

Universidad Nacional
"José Faustino Sánchez Carrión"



“Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica”

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**“EVALUACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE CARBÓN
ACTIVADO PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO A NIVEL
EXPERIMENTAL”**

“TESIS”

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALÚRGICO**

Autor:

ALEXANDER WILFREDO, SUSANIBAR KLER

Asesor:

Ing. ABARCA RODRÍGUEZ, Joaquin José.

C.I.P. N° 108833

Huacho - Perú

2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre, que siempre ha sido una persona a seguir, en toda mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

PENSAMIENTO

“De todos los animales de la creación el hombre es el único que bebe sin tener sed, come sin tener hambre y habla sin tener nada que decir”

John Steinbeck

INDICE

PORTADA	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
PENSAMIENTO.....	iv
INDICE	v
ÍNDICE DE FIGURA	ix
ÍNDICE DE TABLA.....	x
ÍNDICE DE ANEXO	xi
GLOSARIO DE ABREVIATURA.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2 Formulación del problema.....	1
1.2.1 Problema general.....	1
1.2.2 Problemas específicos	1
1.3 Objetivos de la Investigación.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivo específico	2
1.4 Justificación de la investigación	2
1.4.1 Justificación Práctica.....	2
1.4.2 Justificación Metodológica.....	2

1.4.3	Justificación Técnica.....	2
1.4.4	Justificación Social.	3
1.4.5	Justificación Económica.	3
1.5	Delimitación del estudio.....	3
1.5.1	Delimitación Territorial.	3
1.5.2	Coordenadas.....	3
1.5.3	Delimitación Tiempo y Espacio.....	4
1.5.4	Delimitación de Recursos.	4
1.6	Viabilidad del estudio.....	4
Capitulo II		5
MARCO TEORICO.....		5
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	5
2.1.1.	Investigaciones nacionales.	5
2.1.2.	Investigación internacional.....	7
2.1.3.	Otras investigaciones.....	10
2.2.	Bases Teóricas	13
2.2.1.	Carbón activado.....	13
2.2.2.	Recuperación del oro a partir de sus Soluciones.....	13
2.2.3.	Adsorción del oro en Carbón Activado.....	14
2.2.4.	Factores que influyen en la adsorción del oro en carbón activado.....	15
2.2.5.	Proceso Carbón en Pulpa (CIP).....	16
2.2.6.	Factores que Influyen en el proceso CIP.....	17
2.3.	Definiciones conceptuales.	17
2.4.	Formulación de la Hipótesis.	19
2.4.1.	Hipótesis General	19

2.4.2. Hipótesis Específicos	19
CAPITULO III	20
METODOLOGIA	20
3.1. Diseño Metodológico	20
3.2. Población y Muestra	21
3.1.1. Población.....	21
3.1.2. Muestra.....	21
3.3. Operacionalización de Variables e indicadores	22
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	23
3.5. Técnicas para el procesamiento de la información.....	23
CAPITULO IV	24
RESULTADOS	24
4.1. Caracterización del trabajo experimental.	24
4.1.1. Condiciones de trabajo.	24
4.1.2. Resultado de las pruebas experimentales.	27
4.1.3. Procesamiento de las pruebas.....	28
4.1.4. Resultado del procesamiento de los datos.....	31
4.1.5. Análisis de la intervención del carbón activado en la adsorción del oro	35
CAPITULO V	39
DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN	39
5.1. Discusión.	39
5.2. Conclusiones.....	41
5.3. Recomendaciones.....	42
Capítulo V	43
FUENTES DE INFORMACION	43

5.1. Fuentes Bibliográficas	43
ANEXOS.....	47

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Factores en el proceso CIP (Lixiviación carbón en pulpa).....	17
Figura 2 Esquema de experimento y variable	21
Figura 4 Curva de extracción de oro con 1,80 g/L.....	30
Figura 5 Curva de adsorción del oro por el carbón	32
Figura 6 Curva de recuperación de oro en el carbón.....	34
Figura 7 Curva de adsorción de oro en función de la adición del carbón g/L para 10 horas ...	36
Figura 8 Curva de adsorción de oro en función de la adición del carbón g/L para 35 horas ...	38

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Variables.....	22
Tabla 2 Ley de soluciones rica	24
Tabla 3 Peso del carbón activado para las pruebas experimentales	25
Tabla 4 Control de la absorción del oro en el carbón.....	26
Tabla 5 Resultado de la solución en el transcurso de la adsorción del carbón.....	27
Tabla 6 Recuperación de oro en la adsorción del carbón activado para 0.30 g/L.....	28
Tabla 7 Recuperación de oro en la adsorción del carbón activado para 1.80 g/L.....	29
Tabla 8 Carga del oro en el carbón activado	31
Tabla 9 Recuperación de oro en el carbón	33
Tabla 10 Análisis de Varianza para 10 horas de adsorción.....	35
Tabla 11 Resumen del modelo 10 horas	35
Tabla 12 Coeficientes para 10 horas	35
Tabla 13 Análisis de Varianza para 35horas de adsorción.....	37
Tabla 14 Resumen del modelo para 35 horas.....	37
Tabla 15 Coeficientes para 35 horas	37

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1 Matriz de consistencia general.....	48
Anexo 2 Matriz de consistencia específico	49
Anexo 3 Instrumentos para la toma de datos	50
Anexo 4 Resultado de la adsorción de las 5 pruebas	51
Anexo 5 Resultado de la adsorción de la primera prueba 15 g	51
Anexo 6 Resultado de la adsorción de la segunda prueba 30 g	52
Anexo 7 Resultado de la adsorción de la tercera prueba 45 g.....	52
Anexo 8 Resultado de la adsorción de la cuarta prueba 60 g.....	53
Anexo 9 Resultado de la adsorción de la quinta prueba 90 g.....	53
Anexo 10 Curva de adsorción de oro	54
Anexo 11 Resultado curva de equilibrio de adsorción de oro en carbón	54
Anexo 12 Análisis de regresión: Au g/kg vs. h.....	55
Anexo 13 Análisis de regresión: Recup.(1,8 g/L) vs. h	55
Anexo 14 Curva de adsorción de Au g/kg vs. h.....	56
Anexo 15 Curva de Recuperación de Au vs. h.....	57

GLOSARIO DE ABREVIATURA

%	: Porcentaje
μm	: Micras
CCD	: Decantación en contra corriente
CIA	: Compañía
CIP	: Carbón en pulpa
g/cm^3	: Gramos por centímetros cúbicos
g/L	: Gramos por litro
kg/t	: Kilogramos por tonelada
m^2/g	: Metros cuadas por gramo
mg/l	: Miligramos por litro
mg/m^2	: Miligramos por metros cuadrados
min	: Minutos
msnm	: Metros sobre nivel del mar
N°	: Números
°C	: Grados centígrados
pp	: Paginas
p	: Pagina
pH	: Potencia de hidrogeno
ppm	: Parte por millón
rpm	: Revoluciones por minutos
S.R.L	: Sociedad de responsabilidad limitada
SAC	: Sociedad anónima cerrada
UTM	: Universal transversal de Mercator
WGS	: Sistema Geodésico Mundial

RESUMEN

La investigación posee por objetivo, evaluar la adsorción de carbón activado para la recuperación de oro a nivel experimental, con la finalidad de adsorber y recuperar oro experimental, es una averiguación experimental, predictiva cuantitativo, la muestra es una solución rica cianuro áurico, se usó 50 litros de solución, con 11,88 ppm(0,01188 g/L) de oro y 14 ppm(0,01400 g/L) de plata, con un carbón activado de malla entre -6 y +12 en un rango de 15 g(0,3 g/L), 30 g(0,6 g/L), 45 g(0,9 g/L), 60 g(1,2 g/L), y 90g(1,8 g/L). llegando a adsorber en 10 horas de 8,43 g Au/kg de carbón, y en 35 horas se llega a 9,60 g Au/kg de carbón. Con una recuperación de oro para 90g de carbón (1,8 g/L), en un periodo de 10 horas de 74,58% y a 35 horas de 89,90%. para una confiabilidad del 95% se tiene alto grado de significancia la adición del carbón activado en g/L (+10,89) con un coeficiente de correlación de 0,9856. mientras que para el tiempo el t de Student es de 5,57 esto es menor que 2,064 es decir que es menor que 0,05 de p, por lo que es significativamente en la adsorción del oro en el carbón activado.

Palabra clave: Adsorción de oro, adsorción en carbón activado de oro de solución cianurada, recuperación de oro en carbón activado.

ABSTRACT

The objective of the research is to evaluate the adsorption of activated carbon for the recovery of gold at the experimental level, with the purpose of adsorbing and recovering experimental gold, it is an experimental investigation, quantitative predictive, the sample is a rich solution of auric cyanide, it was used 50 liters of solution, with 11.88 ppm (0,01188 g / L) of gold and 14 ppm (0,01400 g / L) of silver, with a mesh activated carbon between -6 and +12 in a range of 15 g (0,3 g / L), 30 g (0,6 g / L), 45 g (0,9 g / L), 60 g (1,2 g / L), and 90g (1,8 g / L). Reaching absorber in 10 hours of 8,43 g Au / kg of coal, and in 35 hours you reach 9,60 g Au / kg of coal. With a recovery of gold for 90g of coal (1,8 g / L), in a period of 10 hours of 74,58% and 35 hours of 89,90%. For a 95% reliability, the addition of activated carbon in g / L (+10,89) with a correlation coefficient of 0,9856 is high. While for the time Student's t is 5,57 this is less than 2,064, that is, it is less than 0,05 of p, so it is significantly in the adsorption of gold in activated carbon.

Key words: Adsorption of gold, adsorption in activated carbon of gold of cyanide solution, recovery of gold in activated carbon.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación sobre “*Evaluación sobre la adsorción de carbón activado para la recuperación de oro a nivel experimental*”. En el contexto internacional las empresas realizan la recuperación del oro a partir de soluciones lixiviadas con el carbón activado por ser la técnica más sencilla a comparación de otras técnicas. En el Perú en la recuperación de oro las empresas minerales pequeñas, medianas y grandes usan carbón activado para la recuperación de oro de una solución rica aurífero tanto en columna, como en pulpa, como el caso de Yanacocha, sotrami, vicus, laytaruma, etc, quienes utilizan el carbón activado.

Por lo que es necesario precisar el uso adecuado del carbón en la recuperación del oro por ello es necesario plantearse que ¿Tendrá una relevancia, importante la evaluación de la adsorción de carbón activado en la recuperación de oro a nivel experimental, y es posible la solución que, realizando una adecuada caracterización de la adsorción de carbón activado, nos permitirá obtener una relación del peso del carbón activado y el tiempo para una adecuada recuperación de oro a nivel experimental? Teniendo como objetivo evaluar la adsorción de carbón activado, en la recuperación de oro a nivel experimental.

El presente trabajo se realiza en cinco capítulos, en la primera parte se describe el planteamiento del problema, objetivos, localización, justificación y viabilidad. En el segundo capítulo de detallan los antecedentes, fundamento teórico, definiciones e hipótesis, en el tercer capítulo se describe la metodología aplicado, en el cuarto capítulo se detalla la parte experimental como condiciones, resultados de la parte experimental y del proceso realizado, en el quinto capítulo esta las discusiones, resultados y conclusiones, en el sexto se detalla la fuente utilizado para el presente trabajo, por último en el anexo se detallan la matriz de consistencia, tablas y figuras del procesamiento de los datos mediante el uso del Excel y minitab.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

En el contexto actual la minería peruana de productores nacionales, incrementado la inversión en la pequeña y mediana minería por la coyuntura actual del precio del oro en el mercado internacional, dentro del cual no tiene un parámetro real para cada tipo de proceso, por ello es necesario que se deben de realizar investigación de sus proyectos para reducir costos y obtener mayores márgenes de utilidad.

en virtud a ello se plantea el problema a solucionar que se describe en el problema general del presente proyecto de investigación a realizar.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Tendrá una relevancia, importante la evaluación de la adsorción de carbón activado en la recuperación de oro a nivel experimental?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿En qué medida una cantidad adecuada de adición del carbón activada en la solución cianurada, nos permitirá obtener una concentración optima de oro en el carbón activado?
- ¿En qué medida una administración del tiempo en el proceso de adsorción del oro en el carbón activado, nos permitirá obtener una recuperación de oro optima?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la adsorción de carbón activado, en la recuperación de oro a nivel experimental.

1.3.2 Objetivo específico

- Evaluar cantidad adecuada de adición del carbón activada en la solución cianurada, que nos permita obtener una concentración optima de oro en el carbón activado.
- Evaluar la administración del tiempo en el proceso de adsorción del oro en el carbón activado, para obtener una recuperación de oro optima.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación Práctica.

