



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

**“Análisis de la adsorción del oro en soluciones cianuradas  
utilizando diferentes tipos de carbones activados”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN MINAS**

**Autor:**

**BRYAN JHAIR JARAMILLO MONCAYO**

**Director:**

**ING. FERNANDO TULIO VALENCIA GUARICELA**

**CUENCA – ECUADOR**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico principalmente a mis abuelos, Dioselina y Homero quienes fueron el pilar más grande en mi formación, brindándome el apoyo y motivándome a ser mejor persona cada día. Mi madre quien me apoya incondicionalmente en las decisiones que tomo y me aconseja pensando en mi bienestar. A mis hermanos, con la idea de ser un ejemplo de persona para ellos.

A mi bisabuela Rosa, quien fue parte importante en mi vida y que siempre estuvo para apoyarme en todo. Siempre la recordaré con mucho amor, y es que gracias a sus palabras y consejos logré ser la persona que soy.

De igual manera a mis abuelos Quimena y Abraham, quienes me motivaron a no desistir de mis objetivos.

A Keatklin, que me ayudó en los momentos duros de mi vida y estuvo ahí para ayudarme a superarlos, creíste en mí en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi director de tesis el Ing. Fernando Valencia por la confianza al compartir sus conocimientos en el desarrollo de esta tesis.

De igual manera al Ing. George Pastor por la ayuda brindada en la adquisición de los productos utilizados.

Al Ing. Eduardo Luna por la ayuda en la elaboración de la tesis.

Además, a mi familia y amigos que me ayudaron en mi vida universitaria, colaborándome con sus palabras y consejos que me ayudaron a culminar mi carrera.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>2</b>
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1 Lixiviación.....	2
1.2 Cianuración.....	5
1.3 Generalidades de la adsorción .....	9
1.4 Reacciones heterogéneas .....	11
1.5 Activación del carbón .....	11
1.5.1 Activación química.....	12
1.5.2 Activación física.....	13
1.6 Carbonización .....	13
1.7 Carbón activado .....	14
1.8 Carbón de cáscara de coco.....	16
1.9 Carbón vegetal .....	17
1.10 Elución o Desorción.....	17
1.11 Electrodeposición de Oro.....	18
1.12 Reactivación del carbón activado.....	20
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>22</b>
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	22
2.1 Elaboración de activado carbón.....	22
2.2 Elaboración de materiales.....	30
2.2.1 Solución de oro con cianuro .....	30

2.2.2	Preparación de carbones activado previo a la adsorción .....	33
2.3	Pruebas de laboratorio .....	34
2.3.1	Procedimiento.....	34
2.3.2	Toma de muestras.....	35
2.3.3	Análisis de las muestras.....	37
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>38</b>
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	38
3.1	Análisis de la información obtenida .....	38
<b>Conclusiones .....</b>		<b>41</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	¡Error! Marcador no definido.	
<b>Bibliografía .....</b>		<b>44</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Lixiviación en pilas.....	3
Figura 1.2. Agitación neumática. ....	4
Figura 1.3. Agitador mecánico.....	5
Figura 1.4. Diagrama de estabilidad Eh-pH para un sistema cianuro-agua. ....	7
Figura 1.5. Diagrama de estabilidad Eh-pH para sistema oro-agua.....	8
Figura 1.6. Diagrama de estabilidad Eh-pH para el sistema oro-cianuro-agua. ....	8
Figura 1.7. Proceso de adsorción. ....	9
Figura 1.8. Estructura del carbón activado.....	14
Figura 1.9. Modelo esquemático de un carbón activado.....	15
Figura 1.10. Carbón activado de cáscara de coco. ....	17
Figura 1.11. Reacciones electroquímicas relevantes durante la electrodeposición de oro. ....	19
Figura 2.1. Madera de Guayaba. ....	22
Figura 2.2. Cáscara de cacao.....	23
Figura 2.3. Cáscara de coco. ....	23
Figura 2.4. Materia prima secándose. ....	24
Figura 2.5. 100 gramos de cáscara de coco.....	25
Figura 2.6. Materia prima en recipientes con ácido fosfórico.....	26
Figura 2.7. Horno a gas con termómetro a 300 °C. ....	27
Figura 2.8. Envases con carbón dentro del horno. ....	28
Figura 2.9. Medición de pH de los 3 carbones.....	29
Figura 2.10. Mallas. ....	30
Figura 2.11. Cianuro de sodio.....	31
Figura 2.12. Solución de cianuro con oro. ....	32
Figura 2.13. Filtrado de solución de cianuro con oro. ....	32
Figura 2.14. Muestra de carbón activado. ....	33
Figura 2.15. Motor utilizado. ....	34

Figura 2.16. Equipo utilizado para agitación simultánea. ....	35
Figura 2.17. Muestras tomadas. ....	36
Figura 3.1. Gráfico de porcentajes de adsorción.....	39
Figura 3.2. Línea de tendencia exponencial de carbón de producción propia. ....	40
Figura 3.3. Línea de tendencia exponencial del carbón importado.....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

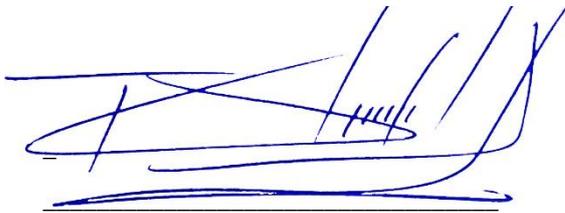
Tabla 2.1 Tabla de concentración .....	37
Tabla 3.1. Tabla porcentajes de adsorción .....	38

**“ANÁLISIS DE LA ADSORCIÓN DEL ORO EN SOLUCIONES  
CIANURADAS UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE CARBONES  
ACTIVADOS”**

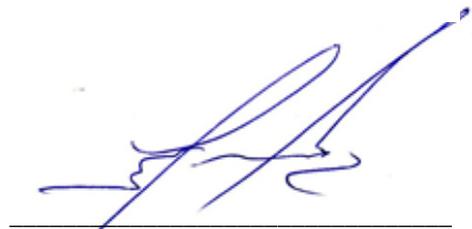
**RESUMEN**

En el presente trabajo se determinó el porcentaje de adsorción de oro mediante el método de lixiviación, empleando diferentes tipos de carbones activados, como el endocarpio de coco “*cocos nucifera*”, cacao “*theobroma cacao*”, madera de guayaba “*psidium*” y cáscara de coco importada; todos estos fueron sometidos a una activación química. Los porcentajes de adsorción obtenidos con el carbón de cáscara de coco importada fueron del 99% en un tiempo de 6 horas, mientras que el carbón de cáscara de coco de producción propia obtuvo una adsorción del 95% en 10 horas. Los carbones activados de cáscara de cacao y madera de guayaba llegaron a porcentajes del 28% y 46%, respectivamente, en un tiempo de 10 horas.

**Palabras claves:** Carbón activado, adsorción, espectrofotometría, activación química.



Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela  
**Director del Trabajo de Titulación**



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
**Coordinador de Escuela**



Bryan Jhair Jaramillo Moncayo

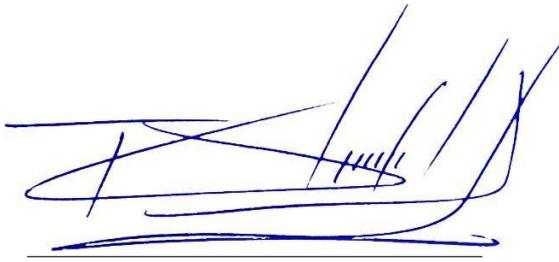
**Autor**

**“ANALYSIS OF GOLD ADSORPTION IN CYANIDE SOLUTIONS BY USING DIFFERENT TYPES OF ACTIVATED CARBONS”**

**ABSTRACT**

In this research, the percentage of gold adsorption was determined by the leaching method by using different types of activated carbons, such as the endocarp of coconut "*cocos nucifera*", cocoa "*theobroma cacao*", as well as guava wood "*psidium*" and activated carbon of imported coconut shell, which were subjected to chemical activation. The percentages of adsorption obtained with imported coconut shell charcoal were 99% in a time of 6 hours, while the own-produced coconut shell charcoal obtained 95% in 10 hours. The activated carbons of cocoa shell and guava wood reach percentages of 28% and 46% respectively, in a time of 10 hours.

**Keywords:** Activated carbon, adsorption, spectrophotometry, chemical activation



Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela  
**Director of the Degree Project**



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
**Coordinator of the School**



Bryan Jhair Jaramillo Moncayo

**Author**

**Translated by**



**Language department**



**Bryan Jaramillo**

Bryan Jhair Jaramillo Moncayo

Trabajo de titulación

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

Diciembre, 2021

**“ANÁLISIS DE LA ADSORCIÓN DEL ORO EN SOLUCIONES  
CIANURADAS UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE CARBONES  
ACTIVADOS”**

**INTRODUCCIÓN**

En la actualidad el uso de carbón activado proveniente de la cáscara de coco es usado como método para la adsorción de oro en soluciones cianuradas, este método ha sido utilizado en diversas zonas mineras. Sin embargo, existen tantas variedades de carbones que pueden ser utilizados, pero la efectividad de los mismos no ha sido estudiada a fondo ya que se encuentra muy poca bibliografía. Esto ha generado una cierta dependencia a un solo tipo de carbón activado, provocando que en todo momento exista un ligero aumento del precio, lo que afecta las ganancias de la empresa que posteriormente se puede traducir en pérdidas económicas.

El realizar un análisis, sobre la efectividad de adsorción en carbones, genera nuevos conocimientos que puede ayudar a los mineros a saber qué tipos de carbones se podrían utilizar y determinar los más rentables.

A partir de esta investigación se puede analizar los rechazos de la materia orgánica proveniente de industrias y convertirlos en carbón, buscando así lograr disminuir los desechos y la contaminación.

La utilización de carbones provenientes de diferentes tipos de cáscara de coco nacionales, puede generar una adsorción igual o mayor a la del carbón importado, lo cual podría ayudar a una mejor recuperación de oro y a reducir costos.

Como objetivo de este proyecto se logrará determinar los porcentajes de adsorción de oro utilizando diferentes tipos de carbones activados.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Lixiviación

En la metalurgia extractiva existen dos ramas principales que son la pirometalurgia y la hidrometalurgia, esta última consiste en la recuperación de minerales de interés mediante métodos físico - químicos utilizando agua en todo momento.

