

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



TESIS

**LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN CON REACTIVO SANDIOSS PARA LA
EXTRACCIÓN DE ORO DE LA MINA HATUN K'ASA SECTOR CCALANI
COMUNIDAD GUANACO DISTRITO DE LIVITACA - CHUMBIVILCAS – CUSCO**
(Investigación tecnológica)

PRESENTADO POR:

Br. HECTOR RAUL TAIPE MAYHUA

Br. IVONM SOFIA CHALLCO SOLIS

PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL

DE INGENIERO METALÚRGICO

ASESOR:

Ing. PORFIRIO CARRASCO TAPIA

CUSCO – PERU

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Lixiviación por agitación con reactivo sandiox para la extracción de oro de la mina Hatun K'asa sector Scalani comunidad Guanaco Distrito de Livitaca - Chumbivilcas - Cusco (Investigación Tecnológica)

Presentado por: Bach. Hector Raul Taipei Mayhua DNI N° 46051683

presentado por: Bach. Ivonne Sofia Chalco Solis DNI N°: 76084765

Para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Metalúrgico

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 23 de Abril de 2025


Firma
Post firma Fortino Conasco Tapia

Nro. de DNI 24002881

ORCID del Asesor 0000-0002-4360-9866

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:447883979

HECTOR R. TAIPE M y IVONMS S.

Lixiviación por agitación con reactivo Sandios, para la extracción de oro.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:447883979

Fecha de entrega

10 abr 2025, 7:46 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

10 abr 2025, 7:50 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Lixiviación por agitación con reactivo Sandios, para la extracción de oro.pdf

Tamaño de archivo

3.5 MB

162 Páginas

27.776 Palabras

156.593 Caracteres

8% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 12 words)

Top Sources

- 7%  Internet sources
- 1%  Publications
- 5%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

PRESENTACIÓN

Señor decano de la Facultad de Ingeniería Geológica de Minas y Metalúrgica, Señores catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica:

Siguiendo los requerimientos que van acorde con la ley de grados y títulos para Optar el título Profesional de Ingeniero e Ingeniera Metalúrgico de nuestra alma mater la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, hacemos de su conocimiento y ponemos a su consideración el siguiente trabajo de investigación:

LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN CON REACTIVO SANDIOSS PARA LA EXTRACCIÓN DE ORO DE LA MINA HATUN K'ASA SECTOR CCALANI COMUNIDAD GUANACO DISTRITO DE LIVITACA - CHUMBIVILCAS - CUSCO

Este trabajo de investigación, aplica todos los conocimientos sobre la metalurgia extractiva para minerales auríferos provenientes de la geomorfología de nuestra región del Cusco, con esta investigación esperamos cumplir con las expectativas académicas para contribuir con el desarrollo académico de nuestra Facultad y Escuela Profesional.

DEDICATORIA I

A Dios por ser el creador de mis días y permitirme vivirlos estando con él y siendo mi fuerza principal en el sendero de esta vida.

A mi papá, Raul, y a mi mami, Paula, quienes son los principales pilares de mi vida, vuestro amor lo es todo para mí, y ante ello solo me queda decirles gracias.

A mi hermana Yanet y a mi sobrino Joaquín Manuel y a toda mi familia por ser mi ayuda, compañía y apoyo en esta etapa de mi vida.

A mis amigos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, gracias por su amistad, su compañía y los recuerdos que atesoraré en mi mente y corazón.

Bach. Hector Raul Taipe Mayhua

DEDICATORIA II

Quiero dedicar esta tesis a Dios, quien ha sido mi principal inspiración y fuerza motriz para llegar a concluir lo anhelado, además de brindarme la salud necesaria para alcanzar mis metas.

Agradezco profundamente a mi padre, Modesto Challco Alegre, por darme la vida, la educación, el apoyo constante, los consejos sabios, y a mi madre, Pilar Solis Fuentes, que desde el cielo me protege y guía por el mejor camino. A mis hermanos, Rocio, Milagros y Roy, quienes han actuado de manera correcta en el ejemplo y han estado cuando más lo necesitaba, confiando en mí y creyendo en mi capacidad.

También quiero expresar mi gratitud a mis compañeros de estudio, docentes, nuestro asesor, amigos y a todas las personas que nos brindaron su ayuda y tiempo durante el proceso de elaboración de esta tesis.

Finalmente, un agradecimiento especial a la persona que me acompaña en este largo camino llamado vida, Jonathan, quien junto a su familia ha sido un pilar fundamental en este proceso, brindándome su amor, apoyo y motivación constante para seguir adelante sin rendirme.

Bach. Ivonn Sofia Challco Solis

INDICE GENERAL

PRESENTACIÓN.....	II
DEDICATORIA I.....	III
DEDICATORIA II	IV
INDICE GENERAL	V
LISTA DE FIGURAS	XVI
LISTA DE TABLAS	XVIII
APÉNDICES.....	XX
ANEXOS	XXI
SIMBOLOGIA	XXII
RESUMEN	XXIII
ABSTRACT.....	XXIV
INTRODUCCIÓN	XXV

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Situación problemática.....	1
1.1.1. Problema general de investigación.	2
1.1.1.1. Problemas específicos.....	2
1.2. Objetivos de la investigación.	2

1.2.1.	Objetivo general.....	2
1.2.2.	Objetivos específicos.	3
1.3.	Justificación de la investigación.....	3
1.3.1.	Justificación social.	3
1.3.2.	Justificación económica.	3
1.3.3.	Justificación tecnológica.	4
1.3.4.	Justificación ambiental.....	4
1.4.	Limitación del estudio.....	5
CAPÍTULO II		
MARCO TEÓRICO.....		6
2.1.	Antecedentes de la investigación.	6
2.1.1.	Antecedente internacional.....	6
2.1.2.	Antecedentes nacionales.	6
2.1.3.	Antecedentes locales.....	7
2.2.	Metalurgia del oro.	8
2.2.1.	Lixiviación.	10
2.2.2.	Tipos de lixiviación.....	10
2.2.2.1.	Lixiviación in situ.....	10
2.2.2.2.	Lixiviación en pilas o montones (Heap leaching).	12
2.2.2.3.	Lixiviación en bateas (Vat leaching).	14

2.2.2.4.	Lixiviación por agitación.....	15
2.2.3.	Cianuración.....	17
2.2.4.	Fundamentos de la cianuración.....	17
2.2.4.1.	Disolución de oro.....	18
2.2.4.2.	Tamaño de partícula.....	19
2.2.4.3.	Concentración del cianuro.....	19
2.2.4.4.	Concentración del oxígeno.....	20
2.2.4.2.	Alcalinidad de la solución.....	21
2.2.4.3.	pH en la cianuración.....	22
2.3.	Termodinámica de la cianuración	23
2.4.	Cinética de cianuración.....	25
2.5.	Lixiviación con Reactivo Sandioss	26
2.5.1.	Principales características y aplicaciones para la lixiviación con Sandioss.	26
2.5.1.1.	Campo que abarca el reactivo sandioss.....	26
2.5.1.2.	Composición química del reactivo sandioss.....	27
2.5.1.3.	Forma en la que se presenta el reactivo sandioss.....	27
2.5.1.4.	Forma de aplicabilidad del reactivo sandioss.....	27
2.5.1.5.	Alta eficiencia de lixiviación.....	27
2.5.1.6.	pH requerido	27
2.5.1.7.	Alcalinización.....	27

2.5.1.8.	Concentración del reactivo sandioss.....	27
2.5.1.9.	Tiempo de lixiviación.	28
2.5.1.10.	Inocuidad al medio ambiente.....	28
2.5.1.11.	Rendimiento del reactivo sandioss.	28
2.5.1.12.	Versatilidad en su aplicación.	28
2.5.1.13.	Estabilidad en el rendimiento.	28
2.5.2.	Mecanismo de la lixiviación con Sandioss.	30
2.5.3.	Reacciones en la lixiviación con sandioss.	30
2.5.3.1.	Reacciones químicas con amonio.....	30
2.5.3.2.	Reacciones químicas del ferrocianuro de sodio en la lixiviación del oro.	31
2.6.	Diseño experimental.....	31
2.6.1.	Principios básicos.....	31
2.6.1.1.	Realización de replicas.	31
2.6.1.2.	La aleatorización.....	32
2.6.1.3.	Formación de bloques.....	32
2.7.	Pautas generales para diseñar experimentos	32
2.7.1.	Identificación y exposición del problema.	32
2.7.2.	Elección de los factores, los niveles y los rangos.	33
2.7.3.	Elección del diseño experimental.	33
2.7.4.	Realización del experimento.....	33

2.7.5.	Análisis estadístico de los datos.....	33
2.7.6.	Conclusiones y recomendaciones.	34
2.8.	Diseño factorial.	34
2.8.1.	Diseño factorial 2^k	34
2.8.1.1.	Factorial 2^k con punto central.....	34
2.8.1.2.	Diseño factorial 2^3	35
2.9.	Efecto principal y efecto de interacción.....	36
2.9.1.	Efecto principal.....	36
2.9.2.	Efecto de interacción.....	36
2.10.	Hipótesis de interés.....	36
2.10.1.	Hipótesis nula (H_0).	37
2.10.2.	Hipótesis alternativa (H_i).	37
2.10.3.	Nivel de significancia.....	37
2.11.	Análisis de regresión.	37
2.12.	Análisis de Varianza.	38
2.12.1.	Grafica de efectos.....	39
2.12.2.	Diagrama de Pareto.	40
2.12.3.	Grafica de contornos.	40

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS.....	41
----------------	----

3.1.	Hipótesis general.	41
3.2.	Hipótesis específicas.	41
3.3.	Variables e indicadores.	41
3.3.1.	Variable dependiente.	41
3.3.2.	Variable independiente.	41
3.3.3.	Variables intervinientes.	42
3.4.	Indicadores.	42

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA	44
4.1. Ámbito del objeto de Estudio: Localización Política y Geográfica	44
4.2. Mineralogía.	47
4.3. Tipos y niveles de Investigación	47
4.3.1. Investigación experimental.	47
4.3.2. Investigación tecnológica.....	47
4.3.3. Nivel descriptivo.....	48
4.3.4. Nivel explicativo.....	48

CAPÍTULO V

INGENIERIA DE LA INVESTIGACIÓN	49
5.3. Unidad de análisis.	49
5.4. Población.....	49

5.5.	Muestra.....	49
5.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	49
5.6.1.	Técnicas	49
5.6.2.	Instrumentos.....	50
5.7.	Materiales, equipos, reactivos y herramientas usadas.....	50
5.7.1.	Materiales.....	50
5.7.2.	Instrumental de laboratorio	51
5.7.3.	Equipos	52
5.7.4.	Reactivos.....	52
5.7.5.	EPPS.	52
5.7.6.	Softwares.....	52
5.8.	Preparación mecánica del mineral.....	53
5.8.1.	Chancado.....	53
5.8.2.	Molienda.	53
5.9.	Parámetros de operación.	58
5.10.	Cálculos operativos para el proceso de lixiviación.	58
5.10.1.	Cálculos para el mineral molido y del volumen de agua.	58
5.10.1.1.	Determinación del volumen de reactor.....	58
5.10.1.2.	Determinación de la gravedad específica.	59
5.10.1.3.	Preparación de la pulpa.....	60

5.10.2.	Preparación de reactivos.....	61
5.10.2.1.	Preparación de Cal.....	61
5.10.2.2.	Preparación de reactivo sandioss.....	62
5.11.	Proceso de lixiviación.....	63
5.11.1.	Acondicionamiento del mineral.....	63
5.11.2.	Acondicionamiento de reactores.....	64
5.11.3.	Agitación de los reactores.....	65
5.12.	Parámetros de control de lixiviación.....	67
5.12.1.	Medición del pH de solución lixivante.....	67
5.12.2.	Análisis volumétrico de la solución PLS.....	68

CAPÍTULO VI

RESULTADOS EXPERIMENTALES	72
6.1. Primer reporte: Ley de cabeza.....	72
6.2. Segundo reporte: Determinación por vía húmeda.....	72
6.3. Balance metalúrgico.....	73
6.3.1. Prueba 1.....	73
6.3.2. Prueba 2.....	74
6.3.3. Prueba 3.....	74
6.3.4. Prueba 4.....	74
6.3.5. Prueba 5.....	75

6.3.6.	Prueba 6.	75
6.3.7.	Prueba 7.	76
6.3.8.	Prueba 8.	76
6.3.9.	Prueba 9.	76
6.3.10.	Prueba 10.....	77
6.4.	Tercer reporte: Analisis por via humeda de solucion lixivante sandioss - prueba 8.	83
6.4.1.	Para 2 horas.....	83
6.4.2.	Para 4 horas.....	84
6.4.3.	Para 8 horas.....	84
6.4.4.	Para 16 horas.....	85
6.4.5.	Para 32 horas.....	85
6.5.	Cinética de lixiviación.....	86
6.6.	Diseño experimental mediante análisis factorial.....	88
6.6.1.	Diseño factorial 2^k	88
6.6.1.1.	Variables y niveles	89
6.6.1.2.	Matriz de factorial diseño 2^3	89
6.6.1.3.	Matriz de experimentos 2^3 sin punto central.	91
6.6.1.4.	Análisis de Varianza.	93
6.6.1.5.	Modelo lineal.....	93
6.6.1.6.	Graficas de diseño factorial	96

CAPÍTULO VII

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	99
7.1. Sobre los resultados de los análisis químicos de soluciones lixiviantes.	99
7.1.1. Interpretación de los porcentajes de extracción.	99
7.1.2. Interpretación de la curva cinética de lixiviación	99
7.2. Sobre el diseño experimental (tablas y gráficos).	100
7.2.1. Interpretación de los coeficientes codificados para variables lineales.....	100
7.2.1.1. Efecto de la concentración.....	100
7.2.1.2. Efecto del tiempo.....	100
7.2.1.3. Efecto del porcentaje de sólidos.	100
7.2.2. Interpretación de los coeficientes codificados para 2 términos.	100
7.2.2.1. Efectos de la concentración* tiempo.	100
7.2.2.2. Efecto de la concentración* % de sólidos.	101
7.2.2.3. Efecto del tiempo* % de sólidos.	101
7.2.3. Interpretación de los coeficientes codificados para 3 términos	101
7.2.3.1. Efectos de concentración*tiempo*%solidos.	101
7.2.4. Interpretación del análisis de varianza	102
7.2.4.1. Lineal.	102
7.2.4.2. Interacciones de 2 términos.	103
7.2.4.3. Interacciones de 3 términos.	104

7.2.5.	Interpretación de la gráfica normal estandarizada y del diagrama de Pareto.	105
7.2.5.1.	Grafica normal estandarizada.	105
7.2.5.2.	Diagrama de Pareto.	106
7.2.6.	Interpretación de las gráficas de cubos y de contorno.	106
7.2.6.1.	Grafica de cubos.	106
7.2.6.2.	Grafica de contorno.	107
CONCLUSIONES		109
RECOMENDACIONES.....		110
BIBLIOGRAFIA		111
APÉNDICES.....		116
ANEXOS		130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Etapas básicas de los procesos hidrometalúrgicos	9
Figura 2 Tipos de lixiviación in situ	11
Figura 3 Plataforma reusable	13
Figura 4 Plataforma en expansión	13
Figura 5 Mineral apilado en plataforma permanente	14
Figura 6 Lixiviación en valle	14
Figura 7 Mineral aurífero en batea Vat Leaching	15
Figura 8 Reactores de lixiviación por agitación	16
Figura 9 Efecto de la temperatura sobre la velocidad de disolución del oro en solución.....	21
Figura 10 Diagrama Eh-pH sistema Au-CN-H ₂ O a 25°C, [Au]= 10 ⁻⁴ M, [CN]=10 ⁻³ M	24
Figura 11 Grafica de cinética de cianuración.....	25
Figura 12 Reactivo Sandioss.....	29
Figura 13 Diseño factorial 2 ³ y su representación geométrica	35
Figura 14 Mapa de la Región Cusco.....	44
Figura 15 Mapa de la Provincia de Chumbivilcas	45
Figura 16 Geolocalización de la Mina Hatun K'asa	46
Figura 17 Grafica del proceso de molienda	56
Figura 18 Grafica linealizada del proceso de molienda.....	57
Figura 19 Porcentajes de extracción de Au.....	81
Figura 20 Cinética de lixiviación.....	87
Figura 21 Linealización de la curva cinética	87
Figura 22 Ecuación de regresión	95

Figura 23 Gráfica de efectos principales	96
Figura 24 Gráficas de interacción.....	96
Figura 25 Gráfica normal de efectos.....	97
Figura 26 Diagrama de Pareto	97
Figura 27 Gráfica de cubos.....	98
Figura 28 Gráfica de contorno	98

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de oxígeno según la velocidad de disolución del oro	20
Tabla 2 Componentes reactivos Sandioss	29
Tabla 3 Tabla ANOVA	39
Tabla 4 Operacionalización de variables.....	43
Tabla 5 Tiempos de molienda	55
Tabla 6 Parámetros operacionales de la lixiviación	58
Tabla 7 Balance de pulpa pruebas 1, 2 ,3 y 4:.....	60
Tabla 8 Características de las 10 pruebas de lixiviación.....	66
Tabla 9 Grupos de reactores de lixiviación	67
Tabla 10 Intervalos de tiempo de lixiviación	67
Tabla 11 Control de lixiviación prueba 9	69
Tabla 12 Ley de cabeza mineral de Au	72
Tabla 13 Ley de soluciones lixiviantes sandioss.....	73
Tabla 14 Balance metalúrgico - Prueba 1.....	78
Tabla 15 Balance metalúrgico - Prueba 2.....	78
Tabla 16 Balance metalúrgico - Prueba 3.....	78
Tabla 17 Balance metalúrgico - Prueba 4.....	79
Tabla 18 Balance metalúrgico - Prueba 5.....	79
Tabla 19 Balance metalúrgico - Prueba 6.....	79
Tabla 20 Balance metalúrgico - Prueba 7.....	80
Tabla 21 Balance metalúrgico - Prueba 8.....	80
Tabla 22 Balance metalúrgico - Prueba 9.....	80

Tabla 23 Balance metalúrgico - Prueba 10.....	81
Tabla 24 Porcentajes de extracción	82
Tabla 25 Ley de solución sandioss - Prueba 8	83
Tabla 26 Datos de cinética de lixiviación - Prueba 8	86
Tabla 27 Variables y niveles operacionales.....	89
Tabla 29 Matriz 2^3 sin punto central	90
Tabla 30 Matriz de Variables independientes.....	91
Tabla 32 Análisis de Varianza	94
Tabla 31 Coeficientes codificados	95

APÉNDICES

Apéndice 1	117
Apéndice 2	118
Apéndice 3	119
Apéndice 4	124

ANEXOS

Anexo 1	131
Anexo II	132
Anexo III	133
Anexo IV	134

SIMBOLOGIA

cm: Centímetros

E: Potencial de reducción

E°: Potencial de reducción estándar

g: Gramos

g/l: Gramos por litro

g/t: Gramos por tonelada

h: Hora

J: Joule

kJ: Kilojoule

Kg: Kilogramo

L: Litro

m: Metro

μm: Micrones

ml: Mililitro

pH: Potencial de Hidrógeno

ppm: Partes por millón

V: Voltaje

RESUMEN

Esta investigación se centró en llevar a cabo el proceso de lixiviación por agitación utilizando el reactivo Sandioss. El objetivo principal fue la extracción de oro con una ley de 37.33 gr/tm de la Mina Hatun K'asa, localizada en el Sector Ccalani de la Comunidad Guanaco, en el Distrito de Livitaca, Chumbivilcas, Cusco.

Se llevó a cabo la investigación experimental y tecnológica para realizar la extracción del oro metálico, manipulando la concentración del reactivo, el porcentaje de sólidos y el tiempo de lixiviación. El estudio combinó un enfoque descriptivo, al detallar condiciones y resultados, con un análisis explicativo de la relación causa-efecto entre variables. Se empleó un diseño factorial 2^3 para evaluar el impacto de tres variables independientes en dos niveles sobre la eficiencia del proceso.

Se emplearon concentraciones de Sandioss entre 500 y 4000 ppm, con un contenido de sólidos del 24% al 40% y tiempos de agitación de 24 a 72 horas. En estas condiciones, las recuperaciones de oro alcanzaron el 63.72% y 66.75%, bajo concentraciones de solución lixivante de 15.86 mg/L y 7.87 mg/L, respectivamente.

Se concluyó que el reactivo Sandioss mostró una alta efectividad en la lixiviación por agitación, logrando una mayor extracción de oro a medida que se y su dosificaba la concentración del reactivo, la combinación de tiempos adecuados y un porcentaje de sólidos controlado contribuyó significativamente a la recuperación de oro grueso.

Palabras clave: Extracción de oro, Reactivo Sandioss y Lixiviación por agitación

ABSTRACT

This research focused on carrying out the agitation leaching process using the Sandioss reagent. The main objective was to extract gold with a grade of 37.33 g/t from the Hatun K'asa Mine, located in the Ccalani Sector of the Guanaco Community, in the Livitaca District, Chumbivilcas, Cusco.

An experimental and technological investigation was conducted to extract metallic gold by manipulating the reagent concentration, solid percentage, and leaching time. The study combined a descriptive approach, detailing conditions and results, with an explanatory analysis of the cause-effect relationship between variables. A 2^3 factorial design was used to evaluate the impact of three independent variables at two levels on the process efficiency.

Sandioss concentrations ranged from 500 to 4000 ppm, with a solid content between 24% and 40% and agitation times from 24 to 72 hours. Under these conditions, gold recoveries reached 63.72% and 66.75%, with leaching solution concentrations of 15.86 mg/L and 7.87 mg/L, respectively.

It was concluded that the Sandioss reagent demonstrated high effectiveness in agitation leaching, achieving greater gold extraction as the reagent concentration was optimized and properly dosed. Additionally, the combination of appropriate leaching times and controlled solid percentages significantly contributed to the recovery of coarse gold.

