



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

RECUPERACIÓN DE ORO EN LA LIXIVIACIÓN ALCALINA POR
AGITACIÓN UTILIZANDO GOLDMAX COMO AGENTE
ALTERNATIVO AL CIANURO DE SODIO.

MERIZALDE ROBLES JESSICA STEFANIA
INGENIERA QUÍMICA

VIVANCO SUAREZ BYRON ALEXANDER
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

RECUPERACIÓN DE ORO EN LA LIXIVIACIÓN ALCALINA POR
AGITACIÓN UTILIZANDO GOLDMAX COMO AGENTE
ALTERNATIVO AL CIANURO DE SODIO.

MERIZALDE ROBLES JESSICA STEFANIA
INGENIERA QUÍMICA

VIVANCO SUAREZ BYRON ALEXANDER
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

RECUPERACIÓN DE ORO EN LA LIXIVIACIÓN ALCALINA POR AGITACIÓN
UTILIZANDO GOLDMAX COMO AGENTE ALTERNATIVO AL CIANURO DE
SODIO.

MERIZALDE ROBLES JESSICA STEFANIA
INGENIERA QUÍMICA

VIVANCO SUAREZ BYRON ALEXANDER
INGENIERO QUÍMICO

ROMERO BONILLA HUGO ITALO

MACHALA, 08 DE MAYO DE 2020

MACHALA
2020

RECUPERACIÓN DE ORO EN LA LIXIVIACIÓN ALCALINA POR AGITACIÓN UTILIZANDO GOLDMAX COMO AGENTE ALTERNATIVO AL CIANURO DE SODIO

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	research.aalto.fi Fuente de Internet	1%
2	www.congresodeltrabajo.org.mx Fuente de Internet	<1%
3	jyx.jyu.fi Fuente de Internet	<1%
4	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%
5	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	<1%
6	www.redalyc.org Fuente de Internet	<1%

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, MERIZALDE ROBLES JESSICA STEFANIA y VIVANCO SUAREZ BYRON ALEXANDER, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado RECUPERACIÓN DE ORO EN LA LIXIVIACIÓN ALCALINA POR AGITACIÓN UTILIZANDO GOLDMAX COMO AGENTE ALTERNATIVO AL CIANURO DE SODIO., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 08 de mayo de 2020



VIVANCO SUAREZ BYRON ALEXANDER
0705453124



MERIZALDE ROBLES JESSICA STEFANIA
0706725140

DEDICATORIA

En toda mi carrera universitaria siempre estuvieron apoyándome de todas las formas posibles, me supieron guiar de la mejor manera, enseñar a luchar por lo que deseo, a ser responsable, a no darme por vencida ante algún obstáculo y a valorar todo lo que tengo, por eso y mucho más, este trabajo está dedicado a mis queridos padres.

Jessica Stefania Merizalde Robles

Dedico la culminación de este trabajo a mis padres, que han sido mis protectores y maestros de vida, los cuales me han enseñado con su ejemplo, la esencia de vivir con responsabilidad y entrega para cumplir mis objetivos planteados, sin rendirme ante las adversidades.

Byron Alexander Vivanco Suárez

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento eterno a mi Dios todopoderoso por brindarme sabiduría para saber tomar las decisiones que me han llevado a donde estoy, por darme las fuerzas necesarias para poder superar las adversidades que se me han presentado y por permitirme compartir esta etapa con mis padres.

Son muchas las personas que han contribuido de manera directa e indirecta al proceso y culminación de este trabajo, pero ante todo a mis queridos padres Oscar Merizalde y Janet Robles, mis pilares fundamentales en cada etapa de mi vida, les estaré siempre agradecida por haberme forjado como la persona que soy, y por el apoyo emocional y económico. A mis hermanos por estar a mi lado y demostrar que puedo contar con ellos en cada momento, a mi familia por confiar en mí y brindarme su apoyo emocional.

A mi tutor, el doctor Hugo Romero por dedicar parte de su tiempo y enseñar lo esencial para la realización de este trabajo.

Jessica Stefania Merizalde Robles

La terminación de este trabajo se lo agradezco esencialmente a Dios, por brindarme salud y fortaleza para superar los obstáculos que se presentaron durante toda la carrera universitaria. A mis padres Ángel Vivanco y Angelita Suarez seres maravillosos que incondicionalmente me brindaron su apoyo emocional y económico, a mis hermanos fabricantes de ocurrencias, las cuales aliviaron las dificultades del proceso.

A mis tíos, primos y amigos cercanos que con mensajes de aliento fortalecieron el ímpetu para culminar mis estudios universitarios.

Al Dr.Hugo Romero por compartir su conocimiento en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Byron Alexander Vivanco Suárez

RESUMEN

En el presente estudio, se evaluó el proceso de recuperación de mineral aurífero mediante la aplicación de soluciones de GoldMax como alternativa del cianuro de sodio en la lixiviación agitada de oro a escala laboratorio.

Mediante un diseño factorial se evaluaron tres factores y dos niveles: concentración del lixivante GoldMax a 200 y 600 ppm; tiempo de lixiviación a 48 y 60 horas; densidad de pulpa a 1,2 y 1,3 g/ml. Evaluando cada factor con su respectivo nivel, nos dio como resultado 11 pruebas experimentales con tres réplicas en el punto central, cada prueba se midió el nivel de pH para mantenerlo en 11 y evitar que el reactivo se degradara y ayudar a sedimentar las partículas del mineral.

El mineral aurífero empleado en la parte experimental de la investigación se obtuvo del procesamiento del molino chileno de la Planta de Beneficio "Agapitos", ubicada en el sitio El Pache de la ciudad de Portovelo en la provincia del Oro. Aplicando una técnica conocida como cuarteo se logró obtener 10kg de muestra representativa. Se lo sometió a un proceso de secado por 12h a 105°C, luego se trató por un proceso de tamizado permitiéndonos separar la muestra a 150 (μ m) de granulometría. Este mineral es característico por ser de yacimientos de oro asociado a sulfuros y oro libre, que son las formas mineralizadas con mayor auge comercial.

Se determinaron parámetros como densidad específica del mineral y factor de dilución, los cuales nos permitieron realizar los cálculos pertinentes para encontrar la densidad de pulpa y la cantidad de oro en la solución, respectivamente para cada una de las pruebas experimentales. El número de pruebas establecida a diferentes parámetros operativos fueron determinadas según el diseño experimental que se empleó.

Se identificó y cuantificó los efectos e interacciones, se realizó un análisis de varianza para conocer el grado de significancia de dichos efectos, así mismo se realizó un test de curvatura para identificar si los factores que afectan la forma lineal a la variable respuesta y se llevó a cabo un análisis de residuos por medio de métodos gráficos estimando los supuestos Normalidad, varianza constante e independencia.

Se obtuvieron las variables de operación óptimas para el proceso con el reactivo GoldMax y se comparó con el cianuro de sodio, para determinar la eficiencia de cada reactivo a las mismas condiciones en la recuperación de Au, lo cual dio como resultado: 79,96% y 83,06%, respectivamente. A las siguientes condiciones: 1.2 g/ml de densidad de pulpa, 600 ppm y 60

horas, el porcentaje de cianuro de sodio fue un resultado mayor que al lixiviar con GoldMax, pero con mayor gasto de insumos.

La recuperación con GoldMax fue menor que con cianuro de sodio por 3,1% de diferencia, por lo que se puede deducir que GoldMax no está lejos de ser considerado un buen agente alternativo al cianuro, también su caracterización de ser un reactivo ecológico y consumir menos cantidades de agente álcalis lo denomina para ello. Cabe recalcar que el porcentaje de recuperación de oro que se obtuvo en este estudio se debió al tamaño de partícula con la que se trabajó.

Palabras claves: GoldMax, lixiviación, densidad de pulpa, metalurgia, diseño experimental.

ABSTRACT

In the present study, the recovery process of gold ore was evaluated by applying GoldMax solutions as an alternative to sodium cyanide in agitated leaching of gold at laboratory scale.

Through a factorial design, three factors and two levels were evaluated: GoldMax leaching concentration at 200 and 600 ppm; leaching time at 48 and 60 hours; pulp density at 1.2 and 1.3 g / ml. Evaluating each factor with its respective level, it resulted in 11 experimental tests with three replicas at the central point, each test the pH level was measured to keep it at 11 and prevent the reagent from degrading and help sediment the mineral particles.

The gold ore used in the experimental part of the investigation was obtained from the processing of the Chilean mill of the "Agapitos" Benefit Plant, located at the El Pache site of the city of Portovelo in the province of Oro. Applying a technique known as quartet 10kg of representative sample was obtained. It was subjected to a drying process for 12h at 105 ° C, then treated by a sieving process allowing us to separate the sample at 150 (µm) of particle size. This mineral is characteristic for being of gold deposits associated with sulphides and free gold, which are the mineralized forms with the greatest commercial boom.

Parameters such as specific mineral density and dilution factor were determined, which allowed us to perform the pertinent calculations to find the pulp density and the amount of gold in the solution, respectively for each of the experimental tests. The number of tests established at different operating parameters were determined according to the experimental design that was used.

The effects and interactions were identified and quantified, an analysis of variance was carried out to determine the degree of significance of these effects, a curvature test was also carried out to identify whether the factors that affect the linear form to the response variable were carried out. carry out an analysis of residues through graphic methods estimating the assumptions Normality, constant variance and independence.

Optimum operating variables were obtained for the process with the GoldMax reagent and compared with sodium cyanide, to determine the efficiency of each reagent at the same conditions in the recovery of Au, which resulted in: 79.96% and 83.06%, respectively. Under the following conditions: 1.2 g / ml of pulp density, 600 ppm and 60 hours, the percentage of sodium cyanide was a higher result than when leaching with GoldMax, but with higher consumptions.

The recovery with GoldMax was lower than with sodium cyanide by 3.1% difference, so it can be deduced that GoldMax is not far from being considered a good alternative agent to cyanide, also its characterization of being an ecological reagent and consume less amounts of alkali agent call it for it. It should be noted that the percentage of gold recovery obtained in this study was due to the particle size with which it was worked.

Keywords: GoldMax, leaching, pulp density, metallurgy, experimental design.

CONTENIDO

	Pag.
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivo Especifico.....	4
HIPÓTESIS.....	5
VARIABLES.....	5
Variables Independientes:.....	5
Variable Dependiente.....	5
CAPÍTULO I.....	6
1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 Mineralogía.....	6
1.1.1 Generalidades de procesamiento de Oro.....	6
1.1.2 Cribado y Tamizado.....	6
1.1.3 Legislación.....	7
1.2 Alternativas de agente lixiviante para la extracción de Oro.....	8
1.2.1 Cianuro.....	8
1.2.2 Tiosulfato de amonio.....	9
1.2.3 Tiourea.....	9
1.2.4 Tiocianato.....	10
1.2.5 Cloruros.....	10
1.2.6 GoldMax.....	10
1.2.7 Sandioss.....	11
1.3 Comparación de los reactivos GoldMax y Cianuro.....	11
1.4 Aspectos generales sobre la química de cianuro.....	11
1.4.1 Lixiviación.....	12
1.4.2 Principales factores que afectan la lixiviación por agitación.....	12

1.4.3 Mecanismos de la disolución NaCN	13
1.5 Diseño Experimental.....	14
1.5.1 Principios Básicos de un Diseño Experimental.....	15
1.5.2 Ventajas y desventajas del Diseño Experimental.....	15
1.5.3 Etapas del Diseño Experimental.....	16
1.5.4 Diseño Factorial.....	16
1.5.5 Diseño Factorial 2K	16
1.5.6 Diseño Factorial 2K con réplicas en el punto central del diseño.....	18
1.5.7 Cálculo de efectos.....	19
1.5.8 Principio de ANOVA para el diseño factorial de dos factores.....	19
1.5.9 Formulación del modelo matemático	20
1.5.10 Análisis de residuales	20
1.5.10.1 Técnicas gráficas para análisis de residuos	21
CAPÍTULO II.....	22
2. METODOLOGÍA	22
2.1 DIAGRAMAS DE METODOLOGÍA	22
2.2 Toma de muestra	23
2.3 Preparación de muestra.....	23
2.3.1 Tamizado	23
2.3.2 Análisis de densidad específica real	23
2.3.3 Análisis de densidad de pulpa	23
2.3.4 Factor de dilución.....	23
2.4 Materiales y Equipos.....	23
2.4.1 Materiales	23
2.3.2. Equipos.....	24
2.3.3 Reactivos	24
2.5 Procedimiento Experimental.....	24
2.5.1 Lixiviación con GoldMax	24
2.5.2 Control y toma de muestra en la lixiviación con GoldMax.....	25
2.5.3 Preparación de reactivos.....	25
2.5.4 Parámetros experimentales de las pruebas de lixiviación.....	26
2.5.5 Parámetros experimentales de las pruebas de lixiviación en base al Diseño Factorial.....	27
CAPÍTULO III.....	29
3. RESULTADOS.....	29

3.1 Recuperación de Au	29
3.2 Análisis estadísticos	32
3.2.1 Estimación de efectos	32
3.2.2 Análisis de varianza	33
3.2.3 Formulación del Modelo Matemático	36
3.2.4 Análisis de residuos	37
3.3 Comparación del porcentaje de Recuperación de GoldMax y Cianuro	40
CAPÍTULO IV	43
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
CAPÍTULO V	51
ANEXOS	51

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Límites de cianuro en el agua	8
Tabla 2 Comparación de los reactivos GoldMax y Cianuro.....	11
Tabla 3 Valores de las variables codificadas	17
Tabla 4 Las fórmulas simplificadas para calcular el estadístico F0 hasta llegar al valor-p ...	19
Tabla 5 Parámetros experimentales de las pruebas con densidad de pulpa: 1,2- 1,3 g/ml..	26
Tabla 6 Parámetros experimentales de las pruebas en las réplicas del punto central.....	26
Tabla 7 Resultado de variable respuesta en el diseño factorial	31
Tabla 8 Resultado del cálculo de efectos	32
Tabla 9 Análisis de varianza (ANOVA)	34
Tabla 10 Análisis de T-Student	35
Tabla 11 Análisis de varianza de factores principales.....	36
Tabla 12 Estimación de residuos	37
Tabla 13 Combinación de los niveles de los factores.....	40
Tabla 14 Comparación de porcentaje de recuperación de GoldMax y Cianuro	41