En el procesamiento mineral se encuentran varias etapas por la que debe pasar el mineral, las cuales son: trituración, molienda, lixiviación, extracción por solventes y electrodeposición. En esta ocasión el trabajo se centró en la lixiviación, la misma se la puede definir como el proceso en el cual se produce la disolución de una sustancia que se encuentra en fase sólida, y pasa a una fase líquida. Para ello, se utiliza un agente lixivante que ingresa en el lecho mineral y, conforme avanza por el mismo, va diluyendo el mineral o material de interés. Al finalizar el proceso se recoge una solución rica de mineral (Cárdenas et al., 2010).

Para que se provoque el proceso de lixiviación, se necesita que las fases sólida y líquida estén en íntimo contacto. De esta manera, la especie de interés se solubiliza fluyendo de una fase con dirección a otra, lo que provoca la disociación del material original. Esta separación se complementa posteriormente a través de procesos de filtración o de sedimentación en la solución enriquecida (Mancheno & Muñoz, 2019).

Existen diferentes procesos de lixiviación, dentro de los cuales resaltan algunos como:

- **Lixiviación in-situ:** tiene como característica principal que la lixiviación se realiza directamente a los cuerpos mineralizados.
- **Lixiviación en pilas:** el material es triturado y acumulado sobre una superficie impermeabilizada, en forma de pilas, las cuales son rociadas a través de una solución lixivante.

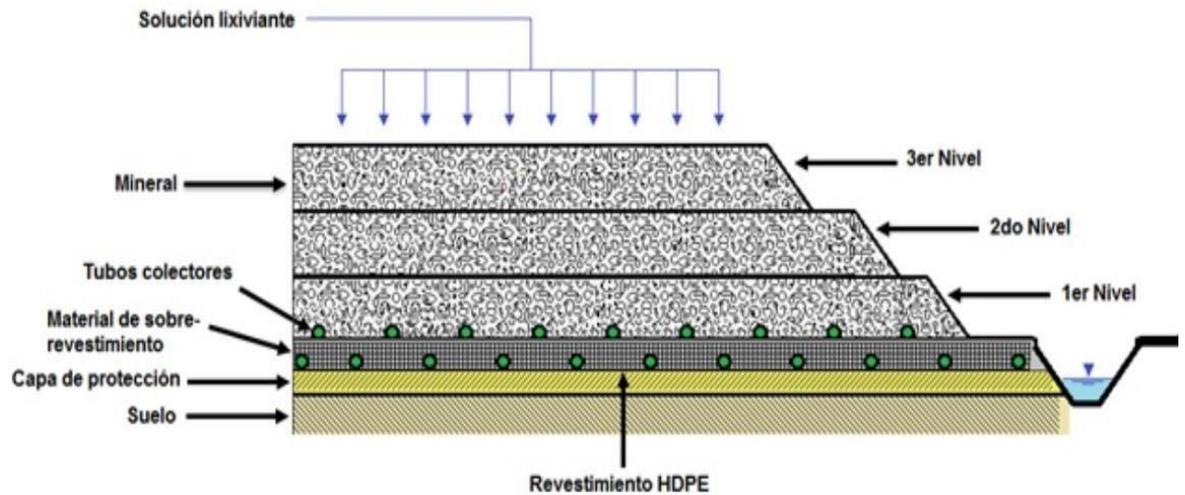


Figura 0.1. Lixiviación en pilas.

Fuente: (Broggi, 2015)

- **Lixiviación por agitación:** es llevada a cabo en tanques en donde se utiliza la agitación que puede ser agitación neumática, mecánica o agitación mixta.

En la agitación neumática o también conocida como agitación por aire, se emplean los llamados elevadores de aire, mientras que la agitación mecánica es realizada en tanques cilíndricos. Los agitadores tienen varias formas y su forma depende de las características que presenta la solución o pulpa, como son la granulometría del mineral y la viscosidad de la pulpa (Torres, 2018).

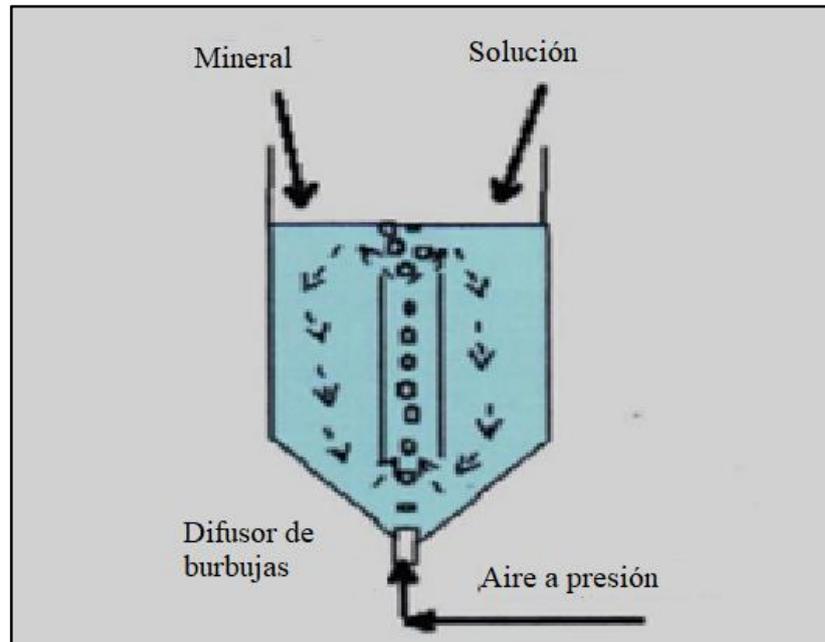


Figura 0.2. Agitación neumática.

Fuente: (Pino, 2014)

Sin embargo, la agitación mecánica con inyección de aire es el método más adecuado para los procesos enfocados en la extracción de metales (Torres, 2018).

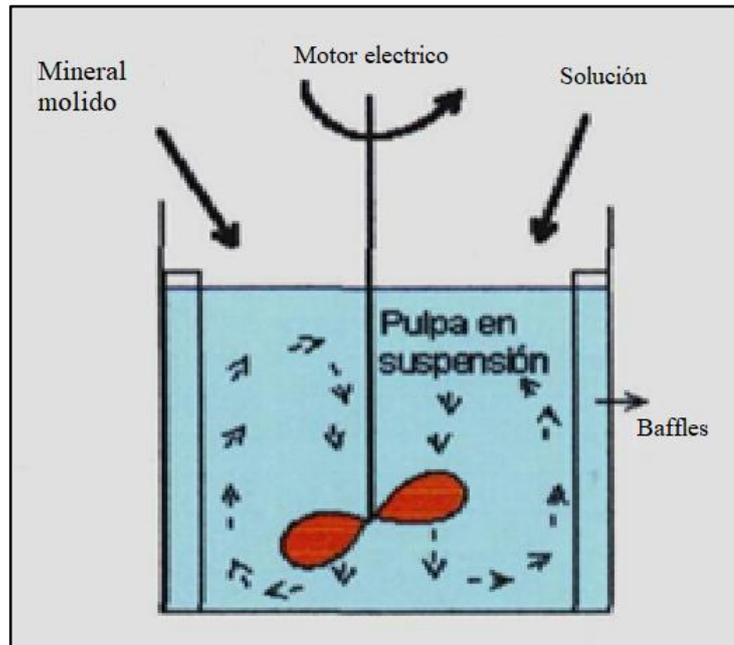


Figura 0.3. Agitador mecánico.

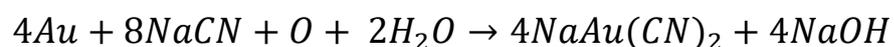
Fuente: (Pino, 2014)

## 1.2 Cianuración

El cianuro de sodio ha sido el reactivo de lixiviación preponderante para el oro, debido a que presenta una adecuada adsorción con el oro y se puede utilizar en una gran variedad de menas, además por sus bajos costos (Calizaya, 2002).

El bajo costo se debe a que forma complejos estables con el oro. Siendo el cianuro un elemento muy selectivo al momento de lixiviar metales que contienen oro. El agente oxidante en la cianuración es el oxígeno proveniente del aire. Sin embargo, no es suficiente el aire de la atmosfera; es por esta razón, que la solución debe tener un suministro de oxígeno que puede ser inducido por la agitación.

Según (Rojas, 2003), la reacción de cianuración es explicada en la siguiente expresión, conocida como ecuación de Elsner:



Por excelencia el cianuro de sodio se ha usado en Ecuador por su bajo costo y su capacidad para lixiviar oro.

El tiempo de residencia dependerá de las características de lixiviación, del material con el que se trabaja y se determina dentro del laboratorio. En la práctica puede variar, yendo en un rango que puede ser desde horas hasta varios días, esto depende de la eficiencia del equipo de agitación usado y del flujo de mezcla (Rojas, 2003).

La etapa de cianuración se ve afectada por distintos parámetros, entre los cuales está la disponibilidad oxígeno en la interfase sólido – líquido, concentración de cianuro en la solución, temperatura de pulpa, pH, área superficial disponible y velocidad de agitación (Rojas, 2003).

La velocidad de disolución es afectada directamente por la concentración de oxígeno en la solución, y este a su vez estará en relación con la temperatura y la presión atmosférica. La disminución de la temperatura aumenta la concentración de oxígeno en la solución y por consecuencia la velocidad de disolución aumentará. Un método usado para la disolución de oro en soluciones, consiste en inyectar oxígeno, con el objetivo de incrementar la concentración de cianuro, manteniendo en todo momento temperaturas bajas. Sin embargo, el aumento de oxígeno sobre los 20 mg/l, provoca que la superficie del oro se vuelva inactiva debido a la formación de una capa de óxido (Pazmiño, 2007).

El oxígeno es parte importante en el proceso y este debe ser suministrado mediante inyección de aire dentro de los tanques, esto puede darse a través de la agitación. Sin presencia de oxígeno la reacción no ocurrirá.

La modificación del pH en la solución, antes de agregar el cianuro es de gran importancia, pues aumentar el pH ayudará a prevenir la pérdida excesiva de cianuro por hidrólisis, además de controlar la formación de ácido cianhídrico. El pH adecuado para el proceso de cianuración o lixiviación con cianuro está en un rango de 9.24 a 11.