Keywords: Gold extraction, Sandioss reagent, agitation leaching.

INTRODUCCIÓN

La extracción de oro en la Mina Hatun K'asa, ubicada en la comunidad Guanaco, del distrito de Livitaca, Chumbivilcas, Cusco, es fundamental como medio de subsistencia de sus habitantes; sin embargo, el uso de métodos rudimentarios de las operaciones conlleva riesgos significativos como: daños ambientales, conflictos sociales y el desconocimiento del verdadero valor metálico del mineral que posee la comunidad. Por ello, se hace necesaria la implementación de procedimientos de extracción alternativos que adopten técnicas sostenibles, capaces de minimizar estos impactos y proporcionar un mejor entendimiento del tipo de mineral que se está explotando.

Este estudio propone la utilización del proceso de lixiviación de oro empleando el método de agitación en botellas. El objetivo principal es determinar la cantidad de oro recuperable bajo condiciones específicas del proceso. El porcentaje de extracción obtenido permitirá generar información relevante para diversos intereses, ya sean económicos, sociales o académicos. Así, esta investigación aspira a ser una fuente de referencia dentro del campo de la investigación tecnológica, contribuyendo al desarrollo de nuevas aplicaciones y soluciones.

Del mismo modo, es importante destacar que esta investigación se centra en el uso de reactivos no contaminantes como el Sandioss, planteado como una alternativa sostenible frente al cianuro, cuyo uso es ampliamente conocido en la industria metalúrgica. Los daños ambientales asociados a este reactivo en las zonas circundantes suelen generar situaciones que ponen en riesgo la vida, la salud y el bienestar de los miembros de esas comunidades; por lo tanto, la implementación de reactivos ecológicos podría representar ser una tecnología beneficiosa, reduciendo el impacto negativo de estas actividades y contribuyendo a un desarrollo más responsable.

A pesar de ello, las limitaciones presentes en este trabajo de investigación no fueron menores. La primera dificultad se relacionó con la reserva y el aislacionismo de los comuneros respecto a la mina, lo que hizo imposible acceder a ella de manera presencial; no obstante, a través de entrevistas concertadas, se pudo obtener una muestra de 11 kg de mineral. La segunda dificultad estuvo relacionada con la falta de acceso a laboratorios especializados para análisis químico y estudios mineralógicos y metalúrgicos, motivo por el cual se optó por realizar dichos análisis en la jurisdicción de la Ciudad de Arequipa. El desarrollo de este trabajo de investigación se estructura en cinco capítulos, los cuales abarcan en su totalidad el procedimiento realizado para alcanzar los fines requeridos.

El primer capítulo describe la mina Hatun K'asa y la situación problemática que le rodea; seguido se explica la evaluación de la lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss como una alternativa. A partir de ello, se plantea el problema de investigación y se establecen los objetivos necesarios para abordar cada uno de los aspectos planteados en dicho problema. Las justificaciones analizan la efectividad de la extracción de oro con Sandioss, así como los impactos en los ámbitos ambiental, económico y tecnológico, todo con el fin de mejorar las condiciones en general de los comuneros. Al final se consideraron las limitaciones surgidas durante el desarrollo del presente proyecto de investigación.

En el segundo capítulo, se presentan las bases teóricas relacionadas con la lixiviación por agitación; se consideraron los antecedentes internacionales, nacionales y locales. Se describió el proceso hidrometalúrgico como un método para extraer oro mediante la disolución del metal en soluciones químicas, optimizando el contacto sólido-líquido gracias a la agitación. Además, se aborda la cianuración y la forma como se emplea cianuro de sodio bajo condiciones como: tamaño de partícula, densidad de pulpa, pH, concentración de reactivos, tiempo y temperatura,

todo con el objetivo de maximizar la disolución del oro. También se explican diversas teorías de cianuración y los mecanismos de disolución. Se destaca el uso del reactivo Sandioss como una alternativa sostenible al cianuro, resaltando su alta eficiencia, bajo impacto ambiental y costos competitivos. Finalmente, se subraya la importancia del análisis experimental mediante diseños factoriales y herramientas estadísticas como el ANOVA, que permiten evaluar el efecto de variables clave en la eficiencia del proceso de lixiviación.

En el tercer capítulo, se presentan las hipótesis relacionadas con la lixiviación por agitación utilizando el reactivo Sandioss. Se plantea que diversas variables influyen en la eficiencia del proceso; la variable dependiente corresponde a la recuperación de oro, medida en porcentaje, mientras que el reactivo Sandioss es la variable independiente, considerando factores como su concentración, la proporción de mineral procesado y el tiempo necesario. Se destacan variables intervinientes que podrían alterar los resultados, como temperatura y grado de oxidación.

En el cuarto capítulo, se detalla la metodología de la investigación y la ejecución del experimento para evaluar el impacto de la lixiviación por agitación con reactivo Sandioss en la recuperación de oro. Se definen los tipos y niveles de investigación, con un diseño experimental controlado que permite manipular variables clave y observar sus efectos en el proceso de extracción del oro.

En el quinto capítulo, se describe en detalle la preparación de las muestras de mineral, el equipo necesario para realizar las pruebas y los parámetros a medir, como la concentración de reactivo, el tiempo de agitación y la temperatura. Durante la ejecución del experimento, se controlan las variables según el diseño experimental establecido, y los resultados obtenidos se analizan mediante métodos estadísticos para evaluar la influencia de las condiciones

experimentales en la recuperación del oro. Posteriormente, los datos son sometidos a análisis adicionales para determinar la efectividad de las diferentes condiciones experimentales y su impacto en el rendimiento de la operación de lixiviación.

Para concluir, el capítulo seis presenta los resultados obtenidos de la lixiviación por agitación con reactivo Sandioss junto con su respectivo análisis y discusión. Los datos recopilados durante el proceso experimental incluyen mediciones de la concentración de oro en las soluciones obtenidas en el laboratorio, el porcentaje de recuperación calculado a partir de dichas concentraciones y los tiempos de agitación de cada reactor utilizado. Una vez obtenidos los resultados, se aplica un análisis estadístico para estudiar la influencia del reactivo Sandioss en la recuperación de oro. Para ello se usó software informático, específicamente Microsoft Excel para el procesamiento y organización de los datos, y Minitab 19 para el análisis experimental y la realización de pruebas estadísticas. Esto permite una interpretación precisa de los resultados y una evaluación detallada de los efectos de las variables experimentales sobre la eficiencia de la operación de lixiviación.

Finalmente, se tienen las conclusiones y recomendaciones derivadas de los hallazgos realizados a lo largo de este trabajo de investigación. Las conclusiones reflejan los resultados clave obtenidos durante el proceso experimental y el análisis realizado, proporcionando una visión integral de los efectos del reactivo Sandioss en la lixiviación por agitación. Por otro lado, las recomendaciones están orientadas a mejorar el proceso; esperamos que este texto sirva como una referencia valiosa para quienes deseen continuar con investigaciones similares, ofreciendo una visión explicativa de todos los detalles inmiscuidos en este proyecto de investigación.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación problemática.

En el Perú, la minería de oro tradicional, implica el aprovechamiento de depósitos auríferos a través de métodos rudimentarios que facilitan la obtención de oro a gran escala. Esta labor se distingue por la utilización de técnicas tradicionales, como el acopio por medio de herramientas básicas en comunidades rurales; este se desarrolla como una importante fuente de sustento económico. Un referente de ello es la mina Hatun K'asa, situada en la Comunidad de Huanaco, en el distrito de Livitaca, provincia de Chumbivilcas, Región Cusco. Esta mina está gestionada por una asociación de comuneros que dependen de esta actividad y que a su vez es el principal sustento de sus familias. Esta mina se encuentra localizada dentro de los límites de la comunidad, opera bajo un sistema subterráneo mediante el uso de explosivos y técnicas de socavón del cual se extrae mineral aurífero.

La falta de conocimiento tecnológico de los comuneros, hace que la mina trabaje empíricamente, la capacidad de mineral aurífero extraído por pallaqueo es de 34 ton/día, su ley es de 37.33 g/TM, el mineral es clasificado por medio de cribas, es enviado y vendido a diferentes empresas dedicadas al rubro de la metalurgia extractiva al Distrito de Chala Región de Arequipa como mineral en bruto en sacos a un determinado precio, no se realizan pruebas metalúrgicas y mucho menos análisis químico alguno, dichas empresas para su extracción usan reactivos lesivos para el medio ambiente; por lo tanto se demuestra que la comunidad carece de información sobre el verdadero valor metálico y económico del mineral que están explotando.

La lixiviación por agitación con reactivo Sandioss (reactivo altamente ecológico) y el estudio de sus principales variables, aspira a extraer oro en mejores condiciones, dotando de mayores beneficios para el mejor aprovechamiento del mineral aurífero de la mina Hatun K'asa.

1.1.1. Problema general de investigación.

- ¿Sera la tecnología más optima la lixiviación por agitación con reactivo Sandioss para extraer oro de la mina Hatun K'asa sector Ccalani comunidad Guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco?

1.1.1.1. Problemas específicos.

- ¿Qué dosis de reactivo Sandioss se requerirá para realizar la lixiviación por agitación para extraer oro de la Mina Hatun K'asa Sector Ccalani Comunidad Guanaco Distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco?
- ¿Cuánto tiempo se necesitará para lixiviar por agitación con reactivo Sandioss para extraer oro de la Mina Hatun K'asa sector Ccalani comunidad Guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco?
- ¿Qué porcentaje de sólidos contendrá la pulpa en la lixiviación por agitación utilizando el reactivo Sandioss para la extracción de oro en la Mina Hatun K'asa, ubicada en el Sector Ccalani de la Comunidad Guanaco, Distrito de Livitaca, Chumbivilcas, Cusco?

1.2. Objetivos de la investigación.

1.2.1. Objetivo general.

- Ejecutar la lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss para extraer oro de la Mina Hatun K'asa, en el Sector Ccalani de la Comunidad Guanaco, Distrito de Livitaca, Chumbivilcas, Cusco.

1.2.2. *Objetivos específicos.*

- Determinar la cantidad y la concentración de reactivo Sandioss requerido para la lixiviación por agitación para extraer oro de la mina Hatun K'asa sector Ccalani Comunidad guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco.
- Establecer el tiempo necesario para la lixiviación por agitación con reactivo Sandioss para extraer oro de la mina Hatun K'asa sector Ccalani Comunidad guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco.
- Determinar el porcentaje en solidos optimo de la pulpa para la lixiviación por agitación con reactivo Sandioss para extraer oro de la mina Hatun K'asa sector Ccalani Comunidad guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco.

1.3. *Justificación de la investigación.*

1.3.1. *Justificación social.*

La minería tradicional ha llevado a cabo sus actividades utilizando métodos rudimentarios sin considerar el control de calidad ni realizar análisis adecuados para la extracción de oro, como resultado, los comuneros no logran conocer de manera precisa los beneficios potenciales que podrían obtener si la explotación se realizara con un enfoque más técnico, y científicamente respaldado; por ello, un mayor conocimiento y la aplicación de los principios de metalurgia extractiva, pueden fomentar una comprensión más profunda, promoviendo prácticas más eficientes y sostenibles que redunden en un mayor beneficio social para las comunidades involucradas.

1.3.2. *Justificación económica.*

Incrementar el valor comercial de un producto o servicio, es una acción que se persigue para obtener mejores beneficios, el mejor precio del mineral aurífero obtenido de la mina en

beneficio de los comuneros, se basa según la cantidad de oro que se podría extraer a través de la lixiviación por agitación con reactivo Sandioss. Esto conlleva a considerar un precio con mayor beneficio debido a la eficacia que proporciona la utilización del proceso de extracción y del reactivo Sandioss, cabe resaltar que proporciona un costo de operación reducido y un nulo efecto en la salud y el medio ambiente.

1.3.3. *Justificación tecnológica.*

Explorar nuevas alternativas y tecnologías para optimizar un proceso es fundamental en el ámbito de la mejora continua, para esta investigación se busca lograr una mejora tecnológica en dos aspectos: primero, plantear la utilidad del sandioss frente al cianuro el cual es actualmente el reactivo más común para la extracción de oro en laboratorios y plantas metalúrgicas. Segundo, implementar una operación de lixiviación por agitación que permita una extracción de oro más eficiente y responsable en comparación con los métodos rudimentarios utilizados por la comunidad. Estos cambios se orientan a lograr un alcance tecnológico superior en la explotación y aprovechamiento de este recurso.

1.3.4. *Justificación ambiental.*

Las actividades extractivas y la conservación del medio ambiente, son dos aspectos que deben ir equilibrados en la balanza del costo beneficio, las comunidades que practican la minería tradicional en el Perú comparten un mismo problema, el impacto ambiental que generan las operaciones y las consecuencias que estas acarrearán. El uso de reactivos químicos que sean amigables con el medio ambiente como el Sandioss a pesar de que no es usado en las plantas metalúrgicas para el tratamiento de minerales auríferos, es una opción que con el correr del tiempo toma más relevancia debido al menor impacto que genera a la salud y al medio ambiente, en muchos estudios e investigaciones es reconocido como el lixiviante ecológico.

1.4. Limitación del estudio.

Durante el desarrollo de esta investigación tecnológica surgió una contingencia que provoco la siguiente limitación:

- Falta de laboratorios para análisis químico para estudios mineralógicos y metalúrgicos.
- No se pudo acceder presencialmente a la mina debido a la reserva de los comuneros, por lo que no fue posible obtener mayor información.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

2.1.1. Antecedente internacional.

- Urquizo Urquizo (2023), ***“Aplicación del lixivante GDA como Alternativa al Uso de Cianuro en la Planta de Beneficio de la Empresa Minera y Constructora COMINCOBOS S. A”*** Macas - Ecuador. El objetivo de la tesis fue aplicar el GDA, el cual es un reactivo lixivante ecológico patentado en China y está compuesto principalmente de cianato carbonizado ($C_6Na_3O_3H_3N_6$). Las pruebas se realizaron a escala de laboratorio en la planta de beneficio de la empresa Minera y Constructora COMINCOBOS S. A. como alternativa al uso de cianuro. A partir de los datos, se demostró que el cianuro tiene la mayor concentración: 3.271 ppm frente a 2.802 ppm del GDA, y requiere menos tiempo de activación que el GDA. La diferencia de concentración del GDA es de 0.469 ppm por debajo de la del cianuro (valor nada despreciable). Concluye afirmando que la utilización del agente lixivante de oro (GDA) es un lixivante tan caro como el cianuro, pero menos nocivo para el medio ambiente.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

- Huaco Condori (2017) ***“Evaluación del porcentaje de disolución de oro en la lixiviación con sandioss mediante diseños experimentales”*** Arequipa - Perú. Se propuso como objetivo reemplazar al cianuro en la operación de lixiviación por una sustancia conocida como agente de extracción de oro Sandioss, menos peligrosa para el medio ambiente y la salud humana; con ello se podrá medir la cantidad de oro que se disuelve durante el procedimiento de lixiviación. Los resultados indican un porcentaje de disolución del 83%

de oro, un pH de 11, una concentración de arena del 0,4% y un periodo de lixiviación de 48 horas. Por último, recomienda su uso en las explotaciones mineras porque, al costar solo 4 dólares, es un reactivo más respetuoso con el medio ambiente y puede apoyar las prácticas mineras éticas.

- Chuquilin Quiliche & Rengifo Martos (2019) ***“Influencia del cianuro de sodio, goldmax y sandioss en la recuperación de oro por lixiviación de un mineral oxidado de Sayapullo, la Libertad”*** La libertad - Perú. El objetivo fue recuperar oro determinando el tiempo necesario para la lixiviación con Goldmax y Sandioss, comparando los resultados obtenidos con el uso de cianuro de sodio en el proceso de lixiviación en columna del mineral oxidado de Sayapullo. Los resultados muestran que se alcanzó una recuperación a 500 ppm de concentración durante un período de 7 días para cada reactivo de lixiviación en columna. Los porcentajes de oro extraído fueron los siguientes: 80,91% con cianuro sódico (NaCN), 74,29% con el reactivo de lixiviación Goldmax y 65,29% con el reactivo Sandioss. En conclusión, afirma que el uso de cianuro de sodio reduce el uso de reactivos, acortando los tiempos de lixiviación y aumentando la recuperación de oro.

2.1.3. Antecedentes locales

- Romero García (2020) ***“Extracción del oro mediante el proceso de lixiviación con el reactivo sandioss del yacimiento minero Chocrocoña, Llusco - Chumbivilcas, Región Cusco”*** Cusco – Perú. Se planteó como objetivo determinar la cantidad porcentual de oro extraído del yacimiento minero de Chocrocoña mediante la técnica de lixiviación con Sandioss. Los resultados obtenidos exhiben que el 98% de oro se extrajo en 48 horas de tiempo de lixiviación. Estos resultados concluyen que el reactivo lixivante Sandioss a diferencia de otros reactivos que realizan la misma función, presenta un alto nivel de

eficiencia para la extracción de oro, cuyo valor aproximadamente es de un 95%, denotando así ser una tecnología eficaz para procesos como la lixiviación y de bajo impacto hacia la salud y la naturaleza.

- Delgado Farfan & Kancha Guerra (2023) ***“Lixiviación con Gold Max del oro de los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin”***, Cusco - Perú. El objetivo de la evaluación fue extraer por lixiviación con Gold Max el oro del relave de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin. Los resultados que se obtuvieron mostraron un porcentaje de extracción más favorable de 92.37%, usando los siguientes valores en las variables independientes: un tiempo de 36 horas, 30% de sólidos y una concentración de reactivo Gold Max de 500 ppm.

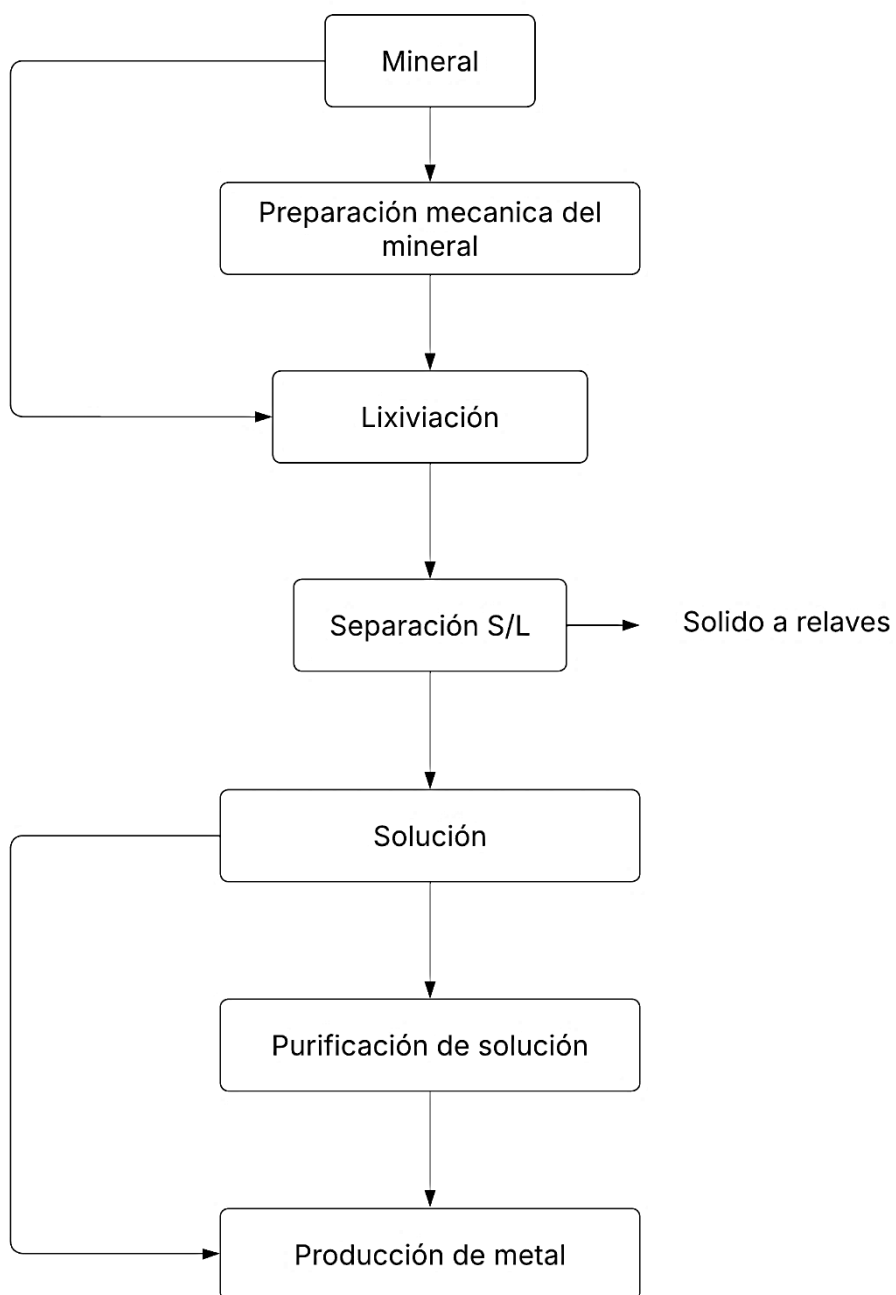
2.2. Metalurgia del oro.

Según Vargas Gallardo (1990), el oro puede extraerse mediante concentración gravimétrica gracias a su elevado peso específico de 19.3 g/cm^3 , en contraste con el de la ganga, que generalmente fluctúa alrededor de 2.6 g/cm^3 . Este metal se encuentra disperso en una variedad de tamaños, desde granos finos hasta granos gruesos, y suele estar asociado con otras especies mineralógicas, siendo la plata la más común; el oro puede recuperarse empleando técnicas propias de los procesos hidrometalúrgicos. La metalurgia del oro basada en procesos hidrometalúrgicos abarca las técnicas químicas y físicas empleadas para extraer y recuperar el oro utilizando soluciones acuosas como medio principal.