CONTENIDO DE FIGURAS

Fig. 1 Características del cribado	7
Fig. 2 Curva típica de disolución del oro a 25°C, efecto en la presión de oxígeno vs concentración de cianuro	12
Fig. 3 Diagrama del equilibrio CN ⁻ /HCN.....	13
Fig. 4 Mecanismo de la disolución.....	14
Fig. 5 Niveles: Diseño Factorial 2 ^k	17
Fig. 6 Diseño factorial para 2 ^k con tres factores y réplicas centrales.....	18
Fig. 7 Diagrama del proceso del experimento	22
Fig. 8 Representación Geométrica de 2 ³ (medias de los datos).....	32

CONTENIDO DE GRÁFICAS

Gráfico 1 Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 600 ppm; 1,2 g/ml.....	29
Gráfico 2 Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 600 ppm; 1,3 g/ml.....	29
Gráfico 3 Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 200 ppm; 1,2 g/ml.....	30
Gráfico 4 Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 600 ppm; 1,3 g/ml.....	30
Gráfico 5 Efectos principales	33
Gráfico 6 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados	34
Gráfico 7 .Normalidad de efectos estandarizados	35
Gráfico 8 Grafico normal de residuos	38
Gráfico 9 Residuos vs Valor estimado.....	38
Gráfico 10 Residuos vs orden observación	39
Gráfico 11 Superficie del modelo.....	40
Gráfico 12 Comparación de porcentaje de recuperación de GoldMax y Cianuro	41

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Preparación de muestra: Secado.....	53
Ilustración 2 Preparación de muestra: Tamizado.....	53
Ilustración 3 Reactivo lixivante GoldMax.....	54
Ilustración 4 Trituración de GoldMax	54
Ilustración 5 Lixiviación por agitación	55
Ilustración 6 Cuantificación volumétrica del agente lixivante	55
Ilustración 7 Medición de pH.....	56
Ilustración 8 Filtración de muestras finales.....	56
Ilustración 9 Lixiviación por agitación para la recuperación de oro	57
Ilustración 10 Lixiviación alcalina por agitación.....	58

CONTENIDO DE ANEXOS

ANEXO A Análisis de Ley del mineral.....	51
ANEXO B Tabla de los valores críticos de la distribución F.....	52
ANEXO C Fotografías	53

INTRODUCCIÓN

Dentro del campo de la hidrometalurgia encontramos el proceso de lixiviación, el cual consiste en extraer un componente de interés de un mineral tipo carbonáceo, sulfuroso, oxidado o típicamente mixto, mediante la disolución de los elementos concentrados en una solución enriquecida, haciendo uso de soluciones ácidas o básicas. Este proceso se da cuando el oro se encuentra en una forma que no puede ser extraído por medios físicos (técnicas gravimétricas), por lo cual se opta realizar el proceso con reactivos químicos conocidos como agentes lixiviantes, uno de los más usados es el cianuro debido a su disponibilidad, efectividad, economía entre otras características favorables. La concentración de cianuro para este proceso es de 0.01% a 0.05%, en mayores cantidades de dosificaciones puede llegar a ser tóxico para su entorno, por lo que su aplicación industrial es estrictamente controlada por la entidad del estado. A pesar de las regulaciones que se han registrado al cianuro de sodio se presentan riesgos ambientales en los alrededores. En los últimos años se acontecieron diversos estudios sobre agentes lixiviantes alternativos al cianuro, los cuales posean similitud o mejoramiento al extraer minerales, incrementando su velocidad de disolución y un nivel de toxicidad bajo.

En la actualidad existe una variedad de agentes alternativos al cianuro de sodio que podrían ser considerados eficientes, uno de ellos es el GoldMax, conocido así comercialmente. Este reactivo fue desarrollado y producido por Royal Chemical del Perú ofreciendo ventajas superiores a otros agentes lixiviantes, teniendo una gran acogida por parte de las empresas del mercado sudamericano¹. La lixiviación ecológica con GoldMax es un tema innovador que pretende obtener una cobertura a nivel de toda la región, en países como Colombia, Ecuador, Argentina, Perú, Chile, Bolivia, Honduras y México, la empresa cuenta con oficinas garantizando stocks y servicios técnicos necesarios para mejorar su uso en la extracción de oro. En este estudio se planteó evaluar la incidencia de la concentración de GoldMax, tiempo y densidad de pulpa del proceso de recuperación de oro en escala de laboratorio mediante la aplicación de dicho reactivo, para definir las condiciones que permitan obtener una mejor recuperación de oro y posteriormente comparar con cianuro de sodio a esa misma condición.

PROBLEMA

En el sitio el pache ubicado en la ciudad de Portovelo se encuentra una importante zona industrial que se dedica a la recuperación de minerales preciosos, usando como agente lixivante cianuro de sodio, el cual por su alta toxicidad genera pasivos contaminantes en los relaves después del proceso extractivo. Se han evidenciado en la última década altas concentraciones de cianuro, cianatos y tiocianatos en los ríos cercanos a la producción. Todo esto se ve ocasionado por ineficiencia o ausencia de tratamiento de relaves acompañado de la dosificación inadecuado del agente lixivante, además de problemas económicas de pequeñas empresas que no cuentan con la capacidad de implementar sistemas de tratamiento. Por lo mencionado anteriormente se propone estudiar la capacidad de extracción de lixivante existentes en el mercado que se etiquetan como reemplazante del cianuro de sodio por ser una alternativa ecológica, uno de estos reactivos conocido comercialmente como GoldMax, lo que se pretende es evaluar las variables de operación para encontrar las óptimas condiciones y compararlas con el cianuro de sodio, y así determinar su efectividad en el proceso de lixiviación.

JUSTIFICACIÓN

En la industria metalúrgica del Ecuador, el proceso más extendido y empleado en la extracción de Au , es la lixiviación por agitación con cianuro de sodio , agente que es tóxico y genera pasivos altamente contaminantes y peligroso , que a través de la descarga del efluente llega a ríos cercanos y suelos , esto debido a que la mayoría de las plantas de procesamientos poseen una escasa infraestructura para neutralizar o degradar el cianuro de sodio en los efluentes , y en muchas ocasiones el tratamiento es inexistente. Este estudio describe la incidencia que tienen las variables que están involucradas directamente con el proceso de lixiviación con GOLDMAX para la recuperación de oro, así lograr establecer los valores óptimos que reducen del costo de dicho proceso y como las características del lixivante son de baja toxicidad y con tenue impacto ambiental, confluyen para que el remplazo del cianuro por GOLDMAX sea atractivo y viable.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar la incidencia de la concentración de lixivante, tiempo y densidad de la pulpa del proceso de recuperación de oro en escala de laboratorio mediante la aplicación de GoldMax como alternativa para sustituir el uso de cianuro de sodio en el procesamiento del mineral.

Objetivo Especifico

- Analizar de forma continua el nivel de pH y la concentración del lixivante mediante pruebas químicas para mantener el proceso estable.
- Determinar la combinación óptica de los factores para obtener la máxima recuperación de oro.
- Comparar el porcentaje de recuperación de oro entre GoldMax y Cianuro de sodio.

HIPÓTESIS

La evaluación de la lixiviación alcalina por agitación utilizando GoldMax como agente, permite obtener los parámetros operativos más óptimos en la recuperación de oro en soluciones, logrando así reducir el costo de operación y generar una ventaja de aplicación en comparación con el cianuro, que es fiscalizado y con alta toxicidad.

VARIABLES

Variables Independientes:

- Concentración del lixivante
- Densidad de pulpa
- Tiempo

Variable Dependiente

- Porcentaje de recuperación de Au

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Mineralogía

La muestra para el estudio provino del distrito minero Portovelo -Zaruma. Es característico por ser yacimientos de oro asociado a sulfuros y oro libre, que son las formas mineralizadas con mayor auge comercial. Mediante caracterización de minerales por difracción de rayos X en las minas del distrito Portovelo-Zaruma se evidencia lo siguiente: cuarzo (62 %), plagioclasas (13%) , grupo clorito (12,2%) , Moscovita (12,8%)². Entre los sulfuros más dominante se identifica; pirita, calcopirita, esfalerita y galena. Es típico que la relación Ag/Au sea de 8. De acuerdo a la distribución de la estructura geológica que presenta el distrito minero de Portovelo-Zaruma este se encuentra por formado particularmente por andesitas³.

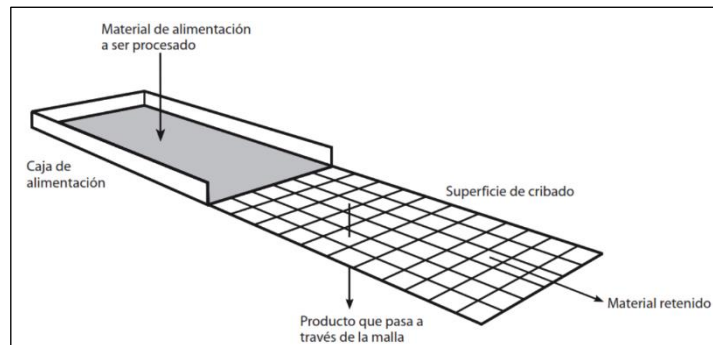
1.1.1 Generalidades de procesamiento de Oro

El procesamiento del mineral aurífero en la zona de Portovelo-Zaruma está unificado en gran medida, los procesos para la recuperación oro incluyen; lixiviación por agitación, amalgamación y flotación (para obtener “bin bag” de concentrados de minerales Ag, Cu, Au y Zn). La lixiviación por agitación, es un proceso idóneo para minerales de alta ley de oro, en asociación con sulfuros y oro libre. El proceso es característico por su elevado grado de recuperación y bajo coste operativo , razones que lo convierten en una alternativa dominante en la extracción de oro ⁴. Las etapas previas al proceso incluyen; conminución con una fase de trituración primaria para disminuir la partícula de 1000 a 100mm con respecto a su tamaño, y otra de molienda (generalmente en molinos chilenos) con salida de malla #80 – 200# por las artesas. Las colas de los canalones son enviados a los tanques de agitación, los cuales son acondicionados a una densidad de pulpa y alcalinidad predefinida. Así también la dosificación de NaCN es controlada por la cuantificación volumétrica del cianuro libre. Al final de la lixiviación se agrega carbón activado a la pulpa, para la adsorción de solución rica de oro. Esto es recuperado por electrodeposición y finalmente por fundición.

1.1.2 Cribado y Tamizado

Desde una óptica sencilla, la criba es una malla rectangular con un gran numero orificios con dimensiones uniformes, los cuales permiten clasificar las rocas (material en general), de modo que las partículas se retienen o atraviesan el obstáculo físico. Según ⁵ define el cribado como una secuencia de eventos, en relación a ciertas probabilidades del paso de las partículas por la superficie de la criba, es decir a un tamaño específico de partícula presenta una probabilidad de traspase o de retención del material.

Fig. 1 Características del cribado



Fuente: ⁵

En la industria metalurgia existe distinción entre cribado y tamizado, aunque el fundamento teórico es el mismo, el cribado tiende a ser empleado para operaciones de escala industrial y el tamizado para separaciones en laboratorios. Sin embargo, el tamizado es característico por efectuarse en lotes mientras el cribado es una operación continua⁶. Al momento de operar cribas y tamices en base seca es recomendable procesar tamaños de partículas hasta 75 mm, caso contrario se debería apoyar con flujos de agua, esto para evitar taponamientos en los orificios de mallas⁷.

1.1.3 Legislación

El cianuro de sodio, está incluida en el listado de sustancias químicas peligrosas de uso severamente restringido, según el art 1, del acuerdo N° 003 del ministerio del ambiente. Además la INEM 2266, define al NaCN como una sustancia tóxica (venenosa). Sin embargo, el uso de cianuro está permitido para la operación de recuperación de Au por el Ministerio de Ambiente y es la alternativa para erradicar el uso de mercurio. Los niveles altos de toxicidad del cianuro de sodio generan riesgos en su manejo, y además es necesario dar un tratamiento a los relaves antes de incorporarlos a las fuentes de agua. Los niveles permisibles de cianuro de sodio se visualizan en las tablas a continuación:

Tabla 1 límites de cianuro en el agua

Valores de límites de Cianuro en agua en el Ecuador			
Condiciones	Parámetro	Expresado como	Límite Máximo Permisible
Consumo humano y doméstico, requiere tratamiento convencional	Cianuro total	CN ⁻	0,1mg/l
Consumo humano y domestico que requiere desinfección	Cianuro total	CN ⁻	0,01 mg/l
Límite de descarga al sistema de alcantarillado público	Cianuro total	CN ⁻	1,0 mg/l
Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	Cianuro total	CN ⁻	0,1 mg/l
Límites de descarga a un cuerpo de agua marina	Cianuro total	CN ⁻	0,2 mg/l

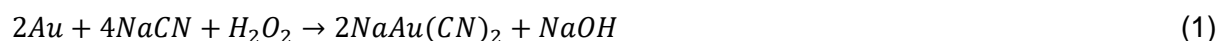
Fuente: ⁸

1.2 Alternativas de agente lixivante para la extracción de Oro

1.2.1 Cianuro

El método más conocido para extraer oro en el mundo de la metalurgia es la cianuración, debido a su bajo costo y simplicidad lo cual le da una gran ventaja a comparación con otros procesos. Para cianurar materiales auríferos refractarios es necesario un etapa previa de calcinación, bio-oxidación o pre-oxidación alcalina , debido a la alta complejidad de tratar oro encapsulado en un matriz de sulfuros⁹ . El cianuro puede ser considerado como una de los lixivante básicos para la extracción de oro, demostrando que su agente lixivante es el ion CN⁻ sin depender de que mineral se está tratando. Se utiliza en soluciones diluidas entre 100 y 500 ppm, aunque en el proceso de lixiviación se suele usar cantidades mayores para una mejor recuperación de mineral manteniendo su nivel de alcalinidad de 11.

Según Bodlaender la reacción de la cianuración es:



Existen diferentes tipos de sales de cianuro que por su particularidad de ser solubles en el agua se las puede usar como agentes lixiviantes en la extracción de oro, entre esas sales tenemos el cianuro de potasio (KCN) y el cianuro de sodio (NaCN)¹⁰.