De acuerdo a los diagramas de Pourbaix en los sistemas de cianuro-agua, como se puede apreciar en la figura 1.4 y oro-agua en la figura 1.5, se demuestra que a pH bajo, el cianuro de hidrógeno es la especie dominante, por otro lado, en pH mayores a 9.24 el ion cianuro presenta una mayor estabilidad, es por esta razón que es necesario mantener un pH básico para evitar la formación de HCN, el cual es un gas de gran toxicidad para el ser humano, pues la exposición a 300 ppm puede ser mortal en

minutos, o la exposición en menor medida puede poner en riesgo la vida. Asimismo, el oro cubre una gran región dentro de todo el rango de pH. El ion auroso no es estable en un sistema oro-agua porque llega a descomponerse con espontaneidad produciendo  $\text{Au}^{3+}$  y oro metálico, como se aprecia en la figura 1.5. Debido a la estabilidad del oro metálico en agua, existe la necesidad de agregar agentes oxidantes como el ion cianuro (Pazmiño, 2007).

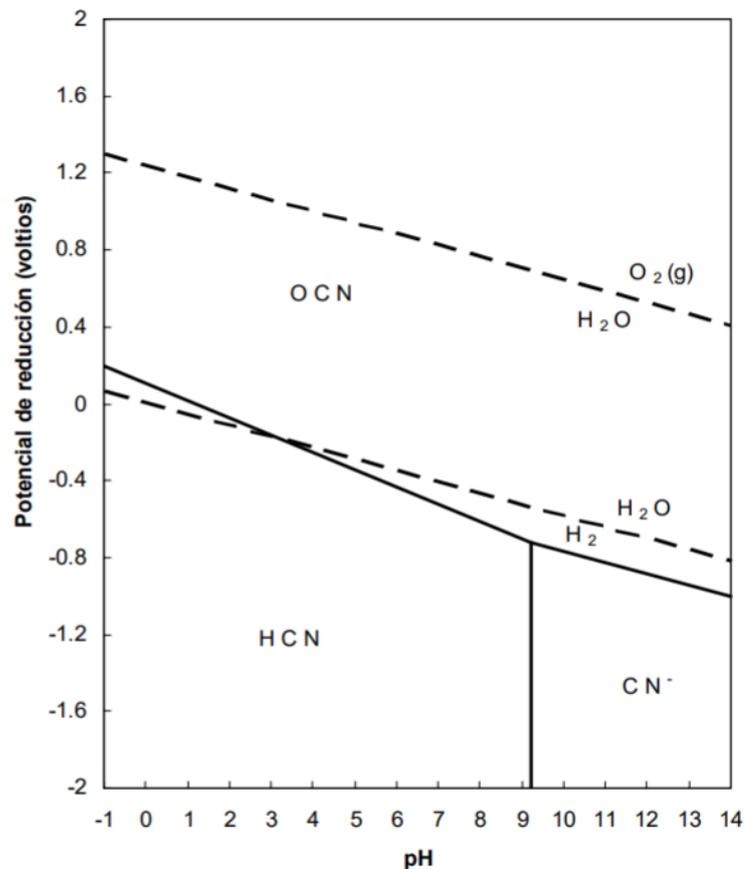


Figura 0.4. Diagrama de estabilidad Eh-pH para un sistema cianuro-agua.

Fuente: (Pazmiño, 2007)

En la figura 1.6, diagrama Eh-pH para el sistema oro-cianuro-agua, se puede apreciar que sucede al momento de agregar cianuro. Donde la solución aurodicianurada, abarca una extensa área de solubilidad en toda la escala de pH (Pazmiño, 2007)

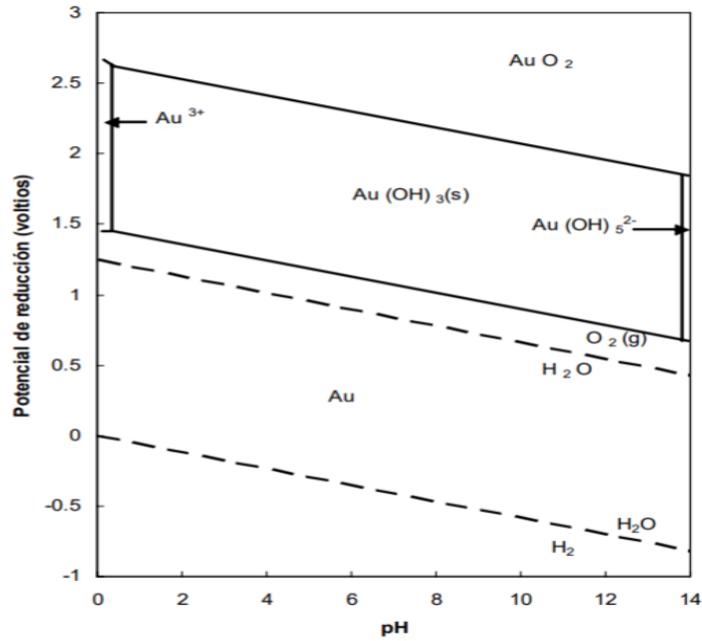


Figura 0.5. Diagrama de estabilidad Eh-pH para sistema oro-agua.

Fuente: (Pazmiño, 2007)

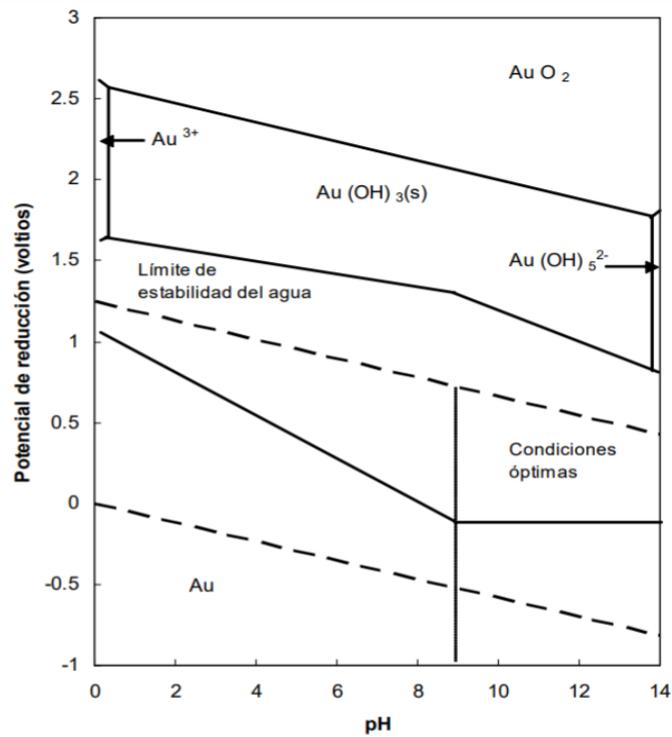


Figura 0.6. Diagrama de estabilidad Eh-pH para el sistema oro-cianuro-agua.

Fuente: (Pazmiño, 2007)

### 1.3 Generalidades de la adsorción

La adsorción es un fenómeno de gran importancia, debido a la gran cantidad de usos que se le puede dar en las diferentes industrias, esto se debe por la interacción que existe entre un soluto con el sólido adsorbente, todo esto gracias a las fuerzas físicas y químicas que presenta el sólido. La adsorción se realiza en la superficie del sólido, a diferencia de la absorción que ocurre dentro del sólido. Esto indica que a una mayor área superficial mayor será la adsorción de los elementos de interés.

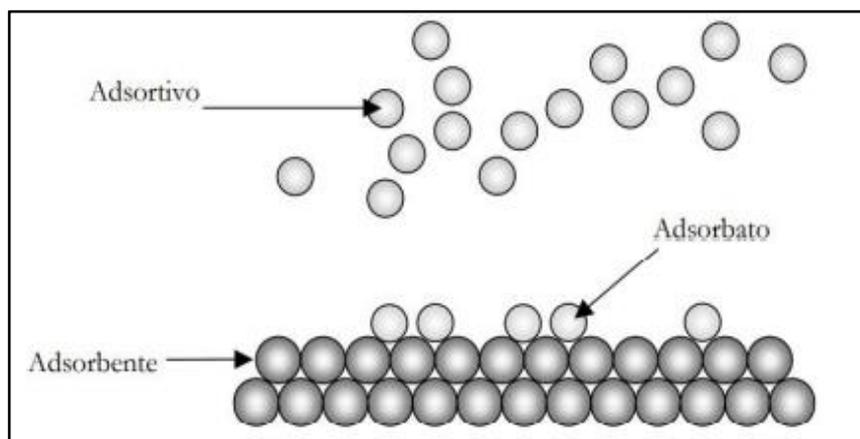


Figura 0.7. Proceso de adsorción.

Fuente: (Cabral, s. f.)

Las características que son evaluadas principalmente en los materiales al momento de usar adsorbentes son: capacidad de adsorción, su facilidad de regeneración, la selectividad que presenta hacia los elementos de interés, las propiedades mecánicas y su costo de fabricación (Cabral, s. f.).

La capacidad de adsorción es la cantidad de adsorbato que un material puede retener por una unidad de volumen, la cual se relaciona con el área superficial y el volumen de poros. La adsorción suele producirse en materiales que presentan una gran porosidad, ya que pueden presentar una gran área superficial interna y por ende permitir una mejor adsorción.

Existen dos tipos de adsorción: la adsorción física, o fisiadsorción y la adsorción química, o quimiadsorción. Lo que diferencia una de la otra es que en la adsorción

física se encuentra las interacciones de Van der Waals, siendo las predominantes, mientras que en la adsorción química las interacciones se asemejan a los enlaces químicos, dando como resultado valores distintos de entalpía una de otras. Un valor común de adsorción física está, cerca de  $-20$  kJ/mol y para el caso de la adsorción química el valor se acerca a  $-200$  kJ/mol (Atkins, 1991).

El mecanismo dominante también depende de la combinación del adsorbato-adsorbente. Así como las condiciones en las cuales ocurre el proceso, siendo los valores más representativos la concentración y la temperatura (Suzuki, 1990).

La adsorción de oro abarca la agitación de carbón activado en una solución cianurada con contenidos de sólidos que varían entre el 30% y 50% de sólidos. El oro es recuperado de la solución cianurada durante la agitación mediante el carbón activado que es agregado a la solución, el mismo adsorbe el oro gracias a que presenta una alta área superficial (Tomalá, 1998).