“Las técnicas hidrometalúrgicas empleadas en la mayoría de los diagramas de flujo para la extracción incluyen principalmente la lixiviación, la purificación y concentración de la solución, así como la recuperación del oro” (Marsden & House, 2009).

Figura 1

Etapas básicas de los procesos hidrometalúrgicos



Nota: Uceda Herrera A. D. (2016)

2.2.1. Lixiviación.

Acorde a Ballester, Verdeja & Sancho (2000), la lixiviación es la operación en la que tiene lugar el ataque químico en fase acuosa del metal valioso contenido en la mena mineral. El carácter ácido, básico o neutro depende del carácter del reactivo utilizado, y a su vez es función de la ganga del mineral.

“El reactivo químico responsable también conocido como reactivo lixivante o agente lixivante, es el responsable de la remoción por disolución de un componente de una mezcla de compuestos tal como un mineral” (Uceda Herrera A. D., 2016).

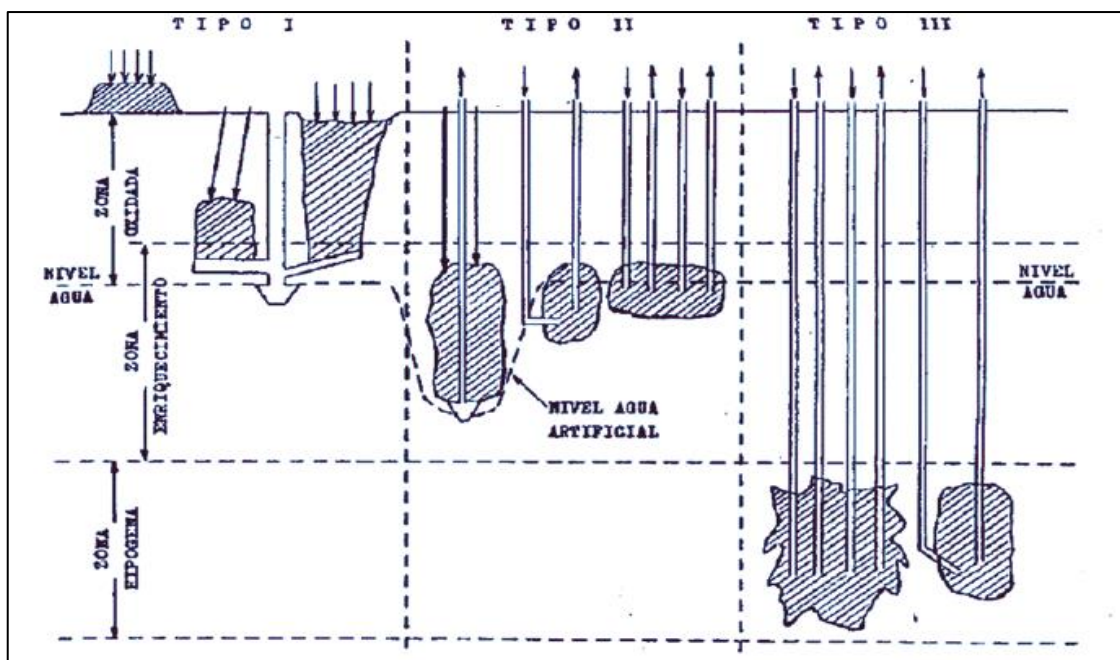
2.2.2. Tipos de lixiviación.

La lixiviación se puede agrupar en dos grupos:

- Lixiviación estática:
 - Lixiviación In situ
 - Lixiviación en pilas
 - Lixiviación en bateas
- Lixiviación dinámica:
 - Lixiviación por agitación

2.2.2.1. Lixiviación in situ.

La lixiviación in situ se define como el procedimiento de obtención de oro metálico a partir de desechos fragmentados encontrados en minas en estado de abandono. Simultáneamente, este tipo de lixiviación implica el uso directo de soluciones lixivantes en un depósito de minerales. (Alonso & Bustamante, 2015).

Figura 2*Tipos de lixiviación in situ**Nota:* Romero García (2020)

- Según Uceda Herrera D. A. (2016), la permeabilidad requerida puede aparecer de manera natural en un mineral poroso o muy fracturado, y puede ser provocada a través de voladuras para producir la fragmentación apropiada. Existen tres tipos (Figura 2) de la lixiviación in situ acorde a la localización del mineral aurífero a tratar, ya sea en el nivel subterráneo o superficial:
- **Tipo I:** Extracción de sustancias de cuerpos fracturados de minerales que se encuentran próximos a la superficie y que se encuentran en una posición superior al nivel del agua subterránea.
- **Tipo II:** Se ejecutan en depósitos que se encuentran a una ligera profundidad de entre 300 y 500 m, bajo el nivel freático.

- **Tipo III:** Para depósitos de minerales de gran profundidad, que se encuentren a más de 500 m de profundidad por debajo del estrato freático (aguas subterráneas).

2.2.2.2. *Lixiviación en pilas o montones (Heap leaching).*

Las menas extraídas son trituradas y acondicionadas sobre plataformas impermeables antes de ser sometidas al proceso de lixiviación. Posteriormente, mediante el riego controlado de las menas, permitirá que la solución percole a través del material tratado. Esto depende directamente de la calidad y cantidad de la mena disponible, siendo la permeabilidad un factor determinante; sin ello no es posible garantizar una percolación eficiente y una limitación en la lixiviación a gran escala, lo que afecta negativamente la disolución y recuperación del oro. Este método es ampliamente reconocido por su eficacia metalúrgica y los beneficios que ofrece, logrando generalmente una mayor recuperación de oro en comparación con procedimientos tradicionales, como la amalgamación. (Tecsup, 2022).

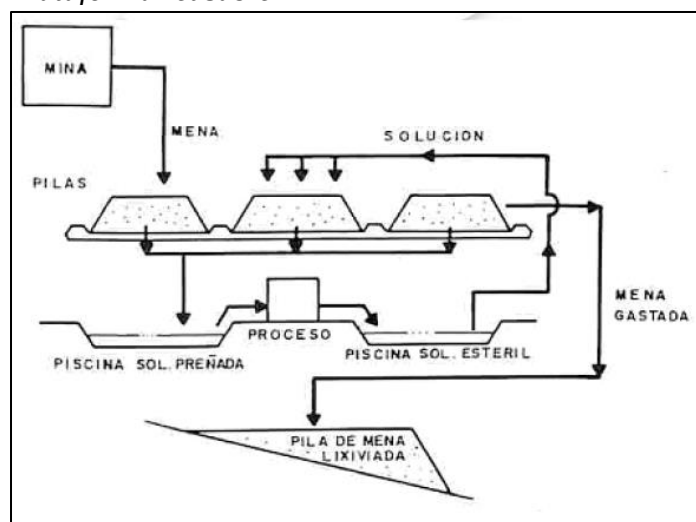
Se puede reconocer cuatro métodos para edificar pilas.:

- **Método de plataforma reusable.-** Este procedimiento conlleva la construcción de una serie de plataformas robustas y duraderas, en las que se lixivia, lava y libera la mena preparada a través de la evacuación de desechos (Figura 3).
- **Método de plataforma en expansión.-** Involucra la elaboración de la mena, su aplicación en la plataforma y la ubicación del desecho sólido, lo que posibilita la opción de relixiviación o lavado; es posible añadir más cargas a la pila agitada (Figura 4).
- **Método de áreas unitarias sobre plataformas estables.-** Comprende pilas individuales próximas a sistemas de recolección de solución, permite la relixiviación cuando sea necesario (Figura 5); entre los niveles existe una capa de propileno de alta densidad (HDP), logrando así la impermeabilidad en la base de la próxima celda.

- **Lixiviación en valle.-** Se edifican las pilas de lixiviación en la parte baja del valle. Conforme el mineral se acumula en estratos de 10 metros de espesor en altitudes superiores, la pila de lixiviación se expande de manera gradual tanto en el valle como hacia el exterior y hacia el pico en ambas partes (Figura 6).

Figura 3

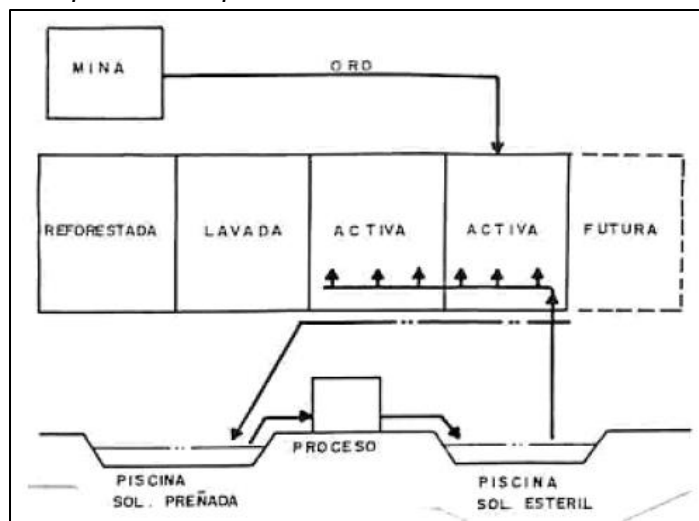
Plataforma reusable



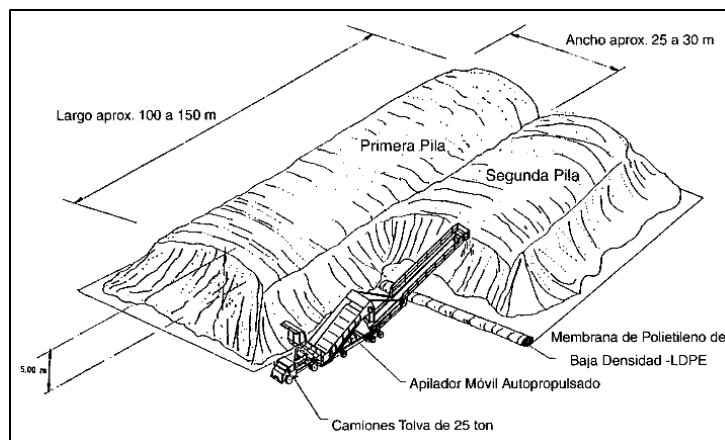
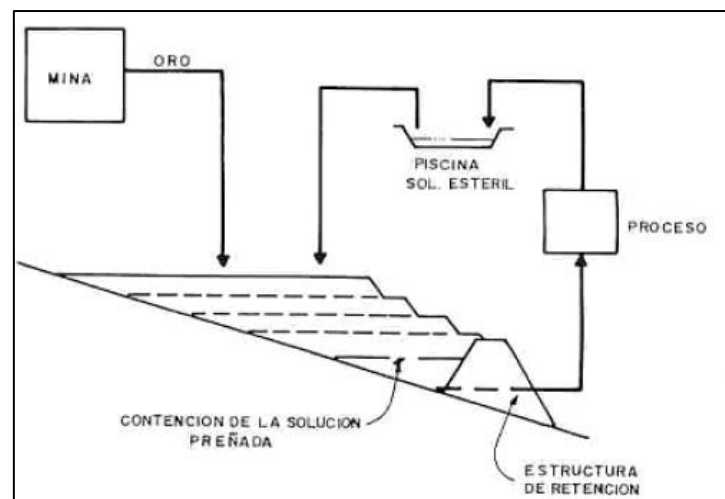
Nota: Metalurgia extractiva del oro (Tecsup, 2022)

Figura 4

Plataforma en expansión



Nota: Metalurgia extractiva del oro (Tecsup, 2022)

Figura 5*Mineral apilado en plataforma permanente**Nota: Domic Mihovilovic' (2001)***Figura 6***Lixiviación en valle**Nota: Metalurgia extractiva del oro (Tecsup, 2022)*

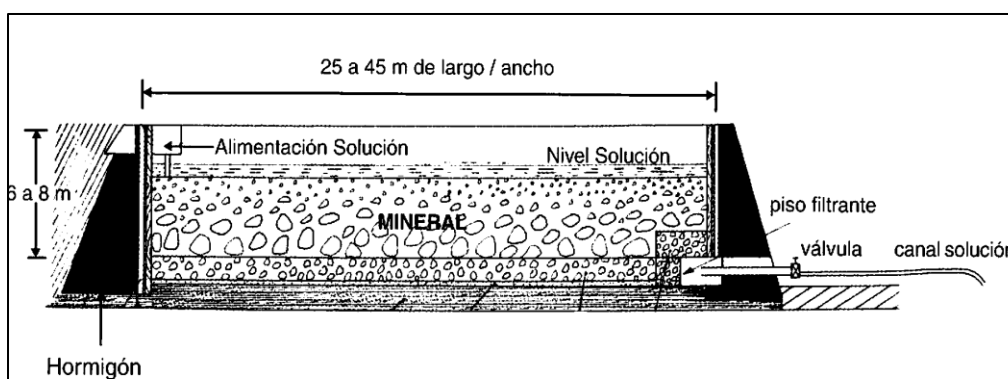
2.2.2.3. *Lixiviación en bateas (Vat leaching).*

También llamada lixiviación por percolación (Figura 7), consiste en la acumulación de mineral aurífero en un tanque construido con materiales como ladrillo y cemento, los cuales están recubiertos con un material resistente a sustancias como ácidos o alcalinos. El mineral es introducido en el tanque y posteriormente se satura con la solución lixivante. Esta solución atraviesa el mineral, se recolecta y recircula varias veces hasta lograr la máxima extracción; sin

embargo, esta solución contiene una concentración más alta de agente lixivante en comparación a otros métodos. La percolación, al ser dinámica, implica ciclos muy cortos; como resultado, el proceso suele completarse en cuestión de 1 a 2 semanas. Se utiliza comúnmente en minerales con alto contenido metálico que han sido concentrados o procesados previamente, se realiza en múltiples etapas y típicamente en los tanques en serie. (Gaviria C, Restrepo B., & Bustamante R., 2007).

Figura 7

Mineral aurífero en batea Vat Leaching



Nota: Domic Mihovilovic´ (2001)

2.2.2.4. Lixiviación por agitación.

Según Uceda Herrera D. A. (2016), la lixiviación por agitación en la industria se realiza en tanques de acero ubicados en serie; los sólidos se mantienen por agitación mecánica. Dicho tipo de agitación se utiliza en minerales de leyes altas, minerales que generan un gran contenido de finos devenidos de los procesos de chancado y molienda para liberar la especie del mineral a explotar.

Puede procesar minerales auríferos de alta presencia de dicho metal valioso, los cuales deben contener oro fino que se libere durante el proceso de molienda. El tamaño de partícula

deseable debe encontrarse en un rango de tamaño de partícula de 150 μ m a 200 μ m a porcentajes de 60 a 90% de pasante y la densidad de pulpa se puede ajustar del 40 al 50% de sólidos. La agitación de la pulpa tiene como objetivo completar la disolución del oro por medio de la lixiviación para lograr la extracción del metal deseado. El tiempo de agitación en dichos agitadores varía en un rango de 6 a 48 horas.

Aparte de los tanques de agitación, los otros dispositivos utilizados en la lixiviación por agitación que se pueden mencionar están los agitadores de baja velocidad y agitadores de alta velocidad. Para el caso de pruebas metalúrgicas de oro, el uso de botellas como reactor de lixiviación es la prueba que determina en forma rápida el consumo de reactivos y el porcentaje de recuperación de oro en función del tiempo en horas.

Las botellas (Figura 8) se agitan en un equipo llamado mesa de rodillos; este dispositivo realiza una rotación continua según los tiempos requeridos. Mediante el control y la correcta manipulación se determina el consumo de los reactivos; de esta manera se evitan pérdidas que afectarían al balance metalúrgico.

Figura 8

Reactores de lixiviación por agitación

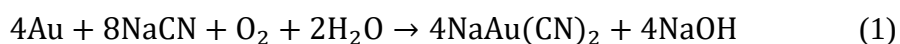


Nota: Minera Oref (2022)

2.2.3. *Cianuración.*

La cianuración es un procedimiento hidrometalúrgico que se basa en la utilización de soluciones alcalinas de cianuro como reactivo químico para obtener el oro presente en minerales que poseen estos valiosos metales. Para que se produzca esta extracción, la disolución debe contener tres componentes químicos esenciales: el ion cianuro (CN⁻), el oxígeno disuelto en la disolución (O₂) y el ion hidroxilo (OH⁻)(Yana Vilca, 2018).

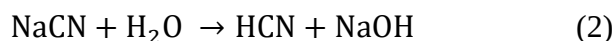
Las reacciones que tienen lugar durante la disolución del oro en las soluciones de cianuro bajo condiciones normales han sido establecidas en forma suficientemente definida. La mayoría de las teorías vistas concuerdan en que la ecuación global de la disolución del oro es como sigue:



El oro se disuelve con facilidad, y las únicas condiciones que se requieren para todo el proceso de reacción son: oro libre y limpio, solución de cianuro libre de impurezas y adecuado mantenimiento del oxígeno. Muchos minerales de oro, en la práctica, se comportan de acuerdo a la reacción (1). Las dificultades que se presentan en la extracción de oro son más de tipo químico; sin embargo, en dicho aspecto, los problemas que se pueden presentar dependen de los constituyentes de la mena, como el cuarzo, minerales silíceos y metales alcalinos, los cuales son inertes relativamente a las soluciones de cianuro. (Vargas Gallardo, 1990)

2.2.4. *Fundamentos de la cianuración.*

El cianuro de sodio NaCN se expende en concentraciones desde el 85 al 98% de NaCN. La hidrólisis de una solución de cianuro alcalino en agua es como sigue:

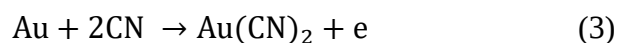


La efectividad de este reactivo depende de la cantidad de álcali libre en el cianuro; la presencia apreciable de álcali podría ocasionar pérdidas de cianuro; por lo tanto, la adición de cal

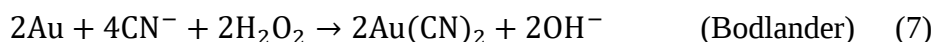
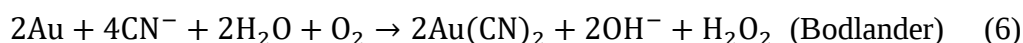
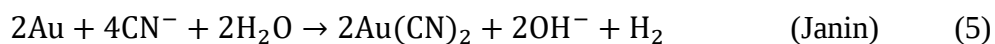
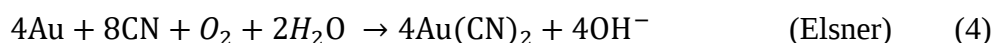
a la pulpa con cianuro ayuda a evitar dichas pérdidas de cianuro por hidrólisis, de la misma manera neutraliza cualquier constituyente ácido del mineral como el ácido cianhídrico (Vargas Gallardo, 1990).

2.2.4.1. Disolución de oro.

La disolución de oro metálico en una solución de cianuro es:



De la misma manera, se ha observado que el oro no se disuelve sin aireación intensa; las siguientes reacciones fueron propuestas para la disolución de oro en soluciones de cianuro:



Según Yana Vilca (2018) cada una de las reacciones expreso que:

- Reacción (4): Elsner afirmó que el oxígeno en la reacción química es vital para la disolución del oro en soluciones de cianuro.
- Reacción (5): Janin aseveró que el oro metálico reacciona con los iones cianuro y oxígeno disuelto en agua para formar un complejo soluble con la generación de hidróxido.
- Reacciones (6) y (7): Bodlander propuso que la disolución del oro en el cianuro ocurre en una reacción de dos fases donde se puede apreciar que se forma un 70% de cantidad teórica de H_2O_2 .

- La terminación final de las últimas dos reacciones conlleva el consumo total de todo el cianuro o de todo el metal disuelto; por lo tanto, la ecuación del Elsner (4) expresa la disolución de oro en soluciones de cianuro.

2.2.4.2. *Tamaño de partícula.*

Para obtener el tamaño de las partículas de oro apropiado, es necesario el uso de los procesos de molienda y clasificación de los minerales según su tamaño. Dichas partículas de oro son reducidas de espesor y quebrantadas; esto ayuda a que puedan rebosar según su granulometría obtenida. Para disolverse, una partícula de oro de 45 μm de espesor no tardaría más de 12 horas, mientras que una de 150 μm de espesor no tardaría más de 48 horas. (Tecsup, 2022).

2.2.4.3. *Concentración del cianuro.*

De acuerdo con J.S. Mac Laurin, la velocidad de disolución de oro en soluciones de cianuro alcanza su máximo valor pasando de soluciones concentradas a diluidas. Los valores máximo y mínimo equivalentes de NaCN son 0.19% (1900 ppm) y 0.001% (10 ppm) respectivamente; la velocidad de disolución de oro aumenta proporcionalmente acorde a la concentración de cianuro. Por su parte, White encontró una máxima velocidad de dilución a una concentración de 0.020% (200 ppm) de NaCN en caso de que la solución esté saturada de oxígeno. (Vargas Gallardo, 1990).

Entre los principales factores que se atribuyen a estos valores podemos mencionar la razón del volumen de la solución y la cantidad de mineral aurífero introducido. A mayor volumen de solución y una cantidad de mineral aurífero pequeño, la agitación será lo suficientemente intensa para favorecer la difusión de los productos de la reacción; por lo tanto, el factor restrictivo que influye en la disolución del oro es la concentración del oxígeno.

2.2.4.4. *Concentración del oxígeno.*

El oxígeno es el agente oxidante indispensable para la disolución del oro según las condiciones normales de la cianuración; una adecuada aireación ofrece mejores resultados. Estudios realizados por Barsky, Swainson y Hedley analizaron el efecto del oxígeno en la disolución del oro empleando NaCN al 0.1% a una temperatura de 25°C en 100 cc de solución de cianuro. Indican que la rapidez de disolución del oro está directamente relacionada con el volumen de gas empleado (Tabla 1); por lo tanto, la rapidez de disolución del oro en soluciones de cianuro se relaciona directamente con la presión parcial del oxígeno (Vargas Gallardo, 1990).

