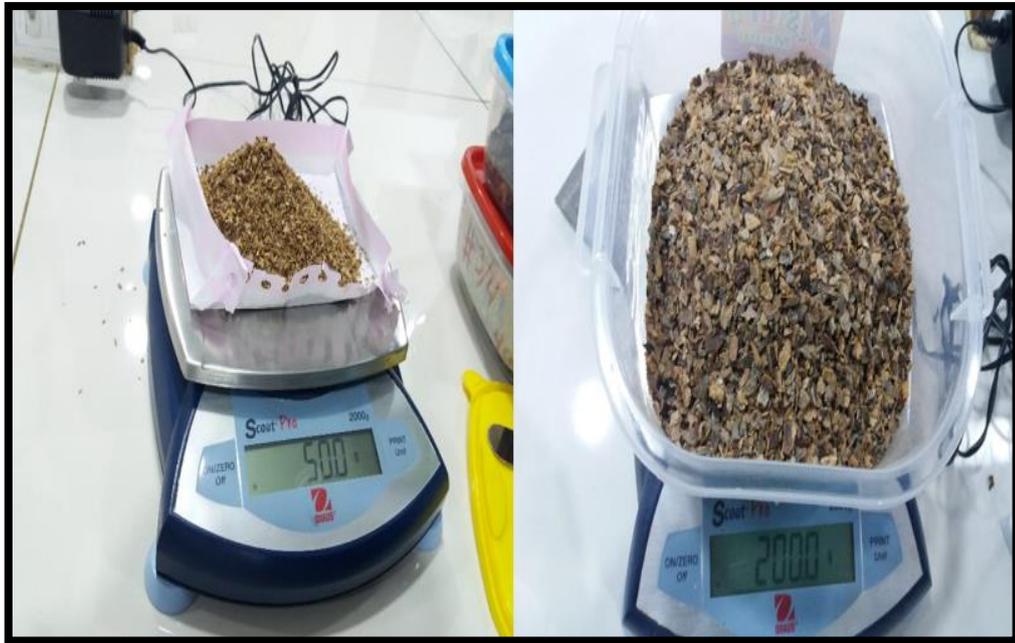
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 10: Tarando la balanza analítica.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 11: Pesando las cáscaras de cacao según la granulometría



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 12: Activación química de la cáscara de cacao con  $HCl$ .



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 13: Pesando el  $NaOH$ .(Hidróxido de sodio)



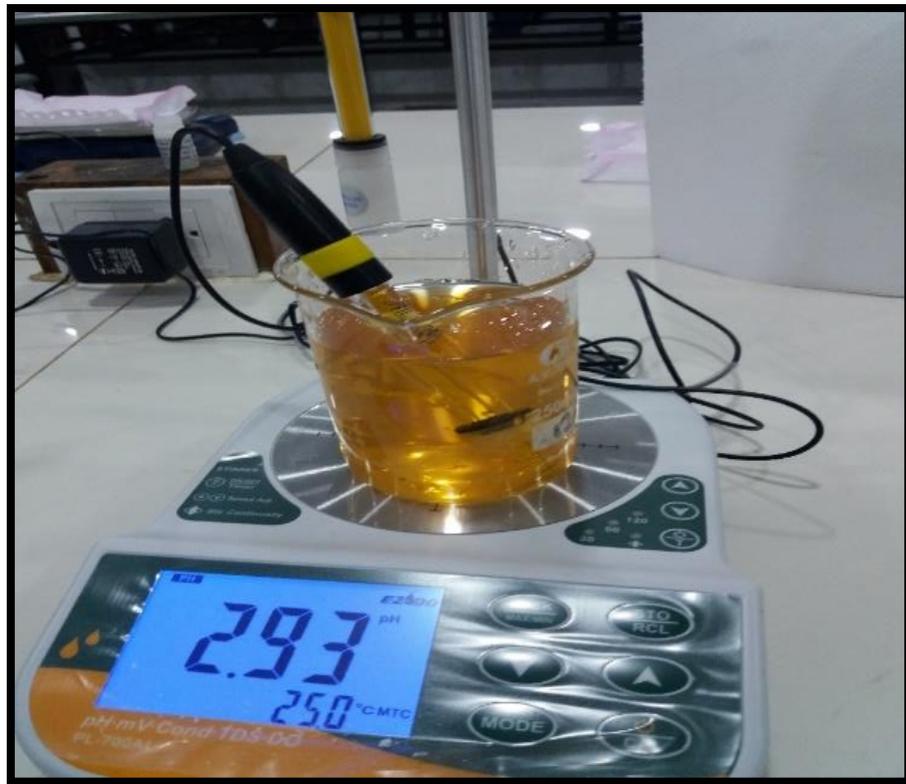
Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO IA 14:  $NaOH$  utilizado para modificar el pH.



Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO IA 15: Modificando el pH de la muestra.



Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO IA 16: Cargar el filtro con las cáscaras de cacao.



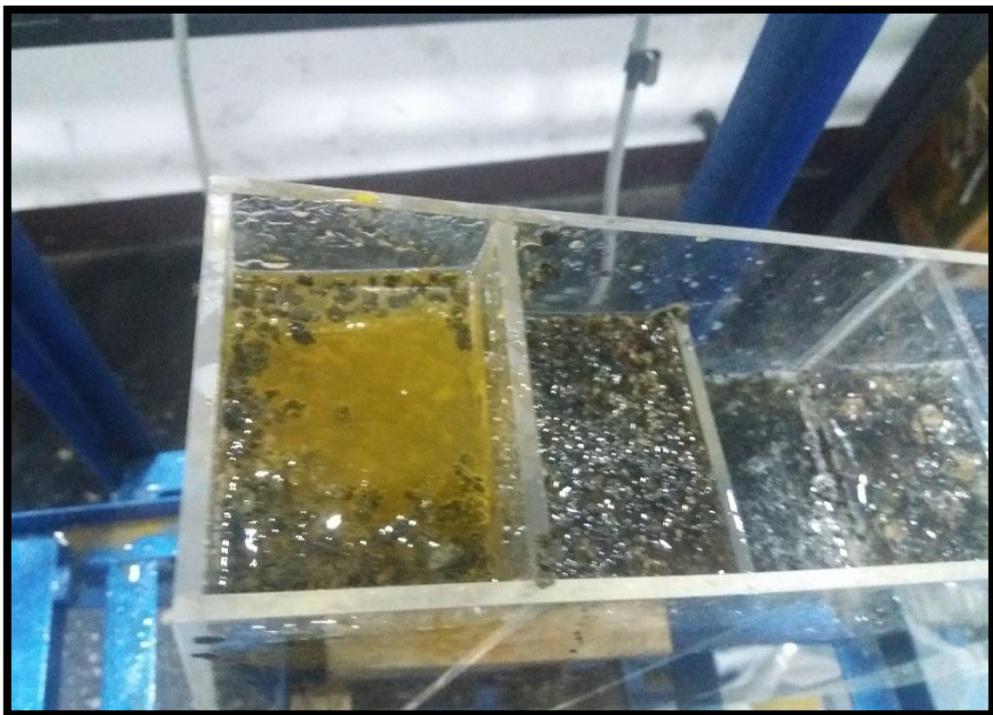
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 17: Abriendo la válvula para iniciar la corrida.



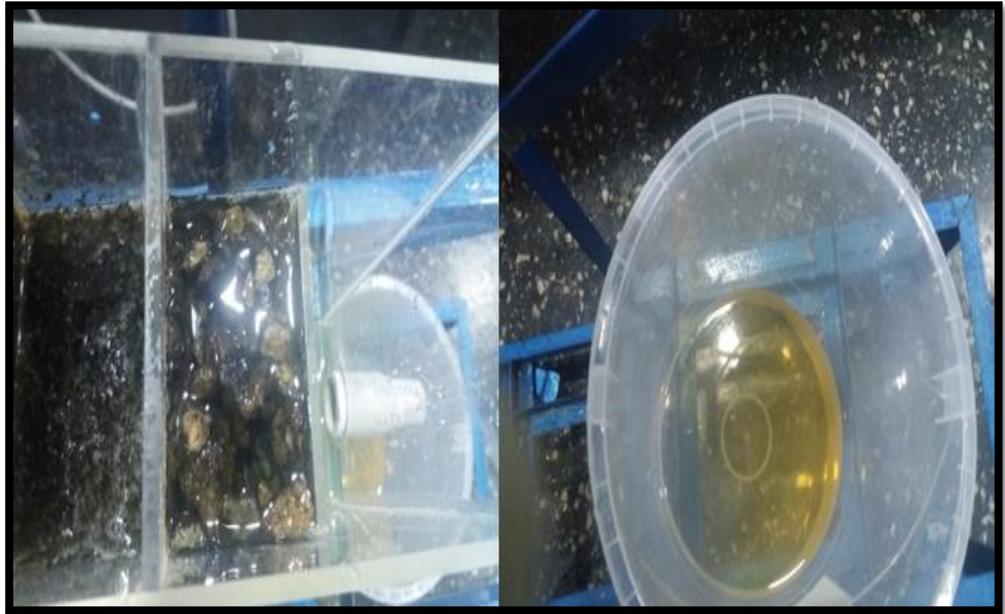
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 18: Agua de relave minero pasando por las cámaras del filtro.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IA 19: Agua de relave minero filtrada.