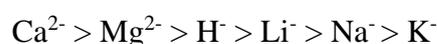
Para que ocurra el proceso de adsorción, la solución debe rodear al material adsorbente en un lecho fijo, donde primero la solución fluye por toda la superficie exterior para luego difundirse por el interior del carbón activado. Finalmente, el oro quedará sobre la superficie del carbón activado.

Las capacidades de adsorción se calcularán a partir del siguiente balance de masa:

$$q = \frac{(C_o - C_f)V}{W} \quad (0)$$

Donde  $C_o$  y  $C_f$  son las concentraciones iniciales y finales de los metales en  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $V$  es el volumen en litros de la solución empleada en los experimentos de adsorción y  $W$  es la masa del adsorbente en gramos (Ramón de los Santos et al., 2019).

Bajo condiciones de laboratorio, la capacidad de cargado de oro aumenta con el incremento de la concentración de cationes en las soluciones en el orden de



Y decrecen con la concentración de aniones en el orden:



En base a lo anterior, según (Pazmiño, 2007): el aurodicianuro de calcio se adsorbe con más fuerza que el ácido aurodicianuro dependiendo del pH de la solución. Además, se observa que, con la ausencia total de los iones, la adsorción de oro quedará inhibida por completo.

Los factores que llegan a afectar el proceso de adsorción pueden ser físicos o químicos. El aumento de la concentración de cianuro tiene un efecto desfavorable en la capacidad de carga como en la velocidad de adsorción, esto debido a la competencia que se crea entre los iones cianuro por ocupar los espacios libres en la superficie del carbón, quitando lugar a las moléculas de interés como el aurodicianuro. Sin embargo, en presencia de otros metales que no sean oro, el aumento de la concentración de cianuro facilita la selectividad. Otro factor que afecta es la temperatura, puesto que aumentar la temperatura del medio, provoca una disminución en la velocidad de adsorción y afecta la capacidad de adsorción del carbón activado, todo esto es debido a que la solubilidad de la molécula aurodicianuro incrementa con la temperatura (Pazmiño, 2007).

#### **1.4 Reacciones heterogéneas**

“Se producen en más de una fase. El tipo de reacción más común tiene una rapidez que depende del área de la superficie expuesta a la mezcla de reacción. Siendo las paredes internas las que se verán afectadas” (Moreno, 2011).

El proceso de la mayoría de este tipo de reacciones, comprende etapas como la difusión de los reactivos, las reacciones químicas y la difusión de los productos.

#### **1.5 Activación del carbón**

Los métodos de obtención de carbón activado son físicos o químicos, en el primer caso es un proceso térmico empleando una corriente gaseosa de dióxido de carbono, aire o vapor de agua como activante y en el segundo caso es un proceso donde se emplean como activantes, reactivos químicos como: ácido fosfórico, hidróxido de potasio y cloruro de zinc entre otros (Bansal & Goyal, 2005).

### 1.5.1 Activación química

La activación química se realiza al momento de sumergir la materia en un recipiente con una cantidad determinada de químicos, lo que provoca el aumento de la temperatura. Luego el producto es lavado para eliminar cualquier exceso de agente químico antes de la carbonización (Uribe et al., 2013).

En el proceso de activación química, la activación y carbonización son llevadas a cabo por medio de una descomposición térmica en un horno, añadiendo compuestos químicos como: el cloruro de zinc, ácido fosfórico e hidróxido de potasio, posterior a esta impregnación los materiales son sometidos a una carbonización con un ambiente sin presencia de nitrógeno o helio, es decir sin presencia de aire para evitar una combustión de los mismos, los químicos ayudarán a evitar la formación de alquitrán. La activación química ofrece varias ventajas como por ejemplo que esta activación se desarrolla en una sola etapa, no tiene la necesidad de trabajar a altas temperaturas y requiere cortos periodos de tiempo para obtener un alto rendimiento y mejor estructura porosa. Una de sus desventajas es que este proceso requiere de un tratamiento de efluentes, debido a la utilización de productos químicos en su fabricación (López, 2013)

Existen varios métodos para activar el carbón, como son: el uso de cloruro de zinc, ácido fosfórico e hidróxido de potasio. Cabe destacar que el emplear cloruro de zinc para la activación del carbón, deja residuos de zinc en los poros del carbón.

**Activación con cloruro de zinc.** Un método muy popular hasta el año 1970, en donde utilizaba el cloruro de zinc para la activación de carbón proveniente de madera. Pero en la actualidad el uso de este método está prohibido, debido a los problemas ambientales que provoca el uso del  $ZnCl_2$ . Sin embargo, países como China aún siguen usándolo para la elaboración de carbón activado (Pilamonta, 2013).

**Activación con ácido fosfórico.** El método de activación con ácido fosfórico no ha sido estudiado a fondo ya que se dispone de poca bibliografía. Sin embargo, de la bibliografía antes mencionada se conoce que el ácido fosfórico actúa como un agente deshidratante, provocando una aceleración en la

deshidratación y degradación de la materia prima impregnada (Pilamonta, 2013).

**Activación con hidróxido de potasio.** Este agente químico se utiliza principalmente para fuentes de carbono mineral ya que es necesario un alto contenido de carbono (Pilamonta, 2013).

### **1.5.2 Activación física**

En este proceso de activación, el material sólido se lo trabaja en una atmósfera oxidante (oxígeno, vapor de agua, dióxido de carbono, o una mezcla de éstos) además de estar sometido a temperaturas que varían entre 800°C y 1000°C, con el objetivo de eliminar materiales volátiles y aumentar el volumen de los poros y la superficie específica. Se puede decir que la activación es el proceso de una oxidación lenta del carbón resultante a través del cual se crean microporos en la superficie del carbón (Cubillos, 2019).

La activación física es conocida como un método por el cual se produce una degradación controlada, es decir una gasificación de materiales pirolizados, a través de reacciones endotérmicas no catalíticas  $C-H_2O$  y  $C-CO_2$  (Wigmans, 1986).

Para usar el método físico se comienza con la quema de todo el material, posterior a esto se desarrolla la abertura de poros que inicialmente estaban cerrados o bloqueados. Al final de la etapa de activación resulta un material completamente nuevo con una superficie elevada, debido a que se presenta una porosidad muy alta sin productos volátiles. La activación física a su vez genera menor impacto ambiental que el proceso de activación química (López, 2013)

## **1.6 Carbonización**

La carbonización es un proceso de pirólisis, que consiste en que la biomasa, sea expuesta a altas temperaturas para que la estructura se disgregue (carbonización), todo esto se realiza sin presencia de oxígeno para evitar la combustión del mismo, incrementando así el poder calorífico (Somerville & Jahanshahi, 2015).

Las etapas de activación y carbonización se realizan en hornos rotatorios elaborados en acero inoxidable y empleando materiales refractarios para soportar temperaturas de

activación, cercanas a 1000°C. Cuando se emplea un material orgánico como materia prima, el proceso debe empezar con la carbonización del material (Soto, 2007).

### 1.7 Carbón activado

El carbón activado tiene una larga historia, se tiene registros que, en la antigüedad, los egipcios usaban leña para la purificación de sus aguas, en el año 2000 A.C. En el siglo XIX, industrias francesas de azúcar emplearon por primera vez el uso de carbón activado para decolorar los jarabes. Usando carbones provenientes de distintas fuentes, se demostró que las propiedades de los mismos dependen del material de proveniencia y del tratamiento mediante el cual se elabora y el tamaño de partícula.

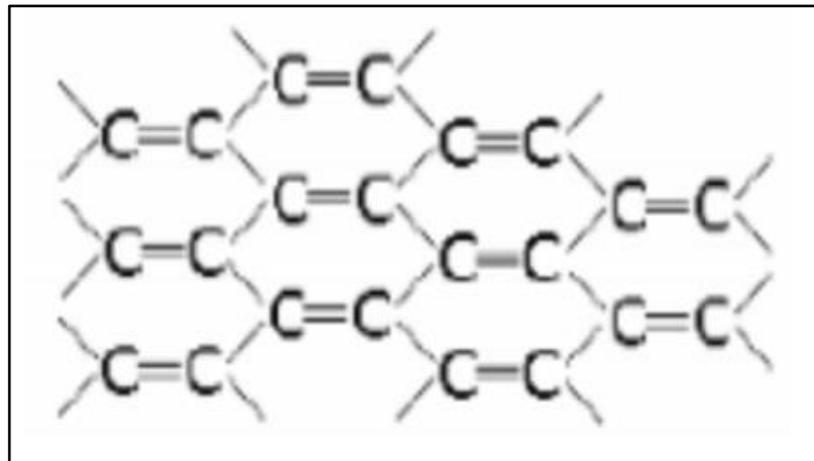


Figura 0.8. Estructura del carbón activado

Fuente: (Grisales & Rojas, 2016).

Tiene una superficie amplia debido a que su estructura interna es altamente porosa. Es por esto que es actualmente usado en varios campos de las industrias, como separador de gases y líquidos. Frente a esto existen diferentes tipos de carbón activado con distintas características y costos, según esto se debe determinar qué carbón activado es el ideal para el proceso que deseamos conseguir.

El emplear un material poroso genera ciertas ventajas en relación al proceso de sedimentación, una de las ventajas es la selectividad que el carbón tiene para adsorber especies de oro y plata, evitando procesos posteriores de separación de cobre y níquel.

Añadido a esto, la facilidad de extraer el carbón activado por medio de la filtración y evitar pasos de clarificación, cómo se lo realiza en el proceso que emplea zinc como medio de activación. Además de todas las ventajas antes mencionadas de adsorción de oro el carbón activado se puede reciclar y regenerar, todo esto reduce significativamente los costos de operación de la planta (Pazmiño, 2007).

Según (Tomalá, 2019), las propiedades más importantes para la extracción del oro son: la capacidad de adsorción de oro, la velocidad de adsorción, el esfuerzo mecánico, resistencia al uso, características de reactivación y distribución del tamaño de partícula.

El carbón activado es conocido como un elemento o material altamente poroso, que cuenta con grandes áreas superficiales, pero sus propiedades pueden variar dependiendo de su uso, esto debido a que las moléculas que son removidas o adsorbidas son de gran variabilidad. Debido a esto el carbón activado debe contar con características específicas (López, 2013).

El carbón activado es mayormente utilizado en procesos de adsorción ya sea a través de medios físicos o químicos, dependiendo de las fuerzas intermoleculares involucradas.