Tabla 1

Porcentaje de oxígeno según la velocidad de disolución del oro

Oxígeno (%)	Velocidad de disolución (mg/cm³. h)
0.0	0.04
9.6	1.03
20.9	2.36
60.1	7.62
99.5	12.62

Nota: Metalurgia Extractiva (Tecsop, 2022)

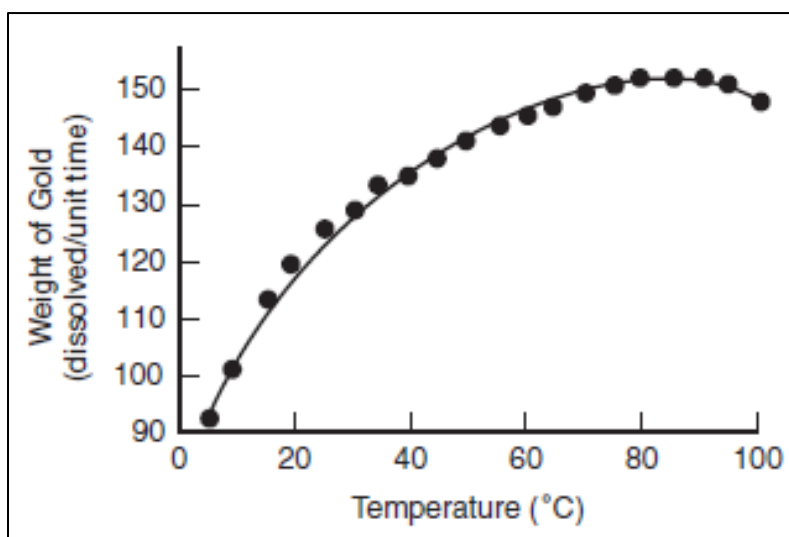
2.2.4.1. *Temperatura.*

Al suministrar calor a la solución de cianuro que se encuentra en contacto con el oro metálico, se producen fenómenos opuestos que influyen sobre la velocidad de disolución. Al incrementar la temperatura, aumenta la velocidad de disolución de oro; pero disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en la solución debido a que la solubilidad de los gases decrece al aumentar la temperatura. (Vargas Gallardo, 1990).

El aumento en la difusión y la velocidad de disolución del oro dará como valor óptimo de temperatura 85°C (Figura 10). Por encima de esta temperatura, la disminución de la solubilidad del oxígeno supera a la velocidad de difusión. (Marsden & House, 2009).

Figura 9

Efecto de la temperatura sobre la velocidad de disolución del oro en solución



Nota: Química de la extracción del oro Marsden & House (2009)

2.2.4.2. Alcalinidad de la solución.

Según Misari Chuquipoma (1993) las funciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal viva) en la cianuración que podemos mencionar son:

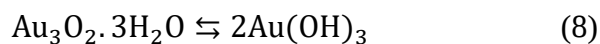
- Previene la disminución de cianuro a causa de la hidrólisis.
- Previene la disminución de cianuro cuando se expone al dióxido de carbono presente en el aire.
- Suprime los bicarbonatos que se encuentran en el agua previo a su utilización en la cianuración.

- Antes de su incorporación en el circuito de cianuración, neutraliza los ácidos, las sales ferrosas, las férricas y el sulfato de magnesio presentes en el agua.
- Neutraliza los componentes ácidos del mineral y aquellos resultantes de la degradación de varios minerales en la disolución de cianuro que se produce.
- Permite que las partículas pequeñas del mineral sedimenten para diferenciar la solución predominante del mineral cianurado.
- Perfecciona la obtención de minerales que incluyen telurio, plata y los que se degradan con facilidad a alcalinidades superiores.

La cantidad de cal que se añade se denomina “alcalinidad protectora”; la cal protege al NaCN de la hidrólisis, pero si esta se halla presente en grandes cantidades, esta puede retrasar la velocidad de disolución del oro. Por consiguiente, la alcalinidad debe ser cuidadosamente suministrada en la cantidad más baja posible para poder obtener una buena recuperación.

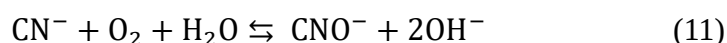
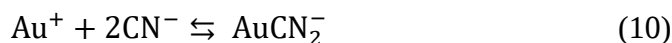
2.2.4.3. *pH en la cianuración.*

La mayoría de los procesos de cianuración operan a un pH entre 10 y 11; la adición del álcali es requerida en este proceso para mantener operativo el pH deseado, particularmente para minerales que consumen álcalis como los auríferos. El control o modificación del pH se logra mediante la medición del hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). El oro puede formar especies insolubles como el óxido áurico hidratado o peróxido de oro (8) a potenciales relativamente altos.



Ambos compuestos, al ser termodinámicamente inestables, son fuertes oxidantes; la fuerza oxidante depende de la acidez del sistema y declina cuando incrementa el pH. El ácido cianhídrico (HCN) (9) y los iones de cianuro (CN^-) (10) que forman el complejo auroso de

cianuro son estables a potenciales muy bajos; en el caso del último, es predominante a $\text{pH} > 9.4$. El ion cianato (CNO^-) (11) es la única especie estable (Tecsup, 2022).



2.3. Termodinámica de la cianuración

El diagrama de Pourbaix, también conocido como diagrama de equilibrio electroquímico, muestra las regiones de estabilidad de diversas especies químicas en función del pH y del potencial de electrodo (Eh). El diagrama permite apreciar la especie estable del oro diluida en una solución acuosa de cianuro a 25°C (Marsden & House, 2009).

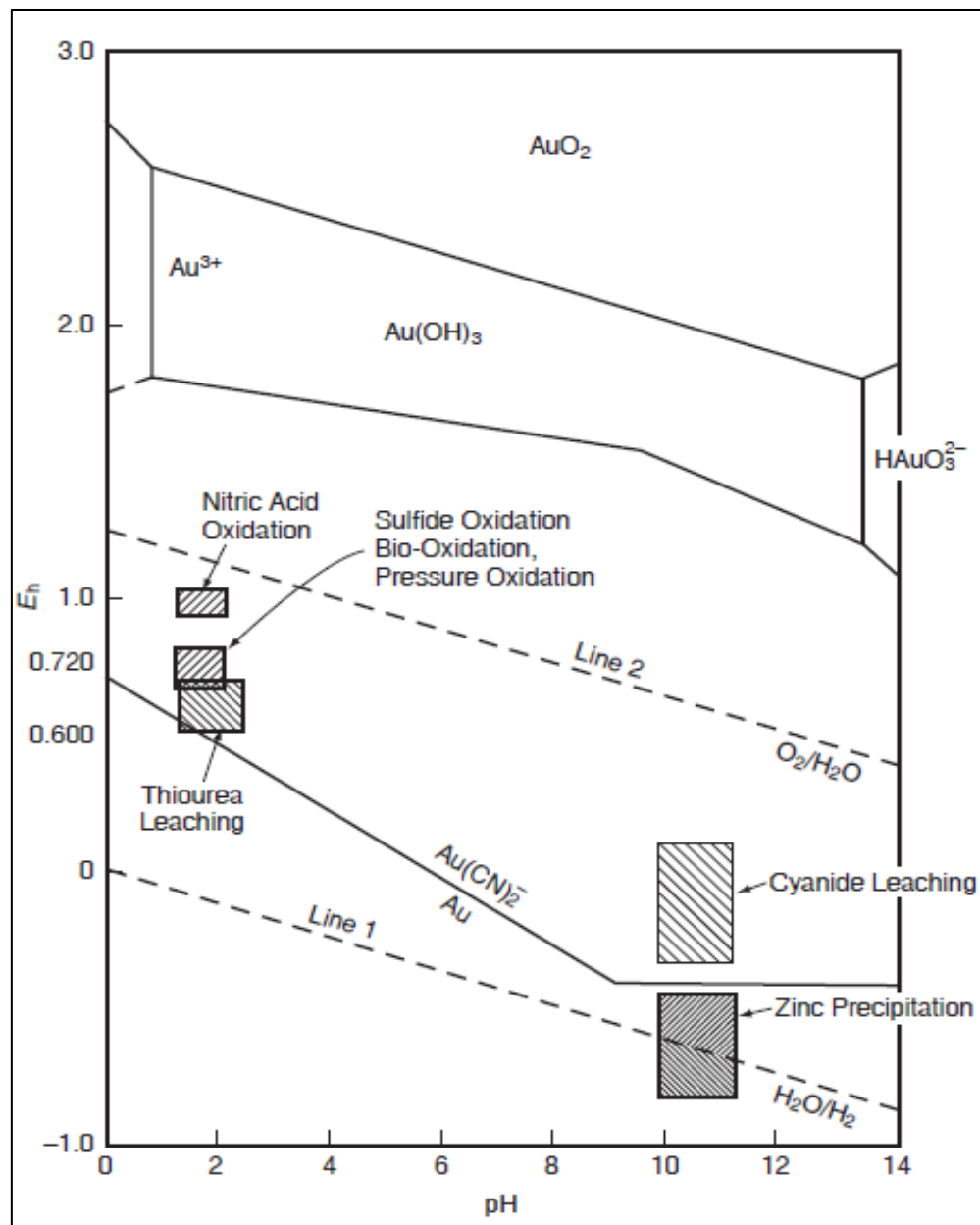
En el diagrama de Pourbaix para el oro (Figura 10), la cianuración se lleva a cabo en la región marcada como "Cyanide Leaching", que se adapta a condiciones de pH alcalino aproximadamente entre 9 a 12, y un rango de potencial Eh entre 0 a 0.6 V. En esta región, el Au metálico se descubre en presencia de cianuro (CN^-) formando el complejo soluble Au(CN)_2^- , el cual es base del proceso de extracción de oro. A pH 11, el comportamiento del oro en función del potencial Eh es como sigue:

- **Estabilidad del oro metálico (Au):** A potenciales bajos entre -0.2 y 0 V, el oro permanece en su forma metálica estable, sin oxidarse ni formar complejos, lo que lo hace químicamente resistente.
- **Región de lixiviación con cianuro:** A potenciales intermedios de 0 a 0.6 V, el oro metálico reacciona con cianuro para formar, permitiendo su disolución y extracción.
- **Formación de especies oxidadas:** A potenciales más altos (por encima de 1.5 V), el oro puede oxidarse y formar especies como Au(OH)_3 o HAuO_2^- .

Por lo tanto, para la cianuración a pH 11, es esencial operar dentro de la región de estabilidad del complejo. Controlando tanto el pH como el potencial para maximizar la eficiencia del proceso.

Figura 10

Diagrama Eh-pH sistema Au-CN-H₂O a 25°C, [Au]= 10⁻⁴M, [CN]=10⁻³M



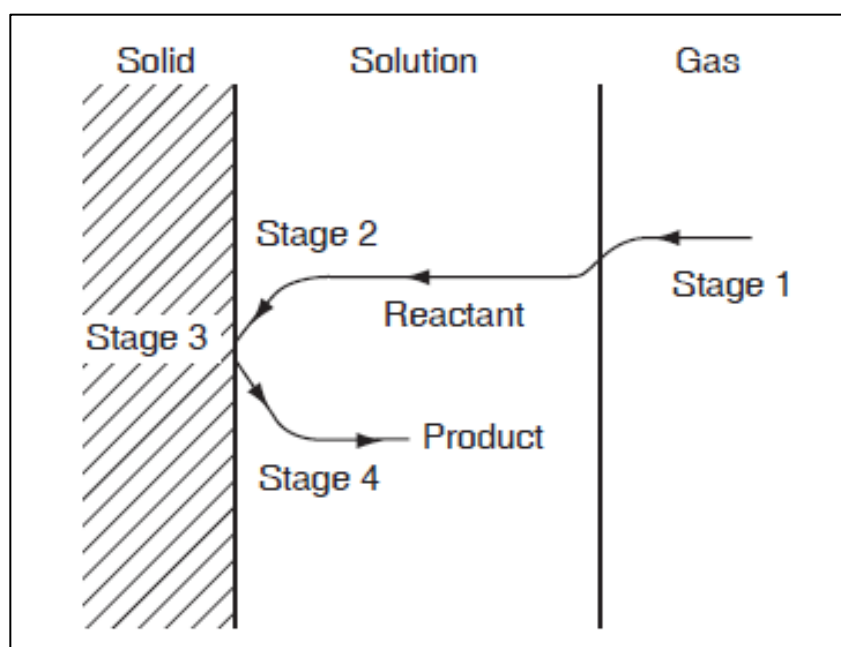
Nota: Química de la extracción del oro (Marsden & House, 2009)

2.4. Cinética de cianuración.

Los factores cinéticos determinan la ocurrencia de una reacción química favorable; su importancia es la clave de la extracción, el diseño y la viabilidad de todos los procesos hidrometalúrgicos. La cinética de reacción se limita por la velocidad de la misma con la que ocurre una reacción química o, a su vez, por el control del transporte de masa. (Derry, 1972).

Figura 11

Grafica de cinética de cianuración



Nota: Química de la extracción del oro (Marsden & House, 2009)

Durante el momento en que el oro está disuelto en soluciones lixiviantes, el oxígeno participa captando electrones sobre la superficie del metal (zona catódica); esta superficie metálica reacciona entregando electrones (zona anódica), visto en la figura 11. La reacción fisicoquímica donde interactúan la fase sólida y la líquida se puede describir en 4 etapas:

- **Etapas 1 (stage 1):** La fase gaseosa ingresa a la solución.

- **Etapa 2 (stage 2):** El reactivo se difunde a través de la solución, moviéndose hacia la interfaz sólida.
- **Etapa 3 (stage 3):** El reactivo llega a la superficie sólida e interactúa con ella.
- **Etapa 4 (stage 4):** El producto, formado a partir de la reacción en la superficie sólida, se difunde nuevamente a través de la solución.

2.5. Lixiviación con Reactivo Sandioss

El Sandioss es un reactivo patentado en China; se postula comercialmente como un sustituto posible del cianuro para la lixiviación de minerales auríferos (Figura 12). Este reactivo posee una eficacia similar a la del cianuro, pero con un impacto menor tanto en la salud como en el entorno natural. (Uceda Herrera A. D., 2016).

Este agente lixivante es adecuado para tratar una variedad de metales como el oro, la plata, concentrados y relaves provenientes del proceso de cianuración. Sus componentes tienen la capacidad de disolver el oro; el porcentaje de extracción de este metal mediante la disolución es mayor al del cianuro y puede alcanzar hasta un máximo de 98% de recuperación. (Huaco Condori, 2017).

2.5.1. Principales características y aplicaciones para la lixiviación con Sandioss.

Según Huaco Condori (2017), las principales ventajas con las que cuenta el reactivo Sandioss son las siguientes:

2.5.1.1. Campo que abarca el reactivo sandioss.

Extrae y recupera oro y plata, sean en forma de óxidos o sulfuros; también es aplicable para relaves provenientes de procesos de cianuración, pulpas de agitación, amalgamación y escorias de fundición.

2.5.1.2. *Composición química del reactivo sandioss.*

Producto químico compuesto por óxido de sodio, nitrógeno, amonio, ferrocianuro de sodio, agua, calcio, hierro y otros materiales insolubles (Tabla 2).

2.5.1.3. *Forma en la que se presenta el reactivo sandioss.*

Se presenta como un sólido granular, tipo polvo de color plomizo; se distribuye comercialmente embolsado con un peso de 25 kg.

2.5.1.4. *Forma de aplicabilidad del reactivo sandioss.*

El reactivo se debe disolver en un volumen de agua determinado según la cantidad de pulpa a lixiviar por agitación, bajo condiciones de temperatura ambiente mayor a los 10°C de preferencia, similar al de la cianuración.

2.5.1.5. *Alta eficiencia de lixiviación.*

Ofrece una lixiviación rápida y eficaz de iones de oro en comparación con el cianuro de sodio, con un índice de recuperación superior.

2.5.1.6. *pH requerido*

El valor óptimo de pH para la lixiviación con sandioss es 11 a 12 (pH alcalino).

2.5.1.7. *Alcalinización.*

Para regular y conservar dicho valor del pH, se usa cal Ca(OH)_2 como reactivo estabilizador; cabe recalcar que debe realizarse en cantidades mínimas según se requiera durante la lixiviación.

2.5.1.8. *Concentración del reactivo sandioss.*

La concentración y la dosis del reactivo deben ajustarse en función de las características del mineral, siendo una de estas la de mayor influencia sobre el porcentaje de extracción de oro.

La dosis recomendada varía entre 500 y 4000 ppm (0.05 y 0.4%), y se calcula según la cantidad de concentración del reactivo requerida. Bajo condiciones normales, el reactivo se disuelve fácilmente en agua, ya sea con agitación o aprovechando el flujo de agua, asegurando su completa integración en el sistema de lixiviación.

2.5.1.9. *Tiempo de lixiviación.*

Para minerales de auríferos, el tiempo de lixiviación con el reactivo Sandioss se halla entre las 24 y 72 horas; dependerá de factores tales como la composición del mineral, el tamaño de partícula, el pH de la solución, la concentración del reactivo y las condiciones del proceso.

2.5.1.10. *Inocuidad al medio ambiente.*

Al ser un reactivo ecológico el Sandioss no es corrosivo por no presentar una producción de gases tóxicos durante todo el proceso; por lo tanto, no genera pasivos ambientales que podrían comprometer la vida animal, vegetal y la del ser humano.

2.5.1.11. *Rendimiento del reactivo sandioss.*

Es eficaz en el tratamiento de óxidos y minerales sulfurados que contienen compuestos como arsenopirita, arsénico, pirita, entre otros.

2.5.1.12. *Versatilidad en su aplicación.*

Puede ser utilizado en diversos procesos de lixiviación, como en pilas (heap leaching), pozas (vat leaching) y tanques de agitación. Puede conseguir una alta extracción a través de una lixiviación gradualmente eficiente.

2.5.1.13. *Estabilidad en el rendimiento.*

Minimiza la intrusión de elementos dañinos como el arsénico y el azufre, asegurando así un desempeño constante.

Figura 12*Reactivo Sandioss**Nota: Shanghai Sheng Xin Materials Co (2020)***Tabla 2***Componentes reactivos Sandioss*

Nombre	Formula	Cantidad (%)
Oxido de sodio	Na_2O	35 -50
Nitrógeno	N	12 – 20
Amonio	NH^{4+}	7 – 12
Ferrocianuro de sodio	$\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	7 – 12
Agua	H_2O	1 – 4
Calcio	Ca	1 – 5
Hierro	Fe	1 – 5
Insolubles en agua	-----	1 – 5

Nota: Lemcorp

2.5.2. *Mecanismo de la lixiviación con Sandioss.*

Según Ccary Sirena (2018), Xie Feng investigó la lixiviación de oro utilizando cianuro y ferrocianuro; el objetivo fue optimizar su recuperación. La extracción de oro con una solución de cianuro alcanzó un 62% después de una hora de lixiviación. Al incorporar 0,5 g/L de ferrocianuro de sodio ($\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), la extracción de oro incrementó significativamente, alcanzando el 87% tras determinados tiempos de lixiviación. Además, la presencia de ferricianuro permitió estabilizar la extracción de oro después de 4 horas en contraste con las 12 horas requeridas sin ferrocianuro. Finalmente, tras 48 horas de lixiviación, la extracción de oro alcanzó valores entre el 92% y el 94%.

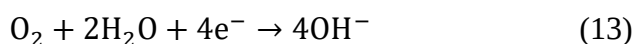
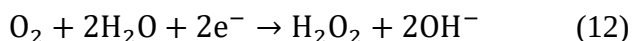
2.5.3. *Reacciones en la lixiviación con sandioss.*

Según Ciprian Jordan & Mayta Marca (2023), las reacciones posibles con sandioss son:

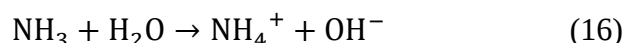
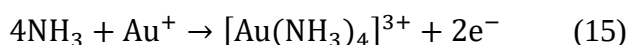
2.5.3.1. *Reacciones químicas con amonio.*

Bajo condiciones oxidantes, el amoníaco actúa como agente disolvente del oro y de las bases alcalinas de sodio, favoreciendo su solubilización y reacción química.

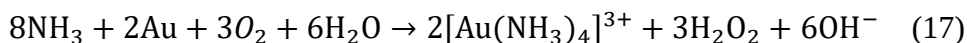
En el cátodo:



En el ánodo:



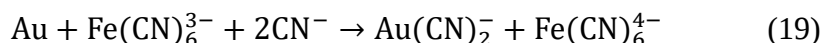
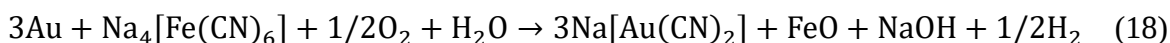
Por lo tanto, la reacción química global teniendo al amonio de componente principal será la siguiente:



El amonio al disolverse con el oro durante la lixiviación da como producto el complejo tetra amino de oro (III); este iónico también se halla presente en la solución PLS.

2.5.3.2. Reacciones químicas del ferrocianuro de sodio en la lixiviación del oro.

En medio acuoso, la extracción del oro con ferrocianuro de sodio a pH 12 forma como producto un complejo estable de aurocianuro de sodio y óxido ferroso.



2.6. Diseño experimental.

2.6.1. Principios básicos.

Según Hernández Sampieri (2014), el diseño experimental es un procedimiento que sirve para garantizar la recolección de datos relevantes, permitiendo su análisis mediante técnicas estadísticas. Es esencial para obtener conclusiones objetivas y válidas; en tales casos, el análisis estadístico se convierte en la única herramienta imparcial para evaluar los resultados. Los tres pilares fundamentales del diseño experimental son: La ejecución de réplicas, la aleatoriedad y la creación de bloques.

2.6.1.1. Realización de réplicas.

Esta repetición de réplicas, entendida como la repetición del experimento fundamental, cuenta con dos componentes relevantes: la verificación sistemática de los resultados obtenidos y la confirmación robusta de las conclusiones extraídas.