1.2.2 Tiosulfato de amonio

El tiosulfato al igual que el cianuro es uno de los más usados en los últimos años en la extracción de minerales preciosos como oro y plata, se lo utiliza en soluciones amoniacaes con una disolución rápida entre 3 a 4 horas obteniendo una mejor recuperación que con cianuro dependiendo del mineral a tratar¹¹. Este agente lixiviante tiene la propiedad de acomplejar oro y plata, la presencia de cobre y amoníaco mejora el proceso de recuperación de oro logrando mayores velocidades de lixiviación¹². Sin embargo, su aplicación industrial no es muy comprendida actualmente, el alto consumo de tiosulfato y el oro pasivo dificultan el desarrollo y la aplicación de la tecnología¹³. Este reactivo es metaestable y se descompone con facilidad a sulfato causados por una serie de especies de oxígeno-azufre y sulfuros por lo que no es posible ser reutilizado¹⁴.

La reacción de la disolución del oro está dada por:

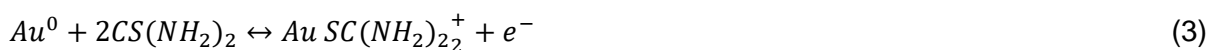


La presencia de amoníaco en la lixiviación de oro con tiosulfato es muy importante, ya que este evita que el tiosulfato se descomponga formando una capa de azufre en toda la superficie del mineral provocando que el oro no reaccione con el lixiviante¹⁵. Según un estudio realizado sobre la lixiviación de oro con tiosulfato, la cinética de este proceso sigue siendo significativamente menor con respecto a la cianuración, por lo que en el campo de la hidrometalurgia se sigue investigado el uso de nuevos y mejorados agentes lixiviantes y factores que afecten el proceso¹⁶.

1.2.3 Tiourea

Es considerado el reactivo con potencial alto para sustituir al cianuro con factores bajos de toxicidad y la facilidad de emplear en medio ácido, debido a los trabajos realizados en laboratorios y plantas piloto, han permitido a la tiourea a determinar ciertas características dándole preferencia ante el cianuro¹¹. La relación que existe en la disolución de oro y plata con tiourea da paso a la formación de cationes complejos conocidos como tioureatos lo cual se debe a la acción del disulfuro de formamidina, este compuesto es considerado como el oxidante activo para la disolución de metales^{17,18}. La dosis letal de tiourea es de 10g/kg, por lo que se considera mucho más segura que el cianuro.

La reacción de disolución para la formación del complejo catiónico está representada por:



La lixiviación con tiourea se considera una mejor alternativa para tratar minerales de oro sulfurosos refractarios, después del proceso de biooxidación no es necesario neutralizar¹⁹. Existen agentes oxidantes que permiten que la velocidad de reacción de la tiourea aumente y sea más efectiva como ión férrico, ozono, peróxido de hidrógeno o permanganato de potasio²⁰.

1.2.4 Tiocianato

En la investigación que realizó Ali Sajad con respecto a la extracción de oro usando tiocianato (NH_4SCN), demostró que la extracción depende fundamentalmente de la concentración disponible de tiocianato de amonio libre permitiendo una mayor lixiviación del mineral²¹. El tiocianato al reaccionar con Au^+ puede formar complejos solubles en agua según el sistema dinámico del tiocianato, el cual puede regenerarse como un subproducto²². Al igual que los otros agentes lixiviantes existen factores que pueden afectar al momento de extraer oro como: la relación líquido-sólido, la concentración del lixiviante y oxidantes, temperatura y tiempo²².

1.2.5 Cloruros

La cinética de lixiviación del cloruro es más rápida que la del cianuro, debido a varios parámetros que favorecen esta reacción como son: bajo pH, alta concentración de Cl^-/Cl_2 , aumento de temperatura y una gran superficie del mineral lo cual permite una mejor eficiencia del reactivo²³. Los complejos de cloruro son inestables en comparación con otros agentes, una forma de reducir su inestabilidad es manteniendo un pH adecuado en la solución y el potencial en el que reacciona cada componente²⁴. Para soluciones de $FeCl_3$ el aumento en la concentración de la solución y la temperatura aceleran de velocidad disolución de oro, la acidez de la solución $FeCl_3$ de no posee una relación evidente en la disolución de oro²⁵.

1.2.6 GoldMax

Considerado un logro científico y tecnológico, GoldMax es fabricado con materia prima utilizada en fertilizantes, es un producto innovador dentro de la metalurgia el cual debido a sus características es considerado ecológico²⁶. Es un agente lixiviante que permite extraer oro y plata por lo que se lo ha planteado como una alternativa al cianuro para hacer frente a la contaminación. Se han realizados varias pruebas que garanticen su funcionamiento y eficiencia dando como resultado recuperaciones altas de Au y Ag en minerales sulfuros, oxidados y mixtos²⁶.

Este reactivo fue desarrollado y producido por Royal Chemical del Perú ofreciendo ventajas superiores a otros agentes lixiviantes, teniendo una gran acogida por parte de las empresas

del mercado sudamericano¹. Debe ser almacenado en lugares donde no le dé la luz solar y sin humedad, puede mantenerse por largos periodos sin alterarse ni sufrir al efecto de descomposición.

1.2.7 Sandioss

Este reactivo se desarrolló en China, dándolo a conocer como un producto ecológico para ser utilizado como agente lixivante, así sustituir el cianuro y minimizar los gastos que se invierten en tratamientos de efluentes²⁷. La presentación de Sandioss es en polvo granulado blanco o gris, sus soluciones acuosas pueden ser alcalinas, ácidas o neutras; teniendo en cuenta el tipo de material con el que se trabaje²⁸. Este reactivo no es inflamable, ni explosivo, no emane radiactividad, no tiene peligro oxidante, tampoco es peligroso al ser transportado, debe ser almacenado en lugar sin humedad y lejos de la luz solar²⁹. Se considera una mejor lixiviación cuando la temperatura del ambiente es mayor a 10°C. Entre los componentes del Sandioss encontramos los Ferrocianuros, los cuales permiten la factibilidad a la lixiviación a un determinado porcentaje³⁰.

1.3 Comparación de los reactivos GoldMax y Cianuro

Tabla 2 Comparación de los reactivos GoldMax y Cianuro

Características	GoldMax	Cianuro (CN)
Consumo	3 a 6 Kg/TM	3 a 6 Kg/TM
Reactivo para titulación	Nitrato de plata	Nitrato de plata
Fiscalizado	No	Si
Tiempo de agitación	35 a 40 horas	
Regulador	Cal	Cal
	Soda caustica	Soda cáustica
pH	11 a 12	11
Aspecto	Granulado gris	Polvo blanco
Nivel de toxicidad	Bajo	Alto

Fuente: Elaboración propia

1.4 Aspectos generales sobre la química de cianuro

Cuando las soluciones alcalinas débiles presentan de manera directa una reacción disolvente en el mineral actuando sobre el oro³¹.

1.4.1 Lixiviación

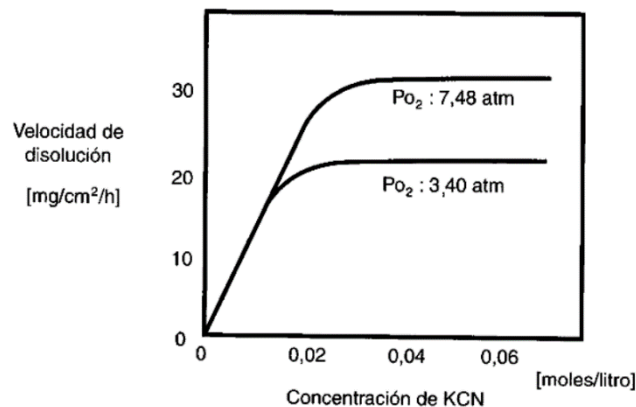
Es un proceso que está incluida dentro del campo hidrometalúrgico para la separación de un componente sólido mediante la acción de un disolvente líquido^{32,33}. Existen diversos factores de orden físico y químico que se presentan en el proceso de lixiviación de minerales auríferos, los cuales influyen en la eficiencia de la recuperación de oro y plata³⁴. Una manera de aumentar la extracción del mineral y reducir el tiempo que dura el proceso de lixiviación es intensificando ciertos factores como la concentración de agente lixivante y controlando los agentes oxidantes ya sea oxígeno o peróxido de hidrógeno³⁵.

1.4.2 Principales factores que afectan la lixiviación por agitación

Tamaño de partícula: En la lixiviación agitada de oro, el tamaño de partícula favorece la exposición de la superficie del mineral, y esta tiene una relación directa con la rapidez de disolución, es decir mientras la pulpa del mineral posea partículas más pequeñas se obtienen mayores valores de disolución³⁶.

Concentración de lixivante: Existe un efecto lineal entre la concentración de cianuro y disolución de Au, hasta un punto máximo de oro disuelto. Por lo tanto, al incrementar la concentración de lixivante superior a ese límite, el grado de extracción de oro será influenciado mayormente por otros factores^{37,38}.

Fig. 2 Curva típica de disolución del oro a 25°C, efecto en la presión de oxígeno vs concentración de cianuro



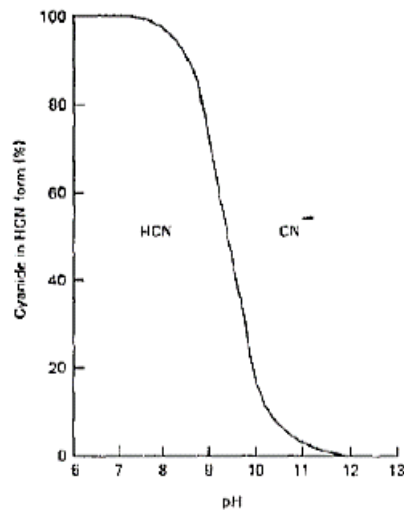
Fuente: ³⁹

Concentración de oxígeno: Se ha establecido que la relación adecuada entre la concentración de CN⁻ y concentración de O₂ es de 6 para lograr valores máximos de disolución de oro. Sin embargo, la dosificación de oxígeno puro es costoso, por lo que

generalmente se utiliza inyección de aire o agentes químicos oxidantes como permanganato de potasio y peróxido de hidrógeno⁴⁰. A diferencia de la facilidad para controlar la concentración CN^- , para el O_2 es complejo por su baja solubilidad en soluciones acuosas.

Alcalinidad de la solución: En la lixiviación de oro es esencial la alcalinidad, debido a ser un parámetro que controla la estabilidad del ion CN^- en la solución, normalmente el pH en que se opera es entre 10 y 11, por debajo de esos valores se produce hidrólisis de cianuro, formando HCN ⁴¹. Adicionalmente la dosificación de álcalis genera un efecto sedimentado de partículas finas (lomas) y a su vez neutraliza minerales interferentes piríticos, sales ferrosas y férricas. Es recomendable utilizar CaO y NaOH como agentes álcalis⁴².

Fig. 3 Diagrama del equilibrio CN^-/HCN



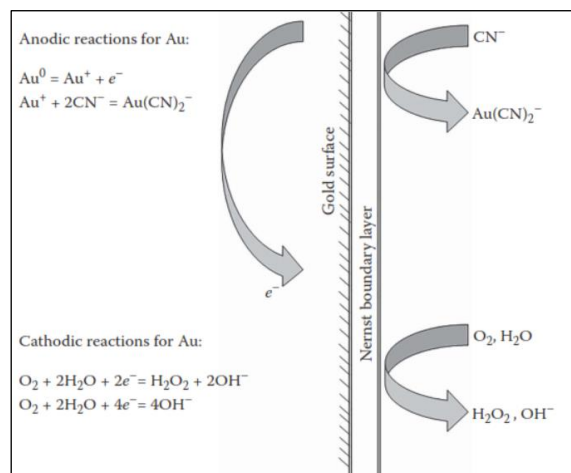
Fuente: ⁴³

Densidad de pulpa: Es la parte compuesta de la masa de un sólido conjuntamente con un líquido (agua). La gravedad específica, volumen y peso son características innatas de la pulpa, habitualmente son expresados en porcentajes del sólido, al experimentar un aumento en el contenido de sólidos se obtiene una reducción en disolución de oro, estableciéndose una proporción inversa entre densidad de pulpa y la recuperación aurífera ^{44, 45}.

1.4.3 Mecanismos de la disolución NaCN

En la cianuración están presentes fases heterogéneas (sólido-líquido) lo que implica la transferencia de masa del oxígeno y cianuro hacia la superficie del mineral, y la disolución de oro está ligada a las reacciones electroquímicas de corrosión⁴⁶.

Fig. 4 Mecanismo de la disolución



Fuente: ³⁹

El mecanismo integra las siguientes etapas:

- Transporte de ion cianuro y oxígeno disuelto hacia la capa solido-liquido.
- El O_2 y CN^- difunden por medio de la capa límite de Nernst.
- En la superficie de la zona anódica el oro cede electrones para formar $(\text{AuCN})_2^-$ y el O_2 juega un papel importante en las reacciones catódicas.
- Difusión de los productos de reacción a la solución.

1.5 Diseño Experimental

Un diseño experimental desempeña un papel importante con respecto a la optimización de procesos, su correcta elaboración es crucial para conseguir datos esenciales que cumplan las premisas que se requiere por las pruebas ejecutadas⁴⁷. La planificación de un diseño experimental se lleva de manera ordenada y precisa, según la literatura existen varios ejemplos de experimentos que no se dieron como se esperaba, debido al descuido o el poco interés en el modelo estadístico de sus proyectos³⁶. Las preguntas que normalmente se desea responder son: Para qué, por qué, cómo, cuándo y dónde se va a realizar el experimento, es importante que el diseño sea simple. La manera más eficiente y eficaz de realizar pruebas de un proceso es un diseño experimental, demostrando una serie de pasos a seguir para lograr determinar cuántas pruebas se deben ejecutar²⁸, permitiéndonos de la misma forma obtener el orden en el que se va a realizar cada prueba.

1.5.1 Principios Básicos de un Diseño Experimental

1.5.1.1 Repetición o Reiteración

Este principio nos indica que se puede realizar una o varias réplicas de las pruebas experimentales, permitiendo al experimentador obtener una estimación del error experimental y una estimación precisa del factor de interacción, por lo que entre más réplicas se obtenga; más acerteros serán los resultados⁴⁸. A la hora que se realizar una investigación se debe tener mucho cuidado de “no confundir el concepto replicación o repetición del experimento con la toma repetida de mediciones u observaciones sobre el mismo material experimental⁴⁹.”