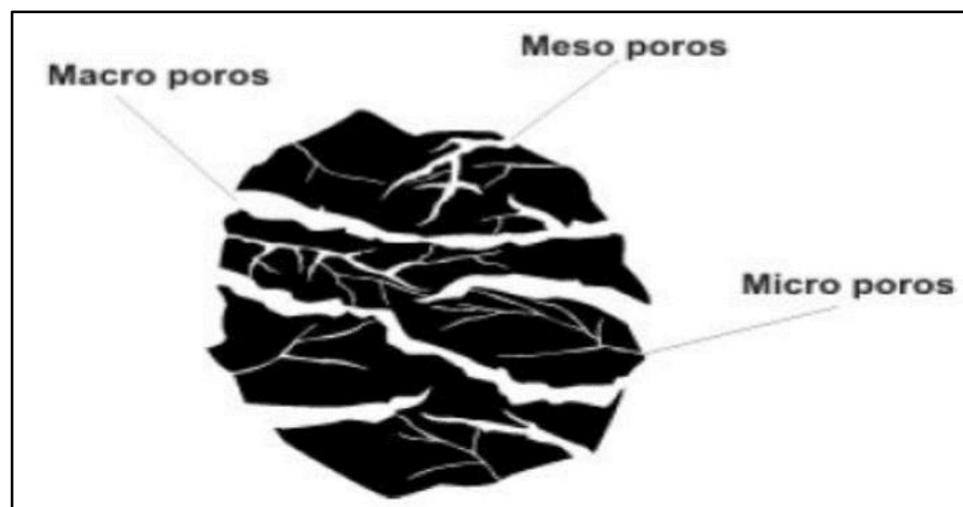


Figura 0.9. Modelo esquemático de un carbón activado.

Fuente: (Grisales & Rojas, 2016)

Los micro poros son menores a 2 nm, mientras que los meso poros están en un rango que va entre los 2 nm y 50 nm, finalmente los macro poros van desde los 50 nm hasta los 100000 nm. Cabe resaltar que arriba de los 100000 nm son visibles para el ojo humano y se los puede llamar grietas (Sevillano & Torres, 2013).

Los micro poros, por su tamaño pueden retener moléculas pequeñas, como es el caso de los compuestos volátiles, como los olores, sabores, y una gran variedad de solventes. Los meso poros son apropiados para atrapar moléculas de tamaño intermedio entre los demás poros. Los macro poros atrapan moléculas grandes como sustancias que se generan en la descomposición de la materia orgánica. A este fenómeno se le conoce como adsorción y es el responsable de atrapar el oro en soluciones cianuradas, además de purificar agua, desodorizar y decolorar líquidos que entren en contacto con un elemento adsorbente (Sevillano & Torres, 2013).

Cabe resaltar que todos los materiales carbonosos se los puede transformar en carbón activado. Sin embargo, las propiedades del producto final variarán según la naturaleza de la materia prima, del agente activante y de las condiciones del proceso de activación (Bansal et al., 1988).

La madera es usada como fuente de carbono y es decolorante, mientras que la cáscara de coco y los carbones obtenidos de carbón mineral son generalmente usados para la absorción de la fase gaseosa y aplicaciones de recuperación de oro (Tomalá, 1998).

### **1.8 Carbón de cáscara de coco**

La cáscara de coco usada como materia prima para la fabricación de carbón activado micro poroso es adecuada, debido a su excelente estructura natural y porque presenta un bajo contenido de cenizas (Pandolfo et al., 1994).

Es utilizado generalmente en las empresas, principalmente por su bajo costo de adquisición, además de que no requiere ser tratado antes de la utilización del mismo. Otras de las ventajas que presenta su uso, es su resistencia al desgaste y su alta capacidad de adsorción debido a su estructura porosa.

El carbón activado proveniente de cáscara de coco tiene una amplia distribución de poros, además de que tiene una mayor dureza y resistencia, en relación a los carbones

obtenidos de la madera. Otra ventaja que ofrecen los carbones activados provenientes de materiales orgánicos, en relación a los obtenidos de materiales inorgánicos, es que, en los primeros el porcentaje de cenizas es menor (Lazo, 2015).



Figura 0.10. Carbón activado de cáscara de coco.

Fuente: (Carrasco & Londa, 2018).

### **1.9 Carbón vegetal**

Se puede decir que el carbón vegetal es un combustible, que proviene de la combustión anaeróbica de la madera, es decir una combustión sin oxígeno, la madera es expuesta a altas temperaturas durante un tiempo determinado (Batalla et al., 2010).

Además, el carbón vegetal después de la activación incrementa su área superficial hasta 300 veces más, pues en su interior se llegan a formar poros con diferentes dimensiones. Este carbón puede ser activado mediante la activación física o la activación química (Prías et al., 2011)

### **1.10 Elución o Desorción**

Es el proceso contrario a la adsorción, existiendo varias maneras de lograrlo. Según (Tomalá, 1998), el proceso de desorción inicio en el año 1950 con el investigador J.B.

Zadra quien comercializó por primera vez su proceso en 1973. A este proceso se lo denominó proceso atmosférico Zadra, llevado a cabo a una presión atmosférica y el tiempo requerido para desorber el carbón fue de 24 a 60 horas. Siendo un método sencillo y económico, facilitando la aplicación de este método en plantas de operaciones a pequeña escala.

Existen más procesos como el de re-extracción con alcohol, re-extracción a alta presión y anglo americano.

**Re extracción con alcohol:** En este proceso el carbón saturado es desorbido empleando una solución de 0.1% de NaCN, 1% de NaOH y 20% de alcohol en volumen a una temperatura de 80°C. De igual manera este proceso como el de Zaldra, es llevado a cabo a presión atmosférica, pero la adición de alcohol acelera este ciclo a unas 5 a 6 horas (Tomalá, 1998).

**Re extracción a alta presión:** El carbón se trata con una solución que contiene 0.1% de NaCN y 1% de NaOH a 160 °C y a una presión de 3.4 atmósferas durante un tiempo de 2 a 6 horas. El uso de una alta temperatura reduce el consumo de reactivo; sin embargo, el aumentar la temperatura y presión, significa que es necesario un equipo de mayor costo (Tomalá, 1998).

**Proceso anglo americano:** Este proceso es más complejo, se inicia pre acondicionando el carbón con una solución de 1% de NaOH más 5% NaCN durante media hora, después se extrae el carbón empleando 5 lechos de volúmenes de agua caliente con una velocidad de flujo de 3 lechos por hora. El proceso se realiza a una temperatura de 110°C y con una presión de 0.5 a 1 atmósferas. El tiempo total que se emplea es de 9 horas (Tomalá, 1998).

### 1.11 Electrodeposición de oro

Este proceso se basa en el intercambio de electrones entre un electrodo sólido y los iones o moléculas disueltas en una solución. La velocidad con la que ocurre el proceso depende del potencial del electrodo, área del electrodo y la velocidad de transferencia de masa de las especies electroactivas a la superficie del electrodo (Paulino & Salazar, 2019).

En el caso de que el potencial del cátodo sea lo suficientemente negativo, las especies electroactivas de la solución se reducen a metal en cuanto alcanzan la superficie del mismo. Aumentar el potencial del cátodo da como resultado la reducción, ya que el ion se reduce. Para aumentar la velocidad del proceso, es necesario aumentar el área del electrodo o la velocidad en la que se entregan las especies electroactivas al cátodo (Paulino & Salazar, 2019).

Una reducción catódica puede controlarse en soluciones acuosas mediante la aplicación de voltaje a través de un par de electrodos que están sumergidos dentro de la solución. Para ello, es necesario aplicar un voltaje mayor que el potencial reversible del electrodo para la reacción, además permite la caída de voltaje debido a la resistencia de la solución, que se traduce como una función de la conductividad de la solución (Tomalá, 1998).

REACCIÓN
(1) $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$
(2) $\text{Hg}(\text{CN})_4^{2-} + 2\text{e}^- = \text{Hg} + 4\text{CN}^-$
(3) $\text{Pb}(\text{CN})_4^{2-} + 2\text{e}^- = \text{Pb} + 4\text{CN}^-$
(4) $\text{Ag}(\text{CN})_2^- + \text{e}^- = \text{Ag} + 2\text{CN}^-$
(5) $\text{Au}(\text{CN})_2^- + \text{e}^- = \text{Au} + 2\text{CN}^-$
(6) $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-} + \text{e}^- = \text{Cu} + 3\text{CN}^-$
(7) $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-$
(8) $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + 2\text{e}^- = \text{Fe} + 6\text{CN}^-$
(9) $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-} + 2\text{e}^- = \text{Ni} + 4\text{CN}^-$
(10) $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-} + 2\text{e}^- = \text{Zn} + 4\text{CN}^-$

Figura 0.11. Reacciones electroquímicas relevantes durante la electrodeposición de oro.

Fuente: (Paulino & Salazar, 2019).

En una solución de cianuro con oro, el oro se reducirá a oro metálico, como indica la figura 1.11 en la reacción (5). Hay que tener en cuenta que la reacción (1), representa la reducción de oxígeno en soluciones alcalinas, es una reacción catódica que compite

con la deposición de oro, debido a que el electrolito está saturado de oxígeno producto de la evolución de oxígeno que ocurre en el ánodo (Paulino & Salazar, 2019).

### 1.12 Reactivación del carbón activado

Una vez finalizado el proceso de adsorción de oro, el carbón llega a saturarse y pierde la capacidad de adsorción.

El carbón activado tiene una gran ventaja frente a otros métodos de recuperación de oro, debido a su gran capacidad de recuperar su potencial de adsorción luego de ser sometido a algún proceso de reactivación, se suele dar un baño ácido para disolver el cianuro y el oro que fueron adsorbidos dentro del carbón activado (Pazmiño, 2007).

Según (Carrasco & Londa, 2007), existen varios métodos para la reactivación del carbón como, por ejemplo: reactivación con vapor de agua, reactivación química, reactivación biológica, reactivación con gases calientes, reactivación térmica y reactivación mediante las modificaciones de pH en soluciones acuosas:

**Reactivación con vapor de agua:** la característica de este proceso es que se hace circular vapor de agua por el carbón activado saturado, consiguiendo la desorción moléculas orgánicas con volatilidad semejante a la del agua. Mientras mayor sea la presión del vapor, mayor será su temperatura y se conseguirá la desorción del compuesto de mayor peso (Carrasco & Londa, 2018).

