

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**ADSORCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DE TALLOS Y HOJAS DE
CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule*), PARA LA RECUPERACIÓN
DEL ORO EN LA MINERA COLIBRÍ S.A.C.**

TESIS

PRESENTADA POR:

ORLANDO YAMPASI CACERES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO-PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**Adsorción del carbón activado de tallos y hojas de Cañihua
(*Chenopodium pallidicaule*), para la recuperación del oro en la
minera Colibrí S.A.C.**

PRESENTADA POR:

Orlando Yampasi Cáceres



PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO QUÍMICO

FECHA DE SUSTENTACION: 23 DE JUNIO 2017

APROBADA POR:

PRESIDENTE : 
.....
M.Sc. María Rodríguez Melo

PRIMER MIEMBRO : 
.....
M.Sc. Lidia Ensueño Romero Iruri

SEGUNDO MIEMBRO : 
.....
M.Sc. Moisés Pérez Capa

DIRECTOR / ASESOR : 
.....
M.Sc. Germán Quille Calizaya

Área : Procesos industriales

Tema: Obtención de productos industriales

DEDICATORIA

Con mucho cariño y aprecio a mis queridos

Padres Don Benigno Yampasi H. y Doña Leonarda

Cáceres H. por ser mis mejores guías, por su comprensión

y por el inmenso sacrificio que hicieron posible,

alcanzar mi más deseado anhelo de ser un profesional.

*A mis queridas hermanas, Amanda, Georgina,
Beatriz y*

*Elizabeth quienes, en cada momento de esta etapa
de mi vida, supieron alentarme siempre para
cumplir*

con mi objetivo y a la memoria de mi abuelo Don

Fausto Cáceres M, D.E.P.D.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al director de esta tesis, M. Sc. Germán Quille C., por todo lo que me ha enseñado, ayudado y apoyado durante los más de un año que ha durado esta travesía, cuenta con todo mi respeto y afecto. Al catedrático Walter Zamalloa, por el esfuerzo que le ha costado que este trabajo saliera adelante, y por su apoyo, sin el que esta tesis no hubiera sido posible.

A la Escuela profesional de Ingeniería Química por permitir mi estancia en centro durante este tiempo y gracias a la que he podido realizar este trabajo, y a la Minera Colibrí S.A.C. por la oportunidad de desarrollar esta tesis.

Al servicio de Laboratorio Químico de la Minera Colibrí S.A.C., ya que sin ellos no hubiera sido posible la realización de este trabajo, un reconocimiento especial para Ing. Juan Vásquez por su disposición y ayuda en tantas ocasiones.

Quiero dar las gracias a mi familia, que siempre ha estado ahí. En primer lugar, a mi madre por dárme todo y hacerme quien soy. A mi tío, por su granito de arena aportado activamente en esta tesis. A mi hermana, por estar ahí en los buenos y en los malos momentos. Y a mi abuela, la abuela más orgullosa de su nieto del mundo entero. A todos les he dado más de un quebradero de cabeza.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS	4
INDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
INDICE DE ACRÓNIMOS.....	10
RESÚMEN	12
ABSTRACT	13
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. INTERROGANTE DEL PROBLEMA.....	16
1.2. OBJETIVO GENERAL	16
1.2.1. Objetivos Específicos	16
II. REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1. ANTECEDENTES.....	17
2.2. MARCO TEORICO	18
2.2.1. La Cañihua (Chenopodium pallidicaule).....	18
2.2.2. Botánica.....	20
2.2.3. Lixiviación	22
2.2.4. Carbón activado.....	23
2.2.5. Estructura de carbón activado	24
2.2.6. Adsorción.....	26
2.2.7. Selección de un carbón activado para la recuperación de Oro	28
2.2.8. Variables que afectan la adsorción del Oro en el carbón activado ..	28
2.2.8.1. Efecto del Carbón.....	28
2.2.8.2. Efecto de la concentración de Oro	29

2.2.8.3. Efecto de pH.....	29
2.2.8.4. Efecto de la concentración de cianuro.....	29
2.2.8.5. Efecto de la temperatura	30
2.2.9. Técnicas de adsorción.....	30
2.2.10. Aspectos cinéticos de la adsorción de Oro.....	30
2.2.11. Aspectos a ser considerados previo a la modelación.....	31
2.2.12. Adsorción en proceso continuo	33
2.2.13. Desorción	38
2.3. MARCO CONCEPTUAL	39
2.3.1. Cañihua	39
2.3.2. Lixiviación	39
2.3.3. Oro.....	39
2.3.4. Carbón activado.....	40
2.3.5. Adsorción.....	40
2.3.6. Activación Térmica	40
2.3.7. Activación Química	40
III. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. MATERIALES DE LABORATORIO	41
3.2. REACTIVOS DE LABORATORIO	42
3.3. ELABORACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	42
3.4. ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO CON CARBÓN ACTIVADO ...	43
3.5. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	44
3.6. ENSAYOS ANALÍTICOS EN LA DETERMINACIÓN DE ORO	46
3.6.1. Método Directo	46
3.6.2. Método Chiddy	46
3.7. DETERMINACIÓN DE ORO EN SOLUCIONES DE CIANURACIÓN ...	47
3.8. OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO	48

3.9. ADSORCIÓN DE ORO POR CARBÓN ACTIVADO.....	49
3.10. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	49
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	51
4.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO Y CAPACIDAD DE ADSORCIÓN	51
4.3. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE ADSORCIÓN DE ORO CON CARBÓN ACTIVADO	52
4.4. PORCENTAJE DE ADSORCIÓN DE ORO	53
4.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL.....	54
4.6. ANÁLISIS DE VARIANZA.....	55
4.7. DIAGRAMA DE PARETO	57
4.8. ESTIMACIÓN DE EFECTOS Y MODELO MATEMÁTICO	58
4.9. OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTA	59
4.10. SUPERFICIE DE RESPUESTA.....	60
4.11. COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE ADSORCIÓN DE ORO.....	61
V. CONCLUSIONES.....	62
VI. RECOMENDACIONES.....	63
VII. REFERENCIAS.....	64
ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación esquemática de la estructura del grafico.....	25
Figura 2: Átomos coordinados de carbón en un cristal de grafito	25
Figura 3: Esquema tanque de adsorción cerrado	35
Figura 4: Planta de adsorción con tanques cerrados	35
Figura 5: Esquema tanque de adsorción en cascada	36
Figura 6: Planta de adsorción en cascada	36
Figura 7: Esquema tanque de adsorción en pulpa.....	37
Figura 8: Planta de adsorción en lixiviación	37
Figura 9: Porcentaje de adsorción de oro	53
Figura 10: Diagrama de Pareto estandarizado.....	57
Figura 11: Efectos principales para recuperación de oro	57
Figura 12: Superficie de respuesta estimada	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles máximos y mínimos.....	50
Tabla 2: Matriz de diseño factorial	50
Tabla 3 Análisis próximo del carbón activado obtenido	51
Tabla 4 Adsorción de azul de metileno	40
Tabla 5: Adsorción de oro	53
Tabla 6: Matriz de diseño factorial	54
Tabla 7: Análisis de varianza para adsorción de oro.....	55
Tabla 8: Efectos estimados para adsorción de oro (%).....	58
Tabla 9: Coeficiente de regresión para adsorción de oro.....	59
Tabla 10: Adsorción de oro estimado.....	60
Tabla 11: Comparación de resultados de adsorción de oro	61
Tabla 12: Curva de calibración estandar de azul de metileno.....	67

INDICE DE ACRÓNIMOS

S.A.C. : Sociedad Anónima Cerrada

CIP : carbón en pulpa

CIC: carbón el columna

CIL: carbón en lixiviación

TM : tonelada métrica

Kg : Kilogramos

g : gramos

h : horas

min : minutos

mg : miligramos

L : Litros

Km : kilómetro

m.s.n.m : metros sobre el nivel del mar

AM : azul de metileno

RESÚMEN

Se elaboró carbón activado empleando como materia prima tallos y hojas de la Cañihua mediante activación química con H_3PO_4 al 85%, la temperatura de carbonización fue $500^{\circ}C$ y tiempo 30 minutos de calcinación en un recipiente hermético, obteniéndose un rendimiento del 45.5%. El carbón activado fue caracterizado mediante la determinación de sus propiedades físicas y químicas cuyos resultados fueron: humedad 7.41%, ceniza 8.31%, material volátil 11.89%, carbono fijo 72.16%, densidad aparente 0.36 g/cm^3 y pH 5.75.

La capacidad de adsorción del carbón activado fue determinada con azul de metileno para luego utilizarlo en adsorción de oro. Los resultados de adsorción del oro a partir de soluciones cianuradas utilizando carbón activado se logró adsorber al 98% de oro, siendo las variables óptimas de adsorción: carbón activado 1,2 g; tiempo 420 min y temperatura $25^{\circ}C$. Finalmente se recuperó el oro por el método de fusión.

Las pruebas experimentales de obtención de carbón activado y adsorción de oro fueron realizadas en el laboratorio metalúrgico de la Empresa Minera Colibrí S.A.C. ubicado en el distrito de Chaparra, Provincia de Caravelí, departamento de Arequipa y Región de Arequipa. Se han utilizado equipos como balanza analítica, estufa, horno y agitador magnético.

De acuerdo al diseño experimental 2ⁿ con tres variables se han realizado 8 pruebas experimentales y 3 pruebas centrales en total 11 pruebas.

Palabras claves: Adsorción, Cañihua, Carbón activado, Cianuración, Oro

ABSTRACT

Activated charcoal was made using stems and leaves of the cañihua by chemical activation with 85% H_3PO_4 as the raw material, the carbonization temperature was 500 ° C and time of 30 minutes of calcination in a hermetic vessel, obtaining a yield of 45.5%. Activated charcoal was characterized by the determination of its physical and chemical properties whose results were: humidity 7.41%, ash 8.31%, volatile material 11.89%, fixed carbon 72.16%, bulk density 0.36 g / cm³ and pH 5.75.

The adsorption capacity of the activated carbon was determined with methylene blue and then used in adsorption of gold. The results of adsorption of gold from cyanide solutions using activated carbon were adsorbed to 98% gold, with the optimum adsorption variables being: activated carbon 1.2 g; Time 420 min and temperature 25° C. Gold was finally recovered by the fusion method.

The experimental tests of obtaining activated carbon and adsorption of gold were carried out in the metallurgical laboratory of the Mining Company Colibrí S.A.C. Located in the district of Chaparra, Province of Caravelí, department of Arequipa and Region of Arequipa. Equipment such as analytical balance, stove, oven and magnetic stirrer have been used.

According to the experimental design 2ⁿ with three variables, 8 experimental tests and 3 central tests were performed in a total of 11 tests.

Keywords: Adsorption, Cañihua, Activated Carbon, Cyanidation, Gold.