1.5.1.2 Aleatorización

Mediante una asignación de manera aleatoria a los tratamientos de las unidades experimentales permite sesgar el experimento. En un diseño experimental pueden existir factores que pueden intervenir de manera indirecta o directa en el rendimiento del proceso por lo que se debe realizar una selectividad en las pruebas garantizando que todos los niveles de un factor posean las mismas posibilidades y así obtener mejores resultados⁵⁰.

1.5.1.3 Control local

Esta es la medida que se toma dentro del diseño experimental para su eficiencia, permitiendo reducir el error experimental y volviéndola sensible ante prueba de significación. Su objetivo fundamental es eliminar o minimizar las fuentes de variabilidad que no se desee en el experimento, organizando los experimentos en grupos homogéneos⁵¹.

1.5.2 Ventajas y desventajas del Diseño Experimental

Ventajas: Mediante diseño experimental permite obtener el control y manipulación de las variables en estudio, así mismo permite conocer la interacción que existe entre los diferentes factores en estudio. Con ayuda de la investigación y la estadística se logra analizar e interpretar cada paso o secuencia del programa²⁸. Ofrece alternativas antipáticas y mantiene la pre-planificación sistemática, lo que permite que se efectúe de manera ordenada por etapas. La atención debe enfocarse en las interrelaciones, estimación y cuantificaciones de las fuentes de variabilidad en los resultados obtenidos.

Desventajas: Frecuentemente los diseños y los análisis contienen enunciados que son basados en el lenguaje técnico estadístico, estos diseños resultan económicamente costosos, complicados al momento de ser aplicados y conllevan una larga duración con respecto al tiempo de ejecución

1.5.3 Etapas del Diseño Experimental

Para poder preparar las condiciones de prueba y control, es necesario realizar un diseño experimental evitando que el experimento obtenga resultados erróneos⁵².

La manera correcta de ejecutar pruebas a un proceso es mediante un diseño experimental, para ello existen etapas que permiten elaborar de manera correcta y sistemática un diseño que incluye el establecimiento del problema, variable independiente, factores , niveles ,ejecución del experimento e interpretación de los análisis estadísticos⁵³ .

1.5.4 Diseño Factorial

Dentro de este dominio se encuentran las investigaciones con múltiples factores que ocurre dentro de las experimentaciones, es decir, cuando un resultado depende de varios factores que deben ser evaluados en diferentes niveles y así obtener mejores resultados⁵². Después de que se definan los factores y niveles se determina los tratamientos necesarios para ejecutar cada prueba experimental.

1.5.5 Diseño Factorial 2^K

Se considera este diseño como un diseño experimental de primer orden y se define por las posibles combinaciones para las cuales se pueden estudiar K factores en un diseño factorial ⁵⁴. Este diseño es muy sencillo de ejecutar, debido a que proporciona un mínimo de ensayos, para poder considerar el número adecuados de experimentos a realizar se define con la siguiente formula¹⁴.

$$N = 2^K \quad (4)$$

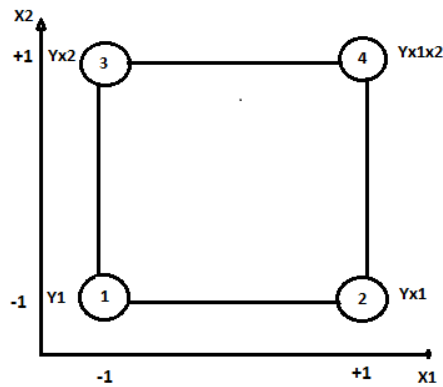
Donde:

K: número de factores a estudiar

N: número de experimentos

Podemos observar en la Fig. 5 Niveles para un diseño factorial 2^K en un sistema de coordenada bidimensional.

Fig. 5 Niveles: Diseño Factorial 2k



Fuente: ⁵³

Donde

$K= 2$; $X1= 1$; $X2= 2$; $Y=$ variable respuesta; $+1=$ nivel superior de la variable, mientras que $-1=$ nivel inferior de la variable

En la Tabla N° 3 se puede observar los valores de las variables a escala codificada

Tabla 3 Valores de las variables codificadas

N° DE PRUEBA	VALORES CODIFICADOS		RESPUESTA
1	-	-	Y1
2	+	-	Yx1
3	-	+	Yx2
4	+	+	Yx1x2

Fuente: ¹⁴

Se considera $Yx1$ como la variable respuesta cuando $X1$ se encuentra en su nivel alto y $X2$ en su nivel más bajo, mientras que $Y1$ se la considera cuando $X1$ y $X2$ se encuentren en su nivel inferior, así mismo sucede con $Yx1x2$ la cual se la considera cuando $X1$ y $X2$ se encuentren en su nivel superior ⁴⁹.

1.5.6 Diseño Factorial 2^K con réplicas en el punto central del diseño

Se considera para este diseño, adicionar más de una réplica en el punto central, dando paso a una mayor confiabilidad a los resultados obtenidos en las pruebas experimentales y así lograr una mejor consideración del efecto que da la curvatura ^{55, 52}.

Para determinar el efecto de curvatura se realiza la suma de cuadrados relacionando la diferencia entre el promedio de los puntos factoriales y centrales, denotado por:

$$SC_{curvatura} = n_F n_c (\hat{Y}_F - \hat{Y}_c)^2 / n_F + n_c \quad (5)$$

Donde:

\hat{Y}_c = Promedio de la variable respuesta en puntos centrales.

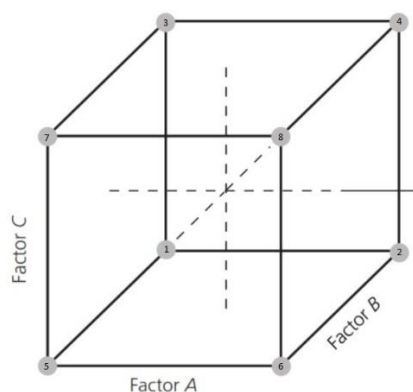
\hat{Y}_F = Promedio de la variable respuesta en puntos factoriales.

n_c, n_F = Son el número de puntos centrales y el número de puntos factoriales.

Si el valor de p es menor al 0.05, se define que al menos uno de los factores enlistados presenta ante la variable respuesta relación curva⁵⁵.

Se considera el número total de réplicas a realizar dependiendo de los recursos que posee, tomando en cuenta que las réplicas son una variedad de corridas experimentales a las mismas condiciones tanto factores como niveles ⁴⁹.

Fig. 6 Diseño factorial para 2^k con tres factores y réplicas centrales.



Fuente: ⁴⁹

1.5.7 Cálculo de efectos

Mediante la matriz de efectos se logra calcular cuantitativamente cuanto afectan las variables independientes sobre el criterio de optimización del proceso, la matriz se presentan los experimentos y los efectos que se estimarán, los cuales se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$E = \left(\frac{\Sigma\gamma_+ - \Sigma\gamma_-}{(N/2)(r)} \right) \quad (6)$$

Donde:

$\Sigma\gamma_+$ = Sumatoria de las respuestas correspondientes al nivel superior del factor o variable en estudio.

$\Sigma\gamma_-$ = Sumatoria de las respuestas correspondientes al nivel inferior del factor o variable en estudio.

N = Número de pruebas experimentales.

r = Número de réplicas en el diseño.

Siendo r=1 para el diseño factorial 2^k con réplicas en el punto central.

1.5.8 Principio de ANOVA para el diseño factorial de dos factores

El análisis de varianza permite comparar los conjuntos de resultados analíticos para definir si existe diferencia estadística significativa entre una muestra que ha sido analizada por diferentes métodos o una muestra realizada en diferentes lugares y distintos analistas ⁵⁶. El principio de ANOVA para un diseño factorial facilita la base de los aspectos de análisis estadístico, mediante la ayuda de la teoría estadística deriva los mecanismos para la elaboración y organización de las pruebas basadas en el modelo de respuesta ⁵⁷.

Tabla 4 Las fórmulas simplificadas para calcular el estadístico F0 hasta llegar al valor-p

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ₀	Valor p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y^2}{N}$	k-1	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k-1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{M_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	N-k	$CM_E = \frac{SC_E}{N-k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{N}$	N-1			

Fuente: ⁴⁹

1.5.8.1 Hipótesis

Las hipótesis que se encuentran asociadas con los diseños factoriales experimentales determinan si una prueba posee o carece de efecto, existen tres posibles efectos que se pueden investigar en una estructura de dos factores: factor A, factor B y factor de interacción

55.

Hipótesis nula; H0: las medias de los grupos son iguales; $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_K$

Hipótesis alternativa; H1: alguna de las medias es distinta; $\mu_i \neq \mu_j$

1.5.9 Formulación del modelo matemático

Para obtener un modelo matemático se debe determinar los efectos que resulten significativos en nuestra investigación, así al aplicar un diseño factorial a dos niveles tener un modelo matemático a escala lineal.

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j X_j + \sum_{u=j=1}^k b_{uj} X_u X_j \quad (7)$$

Para poder valorar b_0, b_j, b_{uj} se utilizara la formula matricial utilizada para la estimación de los coeficientes del modelo planteado:

$$B = (X^T X)^{-1} (X^T Y) \quad (8)$$

Una vez obtenido el modelo matemático es importante decodificar dicho modelo, esto se lo deduce mediante fórmulas para la decodificación planteadas a continuación:

Termino independiente

$$a_0 = b_0 - \sum_{j=1}^k b_j \epsilon_j + \sum_{ij=1}^k b_{ij} \epsilon_{ij} \quad i \neq j \quad (9)$$

Termino lineal

$$a_j Z_j = \frac{b_j}{\Delta Z_j} - \sum_{ji=1}^{k-1} \frac{b_{ij}}{\Delta Z_j} \quad i \neq j \quad (10)$$

Termino interacción

$$a_{ji} Z_j Z_j = (b_{ji} / \Delta Z_j \Delta Z_j) \quad (11)$$

1.5.10 Análisis de residuales

Permite conocer cuan distanciados están las predicciones de los valores iniciales mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\epsilon_i = Y - \hat{Y} \quad (12)$$

Siendo \hat{Y} = los valores predichos por el modelo, también se la conoce como Y estimada o Y_{est} .

Para encontrar \hat{Y} se emplea la siguiente ecuación:

$$\hat{Y} = (X)(B) \tag{13}$$

1.5.10.1 Técnicas gráficas para análisis de residuos

Una técnica gráfica de comprobación del supuesto de normalidad de los residuos es la gráfica de probabilidad, la cual sirve para visualizar si los datos obtenidos siguen una distribución lineal. No obstante, cabe recalcar que el ajuste de los puntos no debe ser del todo perfecto debido al análisis de varianza suelen presentarse moderadas y pequeñas desviaciones⁵¹.

Para la comprobación del supuesto de varianza constante, el cual consiste en graficar los predichos contra los residuos, es decir \hat{Y}_{ij} vs ϵ_i . Al proyectarse los puntos se deben distribuir de manera aleatoria en forma horizontal sin ningún patrón claro para ser considerado un supuesto de varianza constante⁴⁹.

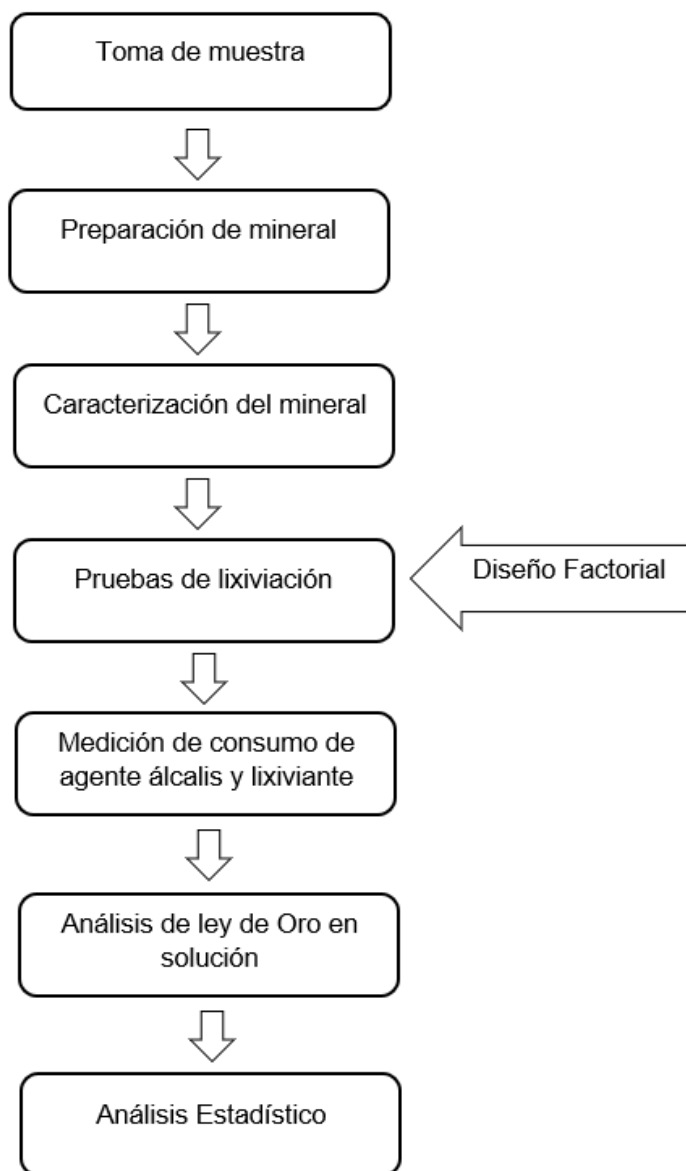
Para que el supuesto de independencia se cumpla, al graficar el orden en el que se recopiló los datos versus el residuo al que corresponda, se debe detectar dentro de una banda horizontal los puntos en forma aleatoria.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 DIAGRAMAS DE METODOLOGÍA

Fig. 7 Diagrama del proceso del experimento



Fuente: Elaboración propia

2.2 Toma de muestra

El mineral aurífero empleado en la parte experimental de la investigación se obtuvo de la Planta de Beneficio “Agapitos”, del procesado del molino. Mediante la técnica de cuarteo se obtuvo un total de 10kg de muestra representativa.