**Reactivación con gases calientes:** método parecido al anterior con la diferencia de que se usa gases de combustión para el proceso de desorción.

**Reactivación química:** en general se puede usar cualquier tipo de ácido, pero el más utilizado es el ácido clorhídrico, y el proceso de lavado dura alrededor de 10 a 14 horas (Carrasco & Londa, 2018).

**Reactivación biológica:** se aprovecha las bacterias que se encuentran en la superficie del carbón activado ya saturado, suministrando nutrientes para que estas mismas bacterias se alimenten de la materia orgánica que ha sido adsorbida por el carbón. Este método ha sido utilizado en el tratamiento de

aguas residuales, llegando a tener una regeneración del 80% en un tiempo total de 96 horas (Carrasco & Londa, 2018).

**Reactivación térmica:** método utilizado con mayor frecuencia en industrias que realizan una decoloración o eliminación de permanganatos, ozono y otros agentes oxidantes. Llegando a eliminar gran cantidad de sustancias orgánicas que han sido adsorbidas por quimiadsorción o fisiadsorción (Carrasco & Londa, 2018).

**Reactivación mediante la modificación del pH en solución acuosa:** método usado para casos donde el carbón activado fue utilizado para la adsorción de fenol, se emplea una solución de sosa cáustica al 4% (Carrasco & Londa, 2018).

## CAPÍTULO 2

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 2.1 Elaboración de activado carbón

El primer paso fue la recolección de la materia prima, para ello en primer lugar se trabajó con la madera de guayaba proveniente del oriente ecuatoriano.



Figura 0.1. Madera de Guayaba.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se logró conseguir cáscara de cacao de pequeñas empresas que elaboran chocolate.



Figura 0.2. Cáscara de cacao.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, la cáscara de coco fue recolectada de residuos de comerciantes dedicados a la comercialización de este fruto.



Figura 0.3. Cáscara de coco.

Fuente: Elaboración propia.

Según (Carrasco & Londa, 2018), se debe dejar secar las muestras durante 48 horas. Ya que esta materia primera contiene una gran cantidad de agua. Transcurridas las 48 horas se verificó si existía la presencia de humedad, dando como resultado que efectivamente aún estaban húmedas las muestras, en especial la correspondiente a la madera de guayaba, a la cual se la dejó secar durante 1 semana a temperatura ambiente para reducir su porcentaje de humedad y poder tener un mayor control del peso de la materia prima.



Figura 0.4. Materia prima secándose.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez secado el material se procedió a reducir el tamaño del mismo, lo suficiente para poder colocar 100 gramos de cada materia prima en envases de cristal de 500 ml, recordando que se utilizó un envase para cada tipo de materia prima.

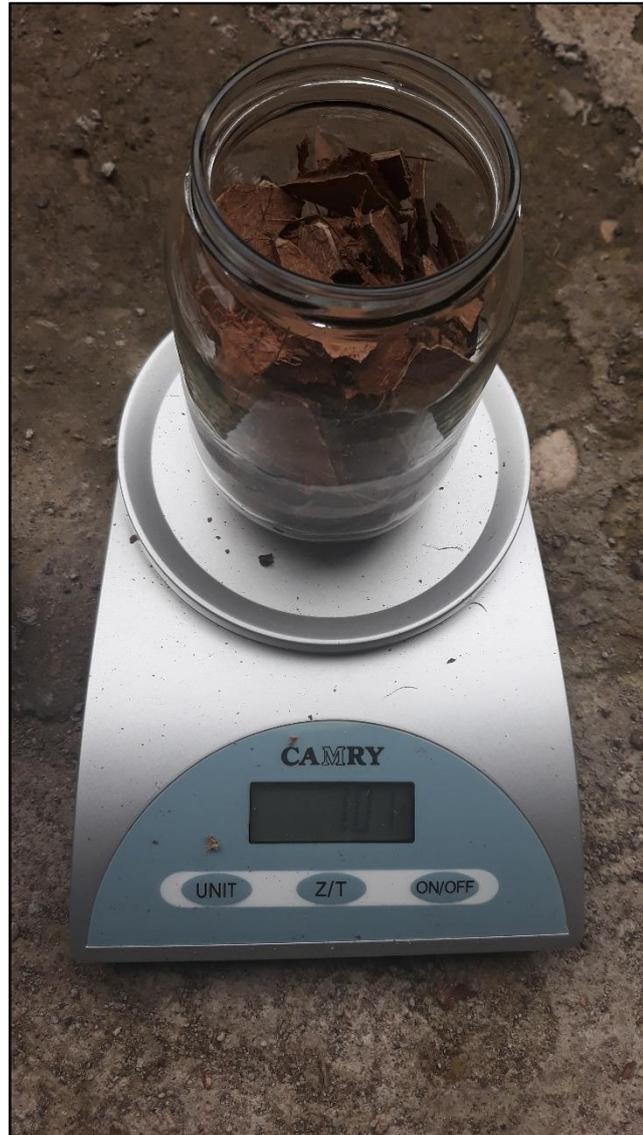


Figura 0.5. 100 gramos de cáscara de coco.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se le adicionó una solución de 300 ml de ácido fosfórico al 45% y se lo dejó reposar durante 16 horas agitando ocasionalmente, para poder asegurar que toda la materia prima está siendo tratada por el ácido fosfórico y evitar que existan partes que no sean tratadas.



Figura 0.6. Materia prima en recipientes con ácido fosfórico.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez transcurridas 16 horas, se filtró la materia prima a través de una malla plástica y el material filtrado se lo colocó en envases de cristal de 500 ml, con pequeños agujeros en las tapas, para la salida de los gases ya que las materias primas emanan gases en este proceso, evitando que los envases estallen dentro del horno, a estos envases se los introdujo en el horno hasta llegar a una temperatura de 300°C.



Figura 0.7. Horno a gas con termómetro a 300 °C.

Fuente: Elaboración propia.

Se mantuvo la temperatura durante un tiempo de 2 horas y 30 minutos, una vez finalizado este tiempo se procedió a tapar los agujeros de las tapas con arena para evitar que el aire ingrese. Logrando que el proceso de carbonización culmine sin la presencia de oxígeno, posteriormente se dejó enfriar los envases para luego sacarlos del horno.



Figura 0.8. Envases con carbón dentro del horno.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se realizaron 10 lavados a los carbones con agua destilada y se midió el pH a cada uno de ellos, observando que el pH no es neutro es ácido por lo que se procedió a lavar el carbón con hidróxido de sodio. Al finalizar cada lavado con hidróxido de sodio se realizó el lavado con agua destilada, para asegurar una correcta medición de pH. Cuando el pH de los 3 tipos de carbones fue neutro se los dejó secar a temperatura ambiente para que se evapore el exceso de la solución.

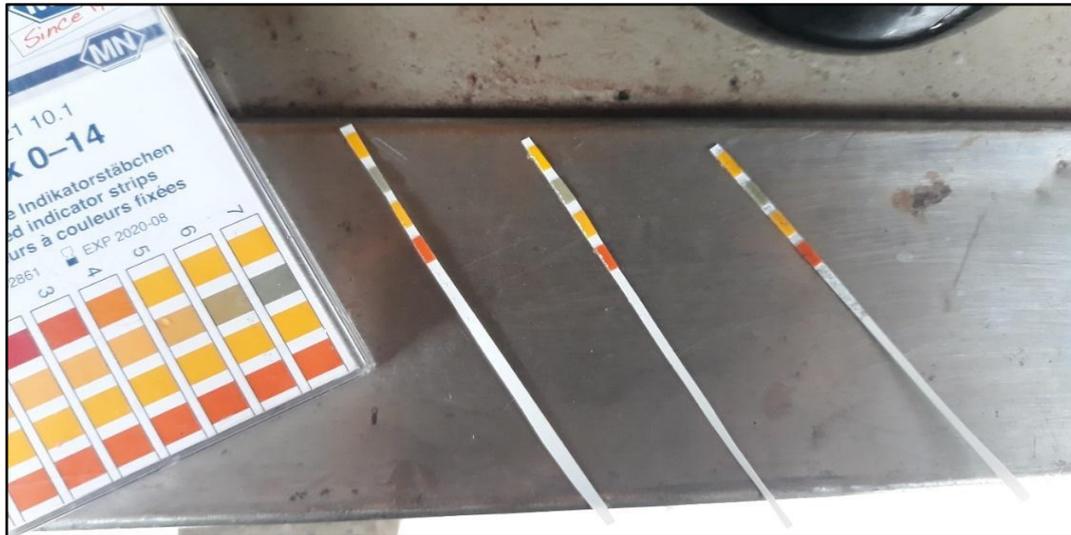


Figura 0.9. Medición de pH de los 3 carbones.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se trituraron los carbones con ayuda de morteros, teniendo cuidado de no triturar demasiado, evitando la pérdida del carbón activado. El producto de la trituración se tamizó y se utilizó únicamente carbones con un tamaño de partícula equivalente a 2360 micrómetros.



Figura 0.10. Mallas.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Elaboración de materiales

### 2.2.1 Solución de oro con cianuro

Para la elaboración de la solución de cianuro con oro, se disolvió 0.3 gramos de oro en 4 litros de agua destilada. Primero, a los 4 litros de agua destilada se le agregó 4 gramos de cal logrando tener un pH de 11. Una vez logrado el pH 11 se le agregó 40 gramos de cianuro de sodio.



Figura 0.11. Cianuro de sodio.

Fuente: Elaboración propia.

Se volvió a controlar el pH para mantenerlo en 11, evitando que se volatilice. Posterior a eso, se le adicionó el oro y se procedió a la agitación con el objetivo de suministrar oxígeno en todo momento. Adicional a ello se controló el pH para que no descienda, agregando ocasionalmente 1 gramo de cal para mantener el pH en 11.



Figura 0.12. Solución de cianuro con oro.

Fuente: Elaboración propia.

El proceso para disolver el oro tuvo una duración de 30 horas. Posterior a esto se filtró la solución para eliminar cualquier residuo o impureza.



Figura 0.13. Filtrado de solución de cianuro con oro.

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la filtración, se tomó una muestra, la misma fue enviada al laboratorio asegurando así la línea base de la solución.