- **1ra Componente.-** El experimentador tiene la posibilidad de obtener una medida del error experimental, que se transforma en una unidad de referencia para determinar si las variaciones detectadas en los datos tienen una relevancia estadística.

- **2da componente.**- Si el experimentador emplea la media de una muestra para calcular el efecto de un elemento en el experimento, la inclusión de réplicas facilita una estimación más exacta de tal efecto.

2.6.1.2. *La aleatorización.*

La aleatorización implica distribuir aleatoriamente el material experimental entre diferentes secuencias o pruebas individuales. Es crucial que los datos sean variables aleatorias con distribuciones independientes. Al hacerlo correctamente, se minimizan los efectos de factores externos, lo que asegura conclusiones más confiables. Para diseñar experimentos y exponer soluciones de manera aleatoria es necesario el uso de softwares.

2.6.1.3. *Formación de bloques.*

Se utiliza para incrementar la exactitud en las comparaciones entre los factores de interés, disminuyendo o suprimiendo la variabilidad provocada por elementos perturbadores. Estos son elementos que pueden afectar la respuesta experimental, aunque no son de relevancia particular. En conclusión, un bloque alude a un grupo de condiciones experimentales que son bastante uniformes.

2.7. Pautas generales para diseñar experimentos

Para una investigación efectiva, es esencial definir con claridad el objeto de estudio, los métodos de recolección de datos y contar con un sólido entendimiento cualitativo para una interpretación precisa.

2.7.1. *Identificación y exposición del problema.*

En la mayoría de los casos es beneficioso hacer una lista específica de problemas o preguntas que se abordarán durante el experimento; la definición clara del problema suele

contribuir en gran medida a una comprensión más profunda del tema en cuestión y a encontrar una solución efectiva.

2.7.2. Elección de los factores, los niveles y los rangos.

Los componentes que afectan e influyen en el experimento son: Los factores de diseño y factores perturbadores. Al seleccionar la variable de respuesta, es crucial asegurarse de que se proporcionen datos útiles sobre el proceso; la medición inadecuada puede conllevar impactos menores o requerir más réplicas.

2.7.3. Elección del diseño experimental.

La elección del diseño debe considerar el tamaño de la muestra, la secuencia de ejecución de los experimentos y el uso de bloques o aleatorización; el empleo de softwares facilita esta tarea al ingresar el nombre de los factores y la cantidad de niveles, así como rangos, generando una guía de trabajo con la secuencia de ensayos para el experimento.

2.7.4. Realización del experimento.

Se debe monitorear el desarrollo del experimento para garantizar que todo ocurra según lo previsto; cualquier fallo podría comprometer la validez del procedimiento. La priorización y planificación conllevan la realización de pruebas piloto antes del experimento principal; de esta manera se obtendrá información consistente y una estimación preliminar de posibles errores.

2.7.5. Análisis estadístico de los datos.

El análisis de resultados mediante técnicas estadísticas es clave para obtener conclusiones objetivas. Un diseño experimental adecuado facilita el uso de procedimientos estadísticos; el empleo de programas especializados simplifica la interpretación y evaluación de los datos

mediante gráficos. Así se abordan las hipótesis planteadas y se obtienen los intervalos de confianza.

2.7.6. Conclusiones y recomendaciones.

Al finalizar la investigación, el experimentador debe extraer conclusiones útiles y proponer medidas basadas en los hallazgos. Aunque la experimentación busca responder a las hipótesis iniciales, los resultados pueden generar nuevas hipótesis, lo que hace de este un proceso iterativo.

2.8. Diseño factorial.

Para Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar (2008), un diseño experimental sirve para estudiar el efecto individual y de interacción de los factores sobre una o varias respuestas. El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de estos factores sobre una o varias respuestas. Un ejemplo es la combinación de los niveles de factores donde el desempeño de un proceso pueda presentar mejores resultados.

2.8.1. Diseño factorial 2^k .

El diseño factorial 2^k es un diseño que estudia k factores de 2 niveles de prueba para cada uno. Se corren los 2^k posibles tratamientos y son útiles cuando el número de factores a estudiar se encuentra en el rango de dos y cinco ($2 \leq k \leq 5$). El rango de este intervalo se encuentra entre 4 y 32 tratamientos; esta cantidad es manejable para muchas situaciones experimentales.

$$N = 2^k \quad (20)$$

2.8.1.1. Factorial 2^k con punto central.

En caso de que los k factores de un diseño factorial 2^k admitan un nivel de prueba intermedio, se debe implementar un tratamiento adicional constituido por la combinación de los

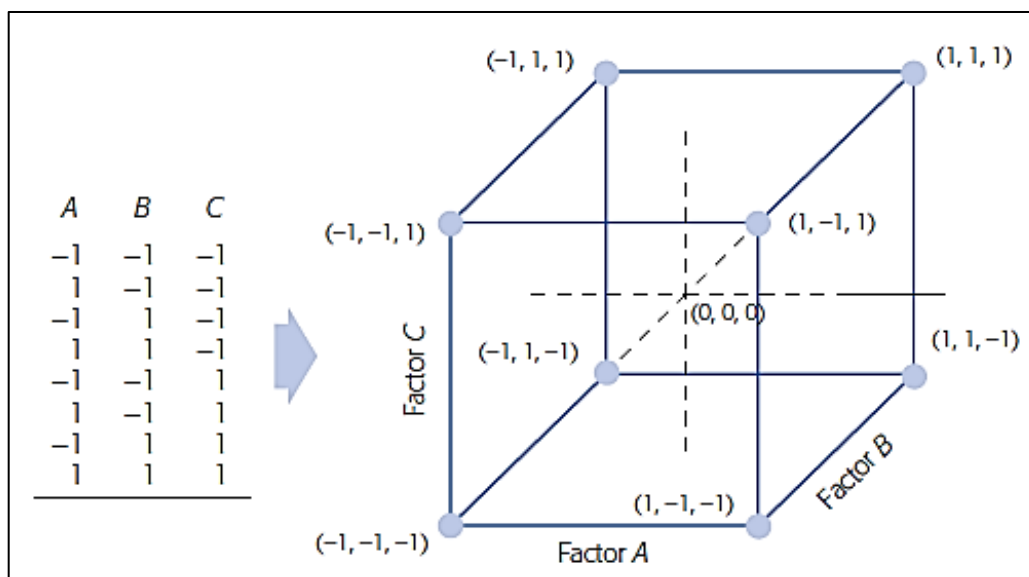
factores de nivel intermedio o medio; a esto se le denomina punto central. Para obtener el punto central, al número de pruebas se les debe adicionar un determinado número de réplicas, las cuales conllevan a obtener los grados de libertad adicionales y los efectos cuadráticos.

2.8.1.2. *Diseño factorial 2^3 .*

El diseño factorial 2^3 se estudian 3 factores de dos niveles cada uno, $2^3 = 8$ tratamientos diferentes, los tratamientos del diseño 2^3 y su representación geométrica (Figura 13), es un cubo regular centrado en el origen (0,0,0), los vértices son los 8 tratamientos, la matriz de diseño se construye de manera fácil alternando el signo negativo y el signo positivo en la primera columna, dos negativos y dos positivos en la segunda columna, cuatro negativos y cuatro positivos en la tercera columna.

Figura 13

Diseño factorial 2^3 y su representación geométrica



Nota: Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar (2008)

2.9. Efecto principal y efecto de interacción.

2.9.1. Efecto principal.

Se refiere a la diferencia entre la respuesta media detectada cuando dicho factor se encontraba en su primer nivel y la respuesta media detectada cuando el factor se encontraba en su segundo nivel.

$$E_{axb} = \frac{1}{n} \times \left(\sum_{i \in axb=+1} Y_i - \sum_{i \in axb=-1} Y_i \right) \quad (21)$$

Donde:

Y_i = Respuesta para el experimento i

n = Numero de términos

2.9.2. Efecto de interacción.

Ocurre cuando dos factores interactúan en la variable de respuesta; la influencia de un factor se determina por el nivel en el que se halla el otro.

$$E_{axb} = E_a - E_b \quad (22)$$

Donde:

E_a = Interacción en a

E_b = Interacción en b

Si el resultado es (+): El efecto b es bajo

Si el resultado es (-): El efecto de a es bajo

2.10. Hipótesis de interés.

Según Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar (2008), una hipótesis de interés es una suposición planteada para ser evaluada mediante investigación. En un diseño factorial de tres factores (A, B y C), se analizan tanto los efectos individuales (A, B, C) como las interacciones entre ellos (AB, AC, BC y ABC). El nivel de detalle del análisis depende de la cantidad de interacciones presentes. La hipótesis de interés podría ser:

2.10.1. Hipótesis nula (H_0).

Es una declaración que sostiene que no hay vínculo, impacto o diferencia significativa entre las variables que se están analizando; estas variaciones detectadas en los datos son resultado de la casualidad o carecen de relevancia estadística. La meta es verificar si existe suficiente evidencia para descartarla.

2.10.2. Hipótesis alternativa (H_1).

Hace referencia a lo contrario de la hipótesis nula; esta declaración sostiene que sí hay una relación, impacto o variación significativa entre las variables durante el estudio, y tiene como objetivo hallar evidencias que apoyan la hipótesis alternativa, lo que usualmente se realiza a través de la refutación de la hipótesis nula.

2.10.3. Nivel de significancia.

El valor 0.05 que representa un 5% de probabilidad, está vinculado al nivel de significancia (α) en los estudios estadísticos, y se utiliza como umbral para decidir si se debe rechazar la hipótesis nula. El valor de posibilidad (p Valor) para una prueba estadística se establece de la siguiente forma:

- Si $p \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa, es decir, los resultados son estadísticamente significativos.
- Si $p > 0.05$, no se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que no hay suficiente evidencia para afirmar que existen efectos significativos.

2.11. Análisis de regresión.

El análisis de regresión se encarga de modelar en forma matemática el comportamiento de una variable de respuesta en función de una o más variables independientes o también llamadas factores. Teniendo dos valores X (variable independiente o variable regresora) y Y

(variable dependiente y de respuesta), para explicar el comportamiento de Y en base a X, esta se mide sobre un conjunto de valores que se obtienen de los puntos de interacción de (X1, Y1)... (Xn, Yn) mediante el ajuste por medio del modelo matemático.

$$Y = F(x) \quad (23)$$

2.12. Análisis de Varianza.

Es usado para demostrar la significancia de los efectos de los factores que afectan un experimento, y tienen un impacto significativo en el proceso.

$$SC_T = SC_{TRAT} + SC_E \quad (24)$$

Donde:

SC_T : Suma total de cuadrados

SC_{TRAT} : Suma de cuadrados de tratamientos

SC_E : Suma de cuadrados del error

Cuando hay un total de $N = \sum_{i=1}^{n_i} n_i$, la SC_T tiene N-1 grados de libertad; Si hay k tratamientos o niveles, SC_{TRAT} tiene k - 1 grados de libertad; finalmente, para SC_E tiene N - k grados de libertad. Todos estos términos corresponden a la siguiente igualdad:

$$N - 1 = (k - 1) + (N - k) \quad (25)$$

Las sumas de cuadrados divididos entre sus grados de libertad se llaman cuadrados medios, siendo los dos más importantes el cuadrado medio de tratamientos y el cuadrado medio del error.

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k-1} \quad (26)$$

$$CM_E = \frac{SC_E}{N-k} \quad (27)$$

Cuando la hipótesis nula es verdadera, los cuadrados medios estiman la varianza σ^2 ; el estadístico sigue F con (k-1) en el numerador y (N-k) en el denominador:

$$F_o = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E} \quad (28)$$

Se consigna en la llamada tabla de análisis de varianza (ANOVA) tabla 3.

Tabla 3

Tabla ANOVA

FV	SC	GL	CM	F_o	Valor - p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^K \frac{Y_{i\cdot}^2}{n_i} - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$F_o = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_o)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	$N - 1$			

Nota: Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar (2008)

Donde: FV = Fuente de variabilidad, SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad
CM = Cuadrado medio, F_o = Estadístico de prueba y Valor de P = Significancia observada.

2.12.1. Grafica de efectos.

Según Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar (2008), las gráficas de los efectos no significativos deben seguir una distribución normal. Esto implica que los efectos no significativos tienden a alinearse en una línea recta; por otro lado, los efectos significativos se alejarán notablemente de esta línea de normalidad. Si se presentan efectos tanto positivos como negativos, la gráfica ofrecerá una mejor perspectiva, permitiendo identificar claramente cuáles efectos se alinean con una tendencia positiva o negativa.

2.12.2. Diagrama de Pareto.

El diagrama de Pareto de los efectos es una herramienta práctica que sirve para identificar los efectos más relevantes en función de su magnitud. Este gráfico de barras ordena los efectos en forma descendente, lo que facilita visualizar cuáles tienen mayor impacto. En el Diagrama de Pareto se obtendrá la estimación de los efectos estandarizados de la siguiente expresión. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008):

$$\text{Efecto estandarizado} = \frac{\text{efecto}}{\sqrt{\frac{\text{CM}_E}{n2^{k-2}}}} \quad (29)$$

2.12.3. Grafica de contornos.

Las curvas de nivel o gráficos de contornos permiten identificar con mayor exactitud las coordenadas del punto. Los números asociados a las curvas de nivel indican la extensión de la superficie en todo el contorno de toda la isolínea; estas curvas pueden trazarse según los valores que el experimentador determine.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general.

- La lixiviación por agitación mediante el uso del reactivo sandioss logra extraer el oro metálico del mineral aurífero de la Mina Hatun K'asa Sector Ccalani Comunidad Guanaco Distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco.

3.2. Hipótesis específicas.

- La concentración de reactivo sandioss es de 500 – 4000 ppm para lixiviar por agitación para extraer oro de la Mina Hatun K'asa Sector Ccalani Comunidad Guanaco Distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco.
- El tiempo estimado es de 48 horas para realizar lixiviación por agitación con reactivo sandioss para extraer oro de la mina Hatun K'asa sector Ccalani Comunidad guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco.
- El porcentaje en solidos de la pulpa es de 40% para la lixiviación por agitación con reactivo sandioss para extraer oro de la mina Hatun K'asa Sector Ccalani Comunidad guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco.

3.3. Variables e indicadores.

3.3.1. Variable dependiente.

- Porcentaje de extracción de oro

3.3.2. Variable independiente.

- Concentración de Sandioss.
- Tiempo de lixiviación

- Porcentaje de sólidos.

3.3.3. *Variables intervinientes.*

- Temperatura
- Grado de oxidación

3.4. Indicadores.

- Cantidad porcentual de oro recuperado (%).
- Cantidad de reactivo Sandioss por unidad de volumen (ppm).
- Tiempo total que duro la extracción de oro por lixiviación (hr).
- Valor numérico del porcentaje en peso que se ajuste al proceso de lixiviación (%).

Tabla 4*Operacionalización de variables*

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Unidad	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Porcentaje de extracción de oro	Dependiente	Cantidad porcentual de oro obtenido del mineral mediante el procedimiento de lixiviación por agitación. (Romero Garcia, 2020)	Mide la cantidad de oro recuperado mediante cálculos de balance metalúrgico, y se expresa en porcentaje.	0 - 100	%	Cantidad porcentual de oro recuperado.	• Ley de mineral (vía seca o húmeda) • Balance metalúrgico • Uso de hojas de cálculo Excel.
Concentración de Sandioss	Independiente	Es la cantidad de reactivo sandioss necesario con el que se puede lixiviar un mineral . (Huaco Condori, 2017)	Es la medida de reactivo sandioss requerido para obtener una solución lixivante, la medida de concentración es en ppm	500 - 4000	ppm	Cantidad de reactivo Sandioss por unidad de volumen.	• Cálculos volumétricos. • Cálculos de conversión • Uso de hojas de cálculo Excel. • Uso de Minitab 19
Tiempo de lixiviación	Independiente	Es una variable que depende de factores como la composición mineralogía, tamaño de las partículas de oro y concentración de reactivo. (Yana Vilca, 2018)	Es el período de tiempo asignado a un determinado volumen de solución lixivante para extraer el oro, su medición se mide en horas.	24 - 72	horas	Tiempo total que duro la extracción de oro por lixiviación	• Medición en cronometro. • Uso de hojas de cálculo Excel. • Uso de Minitab 19
Porcentaje de solidos	Independiente	Porcentaje de la masa sólida presente en una solución. (Delgado Farfan & Kancha Guerra, 2023)	Porcentaje que determina la proporción de mineral que se diluirá en un determinado volumen de agua para la dilución.	24 - 40	%	Valor numérico del porcentaje en peso que se ajuste al proceso de lixiviación	• Uso de hojas de cálculo Excel. • Uso de Minitab 19 • Instrumental de laboratorio.

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

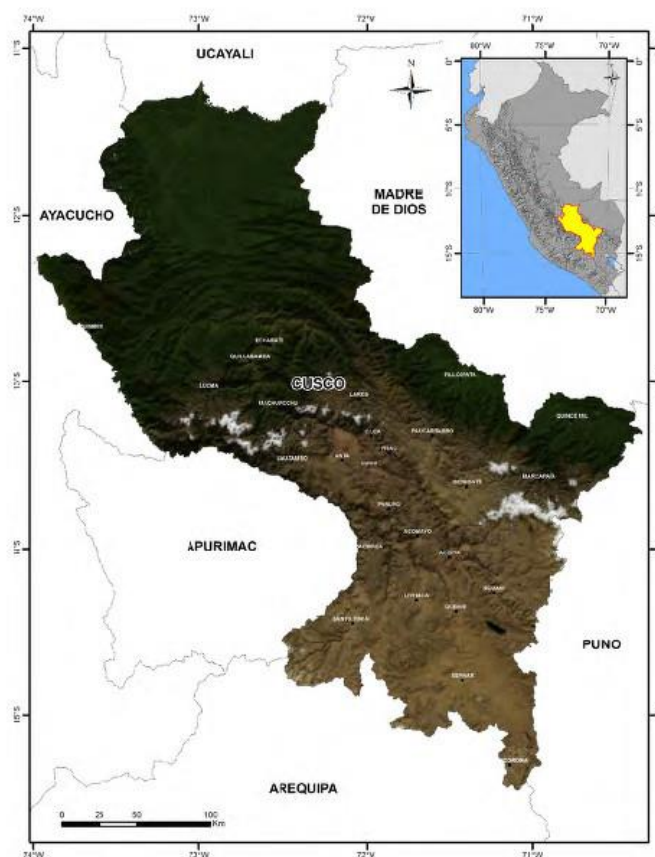
METODOLOGÍA

4.1. **Ámbito del objeto de Estudio: Localización Política y Geográfica**

Según Molina Porcel (2014), la superficie del Departamento de Cusco abarca 72,364.00 km², lo que equivale al 5.6% del territorio peruano (Figura 14). En la actualidad, el departamento está dividido políticamente en 13 provincias, las cuales se subdividen a su vez en 108 distritos. La provincia de Chumbivilcas posee 8 distritos, siendo el distrito de Santo Tomás la capital.

Figura 14

Mapa de la Región Cusco



Nota: Ingemet (2013)

La provincia de Chumbivilcas se encuentra en la zona sur-occidental del departamento del Cusco; su altitud es de 3,660 m.s.n.m. y abarca una extensión de 5,371.08 km², representando el 7.47% del territorio cusqueño. Es una región predominantemente andina; la agricultura, la ganadería y la minería son los pilares de su economía. El relieve de Chumbivilcas forma parte de la Cordillera de los Andes, con altitudes que varían significativamente. Esta geografía accidentada incluye cadenas montañosas, valles interandinos y altiplanicies. La provincia es atravesada por varias cuencas hidrográficas, como las de Santo Tomás, Velille y Livitaca; estas contribuyen a la fertilidad de los valles y permiten la agricultura en una región predominantemente montañosa. (Figura 15).

Figura 15

Mapa de la Provincia de Chumbivilcas



Nota: Google Earth Pro (-14.455702, -71.966747 Velille, 08430)

Su delimitación es con las siguientes provincias y ciudades:

- Norte: Limita con las provincias de Paruro y Anta.

- Sur: Colinda con el Departamento de Arequipa.
- Este: Con las Provincias de Acomayo y Canas.
- Oeste: Limita con el Departamento de Apurímac.

El distrito de Livitaca está situado a 3,752 metros sobre el nivel del mar y ocupa una extensión de 758.20 km². Tiene 15 comunidades; estas son: Pataqueña, Quehuincha, Ccollana, Huanaco, Huancané, Chilloroya, Huayllahuaylla, Kayno, Unión Qora, Totorá, Jalco, Pisquicocha, Parcora, Collana Alta y Aucho. El sector de Ccalani está situado en la comunidad de Huanaco, en este punto donde se ubica la mina Hatun K'asa, a 12.25 km del distrito de Livitaca. Esta ubicación fue determinada a través del software Google Earth Pro. (Figura 16).

Las coordenadas de ubicación son las siguientes:

- Latitud: 14°18'51.74" S
- Longitud: 71°41'19.35" O

Figura 16

Geolocalización de la Mina Hatun K'asa



Nota: Google Earth Pro (Livitaca - H8HG+C6, 08470)

4.2. Mineralogía.

Según Boulanger Rondoy, Chong Kam & Sipión Baltomado (2019), los recursos mineralógicos de Livitaca y sus comunidades circundantes presentan una pureza moderada y están compuestos principalmente por calcita (CaCO_3) y cuarzo (SiO_2). Estos minerales conforman la matriz predominante de la región, cuya característica más distintiva es la presencia de minerales auríferos (Au) y argentíferos (Ag), los cuales se encuentran en muestras de cuarzo, acompañados de pirita (FeS_2) y arenas.

4.3. Tipos y niveles de Investigación

Acorde a Huare Inacio (2019), los tipos y niveles de investigación para el presente trabajo de tesis son:

4.3.1. Investigación experimental.

La investigación experimental se enfoca en la manipulación de variables independientes para analizar su efecto en variables dependientes, controla los factores externos con el objetivo de establecer relaciones causales; su desarrollo sigue tres etapas principales: la primera realiza estudios preliminares con control limitado para explorar el fenómeno; la segunda emplea la asignación aleatoria de participantes y grupos de control para garantizar la validez de los resultados; y la tercera aplica un control moderado, manteniendo un equilibrio entre el rigor experimental y las condiciones prácticas del estudio.