I. INTRODUCCIÓN

La planta de beneficio doble "D" MINERA COLIBRI S.A.C. se encuentra ubicado al pie del cerro Convento, Distrito de Chaparra, Provincia de Caravelí, departamento de Arequipa y Región de Arequipa, en un área superficial de 36 hectáreas, el área de la empresa MINERA COLIBRI S.A.C. se encuentra en una altitud promedio de 1,290 m. s. n. m., el acceso de Arequipa a Chala es por la carretera panamericana sur (402 Km) en un tiempo aproximado de 7 horas, de Chala al noreste a Chaparra por carretera afirmada (46 Km) en un tiempo aproximado de 1:15 hora, de Chaparra a la Planta de Beneficio de la Compañía Minera Colibrí S.A.C., por una carretera afirmada (3.5 Km) en un tiempo de 10 minutos aproximadamente. Los carbones activados son adsorbentes muy porosos producidos principalmente de materiales lignocelulósicos, sus propiedades fisicoquímicas dependen principalmente del proceso de activación y de la naturaleza del precursor. Los métodos por los cuales se obtienen carbones activados, pueden ser físico o químico. Siendo este último más ventajoso debido a que la activación, se lleva a cabo en una sola etapa y a menores temperaturas que el primero. Además, un entendimiento de la influencia en los parámetros variables de activación sobre las propiedades fisicoquímicas del carbón activado de tallos y hojas de Cañihua, es muy importante para desarrollar la estructura de carbones en procesos de activación física o química, más aún cuando se trata de un precursor novedoso en investigación. Dentro del contexto de búsqueda de materiales locales, novedosos y económicos para la preparación de carbones activados, se ha estudiado la Cañihua especies en abundancia en la sierra de nuestro país, recurso que se puede conseguir con facilidad y en cantidades; considerados

desechos los tallos y las hojas luego de extraer los granos, Este material tiene características deseables como precursor de carbón activado; bajo contenido de cenizas, alto contenido de volátiles y elevada densidad de empaquetamiento, que se traduce en buenas características como adsorbente; además se justifica seguir ampliando los estudios respecto a los parámetros de activación y observar su influencia en la capacidad de adsorción de azul de metileno para la comprobación del carbón. Los carbones activados tienen su aplicación en la solución de problemas medioambientales, además de otros campos; por sus características de poseer elevada superficie específica, distribución polimodal de tamaños de poros, estructura porosa en forma de rendija y por su capacidad de presentar diferentes tipos de naturaleza química en su superficie. El aporte técnico fundamentalmente consiste en la obtención del carbón activado de tallos y hojas de la Cañihua por método químico con H_3PO_4 , teniendo en cuenta dos parámetros: relación de agente activa precursor que es el ácido sulfúrico y temperatura de activación a $500\text{ }^{\circ}C$. Además, es gravitante, los ensayos de adsorción del carbón activado de tallos y hojas de la Cañihua con azul de metileno y la caracterización de los que se seleccionen de cada serie, considerando sus capacidades de adsorción del referido adsorbato; en la que se determinará básicamente su área y luego se podrá experimentar con la adsorción del oro.

Actualmente la empresa viene importando en carbón activado de coco para la recuperación de oro, como nueva alternativa se realiza el presente trabajo de investigación para obtener el carbón activado a partir de hojas y tallos de

Cañihua un producto peruano que también impulsara la producción de Cañihua en la región altiplánica.

1.1. INTERROGANTE DEL PROBLEMA

¿En qué medida los carbones activados obtenidos a partir del tallo y hojas de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) adsorberá el oro de la solución lixiviada en la minera Colibrí S.A.C.?

1.2. OBJETIVO GENERAL

Obtener carbones activados a partir de tallos y hojas de la Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) para la adsorción y recuperación del oro en la minera colibrí S.A.C.

1.2.1. Objetivos Específicos

- Obtener carbón activado a partir del tallo y hojas de la Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*).
- Realizar las pruebas de adsorción del oro con el carbón activado obtenido de tallos y hojas de la Cañihua.
- Recuperación del oro por fusión.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

En la actualidad, en la universidad y el ámbito local, no existe estudio alguno sobre adsorción del carbón activado de tallos y hojas de cañihua (*chenopodium pallidicaule*), para la recuperación del oro.

Ayestas (1997), preparó carbón activado de foresta andina thola, aserrín de desechos de madera y cedro para activación química con ZnCl. Las capacidades máximas de adsorción reportadas de azul de metileno fueron: 16,38; 16,76; 17,28 y 25,08% para el carbón activado de aguano, cedro y thola , con un diámetro de partícula de 0,074 mm y 10% de agente activante.

Chavez (2004), fabricó carbón activado de lenteja de agua, extraída de tres zonas de la bahía interior del lago Titicaca por activación con ZnCl. Evaluó las propiedades fisicoquímicas de las materias primas y del carbón activado producido cuyas características son: humedad 4,245%, cenizas 3,66%, pH 6,3 y densidad 0,2653 g/cm³.

Afenya (1991); Hausen y Bucknam (1985), indica que el proceso CIP (carbón in pulpa), que fuera desarrollado en Sud África en la década del 70, es considerado el avance tecnológico más significativo de los últimos tiempos en cuanto a métodos aplicados a la recuperación de oro. La cianuración por agitación es el método que requiere de la máxima liberación del mineral, para obtener buenas recuperaciones en oro, si el oro es más expuesto a las soluciones cianuradas, mayor será su disolución del oro. La recuperación del oro de las soluciones “ricas” por el método del carbón activado (CIP). Finalmente, se usa algunas

técnicas como la elución del carbón Activado, la electrodeposición del oro y la fundición y refinación del oro para obtener oro de alta pureza.

Rees y Deventer (2001), indica que, en Argentina, es utilizado el carbón activado para adsorber el oro directamente de la pulpa cianurada, a medida que se va disolviendo o pasando a solución. La pulpa se agita en tanques de gran tamaño y fluye en forma continua desde el principio al último de la serie, mientras que el carbón lo hace en la dirección opuesta (en contra-corriente), en forma discontinua y mediante la utilización de un air lifth. Una tela de abertura apropiada se ubica en la dirección del flujo de la pulpa entre los tanques a fin de limitar el paso del carbón de un tanque a otro, en el sentido de la corriente. El oro en solución es adsorbido por el carbón.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. La Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*)

La ciencia ha demostrado que la cañihua tiene un alto valor nutritivo, superior a otros cereales de mayor consumo como el arroz, el maíz, el trigo o la avena. El grano de cañihua presenta un elevado contenido de proteínas (entre 15 y 19%) y, al igual que la quinua y kiwicha, una proporción importante de aminoácidos azufrados.

Sus principales componentes son: calcio, fósforo, hierro, tiamina, riboflavina, Niacina, ácido ascórbico y los aminocácidos fenilalanina, triptofano, metionina, leucina, isoleucina, valina, lisina, treonina, arginina, e histidina.

Por tener proteínas de alto valor biológico son fácilmente digeridas y aprovechadas por el cuerpo. Además, son ricos en minerales como fósforo, potasio y magnesio, que forman parte de huesos, tendones y músculos, y de fibra dietaria, necesaria para regular la función intestinal.

Las semillas de cañihua ofrecen un alto contenido proteico para las dietas escasas en carnes y poseen un balance de aminoácidos de primera línea, siendo particularmente rica en lisina, isoleucina y triptófano.

Esta calidad proteica en combinación con un contenido de carbohidratos del orden del 60% y aceites vegetales del orden del 8%, la hacen altamente nutritiva.

Por ser altamente energéticos, con un valor calórico incluso mayor que otros cereales, son muy apropiados para zonas y temperaturas frías, debido a esta razón, constituyeron la base de la alimentación incaica.

La cañihua o cañahua (del quechua: *qañiwa*), *Chenopodium pallidicaule*, es una especie de *Chenopodium* (cenizo) similar en su composición a la quinua, una planta relacionada.

La Cañihua es una planta terófito erguida. Su tamaño oscila entre 20 y 60 cm. Su tallo y hojas presentan manchas de color rojo y amarillo, incrementándose en tamaño en las partes inferiores de la planta. Es hermafrodita, se autopoliniza en época de fertilidad. Las numerosas semillas tienen aproximadamente 1 mm de diámetro igual que la semilla de amaranto y poseen una cubierta rugosa. Estas varían en color desde el marrón oscuro al negro. Comparados con los granos convencionales, el embrión es largo en relación al tamaño de la semilla.

TABLA MORFOLOGICA: Composición química de los aminoácidos de la cañihua (*Chenopodium Palliducaule*) crudo y extraída de dos variedades Cupi y Rámis.

Componente, %	Grano crudo		Extruido	
	Cupi	Ramis	Cupi	Ramis
Humedad	10.4	11.8	4.1	3.7
Proteína bruta	14.4	14.9	14.3	13.9
Grasa bruta	5.7	7.0	5.5	5.8
Fibra cruda	11.2	8.2	4.3	4.8
Cenizas	5.0	4.3	4.5	4.0
Carbohidratos	63.7	65.7	71.4	71.5
Fibra dietaria total	25.3	26.0	18.9	20.2
Fibra soluble dietaría	3.0	2.8	2.0	2.2
Fibra insoluble dietaría	22.3	23.2	16.9	17.9
Lignina	6.9	8.0	6.3	5.6
Betaglucanos	0.07	0.04	0.07	0.01
Treonina, g/100g PT	4.4			
Lisina, g/100g PT	5.6			
Valina, g/100g PT	4.5			
Isoleucina, g/100g PT	5.4			
Leucina, g/100g PT	7.8			
Arginina, g/100g PT	7.9			

PT= proteína

Carrasco *et al.* (2009); Blanco *et al.* (2010).

2.2.2. Botánica

Denominación de la especie

En 1929, el botánico suizo Paúl Aellen, creó la denominación *Chenopodium pallidicaule* Aellen, para nombrar a esta especie; utilizándose indistintamente el nombre de kañiwa o kañawa relacionadas con el origen del vocablo. Kañiwa es propia de las regiones con idioma quechua y kañawa de la población aymara

Nombres comunes

La kañiwa tiene una gran variedad de nombres locales dependiendo de la región.

Algunos de los nombres por los cuales se le conoce son:

En Perú: “kañiwa”.

En Bolivia: “Cañahua”.

Quechua: “kañiwa”, “kañawa”, “kañahua”, “kañagua”, “quitacañigua”, “ayara”, “cuchiquinua”.

Aymará: “iswallahupa”, “aharahupa”, “aara”, “ajara”, “cañahua”, “kañawa”.

Español: “cañihua”, “cañigua”, “cañahua”, “cañagua”, “kañiwa”.

Inglés: “kaniwa”, “canihua”.

Taxonomía

Reino : Vegetal

División : Angiospermophyta

Clase : Dicotyledoneae

Sub clase : Archichlamydeae

Orden : Centrospermales

Familia : Chenopodiáceae

Género : Chenopodium

Especie : Chenopodium pallidicaule Aellen

Descripción de la planta de kañiwa

Planta herbácea, ramificada desde la base, altura de 50 a 60 cm, período vegetativo entre 140 y 150 días. El color de la planta (tallos y hojas) cambia según el ecotipo en la fase fenológica de grano pastoso; de verde a: anaranjado, amarillo claro, rosado claro, rosado oscuro, rojo y púrpura.

Variación de color de una misma planta de kañiwa de verde a púrpura (Fotografía 1, 2 y 3)



2.2.3. Lixiviación

En metalurgia extractiva se conoce como lixiviación al proceso de extraer desde un mineral una especie de interés por medio de reactivos que la disuelven o

transforman en sales solubles. En otras palabras, en la lixiviación se recuperan especies útiles desde una fase líquida, correspondiente a la sustancia o una sal de esta en disolución acuosa. Los minerales que usualmente son lixiviados son aquellos menos oxidados (óxidos, carbonatos, sulfatos, silicatos, etc.).

La lixiviación es una técnica ampliamente utilizada en metalurgia extractiva que convierte los metales en sales solubles en medios acuosos. En comparación con las operaciones pirometalúrgicas, la lixiviación es más fácil de realizar y mucho menos dañina, ya que no se produce contaminación gaseosa. Sus principales inconvenientes son su alta acidez de trabajo y en algunos casos sus efluentes residuales tóxicos, y también su menor eficiencia causada por las bajas temperaturas de la operación, que afectan dramáticamente las tasas de reacción química.