Al llevar a cabo esta investigación se podrá entender que la evaluación de la adsorción de carbón activado para la recuperación de oro a nivel experimental, nos permitirá recuperar oro en un tiempo adecuado de acuerdo los objetivos planteados.

1.4.2 Justificación Metodológica.

Los Métodos, procedimientos y técnicas e instrumentos empelados en la investigación, una vez demostrada su validez y confiabilidad podrán ser utilizadas en otros trabajos de investigación.

1.4.3 Justificación Técnica

El presente trabajo sobre evaluación de la adsorción de carbón activado para la recuperación de oro a nivel experimental, nos permitirá obtener una recuperación óptima.

1.4.4 Justificación Social.

Dentro de la investigación se mostrará que la actividad que se realiza fomentará en un futuro trabajadores de la zona de influencia tanto distrital, provincial, departamental y de las zonas de influencia directo e indirectamente.

1.4.5 Justificación Económica.

En la evaluación de la adsorción de carbón activado para la recuperación de oro a nivel experimental, permitirá los ingresos económicos de las personas de la zona de influencia y gobierno local, regional y central.

1.5 Delimitación del estudio

1.5.1 Delimitación Territorial.

País	:	Perú
Departamento	:	Lima
Provincia	:	Huaura
Distrito	:	Huacho
Ciudad	:	Universitaria - UNJFSC - FIQyM - EPIM - CIyDTM

1.5.2 Coordenadas.

Coordenada Este	:	11.126075
Coordenada Norte	:	77.609317
Cota (msnm)	:	32
Sistema de coordenadas	:	WGS 1984 UTM Zona 18S
Proyección	:	Transverse Mercator

Datum : WGS 84

1.5.3 Delimitación Tiempo y Espacio.

La investigación se realizará en el laboratorio de la empresa y del centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales de la escuela profesional de ingeniería metalúrgica de la facultad de ingeniería química y metalúrgica de la universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión, durante el periodo de 2019.

1.5.4 Delimitación de Recursos.

Falta de disponibilidad de recursos económicos, equipos de acorde los avances tecnológicos para llevar a cabalidad el trabajo de investigación. Por ellos se realizaron los análisis en laboratorios externos SGS.

1.6 Viabilidad del estudio

La realización de la presente investigación es viable, por cuanto se tenía los conocimientos teóricos, los medios técnicos, métodos y los recursos económicos necesarios. Así mismo, está asegurado el acceso a lugares de las fuentes de la información requeridas; también se cuenta con la autorización correspondiente del jefe de laboratorio de la empresa y del jefe del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales, a efectos de llevar a cabo el correspondiente trabajo de investigación.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Investigaciones nacionales.

Para Cardoso (2000), en su trabajo sobre, “*recuperación de oro de soluciones diluidas con carbón activado*” concluye que;

En la 4^{ta} etapa en los 10 ciclos de la prueba batch en contracorriente el carbón de coco de -10 + 20 mallas se enriquecieron en promedio de 670g de oro/ton a partir de una solución rica que contenía 0.37 gr/m³ dejando una solución barren menor de 0.0005 gr/m³.

En la 4ta. etapa de 36 horas en contracorriente en la prueba de laboratorio con carbón de coco -6 + 16 mallas que se enriqueció en un promedio de 710 gr de oro/ton y 100 gr de plata/ton a partir de una solución rica que contenía 0.37 gr/m³ de oro y menos de 0.1 g/m³ de plata y dejando un barren de 0.06 g/m³.

La prueba en batch sobre la pulpa cianurada mejoraron los datos de velocidad valorable y la curva de equilibrio de adsorción a temperatura ambiente para carbón de coco de -10 +20 mallas. Donde un diseño de la teoría de cascada fue satisfactoriamente aplicado a al batch en contracorriente y las pruebas a nivel de planta piloto laboratorio.

De los resultados y utilizando los parámetros obtenidos diseñamos un agitador para nuestra operación con las siguientes medidas H = 20 pies D = 20 pies, con una potencia de 12 HP. (p. 65).

En su trabajo Varillas (2014), sobre él, “*Uso de la resina aurix®100 para optimizar la recuperación del oro de la solución cianurante de la planta de beneficio Laytaruma*” concluye que;

Las pruebas experimentales llevadas a cabo con la resina AuRIX 100 ha demostrado la selectividad de la resina para el oro y plata, a partir una solución de oro/plata/cobre, oro de una solución de oro/plata y oro de una solución de oro/cobre por la simple modificación del pH de la solución.

Algunos trabajos se han realizado para determinar si otros compuestos pueden ser absorbidos, pero no se han observado avances sustanciales.

En base a la determinación de isotermas de equilibrio, se deduce que, por la tendencia de estas curvas, hay mayor capacidad de extracción al utilizarse un pH de 10.1, comparada con los otros valores de 10.5 y 10.9, de aquí la dependencia del pH en la reacción de extracción.

La adsorción de otros complejos se da en la medida de la selectividad de la resina, pero en esto también influye la cantidad presente de los otros complejos en solución. Se compararon los factores de selectividad, teniendo el siguiente orden de selectividad del extractante: $Au > Ag > Cu$. (p. 97-98)

Para Merino & Bobadillo (2005) sobre *“Influencia del tiempo de residencia y peso de carbón activado por volumen de solución pregnant sobre la recuperación de oro en el proceso de carbón en pulpa del mineral de la CIA. Aurífera Huaylillas S.A.C.”* llegaron a la siguiente conclusión que;

Experimentalmente se comprueba que la influencia del tiempo de residencia es mayor que el peso de carbón activado por volumen de solución pregnant sobre la recuperación de oro en el proceso de carbón en pulpa.

De los resultados obtenidos se comprueba que para un tiempo de residencia de 5- 8 h y un peso de carbón activado por volumen de solución pregnant de 30 g/L se obtiene recuperaciones de oro comprendido entre 84.9 y 88.0 %, sin embargo la mínima recuperación de oro es 70.6 % la cual se da a un tiempo de residencia

de 2 h y un peso de carbón activado por volumen de solución pregnant de 10 g/L.

De los resultados del análisis de varianza se concluye que para un nivel de confianza del 95%, demuestra que las variables de operación, tiempo de residencia y peso de carbón activado por volumen de solución pregnant influyen directamente en la recuperación de oro.

Según los resultados obtenidos a escala laboratorio, se confirma los parámetros de trabajo para obtener la mayor recuperación de oro en el proceso de carbón en pulpa. Tiempo de residencia: 8 h; Peso de carbón activado por volumen de solución pregnant: 30 g/L; Porcentaje de sólidos: 40 %; pH: 10.5 – 11.0; Velocidad de agitación: 240 rpm. (p. 126)

2.1.2. Investigación internacional.

Para Salazar (2016) sobre el “*Estudio comparativo de la adsorción de oro mediante carbón activado empleando soluciones lixiviadas con cianuro y tiourea en FRANROMEC S.A.*” concluye;

En el proceso de adsorción los parámetros que lo afectan son: masa de carbón, concentración remanente del lixivante, concentración inicial de oro, velocidad de agitación. Por lo tanto, la relación masa de carbón por litro de pulpa para ambas soluciones fue de: 0.5, 1.4, 2.3, 3.2, 4.1, 5 y 5.9 g/L; la concentración remanente del lixivante para cianuro fue 200, 400 y 700 mg/L, en cambio para tiourea fue de 6, 9 y 12 g/L. La concentración inicial de oro en la solución para ambas soluciones fue de entre 4 a 5 ppm; por último, la velocidad de agitación empleada para ambas soluciones fue de 657, 560, 476, 414, 393 rpm. Además, consideramos que la interferencia de iones como Cu^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} no es

considerada como parámetro operacional debido a que las concentraciones de dichos iones según la bibliografía no son significativas.

Las gráficas de velocidad de adsorción se obtuvieron ajustando los datos al modelo de transferencia de masa mediante difusión a través de la interfase, en cambio para las isothermas se ajustaron al modelo isotérmico de Freundlich. De la cuales se obtuvieron los parámetros de ajuste necesarios como: las constantes a , b , c ; y otros como: A , γ ; necesarios para determinar el coeficiente de transferencia de masa que gobierna el proceso.

El cálculo del coeficiente de transferencia de masa a través de la capa límite determinado mediante la combinación del balance de masa y la relación de equilibrio de Freundlich, es mayor para las soluciones que contienen cianuro que para las soluciones que contienen tiourea, dando como resultado una mayor velocidad de adsorción del complejo dicianuro de oro que su contrario el complejo oro tiourea en el carbón activado, por ende se alcanza un mayor porcentaje de recuperación de oro de las soluciones.

La adsorción de oro con carbón activado a partir de soluciones lixiviadas con tiourea no es viable desde el punto de vista operacional, se sugiere investigar en otras condiciones de operación y aplicar otras tecnologías de recuperación de oro como: extracción con solventes, resina de intercambio iónico, precipitación de zinc-Merrill Crowe. (p. 60)

Para Zapata (2013) en su trabajo sobre “*Análisis de plata y recuperación por adsorción sobre carbón activo en mineral de característica arcillosa de la localidad de Patacamaya*” concluye;

El mineral inicialmente analizado, tiene una cantidad mínima de plata esto por la probable mezcla de minerales que se tiene, además se determinó que la

muestra tiene plata soluble en cianuro las cuales pueden ser el sulfuro de plata y el óxido de plata.

El método de convertir la plata a cloruro de plata por medio de la tostación clorurada es un método efectivo para recuperar la misma de menas poco metálicas, y de consistencia arcillosa, se determina que el porcentaje de recuperación esta por el orden de 72.41%.

La cantidad de plata recuperada es aceptable en la parte de lixiviación, sin embargo, la cantidad de plata que se deposita por adsorción en el carbón activo es reducida, esta misma para un análisis de recuperación de plata en una muestra sin interferencias solo fue de un 57.14%, mientras que en la muestra del mineral fue de un 54.72% la capacidad de recuperación del carbón es buena ya que se utilizó 2.5 g para 254.52 mg, es muy probable que la cantidad de masa que se debía haber utilizado sea mayor, en todo caso no se cuenta con datos concretos de la cantidad en masa que puede retener un carbón activado. por tal motivo se utilizó un aproximado de 1 gramo para cada 100 mg.

La recuperación de plata por electrolisis fue en el orden de 70.38% después de una electrolisis de 15 min. (p. 49-50)

En su investigación Saravia (2013), sobre “*Recuperación de oro de filtros de carbón activado en la empresa exportadores bolivianos S.R.L.*” concluye que;

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de desorción, podemos concluir que las condiciones de operación óptimas son las siguientes.

- La concentración de cianuro necesaria para la desorción de oro es 0.2% NaCN debido a que se logra extraer mayor cantidad de Oro del carbón activado.
- Para desorber 4 g de carbón activado se requiere un litro de solución eluyente.

- El tiempo de desorción es 2 horas, de acuerdo a las pruebas realizadas para distintos tiempos.
- La temperatura optima de desorción es 70°C, también se pudo identificar que pasada las dos horas el carbón vuelve a adsorber el oro de la solución.

El estandarizar las condiciones de operación nos permite reducir costos de operación y optimización del método Zadra.

Debido a la baja concentración de oro, la recuperación se realizará con las aguas generadas en el proceso de Bombing debido a que estas soluciones tienen alta concentración de oro 3.7g Au/L.

Se realizó pruebas de electrodeposición mezclando la solución desorbida con la solución proveniente del proceso de Bombing, cuya concentración final es de 3.2 g/l Au, tomando muestras en distintas etapas del proceso de electrodeposición se obtuvo una concentración final de 0.00917g/l Au, de la solución agotada, obteniendo un rendimiento de recuperación del 99.72%.

Posteriormente se realizó la cementación con zinc en polvo para recuperar el oro restante de la solución agotada cuya concentración es 0.00917g/l Au, recuperándose el 98.15 % es decir 1.8 gr de oro fino. (p. 78-79)

2.1.3. Otras investigaciones.

Para Vargas, Navarro, Araya, Pávez, & Alguacil (2006) sobre “*Recuperación de oro a partir de disoluciones de amoníaco y tiosulfato utilizando carbón activado*”, concluyeron que;

La presencia de amoníaco favorece la adsorción de oro, encontrándose el mejor comportamiento a una concentración 0,6 M de NH₃. A valores superiores la eficiencia del proceso se ve perjudicada.

Se encontró que la presencia de tiosulfato desfavorece la adsorción de oro. Sin tiosulfato, se obtuvo un 24,73 % de adsorción mientras que, con 0,5 M de tiosulfato, la adsorción disminuyó al 19,56 %.