2.3 Preparación de muestra

2.3.1 Tamizado

El mineral obtenido fue sometido a un proceso de secado por 12 horas a 105°C, posterior a eso, se realizó un proceso de tamizado permitiendo separar la muestra a 150 µm de granulometría.

2.3.2 Análisis de densidad específica real

Para la determinación de la densidad específica se empleó el método de fiola mediante la ecuación expresada a continuación:

$$\rho_e = \left(\frac{m}{m + F_n - F_p} \right) \quad (14)$$

Donde, m es el peso de muestra seca, F_n es el peso de la fiola más agua y F_p es el peso de la fiola más agua y más el mineral.

2.3.3 Análisis de densidad de pulpa

Para realizar el análisis de pulpa se empleó la siguiente ecuación:

$$\rho_{pulpa} = \left(\frac{\text{volumen del sólido}}{\text{volumen de pulpa}} \right) \quad (15)$$

Las pruebas experimentales se realizaron a distintas densidades de pulpa

2.3.4 Factor de dilución

Para determinar el factor de dilución de cada prueba experimental, se empleó la siguiente ecuación:

$$Fd = \left(\frac{\text{volumen del líquido}}{\text{masa del sólido}} \right) \quad (16)$$

2.4 Materiales y Equipos

2.4.1 Materiales

- Tamiz de la serie Tyler N° 200,100
- Espátulas de 3"
- Brochas de laboratorio
- Saquillos

- Plástico grueso
- Bureta
- Fiola de 500 ml
- Probeta 100ml
- Pipeta de 10 ml
- Vasos de precipitado de 100 ml
- Pissetas
- Papel filtro
- Frasco Ámbar: 1.5 L
- Cinta blanca para rotular y lapicero

2.3.2. Equipos

- Balanza comercial
- Balanzas electrónicas de tres decimales
- Estufa de secado
- Equipo de Agitación 2L
- Multiparámetro BANTE 900P
- Potenciómetro BOECO

2.3.3 Reactivos

- Agente de extracción GoldMax
- Yoduro de potasio (KI)
- Agua destilada 20 L
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Nitrato de Plata (AgNO₃)

2.5 Procedimiento Experimental

2.5.1 Lixiviación con GoldMax

Las pruebas realizadas con el lixiviante GoldMax a diferentes parámetros operativos fueron determinadas según el diseño experimental que se empleó.

La concentración de GoldMax a la que se trabajó cada prueba se la determino mediante la ecuación expresada a continuación:

$$\text{Concentración GoldMax} = \left(\frac{\text{Gasto de AgNO}_3 \text{ en la titulación}}{\text{factor}} \right) \quad (17)$$

2.5.2 Control y toma de muestra en la lixiviación con GoldMax

Las pruebas de lixiviación se controlaron mediante la cuantificación volumétrica, realizando titulaciones en diferentes tiempos en el transcurso de cada prueba como se indica a continuación:

Se tomó una alícuota de 25 ml de muestra cada tres horas posteriores de iniciar el experimento, esto se realizó a cada una de las pruebas.

A la alícuota tomada se le agregó 3 gotas de indicador yoduro de potasio KI al 5%, se agita y se procede a titular usando como solución estándar el nitrato de plata ($AgNO_3$) al 0.025 N. se finalizó la titulación cuando se visualizó un color amarillo opalescente.

Una vez obtenido el viraje, mediante la fórmula (18) sugerida por la empresa Chemical Royal para la reposición del lixivante GoldMax, se procede a calcular el valor necesario para mantener la concentración del lixivante constante.

La cantidad de GoldMax que se debe reponer en cada prueba de ser necesario, se determinó con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$\text{Reposición de GoldMax} = \left(\left(\frac{\text{Gasto de } AgNO_3 \text{ en titulación}}{10} \right) - \text{Fuerza del lixivante} \right) V_{H_2O \text{ Total}} \quad (18)$$

Se midió el pH con ayuda de un potenciómetro para llevar un control de la alcalinidad de la solución, manteniéndola a los parámetros establecidos desde un inicio.

Se repuso el volumen de la alícuota tomada anteriormente para mantener constante la densidad de la pulpa, y se continuó con el proceso de lixiviación.

2.5.3 Preparación de reactivos

-Nitrato de plata ($AgNO_3$)

Se secó $AgNO_3$ a $105^\circ C$ por una hora, luego se colocó en un desecador por unos 30 minutos. Después se procedió a pesar 4.25 g de $AgNO_3$ y se diluyó en 250 ml de agua destilada, se lo enraza en un balón de 1000 ml. La solución preparada se almacena en un frasco de color ámbar.

-Yoduro de potasio (KI) a 5%

Se pesó 2.5 g de (KI) y se diluyó en 50 ml de agua destilada. La solución preparada se almacena en un frasco de color ámbar.

2.5.4 Parámetros experimentales de las pruebas de lixiviación

Tabla 5 Parámetros experimentales de las pruebas con densidad de pulpa: 1,2- 1,3 g/ml

Parámetros	Prueba N° 01; 03; 05; 07	Prueba N° 02; 04; 06; 08
Ley de cabeza del mineral	7,13g/ton	7,13g/ton
Densidad específica del mineral	4,1 g/ml	4,1 g/ml
Peso del mineral	158,7 g	238,1 g
Volumen del líquido	561 ml	542 ml
Volumen de pulpa	600 ml	600 ml
Factor de dilución	3,5	2,3
Velocidad de agitación	400 rpm	400 rpm
Granulometría	150 µm	150 µm
Ph	11	11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Parámetros experimentales de las pruebas en las réplicas del punto central

Parámetros	Prueba N° 09; 10; 11
Ley de cabeza del mineral	7,13g/ton
Densidad específica del mineral	4,1 g/ml
Masa del mineral	198,4 g
Volumen del líquido	48,4 ml
Volumen de pulpa	600 ml
Factor de dilución	2,8
Velocidad de agitación	400 rpm
Granulometría	150 µm
pH	11

Fuente: Elaboración propia

2.5.5 Parámetros experimentales de las pruebas de lixiviación en base al Diseño Factorial

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
1	200 ppm	48 H	1,2 g/ml

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
2	200 ppm	48 H	1,3 g/ml

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
3	200 ppm	60 H	1,2 g/ml

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
4	200 ppm	60 H	1,3 g/ml

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
5	600 ppm	48 H	1,2 g/ml

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
6	600 ppm	48 H	1,3 g/ml

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
7	600 ppm	60 H	1,2 g/ml

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
8	600 ppm	60 H	1,3 g/ml

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
9	400 ppm	54 H	1,25 g/ml

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
10	400 ppm	54 H	1,25 g/ml

N° de Prueba	CONCENTRACIÓN DE GOLDMAX	TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	DENSIDAD DE PULPA
11	400 ppm	54 H	1,25 g/ml

CAPÍTULO III

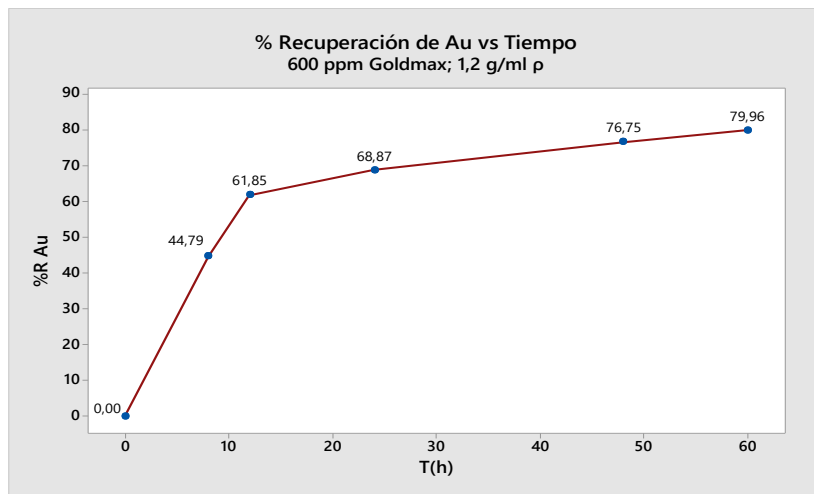
3. RESULTADOS

3.1 Recuperación de Au

Para determinar el porcentaje de recuperación de oro de cada prueba experimental se empleó la siguiente ecuación:

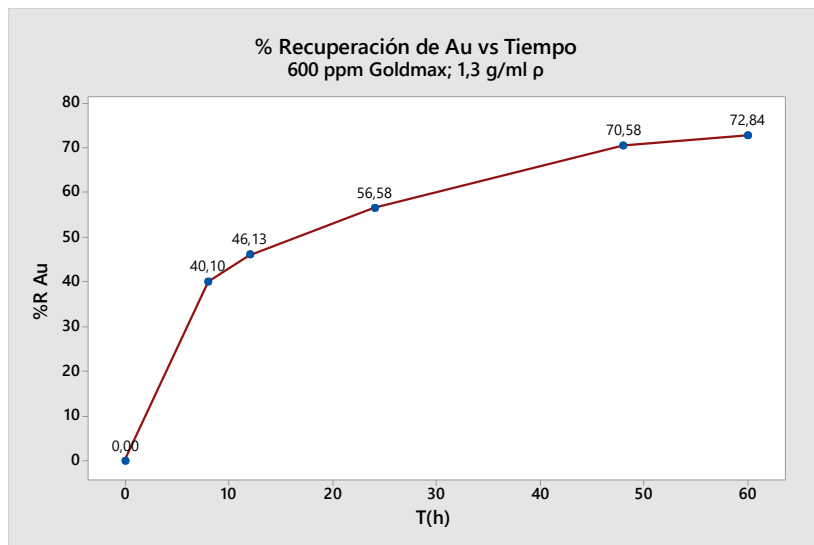
$$\% \text{Recuperación oro} = \left(\text{Ley líquido} * \text{Factor de dilución} / \text{Ley de cabeza} \right) \quad (19)$$

Gráfico 1 Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 600 ppm; 1,2 g/ml



Fuente: Elaboración propia

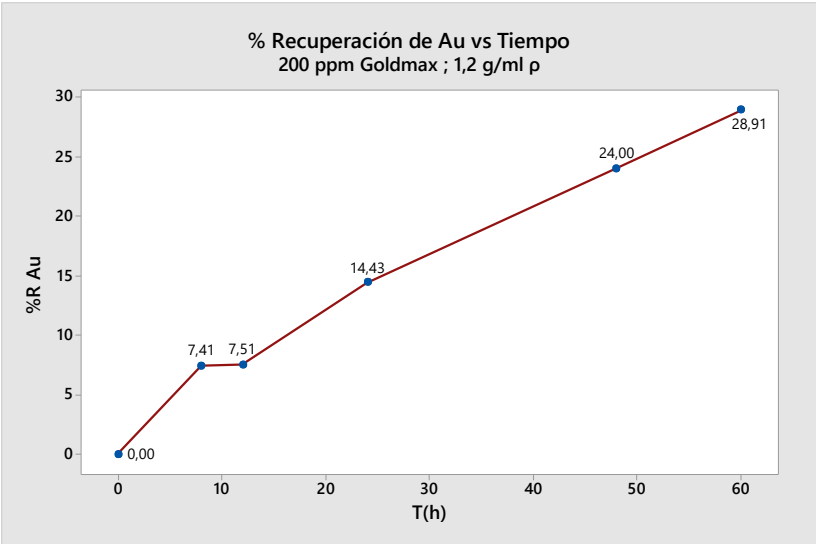
Gráfico 2 Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 600 ppm; 1,3 g/ml



Fuente: Elaboración propia

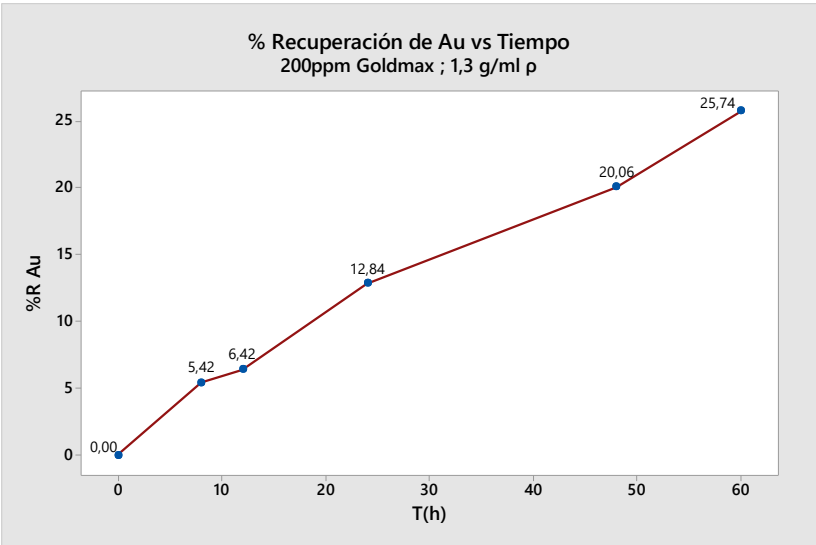
Como se indica el gráfico 1 y 2, el valor máximo de recuperación de Au es 79,96% en un tiempo de agitación de 60 horas. Las curvas describen un proceso intenso de cinética de reacción en las 12 primeras horas. También se evidencia que al aumentar el contenido de masa de mineral en la pulpa 1,2g/ml a 1,3g/ml se reduce la recuperación de oro en un tiempo definido.