2.2.4. Carbón activado

La producción de carbón activado de los materiales carbonosos se refiere como activación de este material, y consiste simplemente de la producción a partir de la materia prima elegida de una forma fina cristalina de carbón impregnado por el mayor número posible de poros distribuidos al azar de varias forma y tamaños. El carbón activado puede ser manufacturado de alguna fuente de material carbonaceo, por ejemplo, de varios tipos de carbón de piedra, de la turba, de las cáscaras del coco, del melocotón y del albaricoque, azúcar, huesos, varios tipos de madera, como zarzo, pino, abedul y la ceniza, e incluso de la sangre

El método más comúnmente empleado en la manufactura del carbón activado son el proceso térmico (gas) y el proceso químico.

Activación térmica: la primera etapa en la producción de carbón activado por la ruta térmica es la carbonización, que es la formación de un carbón de leña del material de fuente. La carbonización es generalmente por calentamiento de la fuente de material en una atmosfera inerte a una temperatura que no exceda los 600°C, que resulta en la deshidratación y volatilización del material volátil.

El proceso por el cual el producto carbonizado se convierte en una estructura porosa de dimensiones moleculares se refiere a la activación, y es generalmente conducido a temperaturas entre 800 a 1000°C en la presencia conveniente de un agente oxidante tal como vapor, aire, dióxido de carbono o alguna mezcla de estos gases. La activación es conducida comúnmente en un horno rotatorio tipo Kiln, horno Herroshoff (hogar múltiple) o de cama fluidizada.

Activación Química: La activación química es generalmente aplicada a productos vegetales no carbonizados, típicamente a aserrín y turba. Estos materiales son primero impregnados o mezclados con químicos que tienen un efecto deshidratante y oxidante, por ejemplo, el cloruro de zinc, ácido fosfórico o ácido sulfúrico. Si se requiere polvo de carbón activado, el material crudo impregnado es secado y luego calcinado directamente entre 400 y 700°C. Carbón activado granular puede ser obtenido por el tratamiento del material crudo granular.

2.2.5. Estructura de carbón activado

Estudios de rayos-X, muestran que la estructura del carbón activado térmicamente es similar a la del grafito (Bockris, 1996; Mattson, 1971). La estructura del grafito ideal se da en la siguiente figura.

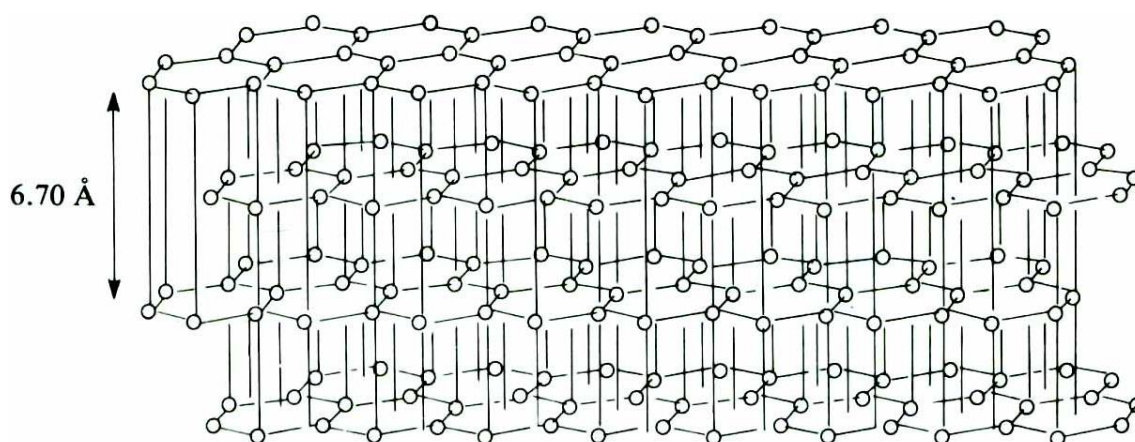


Figura 1: Representación esquemática de la estructura del grafico

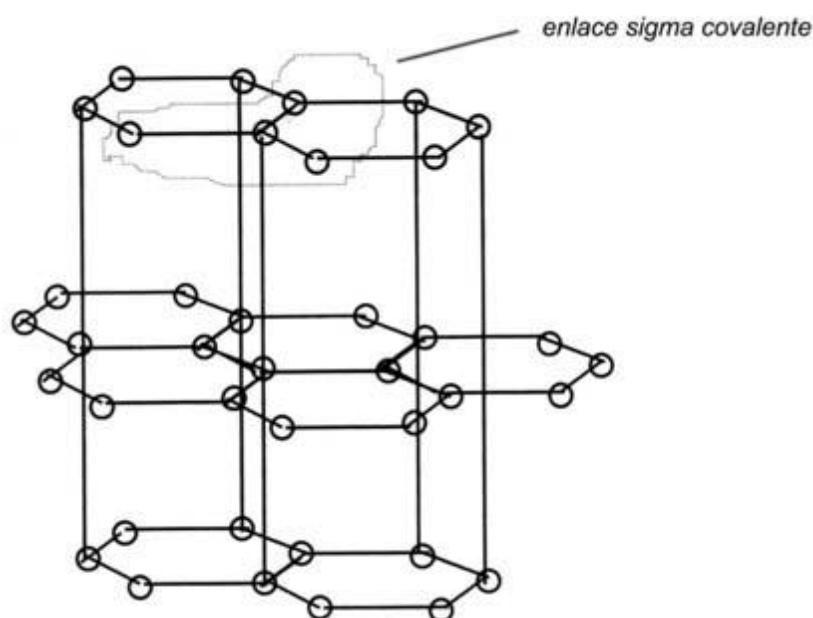


Figura 2: Átomos coordinados de carbón en un cristal de grafito

Los cristales de grafito están compuestos de capas de hexágonos fundidos que están enlazados por fuerzas de Van der Waals, los enlaces entre carbón-carbón en una misma capa son por lo regular covalentes (enlace sigma).

La estructura del carbón activado difiere del grafito, el alto nivel de imperfección estructural resulta en muchas posibilidades para las reacciones de los carbonos en los fillos, tanto que la superficie del carbón está compuesta primariamente de

grupos funcionales orgánicos conteniendo O_2 que son localizados en su mayor parte en los filos de los anillos de grafito rotos.

2.2.6. Adsorción

En general al carbón activado se le concede sus propiedades de adsorción, a su área superficial interna bastante grande y a su distribución de tamaños de poros.

El carbón activado funciona por adsorción, por ejemplo, por la adhesión de ciertas sustancias a las superficies internas constituidas por las paredes de los poros. Por lo tanto, cuanto mayor es la superficie de adsorción disponible, mejor es la función de la adsorción

La adsorción ocurre por un desbalance de fuerzas que ocurren sobre los átomos de carbón que constituyen las paredes de los poros, un fenómeno inherente en toda la superficie, para rectificar este desbalance, moléculas son adsorbidas de una fase gaseosa o acuosa y atraídas y sostenidas a la superficie

Existen dos tipos de adsorción: Adsorción física y adsorción química. La adsorción física involucra fuerzas de enlaces débiles o de Van der Waals (también interacciones dipolo-dipolo y enlaces de hidrogeno) y el proceso es generalmente reversible. Cuando la adsorción es química involucra fuerzas homopolares (tales como los enlaces iónicos o covalentes) y son irreversibles.

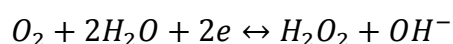
En general los factores que tienen influencia en el desarrollo de la adsorción sobre carbón activado de soluciones acuosas son la temperatura (la adsorción generalmente decrece con el incremento de la temperatura), el pH de la solución (el carbón tiene baja afinidad por los iones, especialmente cuando la relación carga/superficie es alta), la naturaleza de las especies presentes, la

concentración relativa y la naturaleza del carbón activado y su distribución de tamaños de partículas.

Para que las moléculas se adsorban ellas necesitan alcanzar las superficies internas de los microporos por difusión; por lo tanto, el tiempo de reacción depende de la longitud y trayectoria de la difusión, de acuerdo a esto la cinética de adsorción se incrementa con el decrecimiento del tamaño de partícula.

Adsorción de compuestos inorgánicos sobre el carbón activado.

Muchos investigadores tienen hipótesis avanzadas que explican el mecanismo de adsorción. La teoría electroquímica propuesta por Frumkin's, donde el O_2 en contacto con una suspensión acuosa de carbón es reducida al ion hidroxilo (OH^-) con liberación de H_2O_2 .



desde que los electrones son abastecidos por el carbón el cual adquiere una carga positiva y para mantener la neutralidad eléctrica adsorbe aniones de preferencia, de acuerdo a esto el carbón es usualmente un adsorbente muy pobre de cationes pequeños tal como el Ni^{+2} , también para pequeños aniones semejantes al Cl^- y también para especies orgánicas cargadas, luego cuando cantidades considerables de complejos inorgánicos cargados negativamente son adsorbidos sobre el carbón de soluciones acuosas; como la adsorción de $Au(Cl)_4^-$, $Au(CN)_2^-$ y $Ni(CN)_4^{2-}$ sobre el carbón.

2.2.7. Selección de un carbón activado para la recuperación de Oro

Los requisitos primarios de un carbón granulado previstos para su uso en el proceso de recuperación del oro, son los siguientes:

- a. El carbón debe tener una alta actividad para el oro
- b. El carbón debe ser resistente a la abrasión, ya que el carbón fino será cargado con el oro, el cual se pierde.

Se establecieron correlaciones entre la capacidad de cargado del oro en el equilibrio y otros parámetros del carbón como por ejemplo el número de iodo, contenido de cenizas, la superficie específica y el valor del pH de la solución extractante; para 24 diversos carbones activados de una misma fábrica y el cual no tuvo mucho éxito en decidir cuál era el mejor carbón.

De acuerdo a trabajos realizados se ha considerado que es mejor correlacionar los parámetros cinéticos de la adsorción de oro y las propiedades del carbón activado, tal como el área superficial.

2.2.8. Variables que afectan la adsorción del Oro en el carbón activado

2.2.8.1. Efecto del Carbón

La mayoría de los carbones, absorben el oro en mayor o menor cantidad, pero en la práctica la mayor parte de los carbones activos son producidos específicamente a partir de la cáscara del coco o de pepa de melocotón a temperaturas de 700°C a 800°C en presencia de vapor. Numerosas marcas se encuentran disponibles comercialmente y estudios recientes fueron llevados a cabo para establecer una relación entre la constante de capacidad de equilibrio del carbón activado para el oro y los parámetros fácilmente determinados como: contenido de cenizas, área superficial y pH, respectivamente.

2.2.8.2. Efecto de la concentración de Oro

Según estudios realizados por laboratorios de investigación de prestigio, han confirmado que la capacidad de equilibrio del carbón se encuentra relacionada a la concentración de oro en la solución. Se ha encontrado que la aproximación al equilibrio es particularmente más lenta a bajas concentraciones de oro. Por lo tanto, es necesario un mayor tiempo de residencia o incrementar la concentración de carbón en la pulpa para conseguir bajas concentraciones de oro en las colas. La segunda opción significa que la carga de oro en el carbón podría ser significativamente menor a su capacidad de equilibrio de carga.

2.2.8.3. Efecto de pH

La capacidad de adsorción del oro de soluciones cianuradas en el carbón puede ser significativamente realizada reduciendo el pH aún a rangos cercanos al ácido. Para la adsorción de carbón en pulpa, recomiendan un pH 10 debajo de estos niveles, el cianuro se hidroliza con las correspondientes pérdidas y posibles problemas de contaminación ambiental, sin embargo, si el pH es incrementado demasiado, la carga de oro en el carbón es definitivamente inhibido.