Las impurezas cobren y cinc disminuyen la adsorción de oro debido a que se adsorben sobre el carbón activado en forma proporcional a su contenido en la disolución; además, su estabilización en la disolución acuosa hace disminuir el contenido de NH_3 libre. (p. 232)

Para Mas, Aguirre, & Amaya (2005), en “*Evaluación de los procesos de lixiviación por agitación convencional y carbón en pulpa en la hidrometalurgia del oro*”, concluyen que;

Se puede observar a la luz de los resultados obtenidos que las 12 hr determinadas como óptimas en el proceso de absorción parecen excesivas, pudiendo lograrse los mismos resultados en un tiempo menor, que habrá que determinar.

Los consumos de reactivos para el caso CCD más filtración, fueron levemente inferiores, no acusando una diferencia que permita inclinarse netamente para uno u otro proceso desde este punto de vista.

El mayor valor de recuperación oro obtenido con el CIP, seguramente se debe, a la eliminación de parte de las pérdidas de oro en solución en el CCD y a la presencia de lamas.

En cuanto a los valores de recuperación obtenidos, se observa que mediante la aplicación del proceso CIP se obtuvo un valor de 91,67 % o sea el 2,37 % mayor que el obtenido mediante la aplicación del CCD. Este pequeño porcentaje llevado a gramos de oro recuperados por cada tonelada, para el mineral de cabeza utilizado (24 gr. de oro / ton de mineral), representa 0,57 gramos de oro, más a recuperar, por tonelada o sea 7,76 dólares / ton (cotización 423,30 U\$\$/Oz = 13,61 U\$\$/gr de oro, fuente NY Time a las 10:15 hr. del 03/11/04). Este valor

es más que significativo y para visualizarlo en toda su magnitud habría que multiplicarlo por la escala operativa del proyecto a implantar.

Respecto al control del medio ambiente el proceso CIP utiliza un sistema de deposición de efluentes y retomada de líquido muy específico, con destrucción del cianuro libre al final del proceso y confinado final de los relaves o colas en ambiente seguro. Todo esto sumado a las ventajas económicas, de inversión, en la implantación del proceso CIP, lo hace muy atractivo y conveniente de aplicar al caso en estudio. (pp. 27-33)

Para Navarro & Vargas (2009), en su trabajo sobre “*Efecto de las propiedades físicas del carbón activado en la adsorción de oro desde medio cianuro*” concluyen que;

La presencia de cationes favorece el proceso de adsorción de oro en medio cianuro, especialmente, los de mayor valencia, lo cual puede ser atribuido al mecanismo de adsorción vía par iónico.

Una mayor cantidad de macroporos en un carbón activado produce una mayor adsorción de oro a tiempos cortos de contacto carbón-disolución.

El aumento el diámetro promedio de poros en un carbón activado, aumenta la carga de oro por unidad de superficie específica.

Con una menor área superficial del carbón activado se obtuvo una mayor carga de oro a tiempos cortos o lejos del equilibrio.

Las propiedades físicas de un carbón activado son un factor importante en el proceso de adsorción de oro, en términos de velocidad de adsorción y cantidad de oro adsorbido. El carbón B, con $786 \text{ m}^2/\text{g}$ de superficie específica, alcanzó una mayor carga por unidad de superficie ($0,02 \text{ mg Au/m}^2$), en relación al carbón

A que posee $985 \text{ m}^2/\text{g}$, el cual alcanzó una carga de $0,01 \text{ mg Au/m}^2$, después de 6 h de contacto.

Los valores experimentales de experiencias cinéticas se ajustaron perfectamente a un modelo lineal de primer orden, encontrándose que los valores de k_B fueron alrededor de 3 veces mayores a los de k_A , para los diferentes cationes en estudio. (p. 238-239)

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Carbón activado.

El carbón activado es el “material carbonizado que se ha sometido, a reacción con gases oxidantes (CO_2 , aire), vapor de agua, o tratamiento con productos químicos como el H_3PO_4 , durante (o después) del proceso de carbonización, con el objeto de aumentar su porosidad”. Gutierrez (2013). El carbón activado, “posee estructura cristalina reticular similar al grafito, el orden en la estructura del carbón activado es menos perfecto; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 500 a $1,500 \text{ m}^2/\text{g}$ ”. Fernández, Castillo, Aja, Rey, & García (2006)

La aplicación del carbón activado en la recuperación del oro radica, “por su propiedad de adsorber al oro y la plata a partir de soluciones hasta el grado de 7% de su peso en oro y 3% de plata sin mostrar el más ligero cambio en su apariencia” Cardoso (2000), por ello tiene un gran utilidad en los procesos metalúrgicos de extracción y plata.

2.2.2. Recuperación del oro a partir de sus Soluciones.

El oro se puede recuperar a partir de sus soluciones conocidas como cianuración, teniendo diferentes procesos para la recuperación del oro y plata, teniendo los más resaltante industrialmente:

- Precipitación con polvo de zinc (Merrill Crowe).
- Recuperación de oro de soluciones
- Precipitación con polvo de aluminio.
 - Resinas de intercambio iónico.
 - carbón activado.

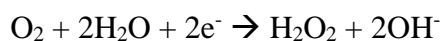
Fuente: (Vargas J. , 1995)

2.2.3. Adsorción del oro en Carbón Activado.

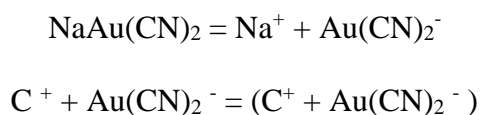
En el proceso de adsorción, “el oro y la plata en soluciones cianuradas son recuperadas por adsorción en carbón activado granular. Los iones calcio en las soluciones cianuradas, favorecen la adsorción del complejo aurocianuro, y iones sodio inhiben la adsorción, particularmente sobre pH 10”. Misari & Franco (1993)

Se indican tres teorías para explicar el mecanismo de la adsorción. Es probable que los tres mecanismos operen al mismo tiempo, pero en diferentes grados:

- a. Teoría de adsorción física. Se considera que la adsorción es resultado de las fuerzas de Van der Waals Barrow (2002).
- b. Teoría química compleja. Indica que la adsorción es el resultado de la neutralización de los grupos ácidos en la superficie del carbón. Imaculada, Saen, & Martinez (2003)
- c. Mecanismo electroquímico. Cuando el oxígeno está en contacto con una suspensión acuosa de carbón, es reducida a grupos hidrófilos y se libera H₂O₂. Mantell (2003)



Puesto que los electrones son abastecidos por el carbón, éste adquirirá una carga positiva. Para mantener la neutralidad eléctrica en la superficie del carbón, los aniones son atraídos por el carbón resultando adsorbidos. Esto puede explicarse mediante. Valderama (1998):



Explicándose él por qué, el oro adsorbido por el carbón desde la solución nunca es oro metálico.

2.2.4. Factores que influyen en la adsorción del oro en carbón activado.

En el proceso de adsorción del oro en el carbón activado se puede mencionar diferentes factores que podrían influencias en proceso de adsorción, pero los más importante o predecibles Vargas (1995) cómo se pueden describir a continuación:

- a. El mecanismo de precipitación involucra una adsorción acompañada de un cambio químico.
- b. El oro precipita a una velocidad mayor que la de la plata y el carbón tiene mayor capacidad de adsorción para el oro que para la plata.
- c. La capacidad del carbón parece alcanzar hasta 2000 onzas de oro por tonelada de carbón.
- d. Existe poca diferencia entre carbones preparados a partir de diferentes maderas.
- e. El punto más importante en la fabricación del carbón es el tratamiento térmico ya sea durante la fabricación o subsiguientemente.
- f. El enfriamiento violento del carbón no mejora sus propiedades.
- g. La pulverización a tamaños finos menores que 200 mallas, no incrementa apreciablemente la eficiencia del carbón.
- h. El cianuro de oro adsorbido no es soluble en agua hirviendo y es especialmente soluble en cianuro caliente. El carbón empleado de este modo puede ser usado nuevamente para una precipitación posterior.
- i. Pocas son las sustancias en solución que afectan apreciablemente la eficiencia de precipitación.

- j. El oro que precipita, desde las soluciones de una cianuración, sobre carbón no es de naturaleza metálica y por lo tanto no tiene las propiedades químicas de un metal. Aun observando bajo el microscopio no se puede ver nada de oro como metal.
- k. El sulfuro de sodio y el cianuro libre en solución disminuyen la velocidad de precipitación del oro sobre el carbón.
- l. En la precipitación con carbón existe una pérdida de cianuro debido a la adsorción, aunque es posible recuperar algo de esta pérdida.
- m. La precipitación de oro es efectiva desde soluciones de bajo grado.
- n. El carbón puede reemplazar al zinc cuando las soluciones contaminadas causan problemas en la cementación.

Estos son los que interviene en los procesos de adsorción que se podría mencionar de acuerdo los establecidos por los autores citados en Misari & Franco (1993), por otra parte Vargas (1995)

2.2.5. Proceso Carbón en Pulpa (CIP)

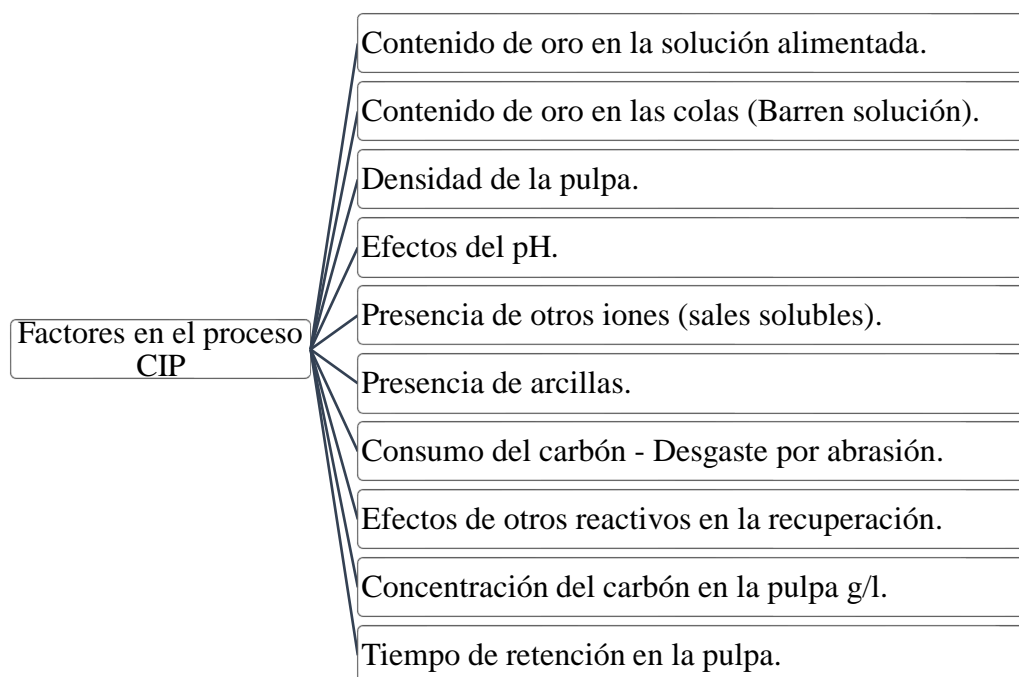
En este proceso la recuperación de los valores de oro, plata radica en introducir directamente el carbón activado en la solución rica sin clarificación a la pulpa, este proceso tiene grandes ventajas sobre los procesos convencionales, ya que los tratamiento de minerales por su compleja mineralización dificulta en la decantación y su posterior filtración, como en el caso de proceso de decantación en contra corriente conocido como CCD (Counter current decantation) Misari & Franco (1993).

El proceso CIP consiste en alimentar la solución cianurada conteniendo valores de oro en solución en tanque que contienen carbón activado, en donde tiene contacto la solución por una agitación mecánica del tanque, donde se realiza la adsorción de oro, posteriormente la pulpa

pasará al siguiente tanque hasta el último tanque, obteniéndose valores más pobres de oro en la solución en cada tanque, saliendo una solución barren pobre junto con desecho sólido que será enviado a las relaveras Vargas (1995).