Gráfico 3 Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 200 ppm; 1,2 g/ml



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4 Porcentaje de recuperación de oro vs tiempo; 600 ppm; 1,3 g/ml



Fuente: Elaboración propia

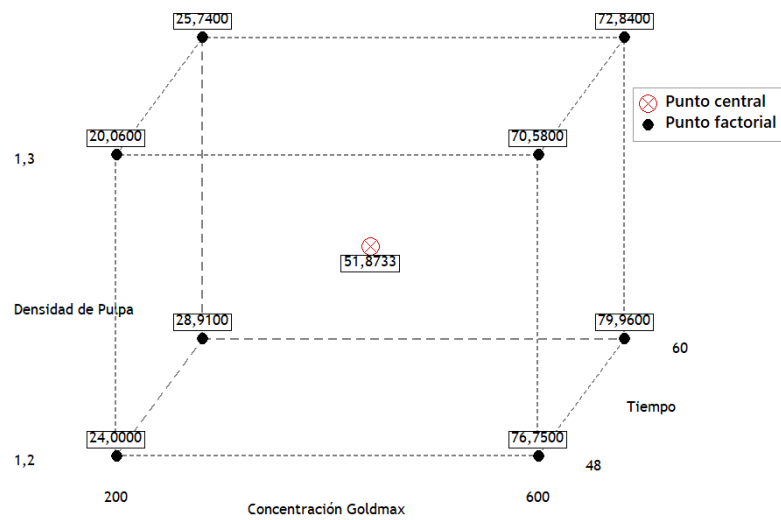
En el gráfico 3 y 4, la recuperación de Au es de 28,91% y 25,74% para densidad de pulpa 1,2 y 1,3 g/ml respectivamente, al lixiviar con 200 ppm de GoldMax en 60 horas de tratamiento. Se identifica una leve diferencia del %R de Au a diferentes densidades de pulpa.

Tabla 7 Resultado de variable respuesta en el diseño factorial

N° de Prueba	X1(Concentración de GoldMax)	X2 (Tiempo de lixiviación)	X3 (densidad de pulpa)	Y (%R Au)
1	-1	-1	-1	24,00
2	-1	-1	+1	20,06
3	-1	+1	-1	28,91
4	-1	+1	+1	25,74
5	+1	-1	-1	76,75
6	+1	-1	+1	70,58
7	+1	+1	-1	79,96
8	+1	+1	+1	72,84
9	0	0	0	51,99
10	0	0	0	52,58
11	0	0	0	51,05

Fuente: Elaboración propia

Fig. 8 Representación Geométrica de 2^3 (medias de los datos)



Fuente: Elaboración propia

3.2 Análisis estadísticos

Los datos recolectados en la experimentación fueron tabulados, analizados y graficados por el software estadístico Minitab 18.

3.2.1 Estimación de efectos

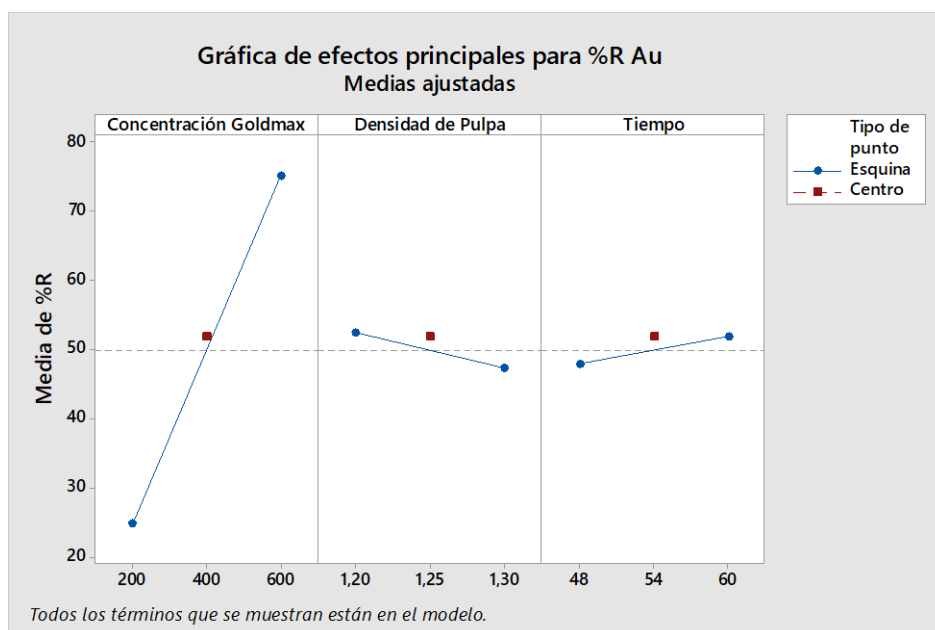
En el diseño 2^3 , se puede estudiar 3 factores principales, 2 iteraciones dobles y 1 iteración triple, en el Gráfico 5 de efectos principales se puede identificar:

Tabla 8 Resultado del cálculo de efectos

Término	Efecto
Concentración GoldMax	50,355
Densidad de Pulpa	-5,100
Tiempo	4,015
Concentración GoldMax*Densidad de Pulpa	-1,545
Concentración GoldMax*Tiempo	-1,280
Densidad de Pulpa*Tiempo	-0,045
Concentración GoldMax*Densidad de Pulpa*Tiempo	-0,430

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5 Efectos principales



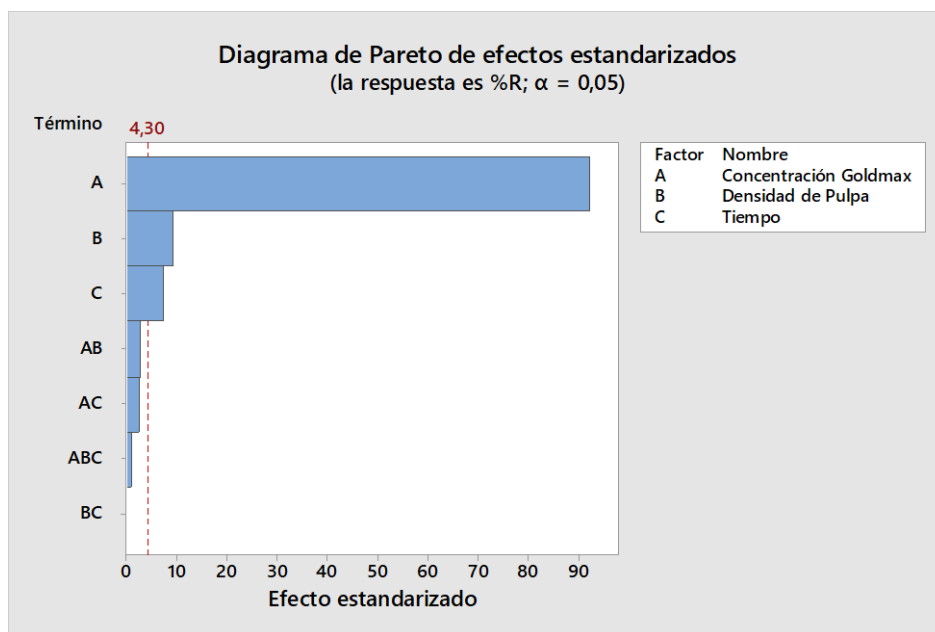
Fuente: Elaboración propia

- Concentración de GoldMax; Es el término que posee el mayor efecto en la variable respuesta (% de recuperación Au), cuando cambia de su nivel más bajo (200ppm) hacia el más alto (600ppm) afecta positivamente en 50,355 %.
- Densidad de pulpa y tiempo; Generan un efecto absoluto muy similar, pero a comparación del tiempo, la influencia de la densidad de pulpa es negativa en %R Au.
- Gráficamente se observa una curvatura mínima entre los factores principales y el punto central.

3.2.2 Análisis de varianza

En el gráfico 6 muestra de forma jerárquica el efecto de los factores en la variable respuesta, se observa que la concentración de GoldMax, densidad de pulpa y tiempo poseen mayor impacto en el % Recuperación de Oro en orden descendente mencionado. Esto se contrasta con el valor probabilidad en la tabla 9 de Análisis de Varianza (ANOVA).

Gráfico 6 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



Fuente: Elaboración propia

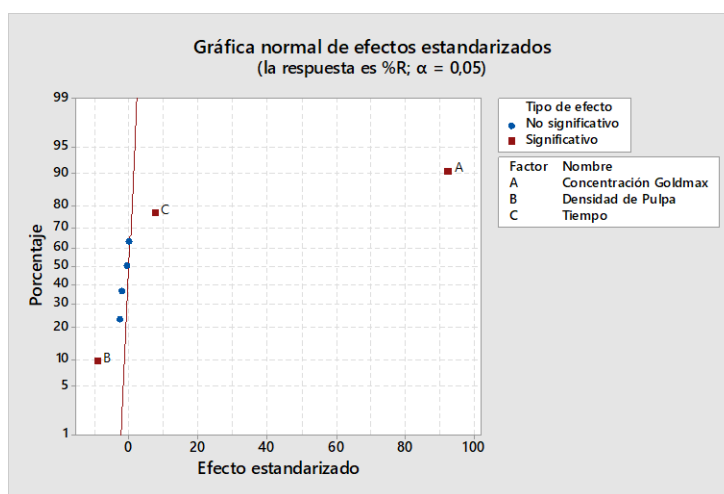
Tabla 9 Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Concentración GoldMax	1	5071,25	5071,25	8516,91	0,000
Densidad de Pulpa	1	52,02	52,02	87,36	0,000
Tiempo	1	32,24	32,24	54,15	0,011
Concentración GoldMax*Densidad de Pulpa	1	4,77	4,77	8,02	0,105
Concentración GoldMax*Tiempo	1	3,28	3,28	5,50	0,144
Densidad de Pulpa*Tiempo	1	0,00	0,00	0,01	0,942
Concentración GoldMax*Densidad de Pulpa*Tiempo	1	0,37	0,37	0,62	0,513
Curvatura	1	8,89	8,89	14,93	0,061
Error	2	1,19	0,60	-	-
Total	10	5174,02	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

La suposición de linealidad se cumple, de acuerdo al test de curvatura en el diseño factorial 2k con réplicas centrales. Esto es verificado en la tabla 9 de ANOVA, nótese el valor de probabilidad del efecto de curvatura es 0.061, probabilidad superior al 0.05 del límite del valor de significancia, Así también se constata que solo los efectos principales en el estudio son significativos a la variable respuesta (%Recuperación de Au) y los efectos de interacción son estadísticamente nulos, como se muestra en el grafico 7.

Gráfico 7. Normalidad de efectos estandarizados



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Análisis de T-Student

Término	Coef	Coef.	Valor T	Valor p
Concentración Goldmax	25,178	0,273	92,29	0,000
Densidad de Pulpa	-2,550	0,273	-9,35	0,011
Tiempo	2,008	0,273	7,36	0,018
Concentración Goldmax*Densidad de Pulpa	-0,772	0,273	-2,83	0,105
Concentración Goldmax*Tiempo	-0,640	0,273	-2,35	0,144
Densidad de Pulpa*Tiempo	-0,022	0,273	-0,08	0,942
Concentración Goldmax*Densidad de Pulpa*Tiempo	-0,215	0,273	-0,79	0,513
Pt Ctral	2,018	0,522	3,86	0,061

Fuente: Elaboración propia

El valor de T en tabla 10, muestra la significancia de importancia de forma positiva de la concentración de GoldMax en la respuesta, mientras que la densidad de pulpa posee una significancia en contra ante la respuesta.

3.2.3 Formulación del Modelo Matemático

Identificado la magnitud de los efectos principales e interacciones que forman parte del diseño experimental, verificando su significancia estadística mediante la prueba de análisis de varianza, y contrastando la ausencia de curvatura con el test de puntos centrales, se afirma que el modelo de regresión es lineal. Para establecer la mejor aproximación de la función matemática con respecto a la variable respuesta y esclarecer la significación de la fuente de variación se suprimen los efectos no significativos para el análisis de varianza ⁴⁹.

Tabla 11 Análisis de varianza de factores principales

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Concentración GoldMax	1	5071,25	5071,25	1918,48	0,000
Densidad de Pulpa	1	52,02	52,02	19,68	0,003
Tiempo	1	32,24	32,24	12,20	0,010
Error	7	18,50	2,64	-	-
Total	10	5174,02	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

La tabla 10 es definida como el mejor ANOVA debido a que se enlistan solo efectos significativos, nótese que el error en dicha tabla es mayor que del anterior análisis de varianza (Tabla 9), por el hecho que los efectos no significativos fueron incorporados al valor del error.

Estableciendo los términos en base a la ecuación (7):

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X1 + b_2 X2 - b_3 X3 \quad (20)$$

Donde;

X1: Concentración de GoldMax

X2: Tiempo de lixiviación

X3: Densidad de pulpa

\hat{Y} : % Recuperación de Au (estimada)

b_0 : Término independiente del modelo (corresponde a la media)

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes; Son la mitad de los efectos calculados

La expresión matemática que se obtiene asociada a la tabla 9 es:

$$\hat{Y} = 45,7 + 0,12589 X1 + 0,3346 X2 - 51,0 X3 \quad (21)$$

3.2.4 Análisis de residuos

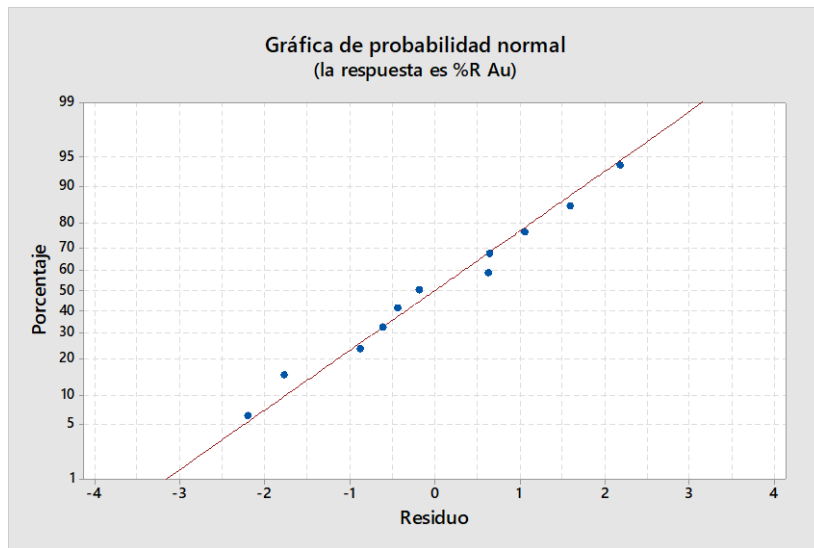
Según la ecuación (12) se pueden estimar los residuos.