2.2.8.4. Efecto de la concentración de cianuro

Se expresa que la movilidad de los iones parece estar mayormente influenciada por la cantidad de cianuro libre en la pulpa, pues un incremento de este trae, como consecuencia, un efecto adverso en la capacidad y cantidad de carga. Por otro lado. Si el nivel decae debajo de cierto límite, entonces el oro no será adsorbido correctamente. Además, si la carga se realiza en presencia de una

concentración de cianuro libre demasiada baja, el carbón no se disolverá fácilmente.

2.2.8.5. Efecto de la temperatura

La capacidad de carga de oro en el carbón activado decrece a medida que la temperatura es aumentada.

Se puede afirmar que todos los circuitos de adsorción operan a temperaturas ambiente, mientras que la elusión es realizada a temperaturas cercanas al punto de ebullición.

2.2.9. Técnicas de adsorción

La tecnología del uso del carbón activado comprende 3 técnicas de aplicación y son el carbón en pulpa (CIP), el carbón en columna (CIC) y el carbón en lixiviación (CIL).

Carbón en pulpa (CIP): aplicable a pulpas salientes de cianuración por agitación, se trata sin separación sólido/líquido, en tanques separados en varias etapas y en contracorriente.

Carbón en columna (CIC): Aplicable a soluciones claras salientes de lixiviación por percolación en bateas o pilas, normalmente en varias etapas y en contracorriente.

Carbón en lixiviación (CIL): consiste en adsorber el oro en carbón durante y no después de la lixiviación, llevándose a cabo la misma en los mismos estanques lixivadores, pero moviendo el carbón en contracorriente con la pulpa de mineral.

2.2.10. Aspectos cinéticos de la adsorción de Oro

Un ingeniero puede estar en cualquiera de las dos situaciones siguientes:

- a) Tener que diseñar una planta o
- b) Tener que optimizar la operación de una planta existente

En cualquiera de los casos la solución óptima es determinada por una campaña práctica extensiva. La alternativa es usar un modelo, que disminuye la cantidad de trabajo práctico y en consecuencia el tiempo requerido.

Es necesario recordar que los modelos no incorporan todas las variables que son encontradas en una real situación, en la que al final hay que complementarla con la práctica, De esta manera los modelos tienen la capacidad de poner al ingeniero en la región de la mejor solución en la mínima cantidad de tiempo.

2.2.11. Aspectos a ser considerados previo a la modelación

Todos los modelos son uno que otros basados sobre algún aspecto teórico, confirmados experimentalmente o desarrollados empíricamente.

Los siguientes aspectos de adsorción que están siendo confirmados experimentalmente pueden ser incorporados en el modelo:

1. La adsorción de Au de solución sobre carbón es lenta.

Nicol, demostró que el carbón aislado en un estado de una planta de carbón en pulpa (CIP) no alcanza el equilibrio después de 300 horas, por lo tanto, los diagramas de McCabe-Thiele no pueden ser usados. El rate de adsorción es el factor más importante que gobierna la simulación de la adsorción por carbón.

2. El mecanismo fundamental de la adsorción de Au no es completamente conocido, por lo tanto, una simple expresión de rate no es aprovechable. Expresiones de Rate basados sobre experimentos o aspectos teóricos

confirmados ó puramente empíricos son aprovechables y se han demostrado que son los más adecuados para propósitos de diseño.

3. La adsorción de oro sobre carbón es reversible; es decir el rate de adsorción es dependiente sobre ambos la concentración de Au en solución y la concentración de oro sobre el carbón, en consecuencia, ambas concentraciones son requeridas en la expresión de rate.

4. Los factores que afectan la adsorción pueden ser distribuidos de la siguiente manera:

Los que afectan el rate; como el tamaño de partícula del carbón, la densidad de pulpa y la eficiencia de mezclado.

Los factores que afectan el equilibrio son: el pH, la fuerza iónica, la concentración del CN^- , la concentración de las especies competitivas y la temperatura.

5. El mecanismo que controla el rate cambia durante la adsorción; inicialmente la adsorción es controlada por la difusión en el film, pero este cambia a un control por difusión intrapartícula cuando el sistema está cerca al equilibrio. Este cambio ocurre cuando el carbón ha alcanzado el 60 a 70% del valor de cargado de equilibrio.

6. Como la etapa controlante del rate de adsorción es asumido que es la difusión y no controlado por la reacción química, se asume que los sitios de adsorción, la concentración de oro en solución y oro sobre el carbón son las concentraciones de equilibrio. Algunos investigadores usan la isoterma de Langmuir para describir este equilibrio, la mayoría usan la isoterma de Freundlich.

2.2.12. Adsorción en proceso continuo

Sabemos que el carbón es contactado con soluciones auríferas o pulpas auríferas, cualquiera de las dos: columnas de adsorción (cama fija) o recipientes agitados.

Realizando un balance de masa en fase continua y haciendo uso de la ecuación de conservación, tenemos:

$$\text{ACUMULACIÓN} = \text{ENTRADA} - \text{SALIDA} + \text{GENERACIÓN NETA}$$

Escribiendo un balance macroscópico por especies i tenemos:

$$\frac{d(VC_i)}{dt} = Q_{int}C_{i,int} - Q_{out}C_{i,out} + r_iV$$

Donde:

C_i : Conc. en el reactor, V : Volumen del reactor,

Q : flujo y r_i : rate de generación

int : Entrante out : Saliente

En este caso suponiendo mezcla perfecta: $C_{i,out} = C_i$ y considerando que el tiempo medio de retención es $\tau = V/Q$, para el caso del carbón en pulpa, generalmente se toma como 1 hora el tiempo medio de retención de pulpa en cada tanque, y como el volumen de pulpa en el reactor es invariable tenemos que:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{Q_{int}}{V}C_{i,int} - \frac{Q_{out}}{V}C_i + r_i \cong \frac{dC_i}{dt} = \frac{C_{i,int}}{\tau} - \frac{C_i}{\tau} + r_i$$

Por lo tanto, considerando un tiempo de retención de 1 hora tenemos que:

$$\frac{dC_i}{dt} = C_{i,int} - C_i + r_i$$

Ejemplo de aplicación utilizando la ecuación de Fleming:

$$[Au]_c^t - [Au]_c^f = k_1 [Au]_c^t t^n$$

Balance de Masa:

$$V_c([Au]_c^t - [Au]_c^f) = V_s([Au]_s^f - [Au]_s^t)$$

Donde:

V_s : rate de mas de solución (m^3/h o l/h)

V_c : rate de mas de carbón (Kg/h o g/h)

t : Tiempo medio de residencia del carbón en cada tanque $\left(\frac{M_c}{V_c}\right)$

M_c = masa de carbón en cada tanque

En función de lo anterior tenemos que:

$$\frac{[Au]_s^f}{[Au]_s^{st}} = \left[1 + k_1 \left(\frac{M_c}{V_c} \right)^n \frac{V_c}{V_s} \right]_{st} \quad st: \text{estado } 1, 2, 3, \dots, N$$

Teniendo en cuenta los siguientes datos:

$$n = 0.9 \quad M_c = 2280 \text{ g/tq} \quad V_c = 80 \text{ g/h} \quad V_s = 51000 \text{ g/h} \quad [Au]_s^f = 8.74$$

Tenemos:

$$\frac{[Au]_s^f}{[Au]_s^{st}} = \left[1 + k_1 \left(\frac{2280}{80} \right)^{0.9} \frac{80}{51000} \right]_{st}$$

Si variamos la constante de velocidad de adsorción y tomamos en cuenta 5 estados tenemos:

Si mantenemos la constante de velocidad de adsorción constante ($k_1 = 75$) y variamos la velocidad de transferencia del carbón, tenemos lo siguiente:

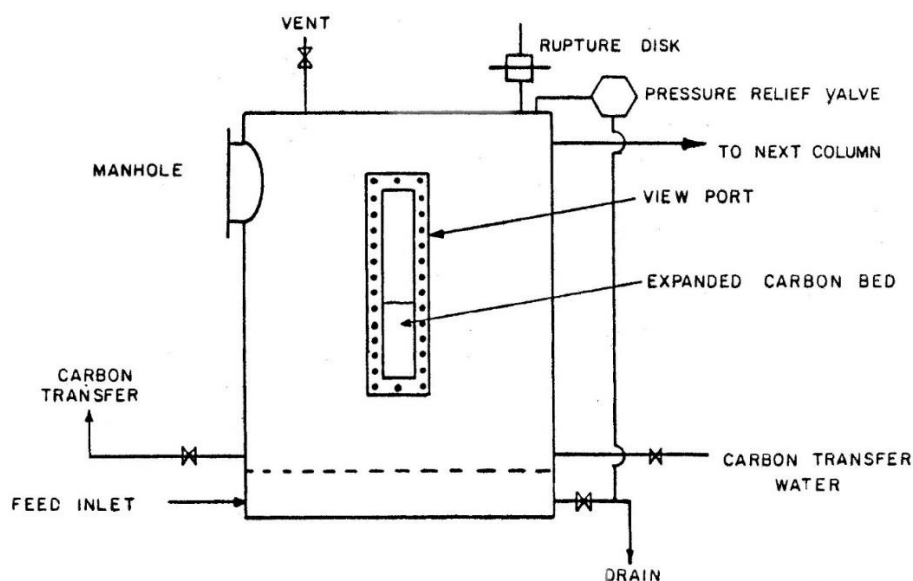


Figura 3: Esquema tanque de adsorción cerrado



Figura 4: Planta de adsorción con tanques cerrados

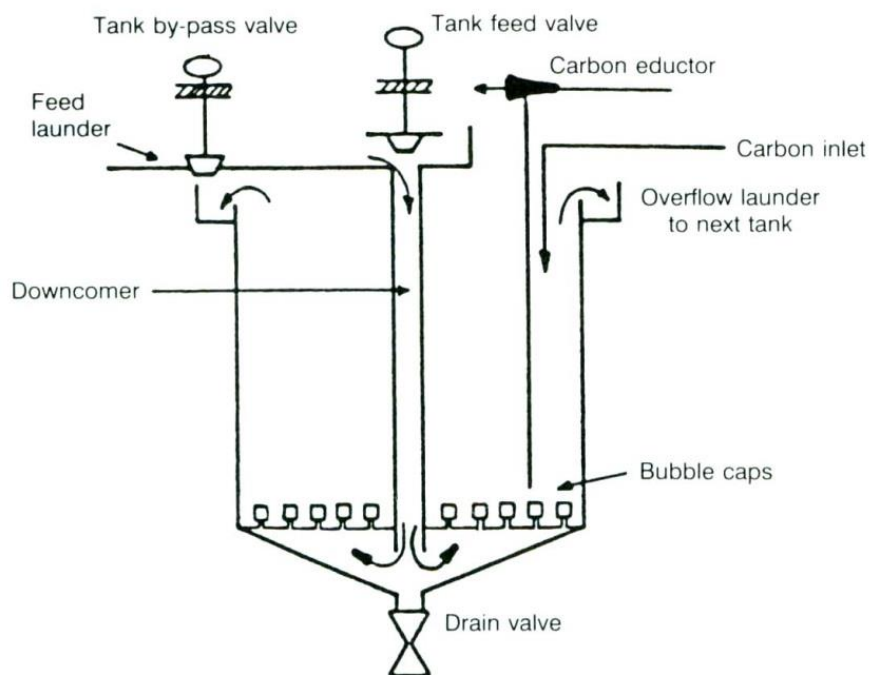


Figura 5: Esquema tanque de adsorción en cascada



Figura 6: Planta de adsorción en cascada

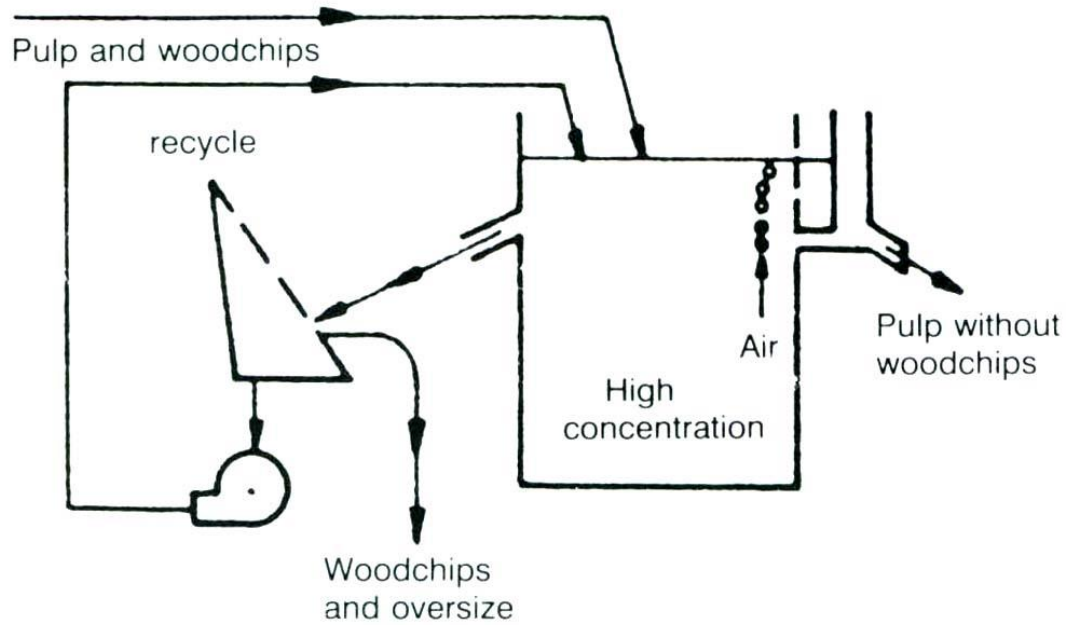


Figura 7: Esquema tanque de adsorción en pulpa

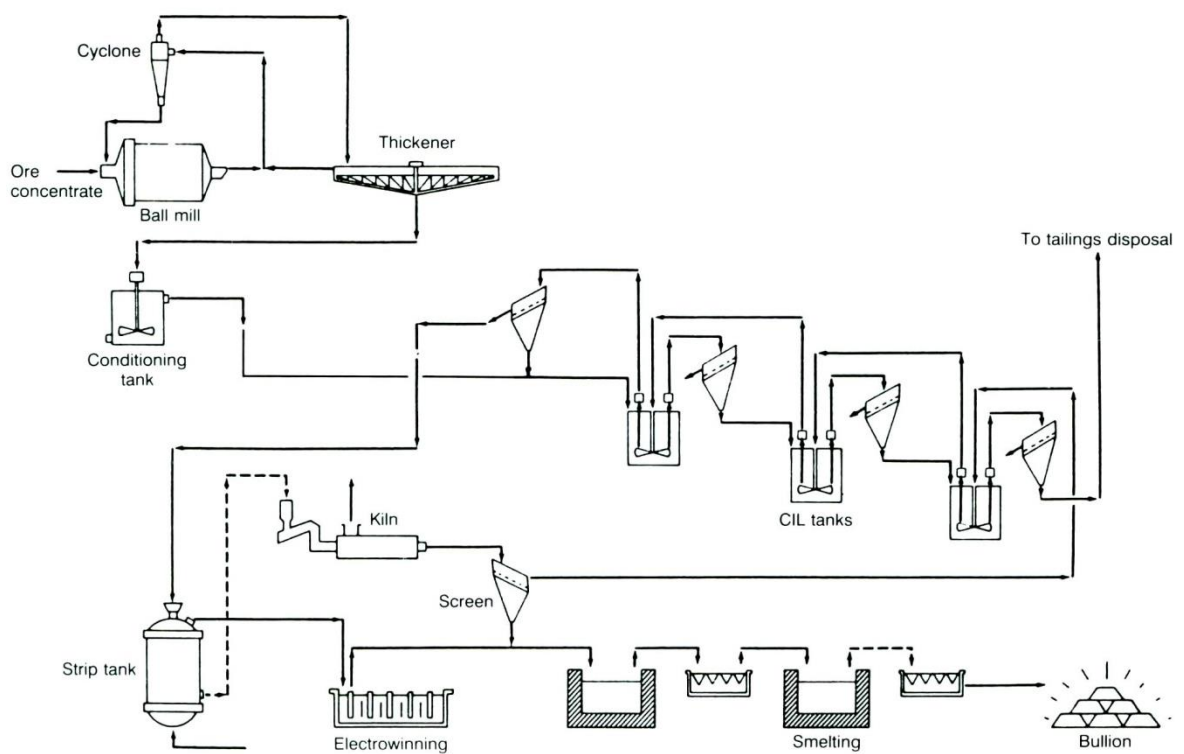


Figura 8: Planta de adsorción en lixiviación

2.2.13. Desorción

En los tres procesos aplicados de la adsorción, como son la lixiviación en pilas, CIP y CIL, el oro cargado en el carbón es desorbido y luego obtenido por electrolisis de la solución resultante.

No obstante, en algunas operaciones pequeñas de lixiviación en pilas donde el capital es limitado para invertir en instalaciones, el oro puede recuperarse mediante calcinación del carbón y fusión del residuo, si el costo así lo permite. En este caso, obviamente, el carbón es sacrificado.

El primer método práctico de desorción (o elución) del oro desde carbón activado fue presentado en 1950 por el US. Bureau of Mines, y es a menudo referido como procedimiento Zadra. Este procedimiento ha sido posteriormente modificado y han surgido otras alternativas que se describirán posteriormente.

Principios de la desorción.

En los tres procesos aplicados, lixiviación en pilas CIP, CIC y CIL, el oro cargado en el catión es desorbido y luego obtenido por electrólisis de la solución resultante. No obstante en algunas operaciones pequeñas de lixiviación en pilas donde el capital es limitado para invertir en instalaciones, el oro puede recuperarse mediante calcinación del carbón y fusión del residuo, si el costo si lo permite. En este caso obviamente, el carbón es sacrificado. El primer método práctico de desorción del oro desde carbón activado fue presentado en 1952 procedimiento conocido como Zadra. Este procedimiento ha sido posteriormente modificado y han surgido otras alternativas para la desorción del oro.

Los métodos usados para la desorción de oro y plata del carbón activado, es basado por uno o más de los siguientes aspectos:

- Efecto de la temperatura.
- Efecto de la fuerza iónica.
- Efecto de la concentración de cianuro, y
- Influencia de solventes orgánicos.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Cañihua

Es un grano andino con alto valor nutricional, que se cultiva sobre todo en Puno.

2.3.2. Lixiviación

Es un proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

2.3.3. Oro

Elemento químico, símbolo Au, número atómico 79 y peso atómico 196.967; es un metal muy denso, blando y de color amarillo intenso. El oro se clasifica como metal pesado y noble; en el comercio es el más común de los metales preciosos. El cobre, la plata y el oro están en el mismo grupo en la tabla periódica. La fuente del símbolo químico, Au, es su nombre en latín aurum (amanecer radiante). Hay sólo un isótopo estable del oro, con número de masa 197.

2.3.4. Carbón activado

Es el carbón poroso que adsorbe elementos y compuestos.

2.3.5. Adsorción

Es la transferencia de masa de la fase líquida a la fase sólida.

2.3.6. Activación Térmica

Generalmente, consiste en dos pasos consecutivos. El primer paso es la carbonización térmica de la materia prima, donde toma lugar la desvolatilización, este proceso se lleva a cabo a altas temperaturas, para producir un carbón de carácter rico. El segundo paso es la activación, donde el carbón restante es parcialmente gasificado con un agente oxidante (comúnmente vapor de agua o CO_2). Si ambos pasos se realizan simultáneamente, el proceso es llamado activación directa.

2.3.7. Activación Química

Ésta se realiza en un sólo paso, la materia prima en primer lugar es impregnada con una cantidad determinada de un agente químico y entonces es calentada. El producto debe ser lavado para eliminar cualquier exceso de agente químico antes de la carbonización.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES DE LABORATORIO

- Mufla eléctrica de fundición CERAMICS USA
- Planchas de calentamiento THERMOLYNE
- Balanza Análítica Mettler Toledo.
- Balanza analítica de platillo, marca Ohaus.
- Micro balanza
- Pares de guantes de jebe (un par de manga larga y otro manga corta).
- Crisoles de porcelana
- Guantes quirúrgico
- Crisoles de arcilla
- Es-codificadores
- Espátulas de acero inoxidable de 150 mm.
- Pinza con punta curva de acero inoxidable.
- Pinceles N° 10.
- Embudos de vidrio.
- Vaso de precipitados de 600 ml, marca Duran.
- Estufa
- Agitador magnético
- Mallas de tamices Nro 80
- Probeta del 20ml

3.2. REACTIVOS DE LABORATORIO

- H_3PO_4 al 85%
- $AgNO_3$ P.A.
- NaCN al 98%
- NaOH al 98%
- Litargirio
- Bórax muleTeam
- Sílice
- Ácido nítrico Q.P.
- Ácido clorhídrico Q.P.
- Acetato de plomo Q.P.
- Polvo de zinc
- Harina.
- Cloruro de sodio (sal)
- Vasos de crisol de 30 g.
- Escorificadores de 2 ½" de diámetro.
- Copelas
- Bolsas plásticas 8 x 10 x 2
- Papel indicador de pH, rango 0-14
- Agua destilada
- Papel filtro

3.3. ELABORACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Los tallos y hojas de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) secada y molida fueron fraccionadas en granos con tamaños tamizados en una malla número 80 (abertura 0.177mm). Se pesan las muestras y seguidamente se realiza la

impregnación con soluciones al 85% de ácido fosfórico (H_3PO_4) (1:1) a temperatura ambiente por 24 horas. Después de la impregnación, las soluciones fueron filtradas para remover el ácido residual. Posteriormente las muestras impregnadas se secaron a temperatura ambiente por 2 días. En la etapa de carbonización se colocan las muestras en crisoles herméticos. Para la carbonización se incrementa progresivamente la temperatura con una rampa de calentamiento de 100 °C/min hasta llegar a los 500 °C la que se mantiene constante por 30 minutos. Se saca de la mufla las muestras y se deja enfriar en un desecador. Las muestras activadas se lavaron con agua destilada caliente hasta obtener un *pH* entre 6 y 7, con el objetivo de remover el agente químico impregnado (Bastidas et al., 2010). Se seca las muestras a 80 °C por 3 horas y se le enfría en un desecador hasta peso constante. Finalmente se almacena en envases.

3.4. ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO CON CARBÓN ACTIVADO

La adsorción de azul de metileno, se estima como el número de miligramos de azul de metileno decolorada por 0,1 g de carbón activado. Es un método rápido para conocer la capacidad de adsorción de un carbón activado frente a moléculas grandes (Giraldo *et al.*, 2008), el proceso consistió en adicionar a 25 mL de una solución de azul de metileno aproximadamente de 200 mg/L de AM, 100 mg de carbón activado y someterlo a agitación durante 24 horas. Se tomó una alícuota de 1 mL de cada muestra, completa a 100 mL en una solución a 5% de ácido acético, se filtró al vacío utilizando un filtro de acetato de 0.45 mm y se estabilizó el *pH* a 7 (con solución de NaOH al 0.5N); a continuación, se midió la absorbancia en espectrofotómetro a una longitud de onda de 620nm y se estimó

la capacidad de adsorción con la diferencia de la solución inicial, lo que determinó la cantidad de mg adsorbido, con base en los datos anteriores, se calcularon los mg de azul de metileno adsorbido por gramos de carbón activado.