2.2.6. Factores que Influyen en el proceso CIP.

Dentro del proceso de recuperación del oro en el proceso carbón en pulpa (CIP), los factores importantes que influyen en el proceso de adsorción son Misari & Franco (1993):



Nota: Fuente Vargas (1995)

Figura 1 Factores en el proceso CIP (Lixiviación carbón en pulpa)

2.3. Definiciones conceptuales.

- a. **Cianuración:** Proceso de lixiviación básica (pH 10.5), ampliamente utilizado para la disolución de oro y plata de minerales, usando como disolvente, preferentemente el cianuro de sodio (CNNa). Astuhamán (2009)

- b. **Muestreo:** Ministerio de energía y minas (2015) Método y técnica que se usa para tomar muestras representativas de materias primas productos o efluentes que serán sometidos a análisis. (p. 113)
- c. **CIP:** Lixiviación en carbón en pulpa. Misari & Franco (1993).
- d. **pH:** Potencia de hidrogeno Ministerio de energía y minas (2015).
- e. **Densidad de pulpa:** Es la relación del peso del mineral más agua entre el volumen del mineral más agua, para Abulnaga citado en Gaitan (2010)
- f. **Barren:** Solución que sale de la columna de carbón activado con mínima cantidad de oro en la solución menor a 0.02ppm de oro, plata. Manrique (2005)
- g. **Solución rica:** Solución de cianuro cargada con plata y oro producto de la cianuración de concentrados o minerales con plata y oro. Ministerio de energía y minas (2015)
- h. **Carbón activado:** En término genérico que describe una familia de adsorbentes carbonáceos altamente cristalinos y una porosidad interna altamente desarrollada. Es un material que se caracteriza por poseer una cantidad muy grande de microporos (poros menores a 2 nanómetro de radio). Janqui (2018)
- i. **Lixiviación:** Es el proceso mediante el cual se realiza la disolución selectiva de los diferentes metales que contiene una mena, por medio de una solución acuosa que contiene un reactivo químico apropiado Ministerio de energía y minas (2015).

2.4. Formulación de la Hipótesis.

2.4.1. Hipótesis General

Realizando una adecuada caracterización de la adsorción de carbón activado, nos permitirá obtener una relación del peso del carbón activado y el tiempo para una adecuada recuperación de oro a nivel experimental.

2.4.2. Hipótesis Específicos

Una cantidad adecuada de adición del carbón activada en la solución cianurada, nos permitirá obtener una concentración optima de oro en el carbón activado.

Con una administración del tiempo en el proceso de adsorción del oro en el carbón activado, se tendrá una recuperación de oro optima.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Diseño Metodológico

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación es experimental, para su caracterización, el investigador actúa conscientemente sobre el objeto de estudio, por lo que el objetivo de estos estudios son sometidos procesos con el fin de conocer los efectos de los actos producidos por el propio investigador como mecanismo o técnica para probar sus hipótesis (2010).

De acuerdo a su naturaleza: Experimental.

De acuerdo al propósito o utilización: Investigación aplicada.

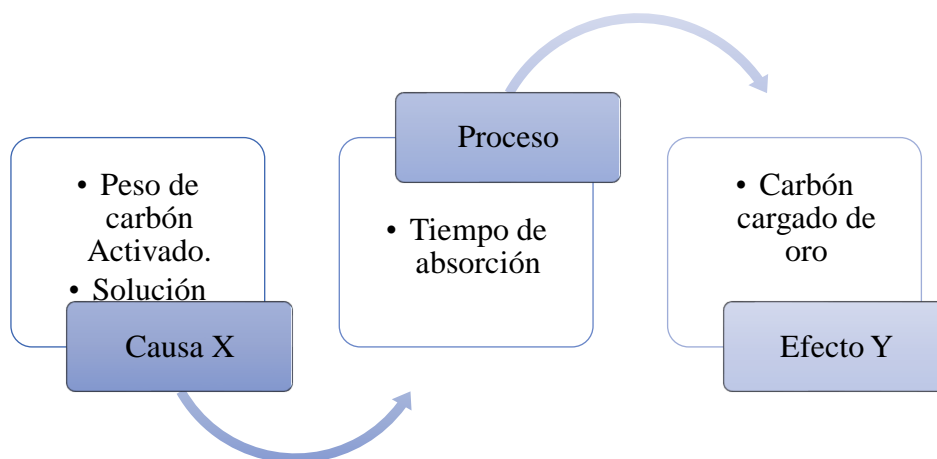
Se realizó investigación experimental y aplicada, en este trabajo se realizaron experimentos al nivel de laboratorio con un control mínimo para luego ser aplicado en el proceso de recuperación de oro industrialmente.

3.1.2. Nivel de Investigación

Respecto al nivel de investigación es una investigación experimental, en el presente trabajo se aplicaron métodos y técnicas en búsqueda de mejorar y corregir la situación problemática, que da origen al actual estudio de investigación (2005).

3.1.3. Diseño de la Investigación.

En cuanto al diseño se utilizó el diseño experimental, ya que se variaron las variables independientes, a fin de observar su efecto sobre la variable dependiente, con un control de las variables independientes (2014).



Nota: Fuente diseñado por el autor a base de las variables a estudiar.

Figura 2 Esquema de experimento y variable

3.1.4. Enfoque de la Investigación.

Para el presente estudio el enfoque del estudio empleado es cuantitativo, en este trabajo las variables fueron cuantificables, ya que se puede mencionar, que se “emplea la recolección de datos para probar hipótesis, basado en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teoría”. Fernández (2014).

3.2. Población y Muestra

3.1.1. Población.

La población representativa de la solución rica aurífero es proveniente de la lixiviación de minerales de la zona influyente al distrito de Raquia, provincia de Bolognesi departamento de Ancash.

3.1.2. Muestra.

La muestra que representa para las pruebas experimentales de la presente investigación es la solución rica cianuro aurífero, aproximadamente de 50 litros proveniente de la lixiviación de menas auríferos del sector del distrito de Raquia, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash.

3.3. Operacionalización de Variables e indicadores

Para las operaciones de las variables en la adsorción de carbón activado para la recuperación de oro a nivel experimental, se tiene en cuenta la concentración del oro, tiempo, granulometría del carbón activado, peso del carbón activado, etc. en función a ello se adsorberá el oro en el carbón activado, donde se medirá la concentración y recuperación del oro.

Tabla 1. Variables

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador
Independiente			
Adsorción	Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atrae y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos. La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para quitar una sustancia soluble del agua. En este caso el carbón activado para recuperación oro de las soluciones cianuradas.	Medio	- Carbón activado. - Tiempo
Dependiente			
Recuperación	Es la acción y efecto de recuperar parte del total existente en una determinada población. Referente al proceso es la obtención del metal en el carbón activado referente al que existente en la solución a tratar.	Mecanismo de medición	- Concentración de oro. - Recuperación.
Intervinientes			
		Parámetros de control	- Granulometría. - pH. - Agitación - Temperatura

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Técnicas a emplear.

a. Observación sistemática Directa.

Se emplearon microscopio, estereoscopio, densímetro, estufas, muflas, etc. con la finalidad de obtener datos del proceso experimental.

b. Observación Sistemática Indirecta.

Se consultaron documentos técnicos, tesis, libros, revistas, informes de practica pre profesionales, tanto físicos como electrónicos con la finalidad de darle solidaridad al presente trabajo de investigación.

c. Observación experimental.

Las muestras de carbón activado para un volumen de 50 litros a diferentes pesos se sometieron a diferentes tiempos, y su posterior análisis químico se obtuvieron la cantidad de oro en el carbón activado.

d. Otras Técnicas.

Se utilizan unas preguntas en especie de preguntas a los expertos en la materia que están en la industria para tener un respaldo en la toma de decisiones.

3.4.2. Descripción de los instrumentos

Los instrumentos para la recolección de información se usó ficha para recopilar los datos de las diferentes pruebas, también lista de cotejo, libreta de notas, cámara fotográfica inteligente.

3.5. Técnicas para el procesamiento de la información.

En el procesamiento de la información, se usaron programas de cálculo como Excel, minitab 18 y Word; para luego mostrar la información, analizada estadísticamente y su digitalización del presente trabajo.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Caracterización del trabajo experimental.

4.1.1. Condiciones de trabajo.

a. Análisis químico.

Para el trabajo experimental se tiene una solución rica con las leyes tanto para el oro como para la plata en ppm y g/L, se detalla en la tabla 2 del presente.

Tabla 2 Ley de soluciones rica

Au	Ag	Au	Ag
ppm	ppm	g/L	g/L
11,88	14	0,01188	0,01400

Nota: Fuente laboratorio análisis químico.

En la tabla 2, la solución rica tiene una ley de 11.88 ppm de Au que es equivalente a 0.01188 g/L y 14 ppm de Ag equivalente a 0.01400 g/L.

b. Volumen de La solución rica y concentración de absorción del carbón activado.

Volumen	50 Litros de solución rica para parte experimental
Carga 1	220 oz Au/t carbón = 6,84 kg Au/t carbón
Carga 2	800 oz Au/t carbón= 24,88 kg Au/t carbón
Carbón =	1,74 g/L
Carbón =	0,48 g/L

El carbón se tendría en un rango de 0.48 g /L a 1.74 g/L de solución.

c. Carbón para las pruebas de absorción.

Condiciones del carbón activado para las pruebas experimentales, deben de cumplir una malla determinado y esto se detalla en la tabla 3 que a continuación se describe.

Tabla 3 Peso del carbón activado para las pruebas experimentales

Carbón malla rango (-6+12)	
Corrida N°	Peso (g)
1	15
2	30
3	45
4	60
5	90

Nota: Fuente diseño por el autor para las pruebas.

De la tabla 3, el carbón tendrá un rango de granulometría de pasante al 100% a malla 6 (3360 μ) y retenido al 100% a la malla 12 (1680 μ). Para la primera prueba se tendrá 15 gramos, segunda de 30 gramos, tercera de 45 gramos, cuarta de 60 gramos y la quinta prueba de 90 gramos.

d. Control análisis químico de la solución.

El control de la solución se realizará en función al tiempo que transcurre, el oro será absorbido la diferencia, para ello se tiene la descripción de recopilación de datos en la tabla 4.

Tabla 4 Control de la absorción del oro en el carbón

Carbón =	15 g	30 g	45 g	60 g	90 g
Tiempo	Au (soluc)	Au (soluc)	Au (soluc)	Au (soluc)	Au (soluc)
(horas)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	11,20	10,02	9,97	9,23	7,99
2	11,03	9,72	9,54	8,09	7,14
3	10,76	9,53	8,69	7,53	6,41
4	10,54	9,40	7,87	7,27	5,40
5	10,43	8,87	7,77	6,86	4,79
6	10,27	8,55	7,44	6,49	4,29
7	10,23	8,44	7,23	6,12	3,96
8	9,99	8,22	7,01	5,87	3,58
9	9,80	8,02	6,85	5,60	3,24
10	9,35	7,89	6,60	5,36	3,02
15	9,29	7,00	5,54	4,51	2,18
20	9,20	6,85	5,02	3,54	1,65
25	9,10	6,80	4,98	3,52	1,34
35	9,00	6,70	4,90	3,50	1,20

Nota: Fuente diseño por el autor para la recopilación de datos

4.1.2. Resultado de las pruebas experimentales.

El resultado de las pruebas realizados a las diferentes cantidades de carbón en un periodo de tiempo se describe en la tabla 5 que se puede apreciar a continuación.

Tabla 5 Resultado de la solución en el transcurso de la adsorción del carbón

Carbón =	15 g	30 g	45 g	60 g	90 g
Tiempo	Au (soluc)	Au (soluc)	Au (soluc)	Au (soluc)	Au (soluc)
(horas)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	11,20	10,02	9,97	9,23	7,99
2	11,03	9,72	9,54	8,09	7,14
3	10,76	9,53	8,69	7,53	6,41
4	10,54	9,40	7,87	7,27	5,40
5	10,43	8,87	7,77	6,86	4,79
6	10,27	8,55	7,44	6,49	4,29
7	10,23	8,44	7,23	6,12	3,96
8	9,99	8,22	7,01	5,87	3,58
9	9,80	8,02	6,85	5,60	3,24
10	9,35	7,89	6,60	5,36	3,02
15	9,29	7,00	5,54	4,51	2,18
20	9,20	6,85	5,02	3,54	1,65
25	9,10	6,80	4,98	3,52	1,34
35	9,00	6,70	4,90	3,50	1,20

Nota: Fuente análisis químico del laboratorio.

De la tabla 5 para un periodo variante se tiene que a medida que transcurre el tiempo disminuye la concentración del oro en la solución, que es absorbido por el carbón. Que para un periodo de 35 horas las concentraciones son de 9 ppm para una masa de 15 gramos, de 6,7 para 30 gramos, 4,9 para 45 gramos, de 3,5 ppm para 60 gramos y 1,2 ppm para 90 gramos de carbón.

4.1.3. Procesamiento de las pruebas.

a. Primera prueba de adsorción del oro en el carbón activado.

En la primera prueba se realiza con 15 gramos de carbón para un volumen de 50 litros se solución equivalente a 0,30 g/L para la adsorción de oro el resultado de observa en la tabla 6 que a continuación de muestra.