Fuente: Elaboración Propia

**INFORME DE ENSAYO**

LQY-ICPOES-AAAC-001

laboratorio	Ce. Laboratorio Yauli
Unidad Ciberna	
Referencia del Cliente	SOTO LIANCO CANDY PRISCILA

N° de Muestra	1
N° de Elementos	13
Fecha de Recepción	25/03/2019
Fecha de Resultados	25/03/2019
Hora	11:00

RESULTS OF SAMPLE		Physical Parameter	Sampling date	Origin	BARRIDO ICPOES - TOTALES												
Tube	Sample code				pH	TSS (ppm)	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Mo	Pb
1	MC-01	2.93	18/03/2019	CERRO DE PASCO	1.23	1.51	0.01	0.00	2.06	123.54	16.38	42.34	38.98	5.21	0.65	0.92	1.23
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	

**METODO DE ENSAYO**

N°	Método	Descripción
1	ICP	DIGESTION REGIA EN MUESTRAS AMBIENTALES - ICP

Los resultados corresponden al ensayo solicitado en el memorándum interno recibido  
 Los ensayos han sido realizados en:  
 LABORATORIO QUIMICO YAUJI  
 Unidad Minera Yauli - Carahuacra  
 Carretera Central N°168  
 Yauli - Junín - Perú  
 (+511) 4156000 Anexo 83330 - 83331  
[mbinas@volcan.com.pe](mailto:mbinas@volcan.com.pe)  
[yauji@quimico@volcan.com.pe](mailto:yauji@quimico@volcan.com.pe)



B  
 IB

IIB



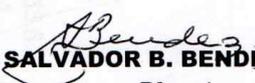
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL**

**CONSTANCIA DE ANÁLISIS**

Conste por el presente documento que la señorita **SOTO LLANCO, CANDY PRISCILA**, ha solicitado los servicios del Laboratorio de Análisis Instrumental para el análisis de muestras de: Cáscara de Cacao Modificado y Cáscara de Cacao sin Modificar; por el método de Espectroscopía de Infrarrojos con Transformadas de Fourier (Modelo FTIR-8700 de la marca SHIMADZU). Las muestras fueron analizadas mediante el Método de Bromuro de Potasio-DRS, obteniéndose el espectro, el mismo que se adjuntan al presente documento.

Se emite la presente para los fines que estime conveniente.