4.3.2. Investigación tecnológica.

Se define como un proceso sistemático que busca aplicar el conocimiento científico para crear, desarrollar o perfeccionar el experimento de un proyecto de investigación, el cual busque responder a las necesidades específicas en los objetivos planteados. Este tipo de investigación no

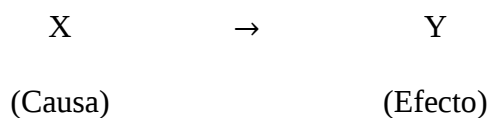
solo se enfoca en generar innovación, sino también en lograr el mejor aprovechamiento del objeto de investigación a estudiar y así poder enriquecer la eficiencia de un determinado proceso.

4.3.3. Nivel descriptivo.

El nivel descriptivo se enfoca en caracterizar y detallar un fenómeno, situación o experimento sin manipular variables. Este tipo de investigación responde a preguntas como "¿qué es?" o "¿cómo es?", describiendo características, propiedades y comportamientos observados en un determinado contexto. Este nivel es útil cuando se busca conocer más a fondo un determinado tema a ser explorado, tomando en cuenta la información existente; sirve como base para investigaciones explicativas.

4.3.4. Nivel explicativo.

Determina las causas de un fenómeno y establece relaciones de causalidad-efecto entre variables. Este tipo de investigación no solo describe hechos, también intenta responder al porqué de los acontecimientos, generando hipótesis y verificándolas para comprender los mecanismos subyacentes. De la misma manera, implica el uso de métodos rigurosos como estudios experimentales o análisis de casos que permitan identificar factores determinantes que puedan prevenir posibles consecuencias.



CAPÍTULO V

INGENIERIA DE LA INVESTIGACIÓN

5.3. Unidad de análisis.

El mineral aurífero de la Mina Hatun K'asa, sector Ccalani, Comunidad Guanaco, Distrito de Livitaca, Chumbivilcas, Cusco, constituye la unidad de análisis en el proceso de lixiviación por agitación para la extracción de oro (Figura 15).

Este mineral es de origen orográfico; es una roca caliza sedimentaria compuesta por arcillas, silicatos y cuarzo. El oro se encuentra encapsulado en forma de mineral grueso o charpas; junto a ello, también se halla con otras especies minerales como piritita y calcopiritita.

El uso del reactivo Sandioss es debido a su alta efectividad en la recuperación de oro; su extracción mejora con el incremento de su concentración, la cual se mide en partes por millón (ppm) o gramos, así como con el porcentaje de recuperación según tiempo de lixiviación (horas). Adicionalmente, el Sandioss es un compuesto ambientalmente amigable y seguro para la salud humana; ello lo convierte en una opción confiable para los propósitos de esta investigación.

5.4. Población

La población es de 34 ton/día de mineral aurífero proveniente de la mina Hatun K'asa ubicada en el sector Ccalani de la Comunidad Guanaco del Distrito de Livitaca, perteneciente a la Provincia de Chumbivilcas de la Región Cusco.

5.5. Muestra

Se tomará una muestra representativa de 13 kg del mineral aurífero, de esta se tomarán y se distribuirán en 10 bolsas Ziploc a 700 gramos en cada una para las pruebas de lixiviación.

5.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

5.6.1. Técnicas

- Recolección de información por medio de tesis, artículos científicos, libros y artículos web.
- Pruebas realizadas a nivel de laboratorio.
- Resultado obtenido del control del proceso de lixiviación.
- Reportes de laboratorio metalúrgico.

5.6.2. Instrumentos

- Libros
- Artículos científicos
- Antecedentes de investigaciones científicas.
- Páginas web

5.7. Materiales, equipos, reactivos y herramientas usadas.

5.7.1. Materiales

- Mineral aurífero
- Bandejas de plástico y de metal
- Espátulas de tamaño grande y pequeña
- Brochas
- Cucharillas para laboratorio
- Bandejas de papel
- Mesa de muestreo de laboratorio
- Lona de caucho
- Bolsas ziploc
- Cinta masking gruesa de color blanco

- Rotulador de color negro
- Embudos de plástico

5.7.2. *Instrumental de laboratorio*

- Mallas $\frac{1}{2}$ ", $\frac{1}{4}$ ", 10" y 200
- Mortero
- Rotap
- Panpeha
- Vaso precipitado de 100 ml
- Bagueta de vidrio
- Balanza de precisión
- Cucharas de laboratorio (grande y pequeña)
- Probeta de 1000 ml.
- Probeta de 100 ml.
- Pipeta de 10 ml.
- Matraz de 100 ml
- Globo de pipeta
- Embudo de vidrio
- Bureta de 100 ml.
- Recipientes de laboratorio
- Papel filtro
- Cartulina color negro
- Botellas de plástico
- Trapos y franelas de limpieza

- Reactores de lixiviación (botellas)

5.7.3. Equipos

- Chancadora de quijadas de 5" x 6"
- Chancadora de quijadas de 3" x 4"
- Chancadora de rodillos
- Molino de bolas de laboratorio
- Mesa de trabajo
- Mesa de rodillos

5.7.4. Reactivos

- Sandioss
- Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2)
- Nitrato de plata (AgNO_3)
- Yoduro de potasio (KI)

5.7.5. EPPS.

- Lentes de seguridad
- Tapon de oídos
- Guantes de seguridad
- Mascarilla de media cara para polvo y gases
- Guantes de látex para laboratorio

5.7.6. Softwares

- Microsoft Excel
- Minitab 19

5.8. Preparación mecánica del mineral

5.8.1. Chancado.

- Teniendo al mineral como roca en bruto, se inició la primera etapa de reducción de tamaño en la chancadora de quijadas de 5" x 6", donde se logró reducir el tamaño del mineral a una malla de ½" aproximadamente; los fragmentos de mayor tamaño sobrantes fueron sometidos a una reducción adicional para alcanzar el tamaño óptimo. Se aseguró el 100% de mineral fuera pasante; cabe señalar que todo el mineral resultante se dispuso en bandejas de plástico.
- El mineral a tamaño de ½" fue llevado a la segunda etapa de reducción en la chancadora de quijadas de 3" x 4", se redujo a malla ¼" aproximadamente, para obtener el 100% de mineral pasante; no se realizó otra ronda de trituración. En este caso se redujo vía mortero; mediante este, se permitió alcanzar el tamaño de partícula deseado de manera más precisa.
- La etapa final de reducción del mineral se realizó utilizando una chancadora de rodillos, logrando disminuir el tamaño del mineral de malla ¼" a -10 malla con un 100% de pasante. Finalmente, se extrajo una muestra representativa de 500 gramos, la cual fue enviada a un laboratorio externo para determinar la ley de cabeza. (Anexo I)

5.8.2. Molienda.

- Se tomó la totalidad del mineral chancado a malla -10 al 100% de pasante; con ello se procedió a homogenizar y cuartear la muestra sobre una lona previamente colocada en la mesa de muestreo del laboratorio. El propósito de ello fue el de garantizar una distribución uniforme del mineral molido de cara a las pruebas de lixiviación.

- Utilizando el método de división de muestras, se obtuvieron cuatro partes; de estas se seleccionaron dos. De cada una se extrajo una porción de 1 kg debidamente pesada. Cada una de estas muestras representativas se dispuso en bandejas de plástico.
- Se preparó el molino de bolas del laboratorio, limpiándolo de manera exhaustiva por medio de una brocha para remover cualquier residuo, tanto de la pared interior como de las bolas. Esta acción tuvo como objetivo evitar cualquier tipo de contaminación en el proceso.
- Se cargó un kilogramo de mineral junto con las bolas en el molino, se cerró la tapa de manera segura, asegurándose de evitar cualquier fuga. Antes de iniciar la molienda, se tomaron las medidas de seguridad adecuadas, utilizando equipo de protección personal (EPP), como mascarilla de media cara para polvo y protectores auditivos. Teniendo todo listo, se procedió a iniciar la molienda.
- Se tomaron como tiempos de molienda 10, 15 y 20 minutos respectivamente. De cada uno de estos intervalos se extrajeron 500.4 gramos de mineral molido, que fueron llevados al ROTAP para su respectivo tamizado. El conjunto de mallas utilizado se realizó según la siguiente distribución: 8, 20, 50, 60, 100, 140 y 200.
- Obtenida la cantidad de mineral pasante a malla -200, se tomó de la base del juego y se pesó; para cada tiempo de molienda se obtuvieron por medio de una regla de tres los siguientes resultados:

Para tiempo de 10 min: 228.6 gr

$$\frac{228.6}{500.4} \times 100\% = 45.68 \%$$

Para tiempo de 15 min: 296.4 gr

$$\frac{296.4}{500.4} \times 100\% = 59.23 \%$$

Para tiempo de 20 min: 313.0 gr

$$\frac{313.0}{500.4} \times 100\% = 62.55\%$$

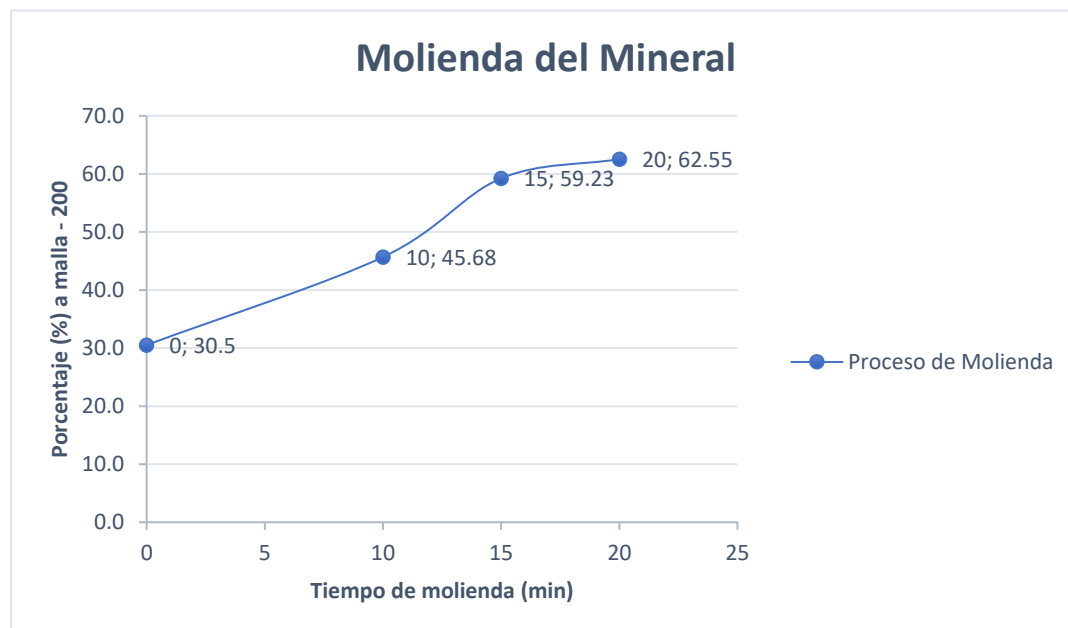
- Se tomaron los porcentajes de mineral pasante a malla -200 y sus respectivos tiempos de molienda; ambos datos fueron agrupados (Tabla 5). Con el fin de ello, fue determinar el tiempo necesario para el porcentaje de pasante para el tiempo cero; estos datos serán de utilidad para obtener el **tiempo óptimo de molienda**.
- Se utilizó la función PRONÓSTICO para realizar una interpolación y completar el porcentaje de mineral pasante a malla -200 para el tiempo 0, obteniendo un valor del 30.5%. Esto se basa en los datos agrupados, como se muestra en la Tabla 5.
- Se enviaron 420 gr de mineral molido a -200 malla para realizar una prueba Newmont en laboratorio; esta dio como resultado que el mineral es grueso. (Anexo IV)

Tabla 5

Tiempos de molienda

Tiempo (min)	Porcentaje (%)
0	30.5
10	45.68
15	59.23
20	62.55

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel

Figura 17*Grafica del proceso de molienda**Nota: Elaboración en Microsoft Excel*

- Utilizando el Microsoft Excel, se generó una gráfica de molienda del mineral (Figura 17), que muestra la relación entre el porcentaje de pasante a malla -200 y el tiempo de molienda (en minutos). Posteriormente, se procedió a la linealización de dicha gráfica para facilitar el análisis y obtener una representación más clara de la tendencia (Figura 18).
- Teniendo la función lineal:

$$Y = 1.6867x + 30.522$$

$$R^2 = 0.9727$$

Donde:

Pendiente: 1.6867 Corte del eje: 30.522 Erre cuadrada: 0.9727

- Para el valor de 60% a malla -200 el valor de x (tiempo) será:

$$60 = 1.6867x + 30.522$$

$$60 - 30.522 = 1.6867x$$

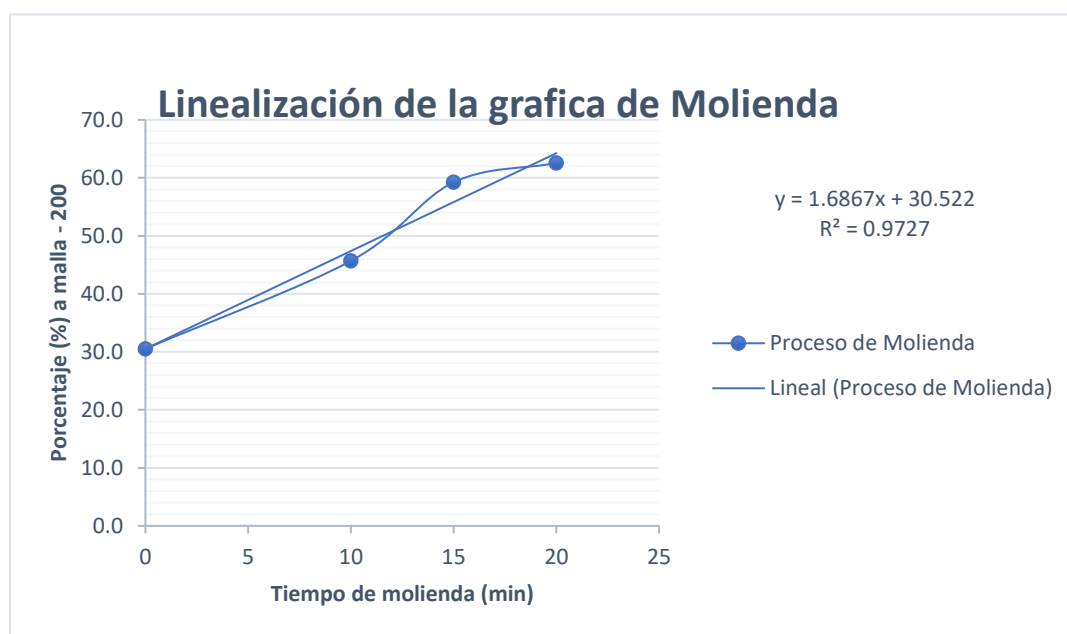
$$29.478 = 1.6867x$$

$$17.5 = x$$

- El tiempo optimo de molienda será de: 17.5 minutos.

Figura 18

Grafica linealizada del proceso de molienda



Nota: Elaboración en Microsoft Excel

5.9. Parámetros de operación.

Tabla 6

Parámetros operacionales de la lixiviación

Parámetros operativos	
Concentración de reactivo sandioss (ppm):	500 – 4000
Tiempo de agitación (hr):	24 – 72
Porcentaje de Solidos (%):	24 – 40
Granulometría:	60% - 200M
pH:	12
Velocidad de agitación (RPM):	40
Temperatura ambiente (°C):	18

Nota: Elaboración propia

5.10. Cálculos operativos para el proceso de lixiviación.

5.10.1. Cálculos para el mineral molido y del volumen de agua.

Para determinar la cantidad de mineral molido junto al volumen de agua requerido por cada botella (reactor) a rolar en la mesa de rodillos, se realizaron los siguientes cálculos:

5.10.1.1. Determinación del volumen de reactor.

- Se llenó completamente de agua uno de los reactores (botellas) hasta la total de su capacidad.
- Posteriormente, se midió el volumen obtenido en dos probetas de 1000 ml; finalmente, se calculó el 80% (capacidad óptima de cada reactor) para obtener el volumen definitivo.

$$\text{Volumen del reactor} = 1125 \text{ ml}$$

$$\text{Volumen del reactor (80\%)} = 1125 \times (0.8) = 900 \text{ ml} = 0.9 \text{ l}$$

5.10.1.2. *Determinación de la gravedad específica.*

- Se tomaron tres fiolas y se pesaron completamente vacías, los resultados fueron:

Peso fiola 1 (gr) = 56.41 Peso fiola 2 (gr) = 56.42 Peso fiola 3 (gr) = 56.40

- Se vertió agua hasta aforar los 100 ml de su capacidad y se realizó un nuevo peso, dando como resultado:

Peso fiola 1 (gr) + agua (gr) = 155.80 Peso fiola 2 (gr) + agua (gr) = 155.80

Peso fiola 3 (gr) + agua (gr) = 155.70

- Se adicionaron 5 gr del mineral molido a malla -200 y nos dio como resultado (G1):

Peso fiola 1 (gr) + agua (gr) + 5 gr de mineral = 160.8

Peso fiola 2 (gr) + agua (gr) + 5 gr de mineral = 160.8

Peso fiola 3 (gr) + agua (gr) + 5 gr de mineral = 160.7

- Se agitaron las 3 fiolas hasta obtener una pulpa uniforme; el peso de cada una dio los siguientes pesos (G2):

Peso fiola 1 (gr) + peso de pulpa (gr) = 158.8

Peso fiola 2 (gr) + peso de pulpa (gr) = 158.7

Peso fiola 3 (gr) + peso de pulpa (gr) = 158.7

- Finalmente se determinó la gravedad específica:

$$G. E. = \frac{\text{Peso del mineral}}{G1 - G2}$$

$$G. E._1 = \frac{5 \text{ gr}}{(160.8 - 158.8)} = 2.44 \quad G. E._2 = \frac{5 \text{ gr}}{(160.8 - 158.7)} = 2.38$$

$$G. E._3 = \frac{5 \text{ gr}}{(160.7 - 158.7)} = 2.50$$

- El promedio de los tres da como resultado la gravedad específica (GE) es:

$$G. E. = \frac{2.44 + 2.38 + 2.50}{3} = 2.4$$

5.10.1.3. Preparación de la pulpa.

A través de Excel, se realizó el balance de pulpa, obteniendo los datos para las pruebas de lixiviación. Estos variaron en función del peso inicial del mineral, así como del volumen total y la cantidad de pulpa utilizada, que fue de 100 gramos y 900 cc, respectivamente.

Tabla 7

Balance de pulpa pruebas 1, 2 ,3 y 4

	P.S.	Base de calculo			
		Para 100 g de pulpa		Para 900 cc de pulpa	
		PESO (gr)	VOLUMEN (ml)	PESO (gr)	VOLUMEN (cc)
MINERAL	24%	24	10	251.52	103.51
AGUA	76%	76	76	796.49	796.49
PULPA	100%	100	86	1048.02	900.00
CAL				1.01	

Nota: Elaboración propia

Para 100 de pulpa:

- Peso de agua:

$$\text{Peso de pulpa} - \text{Peso de Mineral} = \text{Peso de agua}$$

$$100 \text{ g} - 24 \text{ g} = 76 \text{ g}$$

- Volumen en ml de mineral disuelto:

$$\text{Vol. Mineral disuelto} = \frac{\text{Peso del mineral (g)}}{\text{Gravedad especifica (g/ml)}}$$

$$\text{Vol. Mineral disuelto} = \frac{24 \text{ g}}{2.4 \text{ g/ml}} = 10 \text{ ml}$$

- Volumen total de la pulpa:

$$\text{Vol. Mineral disuelto} + \text{Vol. de agua} = \text{Vol. de Pulpa}$$

$$10 \text{ ml} + 76 \text{ ml} = 86 \text{ ml}$$

Para 900 de pulpa:

- Peso de agua en gramos:

$$\text{Peso del agua} = \frac{\text{Vol. del agua (ml)} \times \text{Vol. de Pulpa (cc)}}{\text{Vol de la pulpa (ml)}}$$

$$\text{Peso del agua} = \frac{76 \times 900}{86} = 796.49 \text{ cc} \cong 746.49 \text{ g}$$

- Volumen de mineral diluido en cc:

$$\text{Volumen de mineral diluido} = \text{Volumen de pulpa} - \text{Volumen de agua}$$

$$\text{Volumen de mineral diluido} = 900 \text{ cc} - 796.49 \text{ cc}$$

$$\text{Volumen de mineral diluido} = 103.51 \text{ cc}$$

- Peso del mineral en gramos:

$$\text{Peso del mineral} = \text{Gravedad especifica} \times \text{Volumen del mineral diluido}$$

$$\text{Peso del mineral} = 2.4 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 103.51 \text{ ml}$$

$$\text{Peso del mineral} = 251.52 \text{ g}$$

- Peso de la pulpa en gramos:

$$\text{Peso del mineral} + \text{Peso del agua} = \text{Peso de la pulpa}$$

$$251.52 \text{ g} + 796.49 \text{ g} = 1048.02 \text{ g}$$

El resto de balances de pulpa ver en el apéndice 2.

5.10.2. Preparación de reactivos.

5.10.2.1. Preparación de Cal.

- En un vaso precipitado de 100 ml se vertió agua hasta llenarlo en la totalidad de su medición.