Tabla 12 Estimación de residuos

<i>Y</i>	\hat{Y}	Residuo
24,000	25,770	-1,770
76,750	76,125	0,625
20,060	20,670	-0,610
70,580	71,025	-0,445
28,910	29,785	-0,875
79,960	80,140	-0,180
25,740	24,685	1,055
72,840	75,040	-2,200
51,990	50,405	1,585
52,580	50,405	2,175
51,050	50,405	0,645

Fuente: Elaboración propia

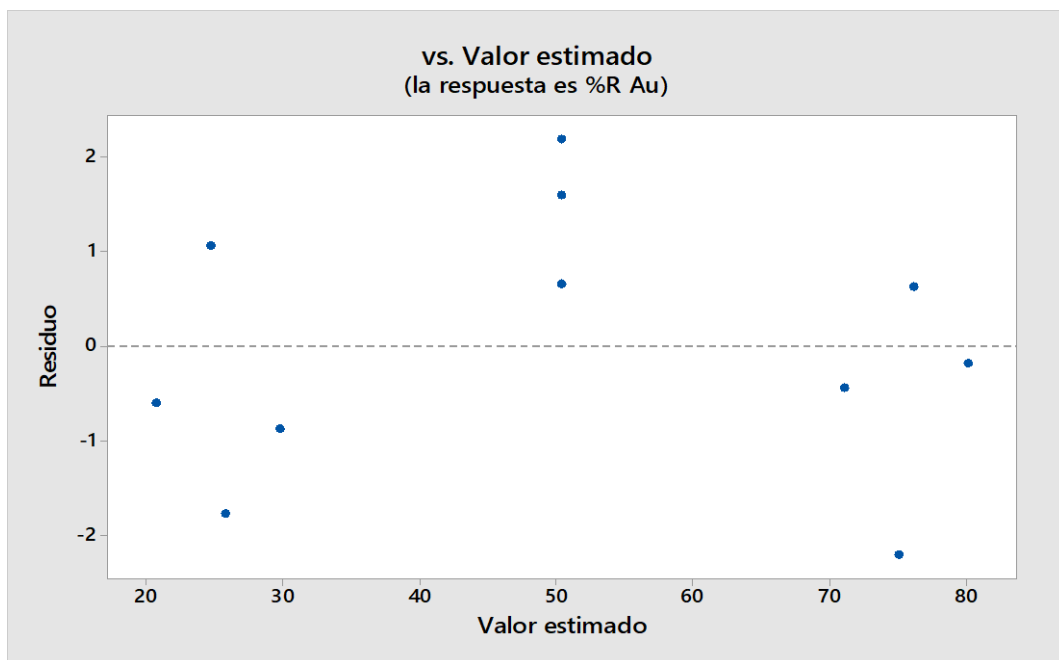
Gráfico 8 Grafico normal de residuos



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 8 se observa que los puntos de residuos están aproximadamente alineados a la recta, sin aparición de datos atípicos, por lo cual se verifica el comportamiento de distribución normal.

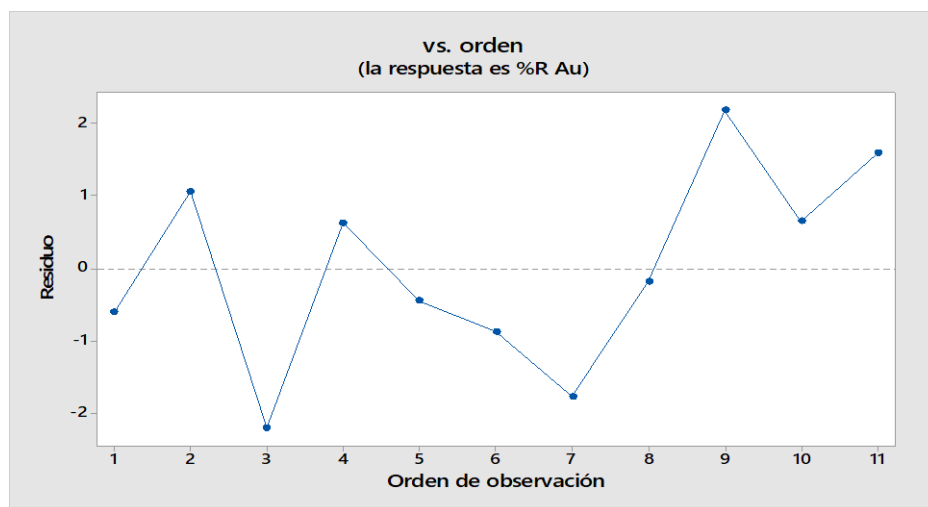
Gráfico 9 Residuos vs Valor estimado



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de residuos contra valores estimados por el modelo lineal, se evidencia gráficamente que la distribución de los puntos estos dispersados de forma aleatoria, sin presencia de algún patrón característico que manifieste relación entre el error predictorio del modelo y los valores estimados.

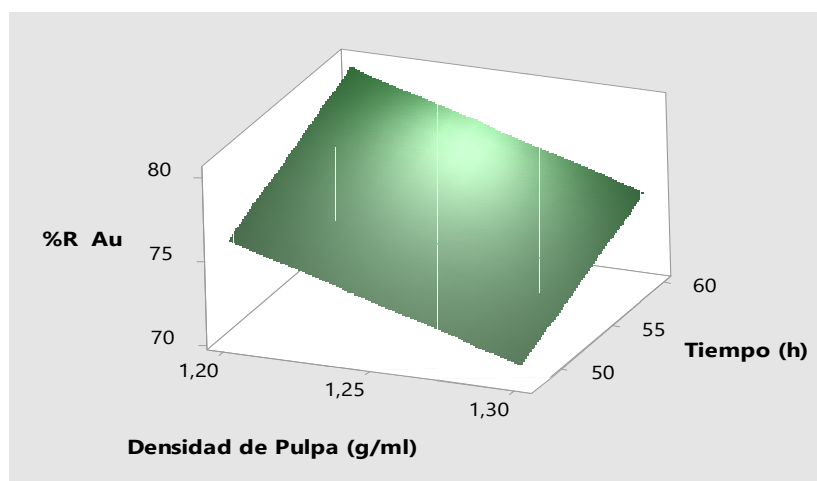
Gráfico 10 Residuos vs orden observación



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 10 se observa aleatoriedad en el residuo, de acuerdo al orden de corrida de los experimentos, la línea de conexión entre los puntos no forma patrones o secuencias. Mediante el análisis de residuos por técnicas graficas se evidencia que los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia se cumplen para el modelo de regresión lineal establecido.

Gráfico 11 Superficie del modelo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Combinación de los niveles de los factores

Factor	Nombre	Bajo	Alto	Óptimo
X1	Concentración de GoldMax (ppm)	200	600	600
X2	Densidad de Pulpa (g/ml)	1,2	1,3	1,2
X3	Tiempo(h)	48	60	60

Fuente: Elaboración propia

3.3 Comparación del porcentaje de Recuperación de GoldMax y Cianuro

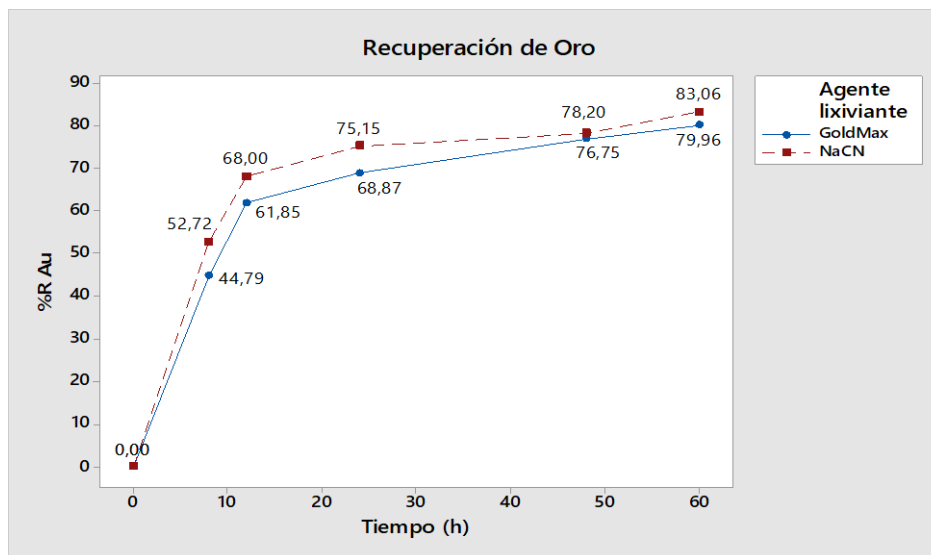
Se ensayó una prueba metalúrgica de recuperación de Au con NaCN, en base al mejor resultado obtenido con GoldMax con sus combinaciones de variables y parámetros respectivos.

Tabla 14 Comparación de porcentaje de recuperación de GoldMax y Cianuro

Tiempo (h)	Recuperación de Au (%)	
	GoldMax	NaCN
8	44,79	52,72
12	61,85	67,99
24	68,87	75,15
48	76,75	78,20
60	79,96	83,06
Consumo de CaO (g/kg mineral)	3,50	5,40
Consumo Lixivante (g/kg mineral)	10,80	16,35

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12 Comparación de porcentaje de recuperación de GoldMax y Cianuro



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de recuperación máximo en solución concentrada cuando se emplea NaCN a 1.2 g/ml de densidad de pulpa y 600 ppm es 83,06% para 60 horas de agitación, con un

consumo de agente álcalis de 16,35 g/kg de mineral, obteniendo un resultado mayor que en la recuperación de oro al lixiviar con GoldMax, pero con mayor gasto de insumos

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

- La incidencia de la concentración del GoldMax en la recuperación de Au, mediante técnicas estadísticas se determina que el efecto es 50,355, cuando se pasa de nivel inferior (200 ppm) al nivel superior (600 ppm), la densidad de pulpa afecta negativamente al % de R de Au en 5,10 al descender en sus niveles y el tiempo de agitación genera un efecto positivo de 4.015 .
- La medición y control del nivel de pH y concentración de lixivante, se realizó cada media hora, lo cual favoreció a mantener los parámetros constantes disminuyendo la variación de los efectos por degradación de reactivo y aglomeración de partículas del mineral.
- La combinación óptima de los factores y sus niveles para obtener un % de recuperación máximo de oro es; 600ppm de GoldMax, 1,2 g/ml de densidad de pulpa y 60 horas de tiempo de agitación.
- En las pruebas de lixiviación comparativa de reactivos, se determina que el agente lixivante GoldMax presenta valores de recuperación de oro similares al NaCN, pero con menor gasto de CaO y reposición del reactivo, lo cual permite al GoldMax ser una alternativa viable en la lixiviación alcalina por agitación para la recuperación de oro.

RECOMENDACIONES

- Realizar la prueba metalúrgica y análisis estadístico con un tamaño de partícula < 150 μm , favoreciendo la reducción del tiempo de agitación.
- El efecto de curvatura puede ser comprobado de forma precisa con un diseño factorial 2^3 con réplicas central y diseño estrella, permitiendo estimar un modelo de regresión con términos cuadráticos.
- El estudio factorial de la lixiviación de oro con GoldMax debe evaluarse el efecto de los factores con una escala más extendida, con valores menores de densidad de pulpa (<1.2 g/ml) y mayores concentraciones del agente lixivante (> 600 ppm).
- Es importante para el control de la alcalinidad de pulpa, que el volumen de la muestra sea aproximadamente idéntico en cada toma.
- Almacenar las soluciones enriquecida de oro en lugares fuera del alcance de la luz y a bajas temperaturas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Chuquilin, J.; Rengifo, E. Influencia Del Cianuro de Sodio, Goldmax y Sandioss En La Recuperación de Oro Por Lixiviación de Un Mineral Oxidado de Sayapullo, La Libertad, Universidad privada del norte, 2014.
- (2) Colón Patricio, Klein Bern, G. F. F. G. *Community Engagement for the Transformation of Artisanal and Small-Scale Mining and Social Learning.*; Vancouver, 2019.
- (3) Rodríguez, J. D.; Brioso, C. B.; Boski, T. Mine Wastes Characterisation and Experimental Design of a Controlled Tailing Storage in the Zaruma-Portovelo Mining District (SE Ecuador). *Geogaceta* **2018**, *64* (0213-683x), 135–138.
- (4) Han, J.; Li, X.; Dai, S. Electrochemical Influence of Quartz on Cyanide Leaching of Gold. *Chem. Phys. Lett.* **2020**, *739*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136997>.
- (5) Wills, B. A.; Finch, J. A. Industrial Screening. In *Wills' Mineral Processing Technology*; Elsevier: Amsterdam, 2016; pp 181–197. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-097053-0.00008-x>.
- (6) Blanco, A. Clasificación, Cribado. In *Apuntes de mineralurgia y tecnología mineralúrgica*; Universidad de Cantabria: Santander, 2016; pp 220–270.
- (7) Gupta, A.; Yan, D. Screening. In *Mineral Processing Design and Operations - 2nd Edition*; Elsevier: Amsterdam, 2016; pp 357–419. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-308-9.00012-4>.
- (8) Ingeniería, U. A. D. E.; Industria, Y. Biodegradación Del Cianuro En Aguas Residuales Mineras, Estudio de Caso Planta Polecua, de La Mina Barraco Colorado Del Cantón Camilo Ponce Enríquez, 2018.
- (9) Khalid, M.; Larachi, F.; Adnot, A. Cyanidation of Gold Associated with Silver Minerals in Sulfide Mineral Matrices. *Chem. Eng. Technol.* **2018**, *41* (7), 1282–1293. <https://doi.org/10.1002/ceat.201700613>.
- (10) Birich, A.; Stopic, S.; Friedrich, B. Kinetic Investigation and Dissolution Behavior of Cyanide Alternative Gold Leaching Reagents. *Sci. Rep.* **2019**, *9* (1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43383-4>.
- (11) Akcil, A.; Erust, C.; Gahan, C. S. ekha.; Ozgun, M.; Sahin, M.; Tuncuk, A. Precious Metal Recovery from Waste Printed Circuit Boards Using Cyanide and Non-Cyanide Lixiviants-A Review. *Waste Manag.* **2015**, *45*, 258–271.