3.5. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

La caracterización del carbón activado se basó en la determinación de sus propiedades físicas y químicas.

a) **Humedad.**

El método de secado térmico fue utilizado en la determinación del contenido de humedad de la muestra. 1 g de carbón activado seco fueron pesados y colocados en crisoles lavados, secados y pesados. Los crisoles fueron colocados en una estufa y secados a 105°C hasta peso constante por 4 horas. El porcentaje de humedad contenido fue calculado como sigue (Ektepe y Horsfall, 2011):

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso en secado (g)}}{\text{Peso inicial de muestra (g)}} \times 100$$

b) **Cenizas/material volátil.**

Un crisol fue precalentado en un horno a 500°C, enfriado en un desecador y pesado. 1 g de muestras de carbón activado fueron transferidos en los crisoles y pesados de nuevo. Los crisoles que contenían las muestras fueron colocados en un horno a una temperatura de 500°C por un tiempo de 3 horas. Seguidamente los crisoles se retiraron del horno y enfriaron en un desecador a temperatura ambiente y pesada nuevamente. El contenido de ceniza fue calculado usando la ecuación (Ektepe y Horsfall, 2011):

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso de ceniza (g)}}{\text{Peso de muestra seca (g)}} \times 100$$

La materia volátil fue determinado por la ecuación (Ekpete y Horsfall, 2011):

$$\% \text{ Materia volátil} = \frac{\text{Peso de componentes volatiles (g)}}{\text{Peso de muestra seca (g)}} \times 100$$

c) Carbono fijo.

El método estándar se empleó para la determinación carbono fijo ASTM D-1762.

Se determinó al restarse de 100 la suma de los porcentajes de cenizas y materia volátil.

$$\% \text{ Carbono} = 100 - \% \text{ Materia volátil} - \% \text{ Ceniza}$$

d) pH.

1 g de carbón activado fue pesado y transferido en un matraz. 100 mL de agua destilada fue medido y añadido y agitado por una hora. Las muestras se estabilizaron antes de que el *pH* fuera medido usando un pHmetro. (Ekpete y Horsfall, 2011).

e) Densidad aparente.

La densidad aparente del material fue obtenido pesando 5 g del carbón activado y transfiriendo en probeta graduada de 10 mL. La probeta fue apisonada con una almohadilla de goma mientras que el carbón activado era agregado hasta que la muestra original entera fue transferida a la probeta. El apisonamiento se continuó por 5 minutos. La densidad fue calcula mediante la ecuación (Al-Qodah y Shawabkah, 2009):

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso de la muestra (g)}}{\text{Volumen de la muestra (cm}^3\text{)}}$$

3.6. ENSAYOS ANALÍTICOS EN LA DETERMINACIÓN DE ORO

3.6.1. Método Directo

Consiste en determinación de oro en soluciones de lixiviación por cianuro (soluciones ricas en oro: Over, TK1, TK4, TK7 y TK8); donde se utiliza directamente 20 ml de solución líquida, luego por fundición, copelación y gravimetría determinamos la cantidad de oro en la solución.

PROCEDIMIENTO:

Preparar un crisol que contenga flux 120 g, harina 3 gr. y nitrato de plata 0.02 gr. homogenizando formar un hueco al centro y tomar 20 ml de la solución lixiviado que contiene oro.

3.6.2. Método Chiddy

Consiste en determinación de oro en soluciones de lixiviación por cianuro (soluciones pobres), donde el oro es encapsulado a través de acetato de plomo ($(\text{CH}_3\text{-COO})_2\text{Pb}$) y zinc en polvo luego por fundición, copelación y gravimetría determinamos la cantidad de oro en la solución.

PROCEDIMIENTO:

- ✓ Para soluciones pobres, filtrar 400 a 500 ml de solución cianurada (barren) con la ayuda de papel filtro.
- ✓ La muestra completamente filtrada, calentar a 80 °C en un vaso de precipitado por alrededor de 15 minutos con el propósito de desairear (eliminar el contenido de O_2).
- ✓ agregar 3 gr. de $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ al y agitar constantemente.

- ✓ Agregar 6 gr. de polvo de zinc Q.P. formándose una esponja de plomo y la solución quede transparente.
- ✓ Decantar la solución y lavar con agua destilada las paredes del vaso y filtrar en caliente en un embudo con papel filtro.
- ✓ El papel filtro donde quedo la esponja de plomo colocar en un crisol preparado
- ✓ y homogenizado que contiene (flux 120 gr., harina 3 gr. y cloruro de plata (AgCl_3) 0.02 gr.) en forma de un hueco.

Llevar el crisol a fundición y seguir los mismos procesos para ensayos de los minerales.

3.7. DETERMINACIÓN DE ORO EN SOLUCIONES DE CIANURACIÓN

- La solución decantada de la pulpa, anterior ensayo, es filtrada en papel filtro lento para obtener una solución limpia.
- Tomar solución filtrada en un vaso de precipitados, para cabeza 250 mL y para cola 500 mL.
- Llevar el vaso sobre estufa caliente, agregar 25 mL de solución de acetato de plomo al 10% y adicionar 15 g de polvo de zinc, agitar con una baqueta para formar una esponja y calentar hasta ebullición.
- Sacar y adicionar lentamente 20 mL de ácido clorhídrico por las paredes para disolver el exceso de zinc, dejar enfriar.
- Filtrar en papel filtro enjuagando el precipitado con agua destilada hasta llevar pH = 7.
- Tomar el papel filtro conteniendo con el precipitado y calcinarlo en un escorificador en mufla caliente, sacar y dejar enfriar.

- Sobre el escorificador, con las cenizas, agregar una cucharada de flux de fundente tipo “b” (30 g) encuarte con plata metálica, una cucharita de litargirio (5 g) y cubrir con un poco de bórax.
- Llevará a fundición, lingotear, separar el régulo, moldear y copelar.
- Separar la plata de oro.
- Pesar, calcular y reportar.

$$Ley\ de\ oro\ \left(\frac{g}{TM}\right) = \frac{mg\ Au}{Volumen\ muestra} * Factor$$

$$Factor = \frac{mg}{g} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1000g}{1Kg} * \frac{1000Kg}{1TM} = 1000 \frac{g}{TM}$$

Estas leyes indican los gramos de oro existentes en la solución que forma la pulpa con 1 TM de sólidos a una determinada densidad.

3.8. OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO

Se tritura el tallo y las hojas secas de cañihua en mortero de porcelana, las muestras de cañihua triturada fueron tamizadas a través de mallas N° 10 y 18. La muestra retenido en este último (tamaño de partícula entre 1 y 2 mm) se secó a 100°C hasta peso constante y luego se puso en contacto con solución de ácido fosfórico al 85% durante 24 horas. Finalizado este periodo, se lavó la muestra de cañihua con agua corriente hasta que el efluente alcanzó pH 7, y se secó el material del filtro a 100°C, hasta peso constante. Finalmente 100 g de esta muestra tratada se introdujeron en la mufla a 500°C durante 2 horas. Al cabo de este tiempo se dejó enfriar, se retiró el carbón, se pesó y se guardó para su posterior uso en la adsorción de oro.

3.9. ADSORCIÓN DE ORO POR CARBÓN ACTIVADO

El oro disuelto en una solución cianurada, la mejor manera de recuperarlo es mediante el uso de carbón activado, que es una alternativa viable al uso de cinc.

El proceso de recuperación de oro por medio de carbón activado de tallos y hojas de la cañihua se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. El carbón activado de tallos y hojas de la cañihua es colocado en un cilindro pequeño, la solución cianurada pasará a través del carbón activado.
2. Cuando la solución cianurada pasa a través del lecho del carbón activado de tallos y hojas de la cañihua el oro queda atrapado en los microporos.
3. La solución cianurada es retirada completamente libre de oro.
4. Se realiza un paso de desorción, es decir, el carbón activado de tallos y hojas de la cañihua que llevara a cabo la adsorción del oro es despojado del mismo para su recuperación.
5. El oro aislado se puede reutilizar, al igual que el carbón que es reactivado para un siguiente proceso de recuperación de oro, incluso se puede utilizar en procesos diferentes, tales como la filtración de agua, según sea el caso.

3.10. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño factorial 2^3 , considera tres factores cada uno de ellos a dos niveles, contiene ocho combinaciones de niveles de factores, tres efectos principales (X_1 , X_2 y X_3), tres interacciones de dos factores (X_1X_2 , X_1X_3 y X_2X_3) y una interacción de tres factores ($X_1X_2X_3$), además con tres réplicas en el punto central.

Elabora una ecuación estadística matemática que permita controlar la solución del oro en función de las variables más importantes. En el presente estudio se elabora un Diseño Factorial 2ⁿ donde "n" es igual a 3 variables independientes y "2" significa 2 niveles mínimo y máximo. En el proceso de adsorción de oro en el carbón activado se ha considerado las variables independientes siguientes

1. Carbón activado
2. Tiempo
3. Temperatura

Tabla 1: Niveles máximos y mínimos

Código	Factor	Unidad	Mínimo	Máximo	Promedio
A	Cantidad de carbón	g	0,8	1,2	1
B	Tiempo	Min	45	420	232,5
C	Temperatura	°C	12	25	18,5

Tabla 2: Matriz de diseño factorial

N°	A (Carbón activado)	B (Tiempo)	C (Temperatura)	Y (% adsorción)
1	0,8	45	12	Y1
2	1,2	45	12	Y2
3	0,8	420	12	Y3
4	1,2	420	12	Y4
5	0,8	45	25	Y5
6	1,2	45	25	Y6
7	0,8	420	25	Y7
8	1,2	420	25	Y8
9	1	233	19	Y9
10	1	233	19	y10
11	1	233	19	y11

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

En la tabla 3 se muestran los resultados de los análisis realizados al carbón activado elaborado.

Tabla 3 Análisis próximo del carbón activado obtenido

Humedad (%)	Ceniza (%)	Materia volátil (%)	Carbón fijo (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	pH
7.41	8.31	11.89	72.16	0.36	5.75

Fuente: Elaboración propia.

La humedad 7.41% y pH 5.75, son comparables por el reportado por Madhava *et al.* (2009), para el carbón activado elaborado de productos y desperdicios de la agricultura cuyo resultado de humedad fue de 7.0% y pH 5.70. El valor del pH ligeramente ácido se debe a la activación química.

Los resultados de ceniza fue 8.31%, dicho resultado es menor al reportado por Ramadevi y Srinivasan (2005) para el carbón activado de nuez de tamarindo, cuyo valor fue 15.20%. Las cenizas constituyen un residuo inorgánico, dicho valor indica la cantidad de minerales presentes en el carbón activado. El alto contenido de ceniza en el carbón activado es indeseable porque disminuye la fuerza mecánica y la capacidad de adsorción (Collin y Anuar, 2003).