- Se añadieron 50 gramos de mineral mientras se iba agitando gradualmente con una bagueta de vidrio.
- A la mezcla se le agregó cal progresivamente hasta alcanzar un pH óptimo de 12; este se determinó utilizando el pamepha.
- La cantidad de cal requerida para alcanzar el pH requerido fue de 0.2 gramos; luego se estableció una expresión matemática obtenida de la regla de tres, la cual sirvió para determinar el peso de cal en función de cada peso de mineral obtenido del balance de pulpa.

$$\text{Peso de cal} - \text{Caso I} = 251.52 \text{ g de mineral} \times \frac{0.2 \text{ g de cal}}{50 \text{ g de mineral}}$$

$$\text{Peso de cal} - \text{Caso I} = 1.01 \text{ g de cal}$$

$$\text{Peso de cal} - \text{Caso II} = 354.82 \text{ g de mineral} \times \frac{0.2 \text{ g de cal}}{50 \text{ g de mineral}}$$

$$\text{Peso de cal} - \text{Caso II} = 1.42 \text{ g de cal}$$

$$\text{Peso de cal} - \text{Caso III} = 470.83 \text{ g de mineral} \times \frac{0.2 \text{ g de cal}}{50 \text{ g de mineral}}$$

$$\text{Peso de cal} - \text{Caso III} = 1.88 \text{ g de cal}$$

- Terminados los cálculos, se pesó cada cantidad de cal utilizando como contenedor una bandeja de papel.

5.10.2.2. *Preparación de reactivo sandioss.*

- Para determinar el peso de reactivo Sandioss en gramos se realizó la conversión: “La cantidad de 1 ppm está presente en una millonésima parte de la solución de una muestra. (Miranda Arauz, 1989, pág. 10)”

$$\text{Peso de sandioss} = \text{ppm} \times \frac{V}{1000}$$

Donde:

V: Volumen (l)

Peso: Cantidad de reactivo (g)

ppm: Partes por millón

- **Para 500 ppm:**

$$\text{gramos de sandioss} = 500 \text{ ppm} \times \frac{0.9 \text{ l}}{1000}$$

$$\text{gramos de sandioss} = 0.45 \text{ g}$$

- **Para 2250 ppm:**

$$\text{gramos de sandioss} = 2250 \text{ ppm} \times \frac{0.9 \text{ l}}{1000}$$

$$\text{gramos de sandioss} = 2.03 \text{ g}$$

- **Para 4000 ppm:**

$$\text{gramos de sandioss} = 4000 \text{ ppm} \times \frac{0.9 \text{ l}}{1000}$$

$$\text{gramos de sandioss} = 3.60 \text{ g}$$

- Finalizados los cálculos, se pesó las cantidades de Sandioss en una balanza de joyero según la distribución vista en la tabla 8, dado de que se trataba de pequeñas cantidades en gramos se utilizó una cucharilla de laboratorio para obtener la precisión requerida.

5.11. Proceso de lixiviación.

5.11.1. Acondicionamiento del mineral.

- Sobre la mesa de laboratorio se extendió la lona de caucho, luego se distribuyó los 12 kilogramos del mineral molido a -200 malla.

- Al mineral molido se le realizó blending por un lapso de 16 veces, posteriormente con ayuda de una brocha y una espátula para lograr la homogenización.
- Con la ayuda de un platillo de balanza se aplanó todo el mineral molido, formando una retorta que se dividió en varias cuadrículas. De cada cuadrícula se extrajo una porción con una espátula; finalmente, se depositó en las bolsas Ziploc.
- Todo el mineral molido se repartió en 10 bolsas Ziploc; a cada una se le rotuló el número de prueba correspondiente y se depositó 700 gramos de peso. El objetivo de ello fue que el sobrante sea una reserva para situaciones de contingencia.
- Al finalizar el empaquetado y rotulado de todas las muestras, se conservó el resto del mineral molido en dos bolsas para asegurar su conservación y mantenerlo alejado de contaminantes externos.

5.11.2. Acondicionamiento de reactores.

- Se prepararon los 10 reactores. Primeramente, se realizó una limpieza íntegra de las botellas; seguidamente, se cubrió una sección de la superficie exterior de cada botella con cinta masking blanca de gruesa. Ahí se anotaron con un rotulador de color negro los siguientes datos: número de prueba, tiempo, concentración, peso del mineral y volumen del líquido (Tabla 8).
- Para la cantidad de mineral correspondiente a cada reactor, se realizó el pesaje correspondiente al número de prueba asignado; se utilizó un recipiente de papel.
- Como medio para introducir el mineral al reactor designado, se utilizó un embudo de plástico específico para este propósito; su fin fue el de evitar las pérdidas.
- En cuanto al volumen de agua asignado, este se midió en una probeta de 1000 ml; seguidamente se vertió el contenido líquido al interior del reactor.

- Finalmente, para introducir el reactivo Sandioss, se repitió el procedimiento utilizado en la muestra de mineral; sin embargo, en esta ocasión el pesaje se llevó a cabo en una balanza pequeña, también conocida como balanza de joyero. Se utilizó un segundo embudo para evitar contaminación de reactivo.

5.11.3. Agitación de los reactores.

- Las pruebas de lixiviación iniciaron colocando los 10 reactores en la mesa de rodillos; se organizó la distribución en dos grupos de cinco. Esta disposición se optó para obtener un mejor espacio entre los reactores y facilitó de mejor manera el control de lixiviación de cada reactor.
- Se estableció un orden específico para las pruebas, asegurando una secuencia adecuada que permitiera un monitoreo efectivo; esta planificación fue fundamental para facilitar el control de los parámetros del proceso.
- El control de los parámetros de cada reactor de lixiviación se llevó a cabo en intervalos de tiempo múltiplos de 2, partiendo de 1 hora; el total de dichos tiempos debía sumar el total de tiempo asignado a cada prueba (Tabla 10).
- Al llegar la hora indicada de realizar el control de los parámetros de lixiviación de cada reactor, se optó por retirar cada uno de los reactores de la mesa de rodillos. Posteriormente, se esperó un tiempo aproximadamente de entre 10 y 15 minutos para permitir que la pulpa sedimentara al fondo de cada reactor.
- Una vez sedimentada la pulpa, se apreció que la solución PLS se ubicó en la parte superior; de esta manera se apreció una clara diferencia de fases entre la pulpa y el líquido. Teniendo esta separación, se procedió a extraer una muestra de solución libre de sólidos.

Con la ayuda de una pipeta y su absorbedor respectivo, se tomó un volumen alícuota de 4 ml de solución PLS; seguidamente esta se vertió en una probeta de 10 ml para corroborar la medida, para después de ello, esta se terminó reservando en un vaso de muestras para determinar los parámetros de control de lixiviación, como es la medición de pH y el análisis volumétrico de la solución PLS.

Tabla 8

Características de las 10 pruebas de lixiviación

Nro. de prueba	% de Solidos	Tiempo (hr)	Concentración de Sandioss (ppm)	Peso de mineral (g)	Volumen del líquido (ml)	Cal (g)
1	24	24	500	251.52	796.49	1.01
2	24	24	4000	251.52	796.49	1.01
3	24	72	500	251.52	796.49	1.01
4	24	72	4000	251.52	796.49	1.01
5	40	24	500	470.83	706.24	1.88
6	40	24	4000	470.83	706.24	1.88
7	40	72	500	470.83	706.24	1.88
8	40	72	4000	470.83	706.24	1.88
9	32	48	2250	354,82	753.98	1.42
10	32	48	2250	354,82	753.98	1.42

Nota: Elaboración propia

Tabla 9*Grupos de reactores de lixiviación*

Reactores de prueba			
Grupo	Cantidad de reactores	Numero de reactores	Tiempo de lixiviación (hr)
1ro	4	3, 4,7 y 8	72
	1	9	48
2do	4	1,2,5 y 6	24
	1	10	48

Nota: elaboración propia**Tabla 10***Intervalos de tiempo de lixiviación*

Intervalos de tiempo (hr)							
Tiempo de lixiviación (hr)	Intervalo 1	Intervalo 2	Intervalo 3	Intervalo 4	Intervalo 5	Intervalo 6	Intervalo 7
72	1	2	4	8	16	32	9
48	1	2	4	8	16	17	
24	1	2	4	8	9		

Nota: Elaboración propia**5.12. Parámetros de control de lixiviación****5.12.1. Medición del pH de solución lixivante.**

- Para la medición de pH se usó papel pampea; este se introdujo en el vaso de muestras de la solución PLS durante unos segundos. Se observó que este se tornó

a la coloración acorde al pH 12. Tras ello, se registró en la hoja de cálculo respectiva; hubo algunos casos donde la medición del pH arrojó 11.5. Para tales situaciones se incrementó la cal en 0.1 g.

- Se pudo observar que la cal fue el reactivo encargado de mantener el valor de pH en un medio básico; de ocurrir lo contrario, se inestabilizaría la extracción debido a la formación de compuestos ácidos, producto de la acidificación ocasionada por la hidrólisis.

5.12.2. Análisis volumétrico de la solución PLS.

- La titulación se aplicó a los 4 ml de solución PLS; se agregó 1 gota de yoduro de potasio (KI), el cual cumplió la función de indicador. Es importante destacar que la función de dicho indicador es facilitar el punto de neutralización completa de la reacción ácido-base en la solución lixivante. Seguidamente, la solución PLS con el indicador se colocó por debajo de la bureta y apoyándose en la base de esta se procedió a la titulación. Al abrir la válvula, se inició el goteo; la solución titulante utilizada fue el nitrato de plata (AgNO_3).
- A medida que el nitrato de plata iba goteando, se pudo apreciar cómo la solución lixivante de Sandioss con indicador cambiaba de un tono transparente a uno blanquecino para finalmente terminar en un amarillo opalescente. Esto indicó que el ferrocianuro de sodio reaccionó con el nitrato de plata para formar ferrocianuro de plata ($\text{Ag}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$); ello constató la presencia de concentración libre de Sandioss.
- Los parámetros medidos en cada titulación fueron: consumo de nitrato de plata, concentración de reactivo Sandioss y reposición de reactivo Sandioss. Estos se

determinaron mediante el uso de cálculos; un ejemplo de ello es la tabla 11, donde se aprecia la primera hora de control del reactor 9:

Tabla 11

Control de lixiviación prueba 9

V_o	V_f	Gasto $AgNO_3$	Conc.	Conc. (ppm)	Reposición (%)	Reposición (g)
12.9	13.5	0.6	3.75	0.04	0.01	0.09

Nota: Elaboración propia

Gasto de $AgNO_3$:

$$V_f - V_o = \text{Gasto } AgNO_3$$

Donde:

V_f = Volumen final de titulación

V_o = Volumen inicial de titulación

$$13.5 \text{ ml} - 12.9 \text{ ml} = 0.6 \text{ ml}$$

Concentración de $AgNO_3$:

Bases del cálculo:

Concentración del titulante = 25 ml

Volumen alícuota = 4 ml

Tomando la relación matemática la dilución:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

Donde:

C_1 = Concentración de sandioss

V_1 = Volumen alícuota (4ml)

C_2 = Concentración del titulante (25 cc)

V_2 = Volumen del titulante gastado

$$C_1 = 25 \text{ cc} \times \frac{0.6 \text{ ml}}{4 \text{ ml}}$$

$$C_1 = 3.75 \text{ cc}$$

Concentración de AgNO_3 en porcentaje :

$$\text{Conc (\%)} = \frac{3.75}{100} = 0.0375 \cong 0.04$$

Reposición de reactivo sandioss (%):

Calculo base:

Concentración de reactivo sandioss:

$$500 \text{ ppm} \cong 0.05\%$$

$$\text{Reposición (\%)} = \text{Con. Sandioss (\%)} - \text{Con. AgNO}_3 (\%)$$

$$\text{Reposición (\%)} = 0.05 - 0.04 = 0.01$$

Reposición del reactivo sandioss (g):

$$\text{Reposición (g)} = \frac{\text{Vol}_{\text{H}_2\text{O}} \times \text{Reposición (\%)}}{100}$$

Volumen de agua para la prueba 9 = 753.98 ml

$$\text{Reposición (g)} = \frac{753.98 \times 0.01}{100}$$

$$\text{Reposición (g)} = 0.09$$

Determinación del factor de solución titulante:

$$f = \frac{\text{Reposición del reactivo}}{\text{Gasto de AgNO}_3}$$

$$f = \frac{0.0375}{0.6}$$

$$f = 0.0625$$

- Todo el proceso de lixiviación tardó en completarse aproximadamente 5 días.
- El resto de tablas de control se encuentran en el apéndice 3.

En caso de que el valor de la reposición salga cero o un número negativo, implica que no será necesario añadir más reactivo.

CAPÍTULO VI

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados experimentales son el conjunto de datos devenidos del proceso de lixiviación del mineral aurífero en la mina Hatun K'asa. Para obtener la mayor precisión posible, se enviaron muestras de los productos obtenidos desde la preparación mecánica hasta el proceso de lixiviación. Se recurrió a laboratorios dedicados al análisis químico metalúrgico ubicados en la ciudad de Arequipa.

Se obtuvieron cuatro reportes de laboratorio que detallan los resultados experimentales; cada uno de estos se detalla a continuación:

6.1. Primer reporte: Ley de cabeza.

Proveniente de los 500 g de la muestra de mineral aurífero a malla -10 reducida por medio de la chancadora de rodillos. Este dato se obtuvo del ensayo de fuego para oro mediante reconocimiento gravimétrico (Tabla 12):

Tabla 12

Ley de cabeza mineral aurífero

Ley de cabeza		
Peso (g)	g/TM	Oz/TC
500	37.34	1.089

Nota: Laboratorios Analíticos del Sur

6.2. Segundo reporte: Determinación por vía húmeda.

Las 10 muestras de 50 ml de solución que fueron obtenidas de los reactores de prueba se depositaron en botellas rotuladas con el tiempo total de cada prueba (Tabla 13). El análisis

practicado fue el Método de Ensayo para Oro por Absorción Atómica en solución alcalina. (Anexo II).

Tabla 13

Ley de soluciones lixiviantes sandioss

Nro. de prueba	Peso de mineral (g)	Volumen del líquido (ml)	Extracción de Au (mg/l)
1	251.52	796.49	2.99
2	251.52	796.49	6.48
3	251.52	796.49	5.03
4	251.52	796.49	7.87
5	470.83	706.24	0.88
6	470.83	706.24	12.57
7	470.83	706.24	3.29
8	470.83	706.24	15.86
9	354.82	753.98	10.76
10	354.82	753.98	9.87

Nota: Laboratorios Analíticos del Sur

La data de los dos primeros reportes (Tabla 13) permitió realizar el balance metalúrgico.

6.3. Balance metalúrgico

6.3.1. Prueba 1.

- Contenido metálico:

$$\text{Cabeza} = 251.52 \text{ g} \times 37.34 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1\text{TM}}{10^6\text{g}} \times \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 9.39 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 796.49 \text{ ml} \times 2.99 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 2.38 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 9.39 \text{ mg} - 2.38 \text{ mg} = 7.01 \text{ mg}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{2.38 \text{ mg}}{9.39 \text{ mg}} \times 100 = 25.36\%$$

6.3.2. Prueba 2.

- Contenido metálico:

$$\text{Cabeza} = 251.52 \text{ g} \times 37.34 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 9.39 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 796.49 \text{ ml} \times 6.48 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ l}}{10^3 \text{ ml}} = 5.16 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 9.39 \text{ mg} - 5.16 \text{ mg} = 4.23 \text{ mg}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{5.16 \text{ mg}}{9.39 \text{ mg}} \times 100 = 54.96\%$$

6.3.3. Prueba 3.

- Contenido metálico:

$$\text{Cabeza} = 251.52 \text{ g} \times 37.34 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 9.39 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 796.49 \text{ ml} \times 5.03 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ l}}{10^3 \text{ ml}} = 4.01 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 9.39 \text{ mg} - 4.01 \text{ mg} = 5.38 \text{ mg}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{4.01 \text{ mg}}{9.39 \text{ mg}} \times 100 = 42.66\%$$

6.3.4. Prueba 4.

- Contenido metálico:

$$\text{Cabeza} = 251.52 \text{ g} \times 37.34 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1\text{TM}}{10^6\text{g}} \times \frac{10^3\text{mg}}{1\text{gr}} = 9.39 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 796.49 \text{ ml} \times 7.87 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 6.27 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 9.39 \text{ mg} - 6.27 \text{ mg} = 3.12 \text{ mg}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{6.27 \text{ mg}}{9.39 \text{ mg}} \times 100 = 66.75\%$$

6.3.5. Prueba 5.

- Contenido metálico:

$$\text{Cabeza} = 470.83 \text{ g} \times 37.34 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1\text{TM}}{10^6\text{g}} \times \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 17.58 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 706.24 \text{ ml} \times 0.88 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 0.62 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 17.58 \text{ mg} - 0.62 \text{ mg} = 16.96 \text{ mg}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{0.62 \text{ mg}}{17.58 \text{ mg}} \times 100 = 3.54\%$$

6.3.6. Prueba 6.

- Contenido metálico

$$\text{Cabeza} = 470.83 \text{ g} \times 37.34 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1\text{TM}}{10^6\text{g}} \times \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 17.58 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 706.24 \text{ ml} \times 12.57 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 8.88 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 17.58 \text{ mg} - 8.88 \text{ mg} = 8.70 \text{ mg}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{8.88 \text{ mg}}{17.58 \text{ mg}} \times 100 = 50.50\%$$

6.3.7. Prueba 7.

- Contenido metálico

$$\text{Cabeza} = 470.83 \text{ g} \times 37.34 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1\text{TM}}{10^6\text{g}} \times \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 17.58 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 706.24 \text{ ml} \times 3.29 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 2.32 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 17.58 \text{ mg} - 2.32 \text{ mg} = 15.26 \text{ mg}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{2.32 \text{ mg}}{17.58 \text{ mg}} \times 100 = 13.22\%$$

6.3.8. Prueba 8.

- Contenido metálico

$$\text{Cabeza} = 470.83 \text{ g} \times 37.34 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1\text{TM}}{10^6\text{g}} \times \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 17.58 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 706.24 \text{ ml} \times 15.86 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 11.20 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 17.58 \text{ mg} - 11.20 \text{ mg} = 6.38 \text{ mg}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{11.20 \text{ mg}}{17.58 \text{ mg}} \times 100 = 63.72\%$$

6.3.9. Prueba 9.

- Contenido metálico

$$\text{Cabeza} = 354.82\text{g} \times 37.34 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1\text{TM}}{10^6\text{g}} \times \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 13.25 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 753.98 \text{ ml} \times 10.76 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 8.11 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 13.25 \text{ mg} - 8.11 \text{ mg} = 5.14 \text{ mg}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{8.11 \text{ mg}}{13.25 \text{ mg}} \times 100 = 61.24\%$$

6.3.10. Prueba 10.

- Contenido metálico

$$\text{Cabeza} = 354.82\text{g} \times 37.34 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1\text{TM}}{10^6\text{g}} \times \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 13.25 \text{ mg}$$

$$\text{Solución} = 753.98 \text{ ml} \times 9.87 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 7.44 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios} = 13.25 \text{ mg} - 7.44 \text{ mg} = 5.81 \text{ mg}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{7.44 \text{ mg}}{13.25 \text{ mg}} \times 100 = 56.17\%$$

Tabla 14*Balance metalúrgico - Prueba 1*

	Peso (g)	Ley de Au	Cont. Metálico (mg)
Cabeza	251.52	37.34 g/TM	9.39
Solución	796.49	2.99 mg/l	2.38
Ripios	---	---	7.01
Extracción (%)	25.36		

Nota: Elaboración propia**Tabla 15***Balance metalúrgico - Prueba 2*

	Peso (g)	Ley de Au	Cont. Metálico (mg)
Cabeza	251.52	37.34 g/TM	9.39
Solución	796.49	6.48 mg/l	5.16
Ripios	---	---	4.23
Extracción (%)	54.96		

Nota: Elaboración propia**Tabla 16***Balance metalúrgico - Prueba 3*

	Peso (g)	Ley de Au	Cont. Metálico (mg)
Cabeza	251.52	37.34 g/TM	9.39
Solución	796.49	5.03 mg/l	4.01
Ripios	---	---	5.38
Extracción (%)	42.66		

Nota: Elaboración propia

Tabla 17*Balance metalúrgico - Prueba 4*

	Peso (g)	Ley de Au	Cont. Metálico (mg)
Cabeza	251.52	37.34 g/TM	9.39
Solución	796.49	7.87 mg/l	6.27
Ripios	---	---	3.12
Extracción (%)	66.75		

Nota: Elaboración propia**Tabla 18***Balance metalúrgico - Prueba 5*

	Peso (g)	Ley de Au	Cont. Metálico (mg)
Cabeza	470.83	37.34 g/TM	17.58
Solución	706.24	0.88 mg/l	0.62
Ripios	---	---	16.96
Extracción (%)	3.54		

Nota: Elaboración propia**Tabla 19***Balance metalúrgico - Prueba 6*

	Peso (g)	Ley de Au	Cont. Metálico (mg)
Cabeza	470.83	37.34 g/TM	17.58
Solución	706.24	12.57 mg/l	8.88
Ripios	---	---	8.70
Extracción (%)	50.50		

Nota: Elaboración propia

Tabla 20*Balance metalúrgico - Prueba 7*

	Peso (g)	Ley de Au	Cont. Metálico (mg)
Cabeza	470.83	37.34 g/TM	17.58
Solución	706.24	3.29 mg/l	2.32
Ripios	---	---	15.26
Extracción (%)	13.22		

Nota: Elaboración propia**Tabla 21***Balance metalúrgico - Prueba 8*

	Peso (g)	Ley de Au	Cont. Metálico (mg)
Cabeza	470.83	37.34 g/TM	17.58
Solución	706.24	15.86 mg/l	11.20
Ripios	---	---	6.38
Extracción (%)	63.72		

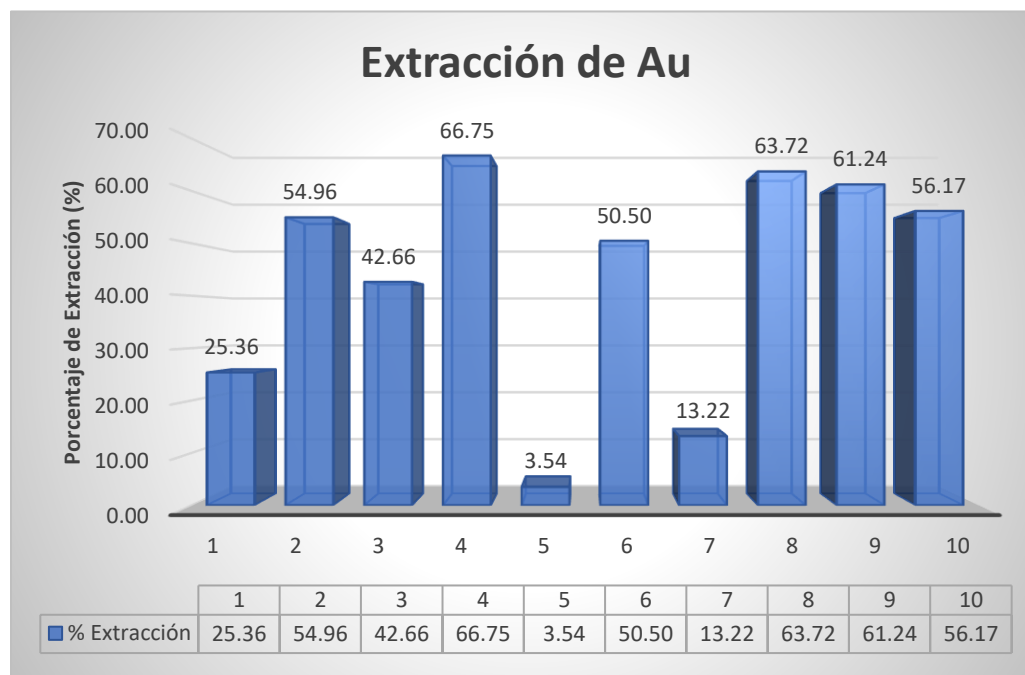
Nota: Elaboración propia**Tabla 22***Balance metalúrgico - Prueba 9*

	Peso (g)	Ley de Au	Cont. Metálico (mg)
Cabeza	354.82	37.34 g/TM	13.25
Solución	753.98	10.76 mg/l	8.11
Ripios	---	---	5.14
Extracción (%)	61.24		

Nota: Elaboración propia

Tabla 23*Balance metalúrgico - Prueba 10*

	Peso (g)	Ley de Au	Cont. Metálico (mg)
Cabeza	354.82	37.34 g/TM	13.25
Solución	753.98	9.87 mg/l	7.44
Ripios	---	---	5.81
Extracción (%)	56.17		

Nota: Elaboración propia**Figura 19***Porcentajes de extracción de Au**Nota:* Elaboración propia en Microsoft Excel

Dado que las pruebas 4 y 8 obtuvieron el mayor porcentaje de extracción (Figura 19), se optó por repetir el proceso de lixiviación en la prueba 8, ya que esta demostró ser la de mayor ley determinada por vía húmeda en mg/l. Como se sabe previamente, a esta prueba se le asignó 72 horas de lixiviación; por lo tanto, se aplicaron nuevamente los protocolos descritos en el Capítulo IV, numerales 4.10.3, 4.11.1 y 4.11.2 (Tabla 24).