Huancayo, 16 de abril de 2019

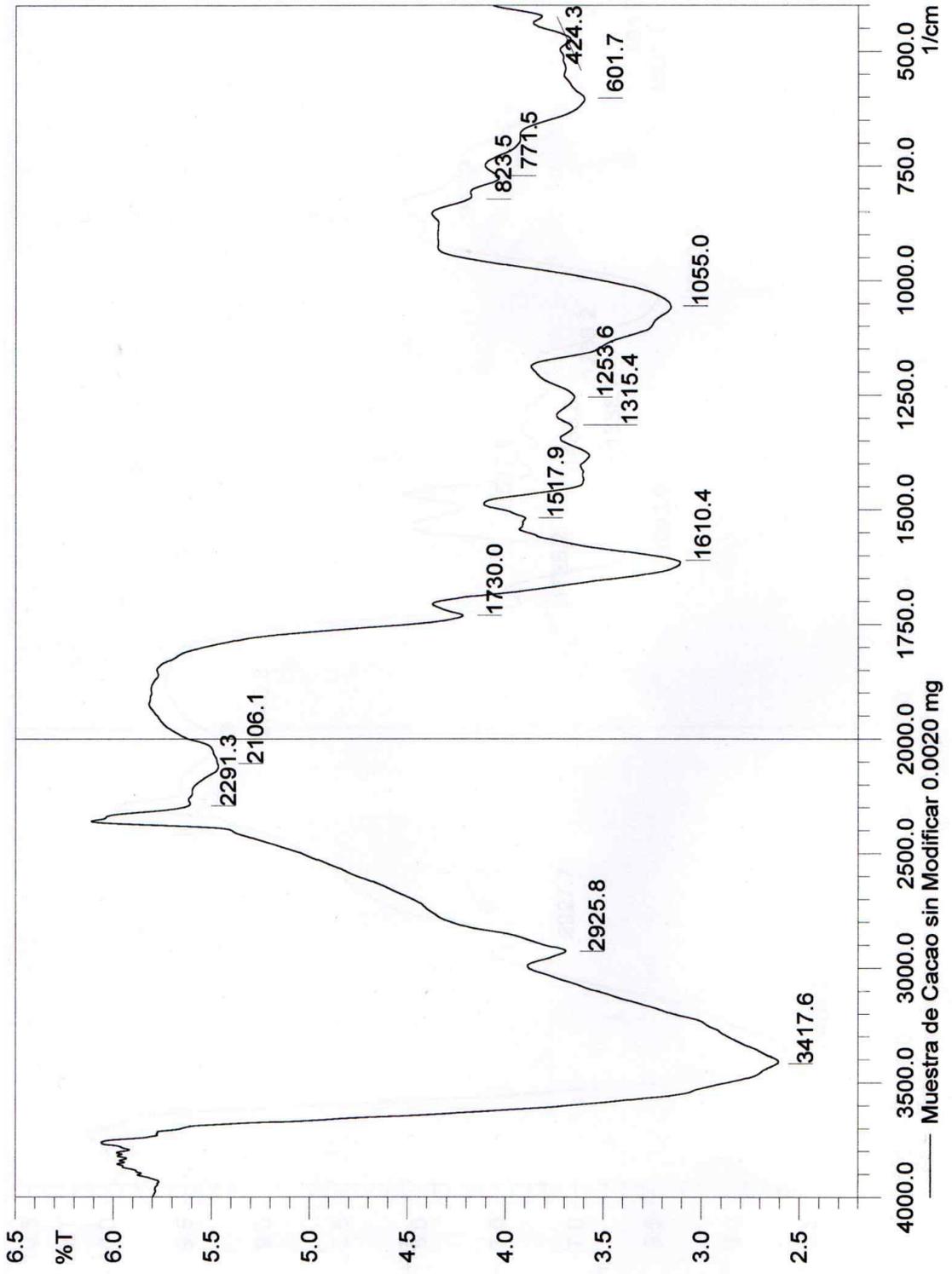
  
**Dr. SALVADOR B. BENÍTEZ MONTES**  
**Director**



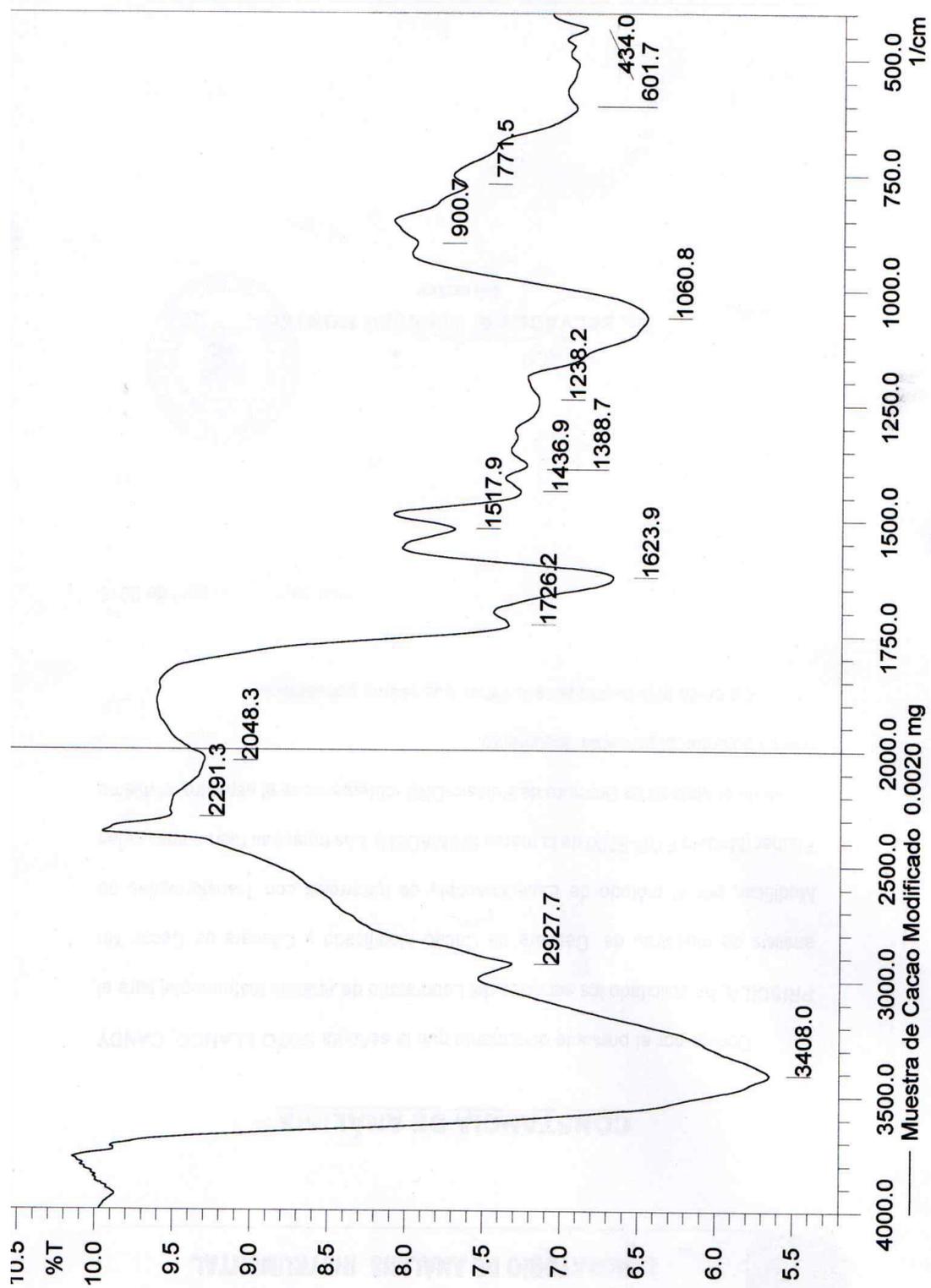
c.c./Archivo

Ciudad Universitaria Av. Mariscal Castilla N° 3909 - El Tambo – Huancayo  
Pabellón "C" segundo piso  
Telef. 481062 – Anexo 3768 Fax: (064) 248595

III B



IV B



Muestra de Cacao Modificado 0.0020 mg

V B



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL**

**ANÁLISIS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE  
ABSORCIÓN ATÓMICA**

**REPORTE DE RESULTADOS N° 39-2019**

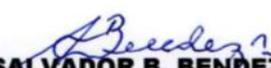
Interesado : Soto Llanco, Candy Priscila  
Responsable de la preparación : Solicitante.  
Tipo de Muestra : Soluciones.  
Determinación : Plomo  
Método de Análisis : Flama  
Fecha de Recepción de la Muestra : 25/03/2019  
Fecha de Análisis : 26/03/2019

**RESULTADOS**

CODIGO	Pb (ppm)	CODIGO	Pb (ppm)
PbSM_1	0,175	PbM_1	< 0,020
PbSM_2	0,178	PbM_2	< 0,020
PbSM_3	0,292	PbM_3	0,049
PbSM_4	0,323	PbM_4	0,118
PbSM_5	0,151	PbM_5	< 0,020
PbSM_6	0,192	PbM_6	< 0,020
PbSM_7	0,259	PbM_7	0,059
PbSM_8	0,336	PbM_8	0,122
PbSM_9	0,186	PbM_9	< 0,020
PbSM_10	0,183	PbM_10	< 0,020
PbSM_11	0,275	PbM_11	0,068
PbSM_12	0,341	PbM_12	0,142

\* Los resultados obtenidos se refieren solo a la muestra ensayada.

\* Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad.

  
**Dr. SALVADOR B. BENZEDU MONTES**  
Director



c.c./Archivo

Ciudad Universitaria Av. Mariscal Castilla N° 3909 - El Tambo - Huancayo  
Pabellón "C" segundo piso  
Telef. 481062 - Anexo 3768 Fax: (064) 248595