Tabla 6 Recuperación de oro en la adsorción del carbón activado para 0,30 g/L

Tiempo Horas	Solución 50 L			Carbón 15 g		
	Au ppm	mg Au	%Au	Au g/kg carbón	mg Au	Recup Au
0	11,88	594,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1	11,20	560,05	94,28	2,26	33,95	5,72
2	11,03	551,50	92,85	2,83	42,50	7,15
3	10,76	538,00	90,57	3,73	56,00	9,43
4	10,54	527,15	88,75	4,46	66,85	11,25
5	10,43	521,25	87,75	4,85	72,75	12,25
6	10,27	513,35	86,42	5,38	80,65	13,58
7	10,23	511,45	86,10	5,50	82,55	13,90
8	9,99	499,55	84,10	6,30	94,45	15,90
9	9,80	490,10	82,51	6,93	103,90	17,49
10	9,35	467,50	78,70	8,43	126,50	21,30
15	9,29	464,70	78,23	8,62	129,30	21,77
20	9,20	460,00	77,44	8,93	134,00	22,56
25	9,10	455,00	76,60	9,27	139,00	23,40
35	9,00	450,00	75,76	9,60	144,00	24,24

Nota: Fuente procesado mediante Excel en función al reporte del análisis químico

De la tabla 6 se puede apreciar que en 10 horas quedan 9,35 ppm de oro en la solución es decir el 78,70% y en el carbón 8,43 mg Au/kg de carbón es decir el 21,30% respectivamente. Mientras que en 35 horas en la solución existe 9,00 ppm es decir el 75,76% y en el carbón 9,60 mg/kg es decir el 24,24%.

b. Quita prueba de la adsorción del oro en el carbón activado.

Para la quinta prueba se realiza con 90 gramos de carbón para un volumen de 50 litros de solución equivalente a 1,80 g/L para la adsorción de oro el resultado de observa en la tabla 7 que a continuación de muestra.

Tabla 7 Recuperación de oro en la adsorción del carbón activado para 1,80 g/L

Tiempo	Solución 50 L			Carbón 90 g		
	Horas	Au ppm	mg Au	% Au	Au g/kg carbón	mg Au
0	11,88	594,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1	7,99	399,50	67,26	2,16	194,50	32,74
2	7,14	357,00	60,10	2,63	237,00	39,90
3	6,41	320,50	53,96	3,04	273,50	46,04
4	5,40	270,00	45,45	3,60	324,00	54,55
5	4,79	239,50	40,32	3,94	354,50	59,68
6	4,29	214,50	36,11	4,22	379,50	63,89
7	3,96	198,00	33,33	4,40	396,00	66,67
8	3,58	179,00	30,13	4,61	415,00	69,87
9	3,24	162,00	27,27	4,80	432,00	72,73
10	3,02	151,00	25,42	4,92	443,00	74,58
15	2,18	109,00	18,35	5,39	485,00	81,65
20	1,65	82,50	13,89	5,68	511,50	86,11
25	1,34	67,00	11,28	5,86	527,00	88,72
35	1,20	60,00	10,10	5,93	534,00	89,90

Nota: Fuente procesado mediante Excel en función al reporte del análisis químico

Respecto a la tabla 7 para 1,80 g carbón por litro de solución, en un tiempo de 10 horas se tiene en la solución de 3,02 ppm de oro que es el 25,42% y en el carbón de 4,92 mg/g que es

el 74,58%. Mientras que en 35 horas se tiene en la solución 1,20 ppm de oro que es el 10,10% y en el carbón de 5,92 mg/g que es el 89,90% respectivamente.

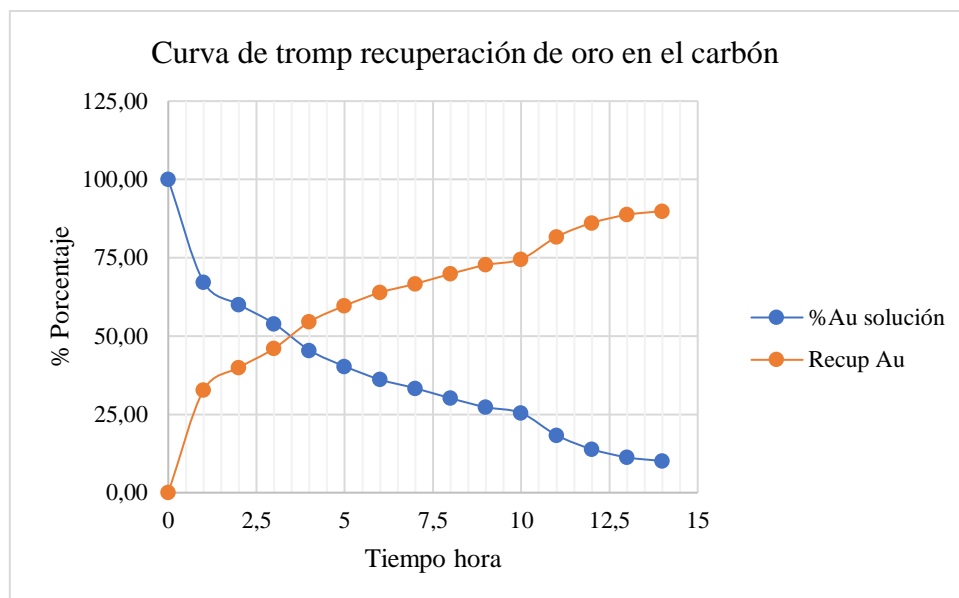


Figura 3 Curva de extracción de oro con 1,80 g/L

De la figura 3 se puede apreciar el 50% de la adsorción del oro en el carbón ocurre en un lapso de 3,47 horas, el oro en la solución decae a medida que el oro es adsorbido por el carbón esto ocurre en un tiempo de 3,47 horas.

4.1.4. Resultado del procesamiento de los datos.

a. Adsorción de oro en el carbón.

Los resultados del proceso de adsorción del oro en el carbón se detallan en la tabla 8 que se describe a continuación.

Tabla 8 Carga del oro en el carbón activado

Tiempo	Carbón g				
	15	30	45	60	90
	0,30 g/L	0,60 g/L	0,90 g/L	1,20 g/L	1,80 g/L
Horas	Au g/ kg carbón				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	2,26	3,10	2,12	2,21	2,16
2	2,83	3,60	2,60	3,16	2,63
3	3,73	3,92	3,54	3,63	3,04
4	4,46	4,13	4,46	3,85	3,60
5	4,85	5,03	4,57	4,19	3,94
6	5,38	5,55	4,93	4,49	4,22
7	5,50	5,73	5,17	4,80	4,40
8	6,30	6,09	5,41	5,01	4,61
9	6,93	6,44	5,59	5,24	4,80
10	8,43	6,65	5,87	5,43	4,92
15	8,62	8,13	7,04	6,14	5,39
20	8,93	8,38	7,62	6,95	5,68
25	9,27	8,47	7,67	6,97	5,86
35	9,60	8,63	7,76	6,98	5,93

Nota: Fuente resumen procesado mediante Excel de la adsorción del oro en el carbón

De la tabla 8 la adsorción del oro en el carbón se puede apreciar que después de 10 horas para 50 litros de solución, es de 8,43 g Au/kg para 15 gramos de carbón (0,30 g/L), para 30 gramos (0,60 g/L) es de 6,65 g Au/kg, para 45 gramos (0,90 g/L) es de 5,87 g Au/kg, para 60 gramos (1,20 g/L) es de 5,43 g Au/kg, y para 90 gramos (1,80 g/L) es de 4,92 g Au/kg.

Pasado 35 horas es de 9,60 g Au/kg para 15 gramos (0,30 g/L), 8,63 g Au/kg para 30 gramos (0,60 g/L), 7,76 g Au/kg para 45 gramos (0,90 g/L), 6,98 g Au/kg para 60 gramos (1,20 g/L) y 5,93 g Au/kg para 90 gramos (1,80 g/L) respectivamente.

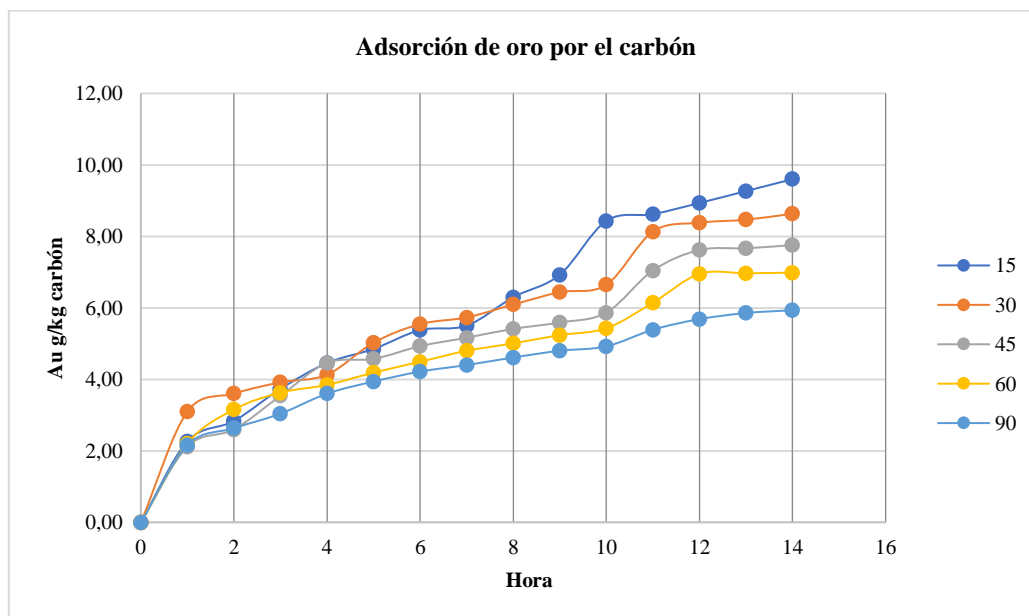


Figura 4 Curva de adsorción del oro por el carbón

Nota: Procesado mediante Excel para determinar la curva de adsorción de oro por el carbón.

De la figura 3 la curva de adsorción del oro por el carbón se puede apreciar que, para un volumen de 50 litros de solución rica, la mayor adsorción es de 15 g (0,30 g/L), seguido de 30 g (0,60 g/L), luego el de 45 g (0,90 g/L), prosiguiendo de 60 g (1,20 g/L) y por último de 90 g (1,80 g/L).

b. Recuperación de oro en el carbón.

La recuperación de oro en el carbón se detalla en la tabla 9 que a continuación se presente.

Tabla 9 Recuperación de oro en el carbón

Carbón – Recuperación de oro					
Tiempo	15 g	30 g	45 g	60 g	90 g
Horas	0,30 g/L	0,60 g/L	0,90 g/L	1,20 g/L	1,80 g/L
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	5,72	15,65	16,05	22,30	32,74
2	7,15	18,18	19,69	31,88	39,90
3	9,43	19,78	26,83	36,64	46,04
4	11,25	20,86	33,78	38,84	54,55
5	12,25	25,38	34,64	42,30	59,68
6	13,58	28,01	37,34	45,37	63,89
7	13,90	28,95	39,13	48,48	66,67
8	15,90	30,77	40,99	50,56	69,87
9	17,49	32,52	42,36	52,90	72,73
10	21,30	33,56	44,44	54,85	74,58
15	21,77	41,08	53,37	62,05	81,65
20	22,56	42,33	57,71	70,20	86,11
25	23,40	42,76	58,08	70,37	88,72
35	24,24	43,60	58,75	70,54	89,90

Nota: Fuente la recuperación del oro en el carbón de los datos obtenidos procesado en Excel.

De la tabla 9 la recuperación del oro en el carbón activado, para un periodo de 10 horas para 0,30 g/L de carbón es de 21,30%, 0,60 g/L es de 33,56%, 0,90 g/L es de 44,44%, 1,20 g/L es de 54,85% y cuando es de 1,80 g/L es 74,58% respectivamente. De igual manera en un

periodo de 35 horas es de 24,24% para 0,30 g/L, 43,6% para 0,60 g/L, de 58,75% para 0,90 g/L, de 70,54% para 1,20 g/L y de 89,90% para 1,800 g/L de carbón respectivamente.