### 2.2.2 Preparación de carbones activados previo a la adsorción

Todos los carbones activados que se usaron presentan un tamaño 2360 micrómetros. Al carbón de cáscara de coco industrial, se le realizó un proceso de lavado con agua destilada para eliminar cualquier impureza que haya tenido en el momento de la fabricación o transportación, así como para eliminar materiales que se hayan triturado entre sí, logrando generar una igualdad de condiciones entre los carbones activados. Se utilizó un total de 10 gramos de carbón activado en cada litro de solución cianurada.



Figura 0.14. Muestra de carbón activado.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.3 Pruebas de laboratorio

### 2.3.1 Procedimiento

Se construyó un equipo usando motores y una fuente eléctrica, con un regulador de voltaje para modificar las revoluciones del motor, a estos motores, se les agregó un palillo de madera con una brida plástica en el borde para simular el trabajo de aspas, regulando el largo de la brida se logró obtener una agitación óptima para el experimento.

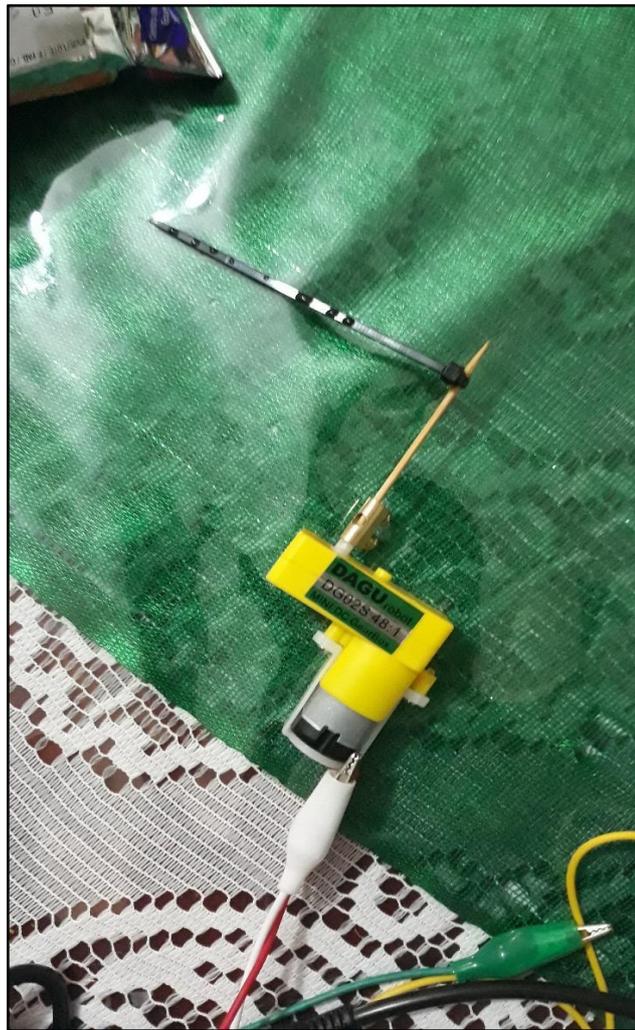


Figura 0.15. Motor utilizado.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la imagen se observa un palillo de menor tamaño, posteriormente se le colocó un palillo más grande con la brida plástica.

Estos motores se colocaron en soportes metálicos para embudos en la parte superior. Se dividió la solución de cianuro con oro en 4 partes iguales, 1 litro para cada tipo de carbón, después de eso se agregaron 10 gramos de carbón activado a cada litro y se procedió a encender el equipo y se agitaron a la vez los cuatro tipos de carbón durante 10 horas. Se suministró 3.54 voltios a cada motor para que la velocidad de agitación fuera de 50 rpm.



Figura 0.16. Equipo utilizado para agitación simultánea.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.2 Toma de muestras

Una vez iniciado el proceso, se tomaron muestras cada 2 horas, usando una pipeta de 10 ml, estas muestras fueron envasadas con su respectivo código en recipientes plásticos. Después de cada toma de muestras, se realizó la limpieza de la pipeta con agua destilada para evitar la contaminación de muestras entre sí. Se tomaron un total de 20 muestras a lo largo de las 10 horas, 5 muestras por cada tipo de carbón, recordar que en todo momento se mantuvo el equipo funcionando. Estas muestras fueron

enviadas a un laboratorio para poder realizar el análisis por espectrofotometría de adsorción.



Figura 0.17. Muestras tomadas.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.3 Análisis de las muestras

Los resultados de las muestras que se enviaron al laboratorio para su análisis arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 0.1 Tabla de concentración

<b>TABLA DE CONCENTRACIÓN</b>				
Tiempo	Coco (g/l)	Cacao (g/l)	Guayaba (g/l)	Importado (g/l)
0 horas	0,0793	0,0793	0,0793	0,0793
2 horas	0,0644	0,0627	0,0508	0,0736
4 horas	0,0640	0,0625	0,0505	0,0022
6 horas	0,0631	0,0617	0,0491	0,0010
8 horas	0,0276	0,0577	0,0466	0,0009
10 horas	0,0033	0,0568	0,0432	0,0007

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que se usó códigos únicos para cada muestra y así poder obtener los resultados lo más veraz posible.

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Análisis de la información obtenida

Para los resultados en el laboratorio, se elaboró la tabla de porcentajes de absorción de cada tipo de carbón activado. Además, se realizó gráficas con líneas de tendencia entre lo carbones activados de cáscara de coco importado y de fabricación propia.

Tabla 0.1. Tabla de porcentajes de adsorción

<b>TABLA DE PORCENTAJES DE ADSORCIÓN</b>				
Tiempo	Coco	Cacao	Guayaba	Importado
0 horas	0%	0%	0%	0%
2 horas	18,79%	20,93%	35,94%	7,19%
4 horas	19,28%	21,19%	36,32%	97,23%
6 horas	20,43%	22,19%	38,08%	98,75%
8 horas	65,23%	27,24%	41,24%	98,90%
10 horas	95,84%	28,37%	45,52%	99,09%

Fuente: Elaboración propia.

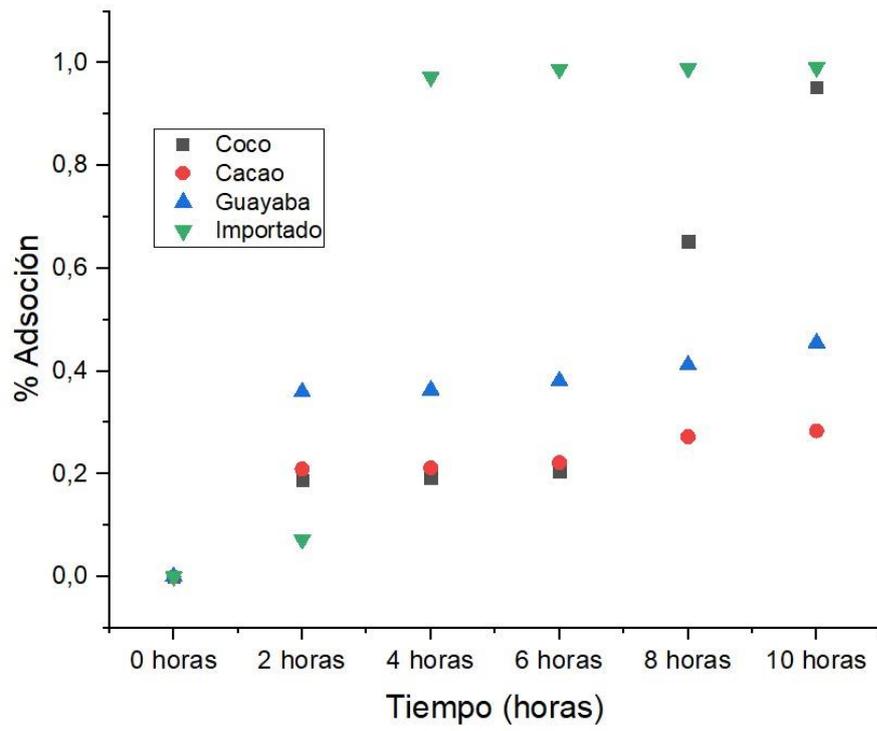


Figura 0.1. Gráfico de porcentajes de adsorción

Fuente: Elaboración propia.

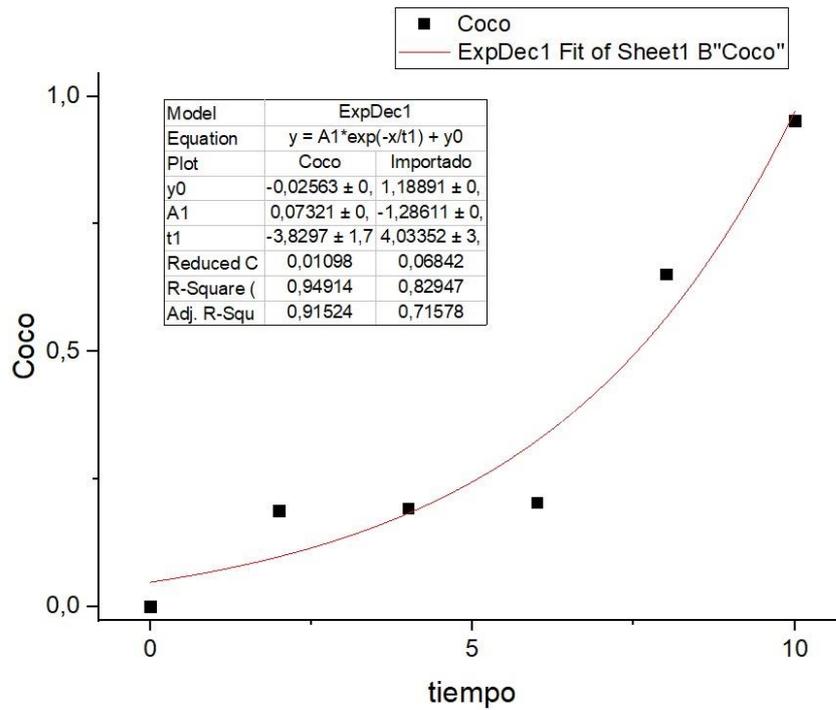


Figura 0.2. Línea de tendencia exponencial de carbón de producción propia.

Fuente: Elaboración propia.