- <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.017>.
- (12) Esquivel, L.; Ilich, M. Estudio de Investigación Para La Adsorción Usando Resina de Intercambio Iónico En La Planta Del Consorcio Minero Horizonte S.A, Universidad Nacional de San Agustín, 2015.
- (13) Liu, X.; Xu, B.; Yang, Y.; Li, Q.; Jiang, T.; Zhang, X.; Zhang, Y. Effect of Galena on Thiosulfate Leaching of Gold. *Hydrometallurgy* **2017**, *171*, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2017.05.011>.
- (14) Arapa Pari, M. G. Lixiviación Ecológica de Minerales Auríferos a Partir Del Reactivo GoldMax Para La Pequeña Minería., Universidad Nacional de San Agustín, 2019.
- (15) Mohammadi, E.; Pourabdoli, M.; Ghobeiti-Hasab, M.; Heidarpour, A. Ammoniacal Thiosulfate Leaching of Refractory Oxide Gold Ore. *Int. J. Miner. Process.* **2017**, *164*, 6–10. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2017.05.003>.
- (16) Sitando, O.; Dai, X.; Senanayake, G.; Nikoloski, A. N.; Breuer, P. A Fundamental Study of Gold Leaching in a Thiosulfate-Oxygen-Copper System in the Presence of Activated Carbon. *Hydrometallurgy* **2019**, 105232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.105232>.
- (17) Carrillo, M.; Delgado, J.; Córdoba, E. Lixiviación Con Tiourea de Dos Minerales Auroargentíferos Santandereanos. *Rev. Colomb. Mater.* **2014**, 319–324.
- (18) Santamaría Roncancio, J. I.; Torres Gómez, R. D. J.; Parra Pinilla, M.; Ortiz Otálora, C. A. Comparación de Cianuro y Tiourea Como Agentes Lixiviantes de Un Mineral Aurífero Colombiano. *Rev. Fac. Ing.* **2013**, *22* (34), 97. <https://doi.org/10.19053/01211129.2222.3ECCV3R>
- (19) Guo, Y.; Guo, X.; Wu, H.; Li, S.; Wang, G.; Liu, X.; Qiu, G.; Wang, D. A Novel Bio-Oxidation and Two-Step Thiourea Leaching Method Applied to a Refractory Gold Concentrate. *Hydrometallurgy* **2017**, *171* (October 2016), 213–221. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2017.05.023>.
- (20) Olyaei, Y.; Noparast, M.; Tonkaboni, S. Z. S.; Haghi, H.; Amini, A. Response of Low-Grade Gold Ore to Cyanidation and Thiourea Leaching. *Part. Sci. Technol.* **2019**, *37* (1), 86–93. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/02726351.2017.1343881>.
- (21) Ali, S.; Ullah, S.; Haris, M.; Iqbal, Y. Extraction of Gold from Boulangrite Ore by

- Ammonium Thiocyanate (NH₄ SCN). *Pakistan J. Sci. Ind. Res. Ser. A Phys. Sci.* **2018**, 61 (3), 145–148.
- (22) Ma, C. J.; Li, J. Y.; Liu, R. J. A Review of Thiocyanate Hydrometallurgy for the Recovery of Gold. *Appl. Mech. Mater.* **2015**, 768, 53–61.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.768.53>.
- (23) Ahtiainen, R.; Lundström, M. Cyanide-Free Gold Leaching in Exceptionally Mild Chloride Solutions. *J. Clean. Prod.* **2019**, 234, 9–17.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.197>.
- (24) Ahtiainen, R.; Lundström, M.; Liipo, J. Preg-Robbing Verification and Prevention in Gold Chloride-Bromide Leaching. *Miner. Eng.* **2018**, 128 (August), 153–159.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.08.037>.
- (25) Seisko, S.; Lampinen, M.; Aromaa, J.; Laari, A.; Koironen, T.; Lundström, M. Kinetics and Mechanisms of Gold Dissolution by Ferric Chloride Leaching. *Miner. Eng.* **2018**, 115 (August 2017), 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.10.017>.
- (26) Royal Chemical. *Ficha Técnica*; Lima, 2016.
- (27) Mendo Escalante, D. Efecto de La Concentración de Cianuro y La Granulometría de Un Mineral Oxidado, En La Recuperación de Oro Mediante Lixiviación Por Agitación, Universidad privada del norte, 2014.
- (28) Huaco, M. Evaluación Del Porcentaje de Disolución de Oro En La Lixiviación Con Sandioss Mediante Diseños Experimentales, Universidad Nacional de San Agustín, 2017.
- (29) Padierna León, J. C.; Zegarra Esquivel, Y. A. Recuperación de Oro Utilizando “Sandioss” Como Alternativa Al “Cianuro de Sodio” En La Lixiviación Alcalina Por Agitación de Minerales Tipo Óxido, Sulfuro y Carbonáceo, Universidad Nacional de Trujillo, 2016.
- (30) Lovera Dávila, D.; Peralta Diaz, B.; Chang Franco, E.; Arias, V. Lixiviación de Platade Minerales Sulfurados Argentíferos Del Complejo Marañón Empleando El Reactivo SANDIOSS. *Rev. Investig. Ciencia, Tecnol. y Desarro.* **2018**, 4 (1), 42–54.
<https://doi.org/10.17162/rictd.v4i1.1071>.
- (31) Acar, S. Process Development Metallurgical Studies for Gold Cyanidation Process. *Miner. Metall. Process.* **2016**, 33 (4), 161–171. <https://doi.org/10.19150/mmp.6837>.

- (32) Lee, H.; Molstad, E.; Mishra, B. Recovery of Gold and Silver from Secondary Sources of Electronic Waste Processing by Thiourea Leaching. *Miner. Met. Mater. Soc.* **2018**, *70* (8), 1616–1621. <https://doi.org/10.1007/s11837-018-2965-2>.
- (33) Tokkan, D.; Dönmez, B.; Ata, O. N. The Leaching Kinetics of Gold from Gold Scraps in Cl₂-Saturated HCl Solutions. *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.* **2019**, *25* (7), 893–898. <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.39259>.
- (34) Ruiz-córdoba, J. A.; Carmona-arango, M. E. Modelamiento Estadístico y Optimización Del Proceso de Cianuración de Un Mineral Aurífero. *Fac. Ing.* **2019**, *28* (53), 33–51. <https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n53.2019.9745>.
- (35) Lobanov, V. G.; Timofeev, E. I. Development and Introduction of Contemporary Technology of Gold Cyanide Leaching From Gravitational Concentrates. *Metallurgist* **2017**, *61* (5–6), 491–497. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0522-9>.
- (36) Egan, J.; Bazin, C.; Hodouin, D. Effect of Particle Size and Grinding Time on Gold Dissolution in Cyanide Solution. *Minerals* **2016**, *6* (3). <https://doi.org/10.3390/min6030068>.
- (37) Wadnerkar, D.; Tade, M. O.; Pareek, V. K.; Utikar, R. P. Modeling and Optimization of Carbon in Leach (CIL) Circuit for Gold Recovery. *Miner. Eng.* **2015**, *83*, 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.09.001>.
- (38) Birol, O.; Uçurum, M. Investigation of the Cyanide Leaching Optimization for Ultrafine Grinding Gold–Silver Ore. *Part. Sci. Technol.* **2016**, *34* (5), 633–638. <https://doi.org/10.1080/02726351.2015.1116476>.
- (39) Ilyas, S.; Lee, J. *Gold Metallurgy and the Environment*, 1er ed.; Taylor & Francis Group: New York, 2018.
- (40) Kim, R.; Ghahreman, A. Hydrometallurgy The Effect of Ore Mineralogy on the Electrochemical Gold Dissolution Behavior in Various Cyanide and Oxygen Concentrations ; Effect of Sulfidic Ores Containing Heavy Metals. *Hydrometallurgy* **2019**, *184* (November 2018), 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.12.022>.
- (41) Conza Peñafiel, F. E. Estudio de Investigación Para Recuperar Oro y Plata Con Cianuro y Gold Max de Los Relaves de Flotación, Universidad Nacional de San Agustín, 2014.
- (42) Villegas Quispe, A. Optim Ata Akcil ización Del Tratamiento de Minerales Auríferos

Por El Método de Carbón En Pulpa (Cip) En La Planta de Beneficio Doble “d” Minera Colibrí, Universidad Nacional de San Agustín, 2014.

- (43) Briceño Lira, A. J. Importancia Del PH En La Recuperación de Oro y Plata En Los Procesos de Cianuración. **2019**, 0 (0), 1–116.
- (44) López Rosello, A. Efecto de La Densidad de Pulpa y de La Concentración de Cianuro de Sodio En La Lixiviación Por Agitación Para La Recuperación de Oro En La Planta de Beneficio Doble d – Arequipa, Universidad Nacional del Altiplano, 2014.
- (45) Azizi, A.; Ghaedrahmati, R. Optimizing and Evaluating the Operational Factors Affecting the Cyanide Leaching Circuit of the Aghdareh Gold Processing Plant Using a CCD Model. *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* **2015**, 471 (2184).
<https://doi.org/10.1098/rspa.2015.0681>.
- (46) Raphulu, M. C.; Scurrall, M. S. Cyanide Leaching of Gold Catalysts. *Catal. Commun.* **2015**, 67, 87–89. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2015.04.011>.
- (47) Heriberto, A. E.; Antonio, V. J.; Javier, R. A.; Russell, P. Estudio Comparativo Entre Los Enfoques de Diseño Experimental Robusto de Taguchi y Tradicional En Presencia de Interacciones de Control Por Control Comparative Study Between the Two Experimental Design Approaches Taguchi and Traditional in Presence of Con. *Ing. Investig. y Tecnol.* **2015**, 16 (1), 131–142.
- (48) Millones, R.; Barrero, E.; Vásquez, F.; Castillo, C. *Estadística Aplicada a La Ingeniería y Los Negocios*; 2016.
- (49) Gutiérrez, H.; De la Vara, R. *Análisis y Diseño de Experimentos*, 3ra ed.; Ciudad de México, 2012.
- (50) Montgomery, D.; Runger, G. *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 6ta ed.; John Wiley and Sons, Ed.; Atlanta, 2014.
- (51) Jiju, A. Fundamentals of Design of Experiments. In *Design of Experiments for Engineers and Scientists*; Elsevier: London, 2014; pp 7–17.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099417-8.00002-X>.
- (52) Chock, J.; Mary, W.; Bird, F. Chapter 5 - Measurement, Experimental Design, Methodology. In *Functional Analysis A Practitioner's Guide to Implementation and Training Critical Specialties-Treating Autism&Behavioral Challenge*; Elsevier: London, 2020; pp 55–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817212-4.00005-5>.

- (53) Montgomery, D.; Hubele, N. *Engineering Statistics*, 5th ed.; John Wiley & Sons: Arizona, 2011.
- (54) Müller, A.; De Oliveira, J.; Prestes, O.; Adaime, M. B.; Zanella, R. Design of Experiments and Method Development. In *Solid-Phase Extraction*; Poole, C. F., Ed.; Elsevier: Amsterdam, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816906-3.00022-4>.
- (55) Montgomery, D. C. *Design and Analysis of Experiments*, 8th ed.; John Wiley & Sons: Arizona, 2013.
- (56) Molugaram, K.; Rao, G. S. ANOVA (Analysis of Variance). In *Statistical Techniques for Transportation Engineering*; Elsevier: Cambridge, 2017; pp 451–462. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811555-8.00011-8>.
- (57) Smalheiser, N. ANOVA. In *Data Literacy: How to Make your Experiments Robust and Reproducible*; Elsevier: San Diego, 2017; Vol. 1, pp 149–155. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811306-6.00011-7>.

CAPÍTULO V

ANEXOS

ANEXO A Análisis de Ley del mineral




Lugar:	Zaruma, sector El Pache a 150 metros de la Gasolinera "Pioneros TAC" en la vía Pache - Portovelo	
Fecha:	Viernes, 18 de Octubre de 2019	No. Inf.
Solicitado Por:	Byron Vivanco; Jessica Merizalde	1605

INFORME METALÚRGICO – LAB - METALOR

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Au (Total) Gr/TM
MUESTRA # 01 Arena	7,13




Ing. Oscar Reyes PgDip. MEng.
LABORATORISTA

DIPLOMA SUP. 1011-12-743464
ING. QUÍMICO 1011-10-979261
LAB-METALOR

Los Remanentes o Testigos se guardaran por un periodo máximo de quince (15) días, plazo en el cual los dueños pueden solicitarlos. LAB-METALOR

ANEXO B Tabla de los valores críticos de la distribución F

Distribución 0.05



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.6	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	246.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.89	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.06	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35

ANEXO C Fotografías

Ilustración 1 Preparación de muestra: Secado



Ilustración 2 Preparación de muestra: Tamizado



Ilustración 3 Reactivo lixivante GoldMax

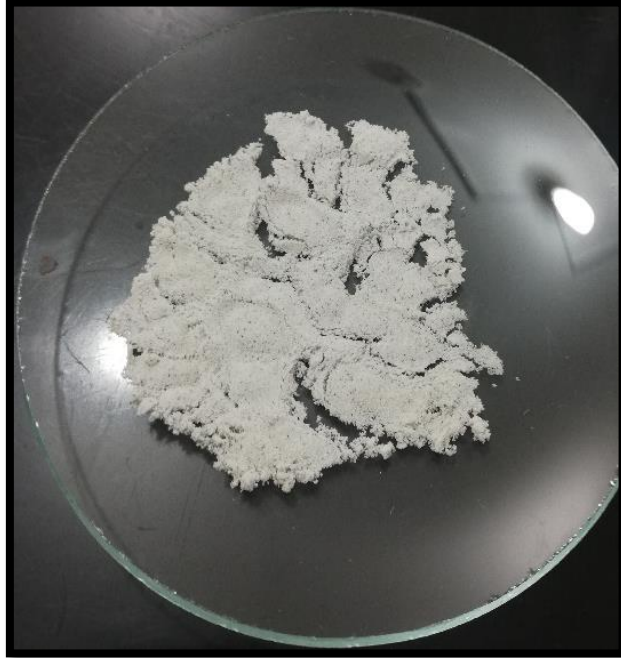


Ilustración 4 Trituración de GoldMax



Ilustración 5 Lixiviación por agitación



Ilustración 6 Cuantificación volumétrica del agente lixiviante



Ilustración 7 Medición de pH



Ilustración 8 Filtración de muestras finales



Ilustración 9 Lixiviación por agitación para la recuperación de oro



Ilustración 10 Lixiviación alcalina por agitación