4.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO Y CAPACIDAD DE ADSORCIÓN

Cantidad de carbón activado: 0,1 g

Volumen de solución azul de metileno: 25 mL

Concentración inicial de azul de metileno: 200 mg/L

Concentración final de azul de metileno: 0,25 mg/L

Tabla 4: Adsorción de azul de metileno

Carbón activado	% de remoción	mg azul metileno/g carbón
0.1g	99.87	49.9375

$$\text{Inicial: } 200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.025\text{L} = 5\text{mg AM}$$

$$\text{Final: } 0.25 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.025\text{L} = 0.00625\text{mg AM}$$

$$\text{Calculamos: } 5\text{mg AM} - 0.00625\text{mg AM} = 4.99375\text{mg AM}$$

$$\frac{4.99375\text{mg AM}}{0.1\text{g}} = 49.9375\text{mg AM/g}$$

$$\% \text{ de remoción: } \frac{4.99375\text{mg AM}}{5\text{mg AM}} = 99.87\%$$

4.3. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE ADSORCIÓN DE ORO CON CARBÓN ACTIVADO

Condiciones de Operación

Cantidad de carbón activado : 0,8 y 1,2 g

Ley de oro : 0.140 mg/l

Granulometría : Malla- 80

Carbón activado obtenido : Tallos y hojas cañihua

Volumen de solución cianurada : 500 mL

pH : 11

4.4. PORCENTAJE DE ADSORCIÓN DE ORO

Tabla 5: Adsorción de oro

Tiempo	mg/l de Au	% adsorción de Au
0	7.000	0.000
45	1.250	82.143
90	0.800	88.571
135	0.700	90.000
225	0.300	95.714
315	0.200	97.143
420	0.123	98.243
510	0.120	98.286

Fuente: Resultado de prueba de adsorción de oro

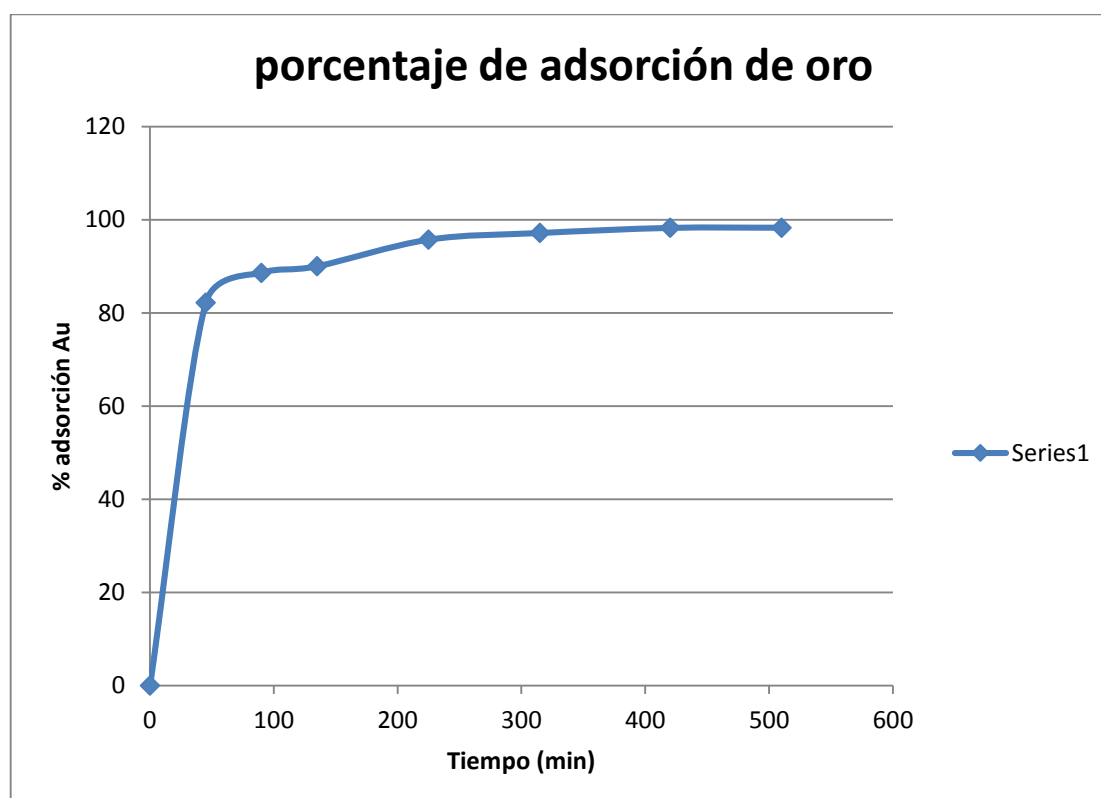


Figura 9: Análisis de porcentaje de adsorción de oro

La figura 9 Corresponde al ensayo de adsorción de oro a diferentes tiempos en el cual se puede observar que a 420 min se logra alcanzar la adsorción de oro al 98%. También cabe resaltar que a 45 min alcanza adsorción de 82%, esto nos indica que la cinética de reacción es rápida en los primeros minutos.

4.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL

Tabla 6: Matriz de diseño factorial

N	A (carbón activado)	B (tiempo)	C (Temperatura)	Y (% adsorción)
1	0.8	45	12	72.857
2	1.2	45	12	80.714
3	0.8	420	12	96.357
4	1.2	420	12	97.857
5	0.8	45	25	73.571
6	1.2	45	25	82.143
7	0.8	420	25	96.243
8	1.2	420	25	98.243
9	1	233	19	84.286
10	1	233	19	84.760
11	1	233	19	85.110

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de la matriz de diseño factorial, se ha tomado en cuenta el rango de tiempo de acuerdo a los ensayos preliminares.

DISEÑO FACTORIAL 2^3

Diseño Base

Número de factores experimentales	: 3
Número de bloques	: 1
Número de respuestas	: 1
Número de corridas	: 11 incluyendo 3 puntos centrales por bloque
Grados de libertad para el error	: 4

Se ha creado un diseño Factorial el cual estudia los efectos de 3 factores en 11 corridas. El diseño se ejecutó en un solo bloque. El orden de los experimentos ha sido completamente aleatorizado. Esto aportará protección contra el efecto de variables ocultas.

4.6. ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 7: Análisis de varianza para adsorción de oro

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i> <0.05
A:Carbon activado	42.7813	1	42.7813	13.60	0.0211
B:tiempo	816.969	1	816.969	259.69	0.0001
C:Temperatura	0.121524	1	0.121524	0.04	0.8538
AB	16.5313	1	16.5313	5.25	0.0836
AC	0.0057245	1	0.0057245	0.00	0.9680
BC	0.0244205	1	0.0244205	0.01	0.9340
Error total	12.5839	4	3.14598		
Total (corr.)	889.017	10			

R-cuadrada = 98.5845 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96.4613 por ciento

Error estándar del est. = 1.77369

Error absoluto medio = 0.932562

Estadístico Durbin-Watson = 1.73257 (P=0.1684)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.114684

La tabla 7 ANOVA particiona la variabilidad de porcentaje de adsorción de oro en partes separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 98.5845% de la variabilidad en Porcentaje de adsorción de oro. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 96.4613%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.77369. El error medio absoluto (MAE) de 0.932562 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

4.7. DIAGRAMA DE PARETO

Diagrama de Pareto Estandarizada para Porcentaje de adsorción de oro

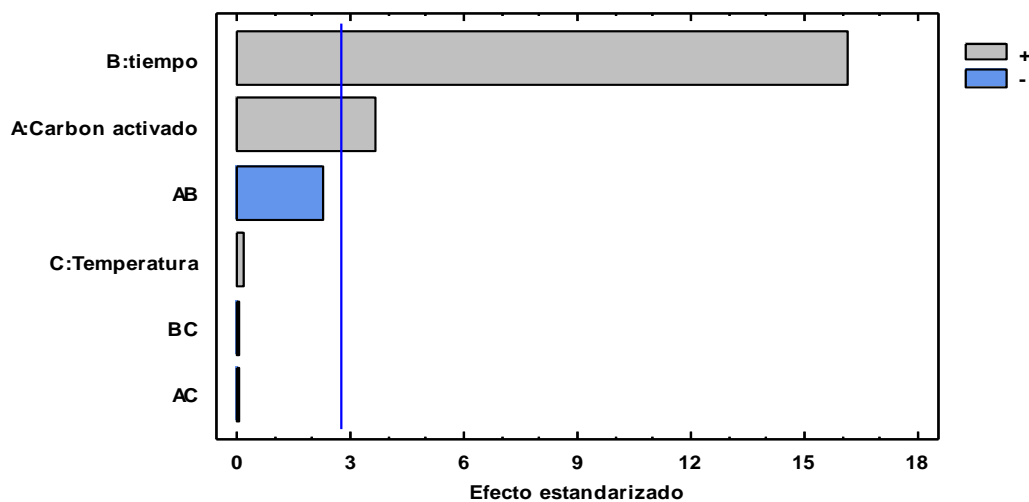


Figura 10: Diagrama de Pareto estandarizado

El diagrama de Pareto de la figura 10 nos muestra los efectos de los factores en la adsorción de oro por agitación. El factor B (tiempo) tiene mayor efecto en la adsorción de oro. Seguido del factor A (carbón activado). El de menor efecto es el factor C (temperatura). La interacción AB es significativa y, las interacciones BC y AC muestra efectos insignificantes en la adsorción de oro.

Gráfica de Efectos Principales para Porcentaje de adsorción de oro

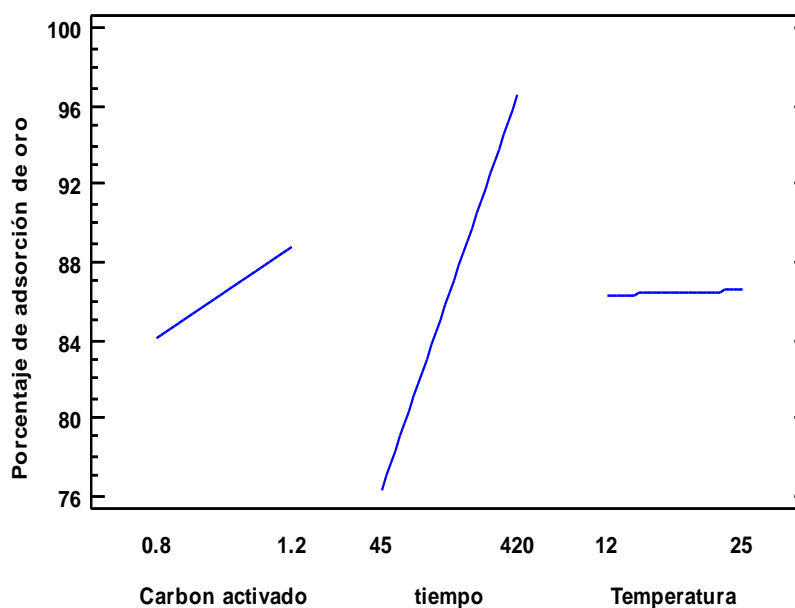


Figura 11: Efectos principales para recuperación de oro

La figura 11 nos indica los efectos principales de carbón activado, tiempo y temperatura en la adsorción de oro. El efecto carbón activado se incrementa la adsorción de oro en el rango de 0,8 a 1,2. El efecto tiempo incrementa rápidamente la adsorción de oro en el rango de 45 a 450 min y el efecto temperatura es constante la adsorción de oro en el rango de 12 a 25°C.

4.8. ESTIMACIÓN DE EFECTOS Y MODELO MATEMÁTICO

Tabla 8: Efectos estimados para adsorción de oro (%)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
Promedio	86.4284	0.534788	
A:Carbon activado	4.625	1.25419	1.0
B:tiempo	20.211	1.25419	1.0
C:Temperatura	0.2465	1.25419	1.0
AB	-2.875	1.25419	1.0
AC	-0.0535	1.25419	1.0
BC	-0.1105	1.25419	1.0

Fuente: Efectos estimados por programa STATGRAPHICS Centurión XVI.I.