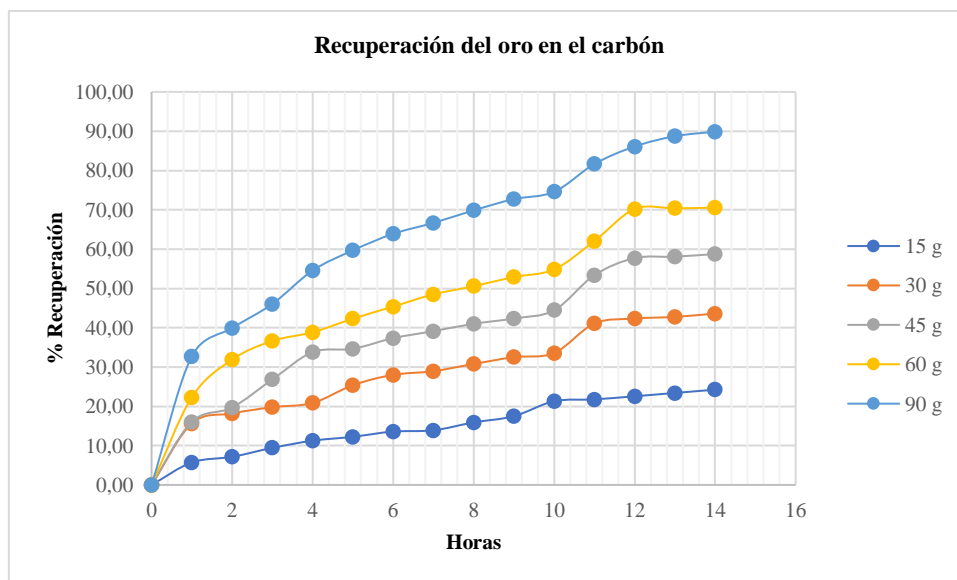


Figura 5 Curva de recuperación de oro en el carbón

De la figura 5 la curva de recuperación en el tiempo crece, teniendo una aumento a medida que se incrementa la dosificación del carbón a la solución rica, para 15 g (0,30 g/L) tiene mejor recuperación, si se aumenta a 30 g (0,60 g/L) incrementa, para 45 g (0,9 g/L) tiene mayor recuperación, para 60 g (1,20 g/L) tiene una mejor recuperación y para 60 g (1,80 g/L) tiene una mayor recuperación.

4.1.5. Análisis de la intervención del carbón activado en la adsorción del oro

a. Análisis de regresión: 10 horas vs. g/L(Carbón)

El análisis de la recuperación de oro en el carbón activado se puede apreciar en la tabla 10 como se describe a continuación.

Tabla 10 Análisis de Varianza para 10 horas de adsorción

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	1658,84	1658,84	1492,63	0,000
g/L(Carbón)	1	1658,84	1658,84	1492,63	0,000
Error	3	3,33	1,11		
Total	4	1662,17			

Nota: Fuente procesado en minitab 18

De la tabla 10 se tiene el valor p es menor que 0,05 que determina que el carbón tiene alto grado de significancia en el proceso de adsorción del oro.

Tabla 11 Resumen del modelo 10 horas

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,05421	99,80%	99,73%	98,96%

Nota: Fuente procesado en minitab 18

De la tabla 10, se puede apreciar que la desviación estándar es de 1,05421 y el coeficiente de correlación es de 0,999 que es equivalente a R-cuad. 99,80%.

Tabla 12 Coeficientes para 10 horas

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	11,868	0,996	11,92	0,001	
g/L(Carbón)	35,290	0,913	38,63	0,000	1,00

Nota: Fuente procesado en minitab 18

De la tabla 12 se puede apreciar que tiene un alto grado de significancia la adición del carbón activado en g/L (+38,63) en el proceso de adsorción.

Ecuación de regresión para la recuperación de oro esta dado por:

$$\% \text{ Recuperación (Au) en 10 horas} = 11,868 + 35,290 \text{ g/L(Carbón)}$$

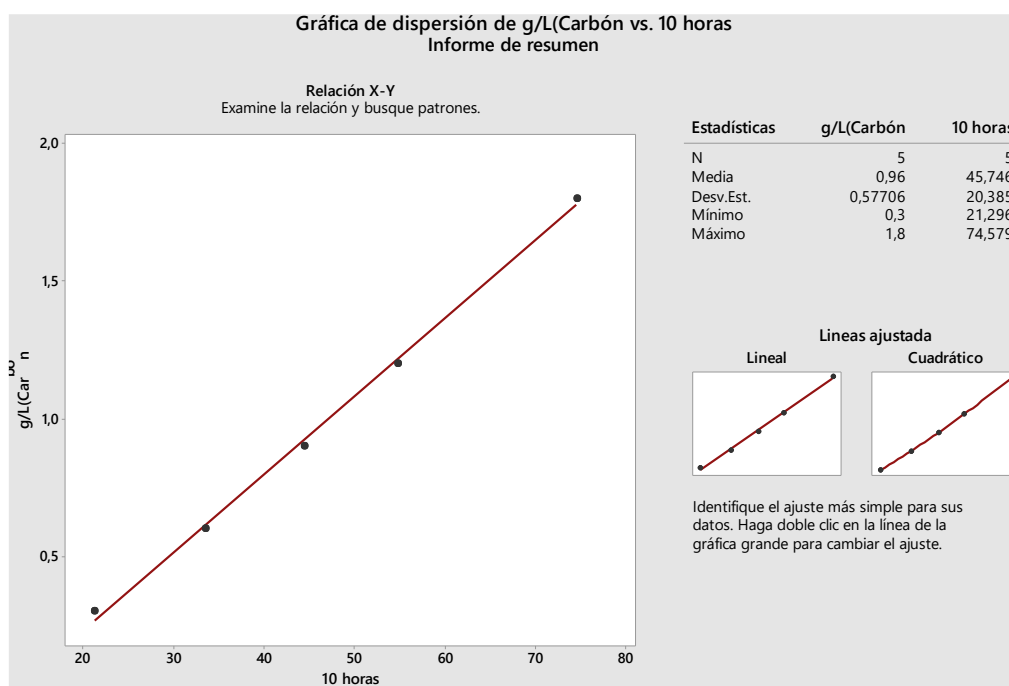


Figura 6 Curva de adsorción de oro en función de la adición del carbón g/L para 10 horas

Nota: Fuente grafico en minitab 18

En la figura 6 la recuperación del oro en el carbón es directamente proporcional a la adición, con una desviación estándar de 0,577.

b. Análisis de regresión: 35 horas vs. g/L(Carbón)

El análisis de la recuperación de oro en el carbón activado para un tiempo de 35 horas se puede apreciar en la tabla 13 como se describe a continuación.

Tabla 13 Análisis de Varianza para 35 horas de adsorción

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	2458,25	2458,25	118,59	0,002
g/L(Carbón)	1	2458,25	2458,25	118,59	0,002
Error	3	62,19	20,73		
Total	4	2520,43			

Nota: Fuente procesado en minitab 18

De la tabla 13 se tiene el valor p es 0,002 menor que 0,05 que determina que el carbón tiene alto grado de significancia en el proceso de adsorción del oro.

Tabla 14 Resumen del modelo para 35 horas

	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4,55299	97,53%	96,71%	87,14%

Nota: Fuente procesado en minitab 18

De la tabla 14, se puede apreciar que la desviación estándar es de 4,55299 y el coeficiente de correlación es de 0,9856 que es equivalente a R-cuad. 97,53%.

Tabla 15 Coeficientes para 35 horas

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	16,17	4,30	3,76	0,033	
g/L(Carbón)	42,96	3,94	10,89	0,002	1,00

Nota: Fuente procesado en minitab 18

De la tabla 15 se puede apreciar que tiene un alto grado de significancia la adición del carbón activado en g/L (+10,89) en el proceso de adsorción.

Ecuación de regresión para la recuperación de oro esta dado por:

$$\% \text{ Recuperación (Au) en 35 horas} = 16,17 + 42,96 \text{ g/L(Carbón)}$$

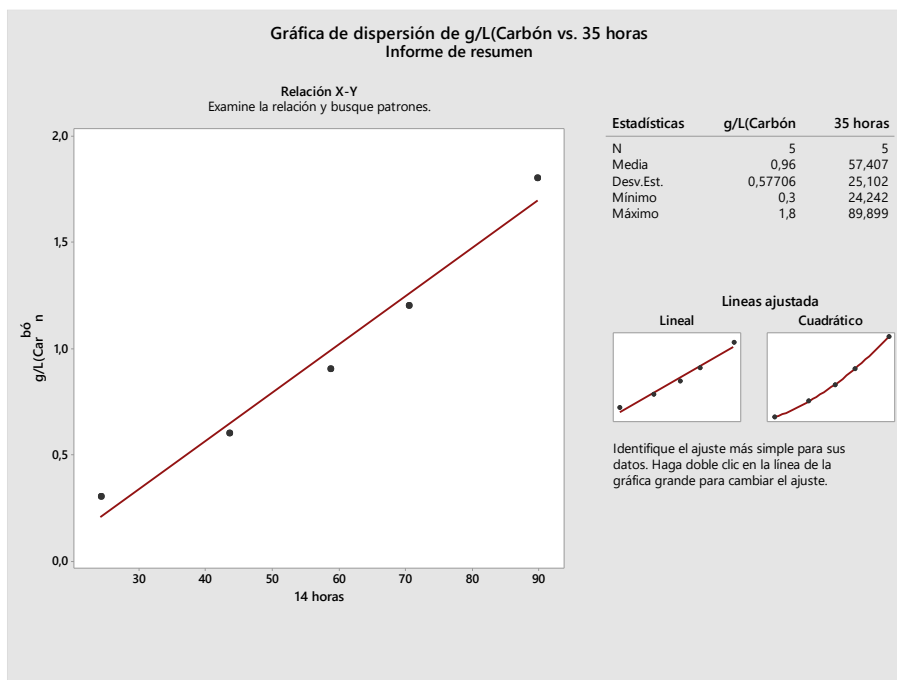


Figura 7 Curva de adsorción de oro en función de la adición del carbón g/L para 35 horas

Nota: Fuente grafico en minitab 18

En la figura 7 la recuperación del oro en el carbón para 35 horas es directamente proporcional a la adición, con una desviación estándar de 0,577.

CAPITULO V

DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

5.1. Discusión.

En el presente trabajo sobre, la evaluación de la adsorción de carbón activado para la recuperación de oro a nivel experimental, para una solución rica de cianuro áurico de 11,88 ppm(0,01188 g/L) de oro y 14 ppm(0,01400 g/L) de plata , para un carbón de malla entre -6 y +12 se tiene un 15 g(0,3 g/L), 30 g(0,6 g/L), 45 g(0,9 g/L), 60 g(1,2 g/L), y 90g(1,8 g/L). en un espacio de 35 horas de adsorción, se obtuvieron en 10 horas 8,43 gAu/kg carbón, 6,65 gAu/kg carbón, 5,87 gAu/kg carbón, 5,43 gAu/kg carbón, 4,92 gAu/kg carbón respectivamente. Mientras que para 35 horas se tiene 9,60 gAu/kg carbón, 8,63 gAu/kg carbón, 7,76 gAu/kg carbón, 6,98 gAu/kg carbón, 5,93 gAu/kg carbón respectivamente.

Referente a la recuperación se tiene para 10 horas 21,30%, 33,56%, 44,44%, 54,85% y 74,58%. y transcurrido 35 horas se tiene 24,24%, 43,60%, 58,75%, 70,54% y 89,90% respectivamente.

Respecto a la proyección de la recuperación en 10 horas se tiene la siguiente relación matemática % Recuperación (Au)= $11,868 + 35,290 \text{ g/L(Carbón)}$ con un alto grado de significancia en la recuperación de la adición de carbón activado en g/L (+38,63), para un tiempo de 35 horas se tiene % Recuperación (Au)= $16,17 + 42,96 \text{ g/L(Carbón)}$, se tiene un alto grado de significancia la adición del carbón activado en g/L (+10,89) en el proceso de adsorción, contrastando que el valor p es 0,002 menor que 0,05 para una confiabilidad del 95% con un coeficiente de correlación de 0,9856.

Respecto al tiempo se tiene una relación matemática en la adsorción del carbón activado para carbón activado de (1,8 g/L) es $\text{Au g/kg} = 3,266 + 0,1030 \text{ hr}$, anexo 12 y a la recuperación en el tiempo en la adsorción del carbón activado la relación esta dado por $\text{Recup}(1,8 \text{ g/L}) = 49,49 + 1,561 \text{ hr}$ anexo 13, con un t de student de 5,57 esto es menor que 2,064 es decir que

es menor que 0,05 de p, por lo que es significativamente en la adsorción del oro en el carbón activado.

Para Cardoso (p. 65), “La prueba en batch sobre la pulpa cianurada mejoraron los datos de velocidad valorable y la curva de equilibrio de adsorción a temperatura ambiente para carbón de coco de -10 +20 mallas”.