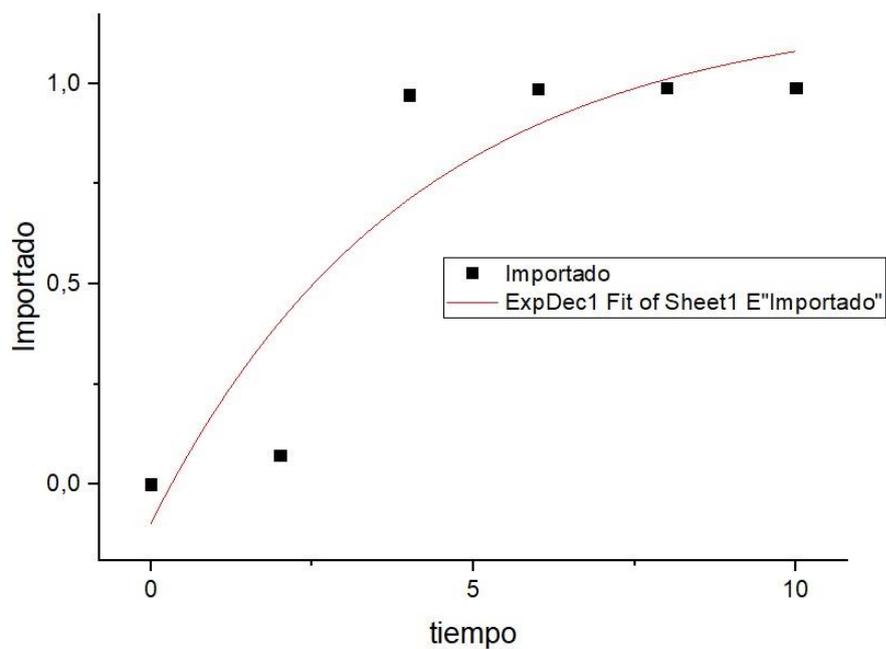


Figura 0.3. Línea de tendencia exponencial del carbón importado.

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Con los resultados obtenidos se puede apreciar que el mejor carbón para la adsorción de oro en soluciones cianuradas es el de cáscara de coco importado, el cual tiene un mayor porcentaje de adsorción en un menor tiempo, llegando al 97% de adsorción de oro en un tiempo de 4 horas y a un 99% de adsorción de oro en un tiempo de 6 horas, mientras que el carbón de producción casera presenta un 95% de adsorción en un tiempo de 10 horas. Esta diferencia de tiempos se debe a las tecnologías empleadas por parte de las industrias al momento de la elaboración del carbón activado.
- Los porcentajes de adsorción obtenidos con el carbón de cáscara de coco importada fueron del 99% en un tiempo de 6 horas, mientras que el carbón de cáscara de coco de producción propia obtuvo una adsorción del 95% en 10 horas. Los carbonos activados de cáscara de cacao y madera de guayaba llegaron a porcentajes del 28% y 46%, respectivamente, en un tiempo de 10 horas, todos con un tamaño de partícula de 2360 micrones, estos resultados coinciden con los obtenidos por (Pazmiño, 2007), donde el porcentaje de adsorción de oro a diferentes tamaños de carbón activado, provenientes de la cascara de coco, logró una adsorción de oro al 100% en 24 horas, pero con tamaños de partículas que van desde 1180-3350 micrómetros, mientras que a tamaños de partículas de 500-1000 micrómetros, la recuperación del 100% fue a 3 horas.
- El carbón activado proveniente de la guayaba tiene un porcentaje de adsorción del 46 % después de 10 horas, mientras que el de cacao tiene un porcentaje de adsorción del 28% al finalizar el experimento. Estos dos últimos presentan un porcentaje de adsorción sin mucha variación a medida que pasa el tiempo.
- Por otra parte, se pudo observar que el carbón de cacao se pulveriza con mayor facilidad que el resto de carbonos, lo que significa una menor vida útil para este tipo de carbón activado.

- Según (González & Villalobo, 2020) y (Martínez, 2019), se puede afirmar que los carbones activados de cáscara de cacao y madera de guayaba son los más efectivos y generan mejores resultados en otras actividades como el tratamiento de aguas o en la fabricación de filtros, es una alternativa de bajo costo.

## **Recomendaciones**

- Para próximas investigaciones se recomienda realizar un índice de absorción previo al inicio de las pruebas, para un mejor control de la materia prima a utilizar. Además, se aconseja el uso de instalaciones y equipos más sofisticados para la elaboración del carbón activado, pues esto mejoraría la capacidad de adsorción del carbón activado.
- También es importante plantear investigaciones donde exista variación de tamaños de partículas del carbón activado, concentración de carbón activado, suministro de oxígeno, velocidad de agitación y concentración de cianuro.
- Por otro lado, realizar la toma de muestras a periodos de tiempo más cortos significaría obtener gráficas con más puntos, lo que permitiría poder establecer curvas de adsorción más precisas.
- El uso de materias primas de mayor resistencia evitaría la disgregación del carbón en los procesos de adsorción, logrando una mayor vida útil del carbón, y reduciendo así los costos del proceso.
- Finalmente, el emplear distintos métodos de activación de carbón generaría distintas capacidades de adsorción, lo que se puede traducir en mejores porcentajes de recuperación o disminución de sus tiempos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Atkins, P. W. (1991). *Fisicoquímica*. Addison-Wesley Iberoamericana.
- Bansal, R. C., Donnet, J.-B., & Stoeckli, F. (1988). *Active carbon*.
- Bansal, R. C., & Goyal, M. (2005). *Activated carbon adsorption*. CRC press.
- Batalla, M. D., Asencios, A. G., Yepes, D. S., & Mora, E. G. (2010). *El carbón vegetal: Alternativa de energía y productos químicos*. Xilema, 23(1), 95-103.
- Broggi, I. (2015, abril 16). *Hidrometalurgia y lixiviación*. LIXIVIACIÓN. <https://hydrometallurgyperu.wordpress.com/2015/04/16/hola-mundo/>
- Cabral, S. H. (s. f.). *ZIF-67 COMO MEDIO ADSORBENTE DE FLUORUROS EN SOLUCIÓN ACUOSA*".
- Calizaya, S. P. (2002). *Lixiviación de menas auríferas con sales oxidantes en medio ácido mediante el proceso severo*. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, 5(9), 22-31.
- Cárdenas, F., Díaz, M., Guajardo, C., & Oliva, M. B. (2010). *Lixiviación de minerales mediante pilas y bateas*. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Carrasco, B. T., & Londa, E. V. (2018). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco "Cocos Nucífera L"*. 143.
- Cubillos, C. S. P. (2019). *Evaluación de la obtención de carbón activado a partir de bambú de la especie Chusquea Scandens Kunth por activación física* [B.S. thesis]. Fundación Universidad de América.
- González, G. M., & Villalobo, W. P. (2020). *Estudio del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao criollo (Theobroma cacao)*, UNAN-Managua, Agosto-Diciembre 2020 [PhD Thesis]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- Grisales, A. M., & Rojas, W. A. (2016). *Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales*.

Lazo, R. C. (2015). Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco. Universidad Nacional del Callao. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1043>

López, L. T. C. (2013). *Activación de carbones para aplicación en almacenamiento de gas natural vehicular (metano)*. Escuela de Procesos y Energía.

Mancheno, P. L. P., & Muñoz, A. E. G. (2019). *RECUPERACIÓN DE ORO DE SOLUCIONES POST-LIXIVIACIÓN CON CIANURO DE SODIO MEDIANTE CEMENTACIÓN CON CINC Y ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVADO*. USFQ, 107.

Martínez, J. G. (2019). *Química verde: Eliminación de contaminantes emergentes en efluentes mediante biomasa lignocelulósicas de bajo coste procedentes de la industria agroalimentaria*.

Moreno, A. (2011). *Cinetica Química*. 5.

Pandolfo, A. G., Amini-Amoli, M., & Killingley, J. S. (1994). *Activated carbons prepared from shells of different coconut varieties*. *Carbon* (New York, NY), 32(5), 1015-1019.

Paulino, L. Á., & Salazar, R. G. (2019). *Variables que influyen en la electrodeposición del oro a partir de soluciones cianuradas diluidas en la Empresa Ecoservicios e Ingeniería Limpia SAC–Puente Piedra–Lima*.

Pazmiño, J. A. (2007). *Estudio de la adsorción de oro en carbón activado a diferentes condiciones, y modelado de la cinética de adsorción en función del tamaño de partícula* [B.S. thesis]. Quito: USFQ, 2007.

Pilamonta, J. V. M. (2013). *Mejoramiento del carbón activado contaminado en el tratamiento de agua potable*.

Pino, J. M. (2014). *Estudio de la cianuración en tanques de la Minera Antapite*.

Prías, J. J. B., Rojas, C. A. G., Echeverry, N. A. M., Fonthal, G., & Ariza, H. C. (2011). *Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *guadua angustifolia kunth**. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(135), 157-166.

Ramón de los Santos, C., Barajas Fernández, J., Pérez Hernández, G., Hernández Rivera, M. Á., & Díaz Flores, L. L. (2019). *Adsorción de cobre (II) y cadmio (II) en suspensiones acuosas de CaCO<sub>3</sub> biogénico nanoestructurado*. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 58(1), 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.05.003>

Rojas, N. R. R. (2003). *Recuperación de oro y plata desde residuos ferríticos mediante cianuración*.

Sevillano, S. A., & Torres, P. B. (2013). *Obtención de carbón activado a partir de madera* [PhD Thesis]. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria.

Somerville, M., & Jahanshahi, S. (2015). *The effect of temperature and compression during pyrolysis on the density of charcoal made from Australian eucalypt wood*. Renewable Energy, 80, 471-478. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.02.013>

Soto, F. J. P. (2007). *Evaluación técnico económica de una planta de carbón activado*.

Suzuki, M. (1990). *Adsorption engineering* (Vol. 14). Kodansha Tokyo.

Tomalá, C. A. (1998). *Análisis de un Sistema de Adsorción y Desorción de Oro de Carbón Activado y su Electrodeposición*. [B.S. thesis]. Espol.

Torres, K. A. (2018). *Electro-lixiviación de oro utilizando tiosulfato de sodio como lixivante*. 51.

Uribe, L. M., López, M. E., & González, A. G. (2013). *ACTIVACIÓN DE CARBÓN MINERAL MEDIANTE PROCESO FÍSICO EN HORNO TUBULAR HORIZONTAL Y ATMÓSFERA INERTE*. Revista Colombiana de Materiales, 4, 25-40.

Wigmans, T. (1986). *Fundamentals and practical implications of activated carbon production by partial gasification of carbonaceous materials*. En Carbon and coal gasification (pp. 559-599). Springer.