Esta tabla 8 muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

Tabla 9: Coeficiente de regresión para adsorción de oro

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
Constante	52.4961
A:Carbon activado	20.8557
B:tiempo	0.093068
C:Temperatura	0.0500785
AB	-0.0383333
AC	-0.0205769
BC	-0.0000453333

Fuente: Coeficientes estimados por programa STATGRAPHICS Centurión XVI

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de adsorción de oro} = & 52.4961 + 20.8557 * \text{Carbon activado} + \\ & 0.093068 * \text{tiempo} + 0.0500785 * \text{Temperatura} - 0.0383333 * \text{Carbon} \\ & \text{activado} * \text{tiempo} - 0.0205769 * \text{Carbon activado} * \text{Temperatura} - \\ & 0.0000453333 * \text{tiempo} * \text{Temperatura}. \end{aligned}$$

4.9. OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTA

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Porcentaje de adsorción de oro

Valor óptimo = 97,4501

Tabla 10: Adsorción de oro estimado

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Carbón activado (g)	0,8	1,2	1,2
Tiempo (min)	45.0	420.0	420.0
Temperatura (°C)	12.0	25.0	25.0

Fuente: Optimización de respuesta por programa STATGRAPHICS Centurión XVI

La tabla 10 muestra la combinación de niveles de factores que maximiza la función de adsorción de oro. También muestra la combinación de factores a la cual se alcanza el óptimo. La máxima optimización alcanzada en la adsorción de oro es 97,4501%. Así mismo muestra las variables óptimas de carbón activado, tiempo y temperatura de adsorción.

4.10. SUPERFICIE DE RESPUESTA

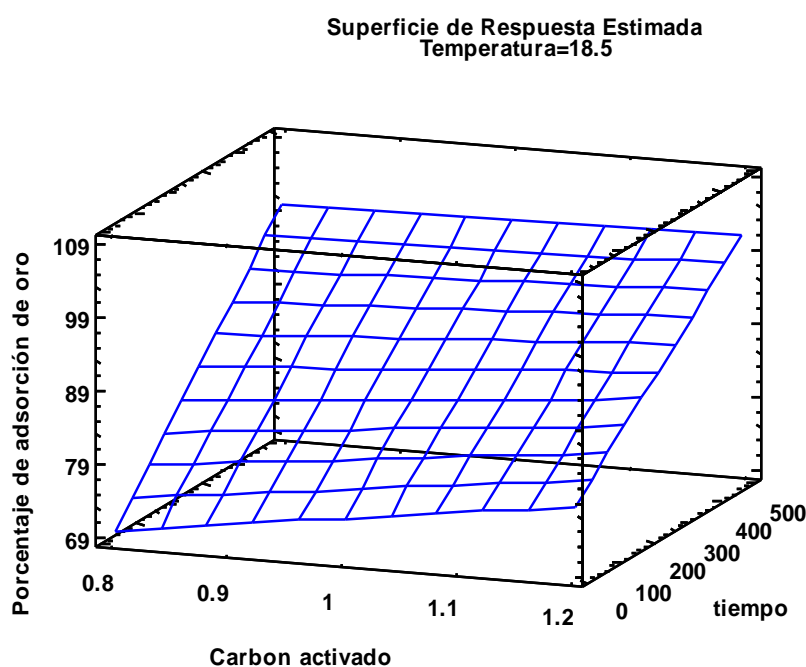


Figura 12: Superficie de respuesta estimada

La figura 12 nos muestra contornos de superficie de respuesta para adsorción de oro. La adsorción de oro es aproximadamente de 98% en función de cantidad de carbón activado y tiempo. Considerando la temperatura como promedio de 18,5°C.

4.11. COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE ADSORCIÓN DE ORO

Tabla 11: Comparación de resultados de adsorción de oro

Tipo de carbón activado	% de Adsorción de oro
➤ Carbón activado obtenido a partir de cáscara de coco	➤ 98 a 99%
➤ Carbón activado obtenido a partir de tallo y hojas de cañihua	➤ 97.45%

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes citados por los autores Misari y otros.

La Tabla 11 nos muestra los resultados de adsorción de oro utilizando dos tipos de carbones activados. Según Misari (1993) la adsorción de oro con carbón activado obtenido a partir de cáscara de coco es de 98 a 99%. Utilizando carbón activado obtenido a partir de tallo y hojas de cañihua alcanza una adsorción al 97.45%. Por lo tanto, son comparables los resultados de adsorción en oro.

V. CONCLUSIONES

- A partir del análisis fisicoquímico se concluye que el carbón activado elaborado a partir de tallos y hojas de cañihua, por el método de activación química con ácido fosfórico, a nivel de laboratorio, es de buena calidad, igualando al carbón activado comercial.
- El carbón obtenido fue activado por activación química con H_3PO_4 al 85% a nivel de laboratorio, en la que se obtuvo un rendimiento del 45.5%. La caracterización del carbón activado, se basó en la determinación de sus propiedades fisicoquímicas cuyos resultados fueron: humedad 7.41%, ceniza 8.31%, material volátil 11.89%, carbono fijo 72.16%, densidad aparente 0.36 g/cm^3 y pH 5.75. Los presentes resultados indican que el carbón elaborado a partir de tallo y hojas de cañihua presenta características fisicoquímicas comparables con los carbones activados comerciales.
- Los carbones activados obtenidos a partir de tallo y hojas de cañihua adsorbe el oro al 97.45%.
- Las variables óptimas de adsorción de oro a partir de carbón activado obtenida de tallo y hojas de cañihua fueron:
 - Carbón activado : 1,2 g
 - Tiempo : 420 min
 - Temperatura : 25°C
- El oro se recupera del carbón activado por fusión, obteniéndose oro de 24 kilates.

VI. RECOMENDACIONES

- Utilizar el carbón activado obtenido a partir de tallo y hojas de cañihua para la adsorción de plata.
- Utilizar para la adsorción de otros metales.
- Realizar pruebas de desorción de oro a partir de carbón activado de cañihua.
- Obtener carbón activado a partir de tallos de quinua
- Realizar la activación de carbono por activación física.

VII. REFERENCIAS

- Giraldo L., García V., Moreno J.C. Caracterización superficial en fase gas y líquida de carbones activados. *Revista de ingeniería*, Universidad de los Andes, volumen 27, 2008: 7-16.
- Ramadevi, A. and Srinivasan, K. (2005). Agricultural Solid Waste for the Removal of Inorganics: Adsorption of Mercury(II) from Aqueous Solution by Tamarind Nut Carbon. *Indian Journal of Chemical Technology*, 12, 407-412.
- Obtención de carbón activado por el método de activación química a partir de la lenteja de agua (*lemna spp*) de la bahía interior del lago Titicaca puno.
- Ayestas, A. J. (1997), Obtención de Carbón Activado por el Método de Activación Química a partir de la Foresta Andina Ttola y Aserrín de Desecho de Madera Aguano y Cedro. Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico, Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.
- Astucuri Ticono, Venancio, (1984). Principios de Hidrometalúrgia y Algunas Aplicaciones Fundamentales. Editorial Gol S.R. Ltda-Perú.
- Ballester-Verdeja-Sancho (2000) Metalurgia extractiva, fundamentos. Editorial Síntesis. Madrid. España.
- Bedoya C, Erasmo, (1997). Efecto del Oxígeno en la Lixiviación de Sulfuros Auríferos de Inti Raymi S.A. Oruro-Bolivia.
- Readmore: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/au.htm#ixzz4kc9b7V8y>
- Cárdenas R., A, (1993). Metalurgia Extractiva del Oro, Ed. Imral Ltda., Oruro-Bolivia.
- Cochran, W.G.; Cox, G. M., (1997). Diseños Experimentales, Trillas, 2da

edición, México.

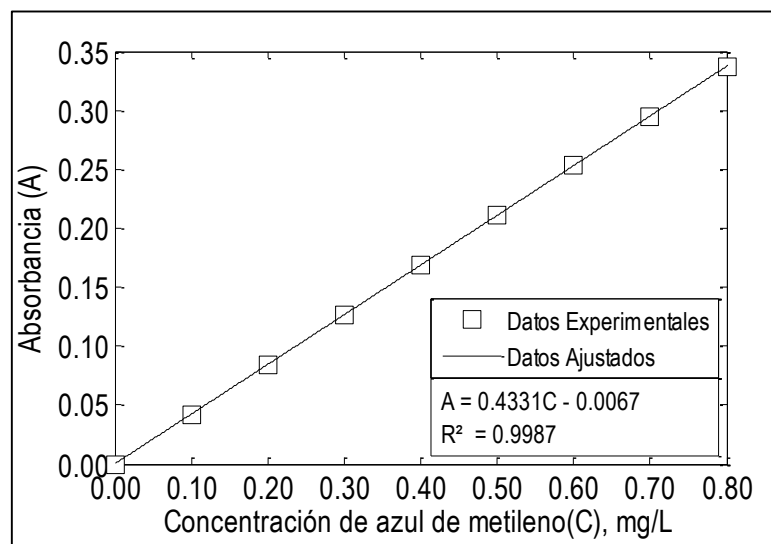
- Carcausto, D. baustista. V. (2008), Química Analítica y análisis de minerales, UNSA-Arequipa.
- Chavez, H. P. (2004). Obtención de carbón activado por el método de activación química a partir de lenteja de agua de la Bahía Interior del lago Titicaca. Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico, Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.
- Domic M, Esteban, (2001). Hidrometalurgia, Fundamentos, Procesos y Aplicaciones
- Houg, D.H.H.; Twidwel, D.L.G. y Miller, D.J.D. (1986). Hidrometalurgia, Tomo II Editorial San Marcos, Lima.
- Misari, Ch., Fidel Sergio, (1993). Metalurgia del Oro, Volumen I y II, Primera Edición, editorial Litoral, Lima-Perú.
- Marín Escalona, Luis. (2007). Aglomerado y Curado en el Proceso de Lixiviación de Minerales.
- Palacios Calisaya. Severo, (1994). Work shop Practico del Oro, INEA Sociedad Minera, Primera Edición, Tacna-Perú.
- Sancho, José; Verdeja, Luís Felipe, (1998). Metalurgia Extractiva, Volumen I y II Editorial Síntesis, México.
- Terkel, Rosenquist, (1987). Fundamentos de Metalurgia Extractiva, Ed. Limusa, México.
- Treybal, R. E. (1980). Operaciones de Transferencia de Masa. Editorial McGraw-Hill. México.
- Torre, Chauvin, Ernesto; Guevara Caiquetan, Alicia (2005). Recuperación de Oro a Partir de Minerales Refractarios Polisulfurados.
- Tecsup(2010). Metalúrgia Extractiva del Oro. Convenio de Cooperación

Técnica.

- Tecsup, (2007), Hidrometalurgia. Procesos químicos y metalúrgicos, Arequipa.
- Tecsup, (2008), Procedimientos de laboratorio metalúrgico, Arequipa.
- Tecsup, (2008), Fundamentos de análisis de oro y plata por fundición (sociedad minera el brocal S.A.A.), Lima.
- http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Julio_2011/IF_DELGADILLO_GAMBOA_FIPA/INFORME.PDF
- <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1323/2/134892.pdf>
- <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/91812/D-67554.pdf>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Chenopodium_pallidicaule
- Vargas Gallardo, Juan, (1995). Metalurgia del Oro y la Plata, Editorial San Marcos, Lima-Perú.

ANEXOS

Tabla 4: Curva de calibración estándar de azul de metileno



Fuente: Elaboración propia



Preparando las hojas y tallos de cañihua en vasos de arcilla para la carbonización



Preparando el carbón de hojas y tallos Cañihua la activación con el ácido sulfúrico



Muestras de carbón activado de hojas y tallos de Cañihua



Tamizado del carbón activado de hojas y tallos de Cañihua en malla numero 80



Agitación magnética del carbón activado de hojas y tallos de Cañihua con la solución rica en oro



Pruebas corridas con las hojas y tallos de Cañihua en la solución