Varillas (pp. 97-98), “En base a la determinación de isothermas de equilibrio, se deduce que, por la tendencia de estas curvas, hay mayor capacidad de extracción al utilizarse un pH de 10,1, comparada con los otros valores de 10,5 y 10,9, de aquí la dependencia del pH en la reacción de extracción”.

Merino & Bobadillo (p. 126), “la influencia del tiempo de residencia es mayor que el peso de carbón activado por volumen de solución pregnant, para un nivel de confianza del 95%, el tiempo de residencia y peso de carbón activado por volumen influyen directamente en la recuperación de oro”.

Salazar (p. 60), “En el proceso de adsorción los parámetros que lo afectan son: masa de carbón, concentración remanente del lixivante, concentración inicial de oro, velocidad de agitación”.

Zapata (pp. 49-50), “la recuperación de plata en carbón es buena con 2,5 g para 254,52 mg, la cantidad de masa se debía haber utilizado sea mayor, no se cuenta con datos concretos de cantidad en masa que retener un carbón activado”.

Saravia (pp. 78-79), “El tiempo de desorción es 2 horas, para distintos tiempos. Debido a la baja concentración de oro, la recuperación se realizará con aguas generadas en proceso de Bombing, ya que estas soluciones tienen alta concentración de oro 3,7g Au/l.

Navarro & Vargas (p. 232), “Los cationes favorecen la adsorción de oro en medio cianuro, El aumento del diámetro de poros del carbón activado, aumenta la carga de oro por

unidad de superficie específica. El factor importante, es velocidad de adsorción y cantidad de oro adsorbido”.

5.2. Conclusiones

Respecto a la evaluación de la adsorción de carbón activado para la recuperación de oro a nivel experimental se tiene las siguientes conclusiones en función a los resultados de la investigación realizado:

Que para una solución rica de cianuro áurico de 11,88 ppm(0,01188 g/L) de oro y 14 ppm(0,01400 g/L) de plata, tratada con un carbón activado de malla entre -6 y +12 con una dosificación de 15 g(0,3 g/L), 30 g(0,6 g/L), 45 g(0,9 g/L), 60 g(1,2 g/L), y 90g(1,8 g/L). En un periodo de 10 horas se lleva a adsorber en el carbón activado 8,43 g Au/kg de carbón. Mientras que en 35 horas se llega a 9,60 g Au/kg de carbón.

En la recuperación respecto al oro para 90g (1,8 g/L). en un periodo de 10 horas se recupera 74,58% y a 35 horas se tiene 89,90% con una relación matemática de % Recuperación (Au)= $11,868 + 35,290 \text{ g/L(Carbón)}$ para un periodo de 10 horas y % Recuperación (Au)= $16,17 + 42,96 \text{ g/L(Carbón)}$.

Para una confiabilidad del 95% tiene un alto grado de significancia la adición del carbón activado en g/L (+10,89) con un coeficiente de correlación de 0,9856.

Respecto al tiempo se tiene una relación matemática en la adsorción del carbón activado para carbón activado de (1,8 g/L) es $\text{Au g/kg} = 3,266 + 0,1030 \text{ hr}$, y a la recuperación en el tiempo en la adsorción del carbón activado la relación esta dado por $\text{Recup}(1,8 \text{ g/L}) = 49,49 + 1,561 \text{ hr}$, con un t de student de 5,57 esto es menor que 2,064 es decir que es menor que 0,05 de p, por lo que es significativamente en la adsorción del oro en el carbón activado.

5.3. Recomendaciones.

En función a los resultados obtenidos sobre la evaluación de la adsorción de carbón activado para la recuperación de oro a nivel experimental, se podría recomendar los siguientes:

El carbón activado debe tener una granulométrica adecuada para así aprovechar la superficie específica para poder adsorben la mayor cantidad de oro.

El tiempo de adsorción se debe incrementar con la finalidad de mejorar la recuperación del oro ya que el carbón nos permite mayor adsorción.

La dosificación del carbón activado se debe incrementar para mejorar la recuperación del oro, es posible que otros elementos interfieren en la adsorción y ocupan la superficie específica del carbón activado.

Para poder tener una visión más específica se debe realizar un diseño factorial para ver que variables interfieren en forma positiva y negativa en el proceso.

Capítulo V

FUENTES DE INFORMACION

5.1. Fuentes Bibliográficas

- Astuhuamán, A. (2009). Estudio de parámetros en la lixiviación en pilas para optimizar la extracción de oro. *Titulo*. Universidad del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2215/Astuhuaman%20Pardavé.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Chía: Pearson.
- Cardoso, G. (2000). Recuperación de oro de soluciones diluidas con carbón activado. *Optar el título profesional de ingeniero metalurgista*. Universidad nacional de ingeniería, Lima. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/12044>
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San marcos.
- Fernandez, C. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: Mc Gram Hill .
- Fernández, R., Castillo, E., Aja, M., Rey, M., & García, F. (2006). *Aspectos industriales de la producción de carbón activado y sus aplicaciones en la mitigación ambiental*. Obtenido de Docplayer: <https://docplayer.es/27374334-Aspectos-industriales-de-la-produccion-de-carbon-activado-y-sus-aplicaciones-en-la-mitigacion-ambiental.html>
- Gaitan, I. (2010). Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos. *Grado academico de maestro*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/814/1/gaitan_bi.pdf
- Gutierrez, . E. (2013). Preparación de carbón activado a partir de la semilla de Spondias purpurea (ciruela) con capacidad de adsorción de cromo (III) y cromo (VI) en agua de curtido. *Titulo profesional*. Universidad nacional de trujillo, Trujillo.

- Janqui, G. (2018). Remoción de molibdeno del agua del río challhuahuacho de cotabambas-apurimac con carbón activado de tusa de maíz (zea mays)”. *Doctor*. Universidad del Altiplano, Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8532/Gustavo_Janqui_Guzman.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Manrique, J. (2005). Manejo de pilas de lixiviación de oro en minera Yanacocha S.R.L. *Titulo profesional*. UNMSM, Lima. Obtenido de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/manrique_mj/manrique_mj.PDF
- Mas, M., Aguirre, F., & Amaya, G. (2005). Evaluación de los Procesos de Lixiviación por Agitación Convencional y Carbón en Pulpa en la Hidrometalurgia del Oro. *Información Tecnológica*, 27-33. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000500006
- Merino, J., & Bobadillo, P. (2005). Influencia del tiempo de residencia y peso de carbón activado por volumen de solución pregnant sobre la recuperación de oro en el proceso de carbón en pulpa del mineral de la CIA. Aurífera Huaylillas S.A.C. *Ingeniero metalurgista*. Universidad nacional de trujillo, Trujillo. Obtenido de <http://cip-trujillo.org/ovcipcdll/uploads/biblioteca/abstract/T004161.pdf>
- Ministerio de energía y minas. (2015). *Glosario técnico minero*. Obtenido de minenergia: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/698204/GLOSARIO+MINERO+FINAL+29-05-2015.pdf/cb7c030a-5ddd-4fa9-9ec3-6de512822e96>
- Misari, F., & Franco, J. (1993). *Metalurgia del oro*. Lima: Centro de Estudios y Promoción en Ciencias de la Tierra.

- Navarro, P., & Vargas, C. (2009). Efecto de las propiedades físicas del carbón activado en la adsorción de oro desde medio cianuro. *Revista de metalurgia*, 238-239.
- Salazar, N. (2016). Estudio comparativo de la adsorción de oro mediante carbón activado empleando soluciones lixiviadas con cianuro y tiourea en FRANROMEC S.A. *Titulo de ingeniero químico*. Universidad tecnica de machala, Machala. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/7738>
- Saravia, M. (2013). Recuperación de oro de filtros de carbón activado en la empresa exportadores bolivianos S.R.L. *título licenciatura en química industrial*. Universidad mayor de san andres, La paz. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/12147/TD-1331-Saravia%20Choque%2C%20Mayra%20Cynthia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vargas, C., Navarro, P., Araya, E., Pávez, F., & Alguacil, F. (2006). Recuperación de oro a partir de disoluciones de amoníaco y tiosulfato utilizando carbón activado. *Revista de metalurgia*, 232. Obtenido de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/2125/1/22.pdf>
- Vargas, J. (1995). *Metalurgia del Oro y la Plata*. Lima: San marcos.
- Varillas, J. (2014). Uso de la resina aurix®100 para optimizar la recuperación del oro de la solución cianurante de la planta de beneficio Laytaruma. *Optar el título profesional de ingeniero metalurgista y de materiales*. Universidad nacional del centro del Perú, Huancayo. Obtenido de [/http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/585/TIMM_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/585/TIMM_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Zapata, J. (2013). Análisis de plata y recuperación por adsorción sobre carbón activo en mineral de característica arcillosa de la localidad de Patacamaya. *Titulo académico de licenciatura en química industrial*. Universidad mayor de san andres, La paz. Obtenido

de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/11570/EG-1316-Zapata%20Laura%2c%20Jose%20Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia general

Titulo	Problema Generales	Objetivos General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicadores
EVALUACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIMENTAL	<p>- ¿Tendrá una relevancia importante evaluación de la adsorción de carbón activado en la recuperación de oro a nivel experimental?</p>	<p>- Evaluar la adsorción de carbón activado, en la recuperación de oro a nivel experimental.</p>	<p>- Realizando una adecuada caracterización de la adsorción de carbón activado, nos permitirá obtener una relación del peso del carbón activado y el tiempo para una adecuada recuperación de oro a nivel experimental.</p>	<p>Adsorción</p>	<p>- Tiempo - Carbón activado.</p>

Anexo 2 Matriz de consistencia específico

Titulo	Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable Depend.	Indicad.
EVALUACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIMENTAL	<ul style="list-style-type: none"> - ¿En qué medida una cantidad adecuada de adición del carbón activada en la solución cianurada, nos permitirá obtener una concentración optima de oro en el carbón activado? - ¿En qué medida una administración optima del tiempo en el proceso de adsorción del oro en el carbón activado, nos permitirá obtener una recuperación de oro optima? 	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar cantidad adecuada de adición del carbón activada en la solución cianurada, que nos permita obtener una concentración optima de oro en el carbón activado. - Evaluar la administración optima del tiempo en el proceso de adsorción del oro en el carbón activado, para obtener una recuperación de oro optima. 	<ul style="list-style-type: none"> - Una cantidad adecuada de adición del carbón activada en la solución cianurada, nos permitirá obtener una concentración optima de oro en el carbón activado. - Con una administración optima del tiempo en el proceso de adsorción del oro en el carbón activado, se tendrá una recuperación de oro optima. 	Recuperación	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración de oro -Recuperación.

Anexo 3 Instrumentos para la toma de datos

Carbón = 15 gr		Carbón = 30 gr	
Tiempo (horas)	Au (soluc) ppm	Tiempo (horas)	Au (soluc) ppm
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	
15		15	
20		20	
25		25	
35		35	

Carbón = 45 gr		Carbón = 60 gr		Carbón = 90 gr	
Tiempo (horas)	Au (soluc) ppm	Tiempo (horas)	Au (soluc) ppm	Tiempo (horas)	Au (soluc) ppm
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	
5		5		5	
6		6		6	
7		7		7	
8		8		8	
9		9		9	
10		10		10	
15		15		15	
20		20		20	
25		25		25	
35		35		35	

Anexo 4 Resultado de la adsorción de las 5 pruebas

Carbón	15 g	30 g	45 g	60 g	90 g
Tiempo	Au	Au (soluc)	Au (soluc)	Au	Au (soluc)
(horas)	(soluc)			(soluc)	
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	11,20	10,02	9,97	9,23	7,99
2	11,03	9,72	9,54	8,09	7,14
3	10,76	9,53	8,69	7,53	6,41
4	10,54	9,40	7,87	7,27	5,40
5	10,43	8,87	7,77	6,86	4,79
6	10,27	8,55	7,44	6,49	4,29
7	10,23	8,44	7,23	6,12	3,96
8	9,99	8,22	7,01	5,87	3,58
9	9,80	8,02	6,85	5,60	3,24
10	9,35	7,89	6,60	5,36	3,02
15	9,29	7,00	5,54	4,51	2,18
20	9,20	6,85	5,02	3,54	1,65
25	9,10	6,80	4,98	3,52	1,34
35	9,00	6,70	4,90	3,50	1,20

Anexo 5 Resultado de la adsorción de la primera prueba 15 g

Tiempo	Solución 50 L			Carbón 15 g		
	Au ppm	mg Au	% Au	Au mg/g carbón	mg Au	Recup Au
0	11,88	594,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1	11,20	560,05	94,28	2,26	33,95	5,72
2	11,03	551,50	92,85	2,83	42,50	7,15
3	10,76	538,00	90,57	3,73	56,00	9,43
4	10,54	527,15	88,75	4,46	66,85	11,25
5	10,43	521,25	87,75	4,85	72,75	12,25
6	10,27	513,35	86,42	5,38	80,65	13,58
7	10,23	511,45	86,10	5,50	82,55	13,90
8	9,99	499,55	84,10	6,30	94,45	15,90
9	9,80	490,10	82,51	6,93	103,90	17,49
10	9,35	467,50	78,70	8,43	126,50	21,30
15	9,29	464,70	78,23	8,62	129,30	21,77
20	9,20	460,00	77,44	8,93	134,00	22,56
25	9,10	455,00	76,60	9,27	139,00	23,40
35	9,00	450,00	75,76	9,60	144,00	24,24

Anexo 6 Resultado de la adsorción de la segunda prueba 30 g

Tiempo		Solución 50 L			Carbón 30 g		
Horas	Au ppm	mg Au	% Au	Au mg/g carbón	mg Au	Recup Au	
0	11,88	594,00	100,00	0,00	0,00	0,00	
1	10,02	501,05	84,35	3,10	92,95	15,65	
2	9,72	486,00	81,82	3,60	108,00	18,18	
3	9,53	476,50	80,22	3,92	117,50	19,78	
4	9,40	470,10	79,14	4,13	123,90	20,86	
5	8,87	443,25	74,62	5,03	150,75	25,38	
6	8,55	427,65	71,99	5,55	166,35	28,01	
7	8,44	422,05	71,05	5,73	171,95	28,95	
8	8,22	411,20	69,23	6,09	182,80	30,77	
9	8,02	400,85	67,48	6,44	193,15	32,52	
10	7,89	394,65	66,44	6,65	199,35	33,56	
15	7,00	350,00	58,92	8,13	244,00	41,08	
20	6,85	342,55	57,67	8,38	251,45	42,33	
25	6,80	340,00	57,24	8,47	254,00	42,76	
35	6,70	335,00	56,40	8,63	259,00	43,60	

Anexo 7 Resultado de la adsorción de la tercera prueba 45 g

Tiempo		Solución 50 L			Carbón 45 g		
Horas	Au ppm	mg Au	% Au	Au mg/g carbón	mg Au	Recup Au	
0	11,88	594,00	100,00	0,00	0,00	0,00	
1	9,97	498,65	83,95	2,12	95,35	16,05	
2	9,54	477,05	80,31	2,60	116,95	19,69	
3	8,69	434,65	73,17	3,54	159,35	26,83	
4	7,87	393,35	66,22	4,46	200,65	33,78	
5	7,77	388,25	65,36	4,57	205,75	34,64	
6	7,44	372,20	62,66	4,93	221,80	37,34	
7	7,23	361,55	60,87	5,17	232,45	39,13	
8	7,01	350,50	59,01	5,41	243,50	40,99	
9	6,85	342,40	57,64	5,59	251,60	42,36	
10	6,60	330,00	55,56	5,87	264,00	44,44	
15	5,54	277,00	46,63	7,04	317,00	53,37	
20	5,02	251,20	42,29	7,62	342,80	57,71	
25	4,98	249,00	41,92	7,67	345,00	58,08	
35	4,90	245,00	41,25	7,76	349,00	58,75	

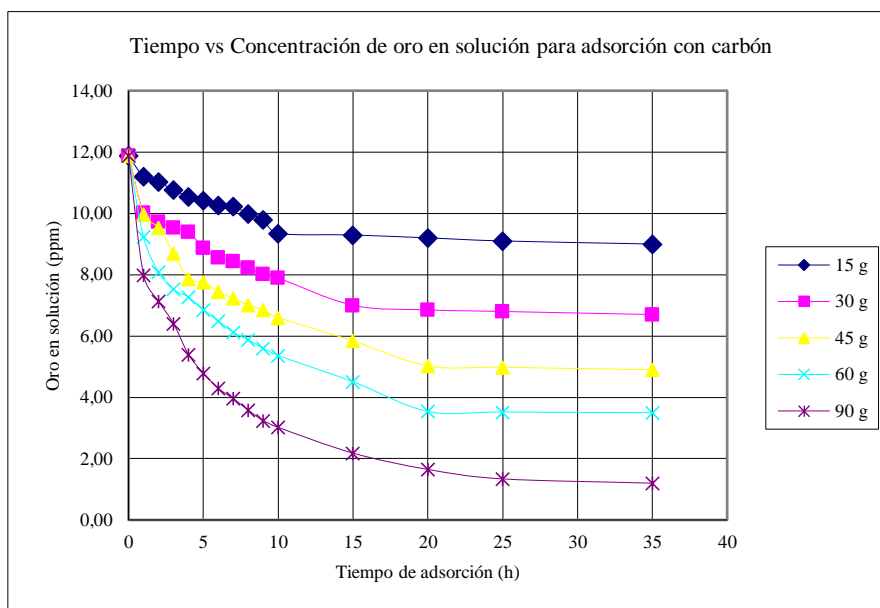
Anexo 8 Resultado de la adsorción de la cuarta prueba 60 g

Tiempo Horas	Solución 50 L			Carbón 60 g		
	Au ppm	mg Au	% Au	Au mg/g carbón	mg Au	Recup Au
0	11,88	594,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1	9,23	461,55	77,70	2,21	132,45	22,30
2	8,09	404,65	68,12	3,16	189,35	31,88
3	7,53	376,35	63,36	3,63	217,65	36,64
4	7,27	363,30	61,16	3,85	230,70	38,84
5	6,86	342,75	57,70	4,19	251,25	42,30
6	6,49	324,50	54,63	4,49	269,50	45,37
7	6,12	306,05	51,52	4,80	287,95	48,48
8	5,87	293,65	49,44	5,01	300,35	50,56
9	5,60	279,75	47,10	5,24	314,25	52,90
10	5,36	268,20	45,15	5,43	325,80	54,85
15	4,51	225,45	37,95	6,14	368,55	62,05
20	3,54	177,00	29,80	6,95	417,00	70,20
25	3,52	176,00	29,63	6,97	418,00	70,37
35	3,50	175,00	29,46	6,98	419,00	70,54

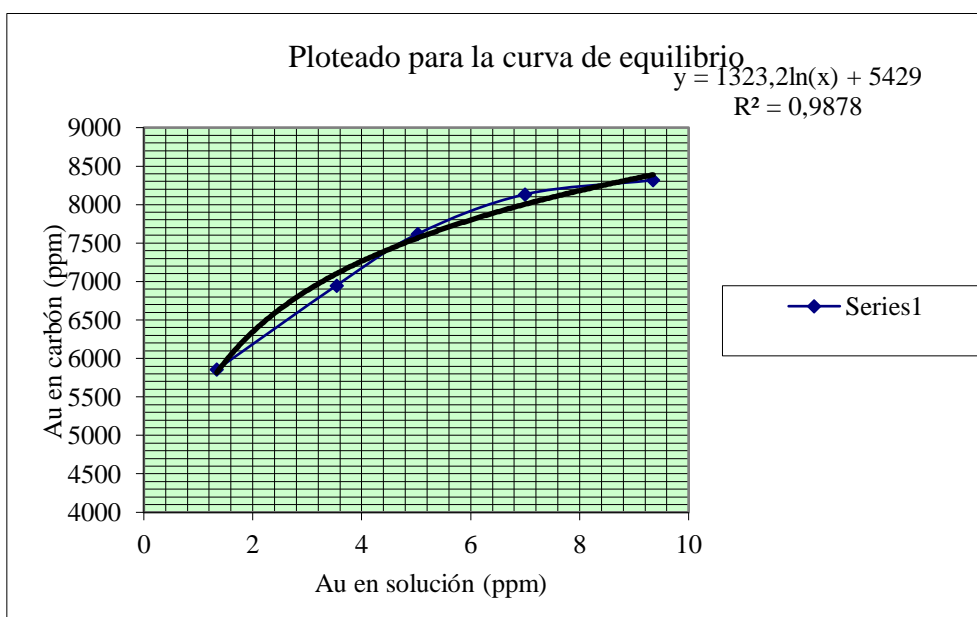
Anexo 9 Resultado de la adsorción de la quinta prueba 90 g

Tiempo Horas	Solución 50 L			Carbón 90 g		
	Au ppm	mg Au	% Au solución	Au mg/g carbón	mg Au	Recup Au
0	11,88	594,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1	7,99	399,50	67,26	2,16	194,50	32,74
2	7,14	357,00	60,10	2,63	237,00	39,90
3	6,41	320,50	53,96	3,04	273,50	46,04
4	5,40	270,00	45,45	3,60	324,00	54,55
5	4,79	239,50	40,32	3,94	354,50	59,68
6	4,29	214,50	36,11	4,22	379,50	63,89
7	3,96	198,00	33,33	4,40	396,00	66,67
8	3,58	179,00	30,13	4,61	415,00	69,87
9	3,24	162,00	27,27	4,80	432,00	72,73
10	3,02	151,00	25,42	4,92	443,00	74,58
15	2,18	109,00	18,35	5,39	485,00	81,65
20	1,65	82,50	13,89	5,68	511,50	86,11
25	1,34	67,00	11,28	5,86	527,00	88,72
35	1,20	60,00	10,10	5,93	534,00	89,90

Anexo 10 Curva de adsorción de oro



Anexo 11 Resultado curva de equilibrio de adsorción de oro en carbón



Anexo 12 Análisis de regresión: Au g/kg vs. h

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	13,297	13,2968	31,07	0,000
hr	1	13,297	13,2968	31,07	0,000
Error	12	5,135	0,4279		
Total	13	18,432			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,654169	72,14%	69,82%	47,58%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	3,266	0,264	12,37	0,000	
hr	0,1030	0,0185	5,57	0,000	1,00

Ecuación de regresión

$$\text{Au g/kg} = 3,266 + 0,1030 \text{ hr}$$

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Au g/kg	Ajuste	Resid	Resid est.	R	X
14	5,933	6,872	-0,939	-2,12		

Anexo 13 Análisis de regresión: Recup.(1,8 g/L) vs. h

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	3053	3052,53	31,07	0,000
hr	1	3053	3052,53	31,07	0,000
Error	12	1179	98,24		
Total	13	4231			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
9,91165	72,14%	69,82%	47,58%

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	49,49	4,00	12,37	0,000	
hr	1,561	0,280	5,57	0,000	1,00

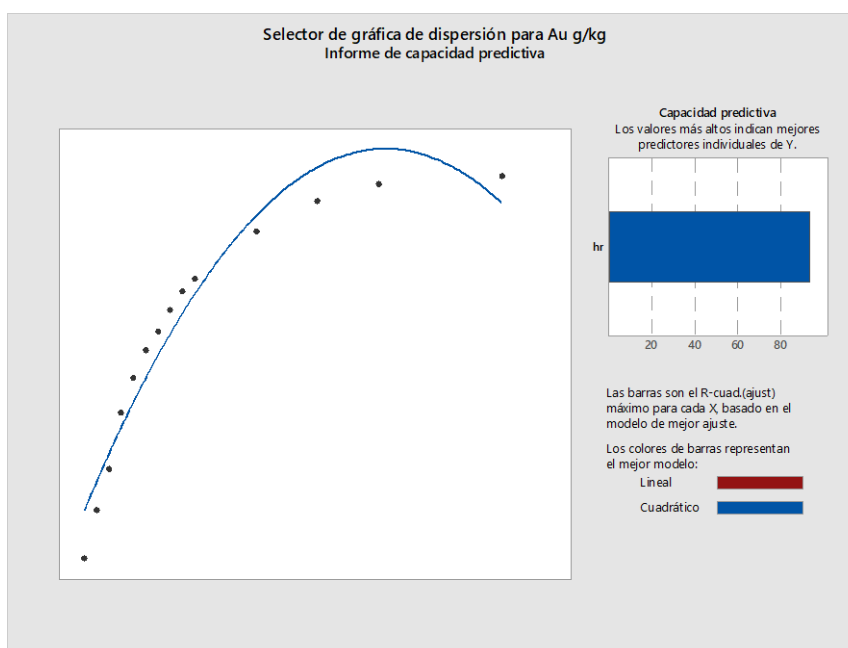
Ecuación de regresión

$$\text{Recup}(1,8 \text{ g/L}) = 49,49 + 1,561 \text{ hr}$$

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Recup (1,8 g/L)	Ajuste	Resid	Resid est.
14	89,90	104,12	-14,22	-2,12

Anexo 14 Curva de adsorción de Au g/kg vs. h



Anexo 15 Curva de Recuperación de Au vs. h