Tabla 24

Porcentajes de extracción

Nro. de prueba	Peso de mineral (g)	Volumen del líquido (ml)	Extracción de Au	
			mg/l	%
1	251.52	796.49	2.99	25.36
2	251.52	796.49	6.48	54.96
3	251.52	796.49	5.03	42.66
4	251.52	796.49	7.87	66.75
5	470.83	706.24	0.88	3.54
6	470.83	706.24	12.57	50.50
7	470.83	706.24	3.29	13.22
8	470.83	706.24	15.86	63.72
9	354.82	753.98	10.76	61.24
10	354.82	753.98	9.87	56.17

Nota: Elaboración propia

A diferencia de la primera lixiviación, los intervalos de tiempo para el control de parámetros se ajustaron a 2, 4, 8, 16 y 32 horas respectivamente. De cada uno de estos intervalos, se extrajeron 20 ml de solución; seguidamente, se depositaron en botellas de plástico rotuladas con el nombre de cada prueba y su tiempo correspondiente.

Terminada la segunda lixiviación para la prueba 8, se dio por concluida la etapa de pruebas. Al final, tanto en la primera lixiviación con las 10 pruebas como en la segunda solo para la prueba 8, el instrumental utilizado fue limpiado para su conservación.

6.4. Tercer reporte: Analisis por via humeda de solucion lixivante sandioss - prueba 8.

Proveniente de las 5 muestras de 20 ml de solución lixivante pertenecientes a las respectivas a la segunda lixiviación de la prueba 8 (Tabla 25), se detalla la ley de solución lixivante en función del tiempo para dicha prueba. El método de análisis aplicado fue el ensayo para oro por colección en plomo y absorción atómica. (Anexo III):

- Tomando en cuenta: $1\text{ppm} \cong 1\text{ mg/l}$

Tabla 25

Ley de solución sandioss - Prueba 8

Tiempo (hr)	Extracción de Au (mg/l)
2	2.68
4	5.20
8	10.52
16	13.15
32	14.79
72	15.86

Nota: Laboratorios Analíticos del Sur

Los cálculos que se usaron para determinar la cinética de lixiviación son:

6.4.1. Para 2 horas.

- Tomando en cuenta

Vol. prueba 8 = 706.24 ml

- Contenido metálico:

$$\text{Solución} = 706.24 \text{ ml} \times 2.68 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 1.89 \text{ mg}$$

- Porcentaje de extracción:

Tomando en cuenta:

Contenido metálico cabeza prueba 8 = 17.58 mg

$$\frac{1.89}{17.58} \times 100 = 10.77\%$$

6.4.2. Para 4 horas.

- Tomando en cuenta

Vol. prueba 8 = 706.24 ml

- Contenido metálico:

$$\text{Solución} = 706.24 \text{ ml} \times 5.20 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 3.67 \text{ mg}$$

- Porcentaje de extracción:

Tomando en cuenta:

Contenido metálico cabeza prueba 8 = 17.58 mg

$$\frac{3.67}{17.58} \times 100 = 20.89\%$$

6.4.3. Para 8 horas.

- Tomando en cuenta

Vol. prueba 8 = 706.24 ml

- Contenido metálico:

$$\text{Solución} = 706.24 \text{ ml} \times 10.52 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 7.43 \text{ mg}$$

- Porcentaje de extracción:

Tomando en cuenta:

$$\text{Contenido metálico cabeza prueba 8} = 17.58 \text{ mg}$$

$$\frac{7.43}{17.58} \times 100 = 42.26\%$$

6.4.4. Para 16 horas.

- Tomando en cuenta

$$\text{Vol. prueba 8} = 706.24 \text{ ml}$$

- Contenido metálico:

$$\text{Solución} = 706.24 \text{ ml} \times 13.15 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 9.29 \text{ mg}$$

- Porcentaje de extracción:

Tomando en cuenta:

$$\text{Contenido metálico cabeza prueba 8} = 17.58 \text{ mg}$$

$$\frac{9.29}{17.58} \times 100 = 52.83\%$$

6.4.5. Para 32 horas.

- Tomando en cuenta

$$\text{Vol. prueba 8} = 706.24 \text{ ml}$$

- Contenido metálico:

$$\text{Solución} = 706.24 \text{ ml} \times 14.79 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{l}}{10^3\text{ml}} = 10.45 \text{ mg}$$

- Porcentaje de extracción:

Tomando en cuenta:

Contenido metálico cabeza prueba 8 = 17.58 mg

$$\frac{10.45}{17.58} \times 100 = 59.42\%$$

6.5. Cinética de lixiviación.

Teniendo todos los porcentajes de extracción correspondientes a la prueba 8, se organizó la información como se ve en la Tabla 26. Los datos que se tomaron en cuenta para la construcción de la gráfica de cinética de lixiviación fueron: el porcentaje de extracción y los tiempos de lixiviación.

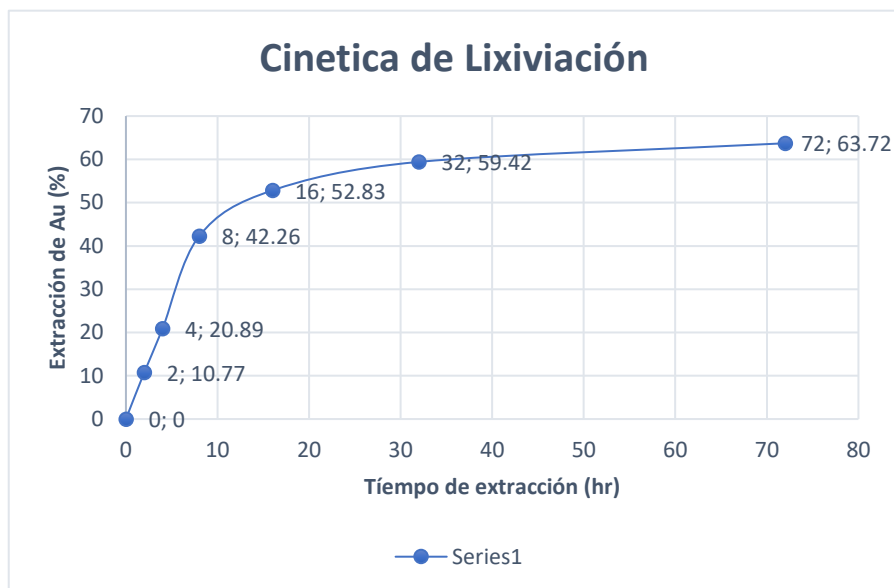
Tabla 26

Datos de cinética de lixiviación - Prueba 8

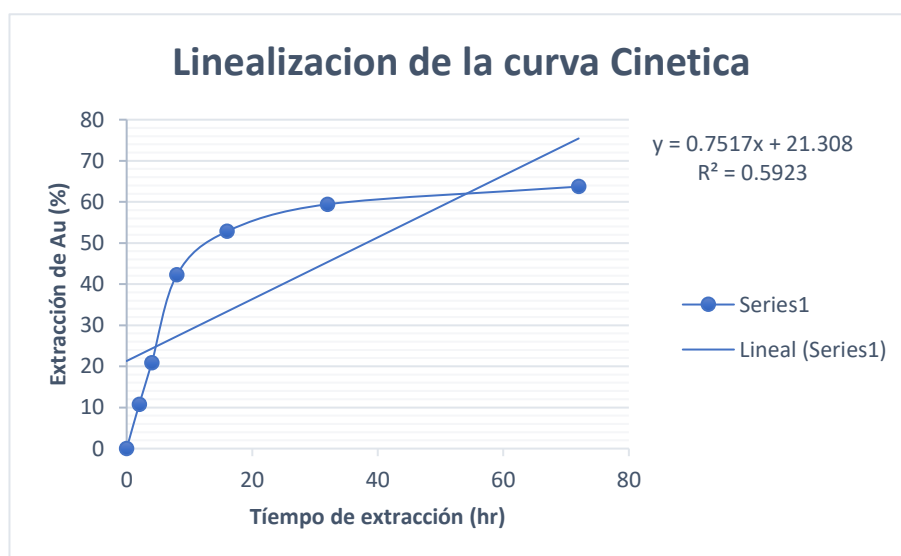
Prueba 8			
Tiempo (hr)	Au (mg/l)	Au (mg)	Extracción (%)
0	0	0	0
2	2.68	1.89	10.77
4	5.20	3.67	20.89
8	10.52	7.43	42.26
16	13.15	9.29	52.83
32	14.79	10.45	59.42
72	15.86	11.20	63.72

Nota: Elaboración propia

Por medio del Microsoft Excel se obtuvo la gráfica de dispersión y por ende la curva de cinética de lixiviación (Figura 20) así como también la linealización de dicha gráfica:

Figura 20*Cinética de lixiviación*

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel

Figura 21*Linealización de la curva cinética*

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel

La Figura 21 muestra una curva de extracción de Au (%) vs. tiempo de extracción (hr) titulada linealización de la curva cinética. En el gráfico se presentan dos elementos:

- La curva experimental tiene forma de saturación o tipo **logarítmica**, donde la extracción de Au aumenta rápidamente al inicio y después tiende a estabilizarse.
- La línea recta (tendencia lineal) representa un ajuste lineal de los datos.
- El ajuste lineal tiene la siguiente ecuación:

$$Y = 0.7517x + 21.308 \text{ con } R^2 = 0.5923$$

- Dado que la gráfica es porcentaje de extracción vs tiempo, no presenta un ajuste lineal fuerte y no sigue un comportamiento de orden cero (que sería lineal entre extracción y tiempo).
- La forma de la curva sugiere que podría tratarse de una cinética de primer orden, donde la velocidad disminuye con el tiempo a medida que se acerca al equilibrio (Levenspiel, 2004).

6.6. Diseño experimental mediante análisis factorial.

Para realizar el diseño experimental de los resultados experimentales se utilizó el programa MINITAB 19.

6.6.1. *Diseño factorial 2^k .*

Para construir el diseño factorial 2^k para 10 corridas de prueba, se tomó las siguientes consideraciones: El diseño factorial 2^k implica que cada factor presenta dos niveles (alto y bajo) donde se realizaron pruebas según todas las combinaciones posibles que se obtuvieron según estos niveles; sin embargo, en este caso se requirió de 10 pruebas. Estas, al no coincidir exactamente con un diseño 2^3 , se adicionaron 2 réplicas a las 8 combinaciones; estas cumplen la función de corridas adicionales como el punto central del diseño.

6.6.1.1. Variables y niveles

Para este caso, se tuvo tres variables:

- **Concentración (ppm):** Concentración del reactivo Sandioss (500 – 4000)
- **Tiempo (hr):** Tiempo de lixiviación (24 - 72)
- **Porcentaje de sólidos (%):** Porcentaje de sólidos en la mezcla (24 – 40)

Los niveles alto y bajo de cada variable se asignan como sigue:

- **Nivel máximo:** +1
- **Nivel mínimo:** -1.

Para el caso de las variables, cada una de estas tiene dos niveles denominados como alto (+1) y bajo (-1); para el caso de las tres variables ($k = 3$) del diseño factorial de 8 combinaciones experimentales, es el siguiente (Tabla 27):

Tabla 27

Variables y niveles operacionales

Variables	Niveles experimentales	
	Bajo -1	Alto +1
Concentración (ppm)	500	4000
Tiempo (hr)	24	72
Porcentaje de solidos (%)	24	40

Nota: Elaboración propia

6.6.1.2. Matriz de factorial diseño 2^3 .

El número total de combinaciones será $2^3 = 8$; la tabla 29 presenta 8 pruebas con todas las combinaciones posibles de los niveles altos (+1) y bajos (-1) de las tres variables. Al añadir 2

réplicas (repeticiones aleatorias) o una prueba central que se encuentre entre los niveles altos y bajos, se presentará de la siguiente manera:

- Prueba central: Concentración de 2250 ppm, tiempo de 48 horas, porcentaje de sólidos 32%.
- Prueba central (réplica): Misma prueba central para verificar repetibilidad.

Total de 10 pruebas (8 factoriales + 2 pruebas adicionales), las cuales dan cobertura de extremo a extremo y un punto central para validar las variables de rango medio (Tabla 28).

Tabla 28

Matriz 2³ sin punto central

Matriz de experimentos				Experimentación			Respuesta Y
N° de prueba	X1	X2	X3	Concentración (ppm)	Tiempo (hr)	Porcentaje de Sólidos (%)	Extracción (%)
P - 1	-1	-1	-1	500	24	24	25.36
P - 2	+1	-1	-1	4000	24	24	54.96
P - 3	-1	+1	-1	500	72	24	42.66
P - 4	+1	+1	-1	4000	72	24	66.75
P - 5	-1	-1	+1	500	24	40	3.54
P - 6	+1	-1	+1	4000	24	40	50.50
P - 7	-1	+1	+1	500	72	40	13.22
P - 8	+1	+1	+1	4000	72	40	63.72

Nota: Elaboración propia en MINITAB 19

Tabla 29*Matriz de Variables independientes*

Respuesta (Extracción %)		Prueba	X1 (C)	X2 (T)	X3 (%)	X1.X2	X1.X3	X2.X3	X1.X2.X3
Y1	25.36	P-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
Y2	54.96	P-2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
Y3	42.66	P-3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
Y4	66.75	P-4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
Y5	3.54	P-5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
Y6	50.50	P-6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
Y7	13.22	P-7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
Y8	63.72	P-8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel**6.6.1.3. Matriz de experimentos 2³ sin punto central.**

En un diseño factorial 2³, se analizan las interacciones entre las tres variables y sus efectos principales (Tabla 29). El análisis factorial permite descomponer la variabilidad total de la respuesta en componentes atribuidos a cada factor y sus combinaciones.

- **Interacciones:** Combinaciones de las variables que influyen en el porcentaje de extracción (%)
- **Efectos principales:** Es el impacto individual de X1, X2 y X3 sobre el porcentaje de extracción (%).

Concentración (C) x Tiempo (T):

- **Cálculo de las interacciones**

$$X1.X2 = [+1, -1, -1 + 1, +1, -1, -1, +1]$$

- **Cálculo de los efectos principales**

$$X1.X2_{(+1)} = [25.36, 66.75, 3.54, 63.72]$$

$$X1.X2_{(-1)} = [54.96, 42.66, 50.50, 13.22]$$

$$\text{Promedio } X1.X2_{(+1)} = \frac{25.36 + 66.75 + 3.54 + 63.72}{4} = 39.84$$

$$\text{Promedio } X1.X2_{(-1)} = \frac{54.96 + 42.66 + 50.50 + 13.22}{4} = 40.34$$

$$E_{X1.X2} = 39.84 - 40.34 = -0.49$$

Concentración (C) x Porcentaje de solidos (%):

- **Cálculo de las interacciones**

$$X1.X3 = [+1, -1, +1, -1, -1, +1, -1, +1]$$

- **Cálculo de los efectos principales**

$$X1.X3_{(+1)} = [25.36, 42.66, 50.50, 63.72]$$

$$X1.X3_{(-1)} = [54.96, 66.75, 3.54, 13.22]$$

$$\text{Promedio } X1.X3_{(+1)} = \frac{25.36 + 42.66 + 50.50 + 63.72}{4} = 45.56$$

$$\text{Promedio } X1.X3_{(-1)} = \frac{54.96 + 66.75 + 3.54 + 13.22}{4} = 36.42$$

$$E_{X1.X3} = 45.56 - 36.42 = 10.94$$

Tiempo (T) x Porcentaje de solidos (%):

- **Cálculo de las interacciones**

$$X2.X3 = [+1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, +1]$$

- **Cálculo de los efectos principales**

$$X2.X3_{(+1)} = [25.36, 54.96, 13.22, 63.72]$$

$$X2.X3_{(-1)} = [42.66, 66.75, 3.54, 50.50]$$

$$\text{Promedio } X2.X3_{(+1)} = \frac{25.36 + 54.96 + 13.22 + 63.72}{4} = 39.32$$

$$\text{Promedio } X2.X3_{(-1)} = \frac{42.66 + 66.75 + 3.54 + 50.50}{4} = 40.86$$

$$E_{X2.X3} = 39.32 - 40.86 = -1.55$$

Concentración(C) x Tiempo (T) x Porcentaje de solidos (%):

- **Cálculo de las interacciones**

$$X1.X2.X3 = [-1, +1, +1, -1, +1, -1, -1, +1]$$

- **Cálculo de los efectos principales**

$$X1.X2.X3_{(+1)} = [54.96, 42.66, 3.54, 63.72]$$

$$X1.X2.X3_{(-1)} = [25.36, 66.75, 50.50, 13.22]$$

$$\text{Promedio } X1.X2.X3_{(+1)} = \frac{54.96 + 42.66 + 3.54 + 63.72}{4} = 41.22$$

$$\text{Promedio } X1.X2.X3_{(-1)} = \frac{25.36 + 66.75 + 50.50 + 13.22}{4} = 38.96$$

$$E_{X1.X2.X3} = 41.22 - 38.96 = 2.26$$

6.6.1.4. Análisis de Varianza.

El análisis de varianza y los coeficientes codificados (Tablas 30 y 31) muestran los efectos estimados de las variables independientes (concentración, tiempo y % de sólidos), junto con sus interacciones, sobre la variable respuesta.

6.6.1.5. Modelo lineal.

Esta ecuación de regresión permite predecir el porcentaje de extracción en función de los factores involucrados en el proceso; toma en cuenta los efectos directos de cada variable así como sus interacciones. El modelo revela que la concentración y el tiempo son los factores con

el mayor impacto positivo; por su parte, el porcentaje de sólidos ejerce un efecto negativo considerable.

Tabla 30

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	4434.60	554.32	43.13	0.117
Lineal	3	3625.11	1208.37	94.02	0.076
Concentración	1	2855.79	2855.79	222.20	0.043
Tiempo (hr)	1	337.87	337.87	26.29	0.123
% de Sólidos	1	431.45	431.45	33.57	0.109
Interacciones de 2 términos	3	244.75	81.58	6.35	0.282
Concentración*Tiempo (hr)	1	0.49	0.49	0.04	0.878
Concentración*% de Sólidos	1	239.48	239.48	18.63	0.145
Tiempo (hr)*% de Sólidos	1	4.79	4.79	0.37	0.651
Interacciones de 3 términos	1	10.24	10.24	0.80	0.536
Concentración*Tiempo (hr)*% de Sólidos	1	10.24	10.24	0.80	0.536
Curvatura	1	554.50	554.50	43.14	0.096
Error	1	12.85	12.85		
Total	9	4447.45			

Nota: Elaboración propia en MINITAB 19

Tabla 31*Coeficientes codificados*

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		40.09	1.27	31.63	0.020	
Concentración	37.79	18.89	1.27	14.91	0.043	1.00
Tiempo (hr)	13.00	6.50	1.27	5.13	0.123	1.00
% de Solidos	-14.69	-7.34	1.27	-5.79	0.109	1.00
Concentración*Tiempo (hr)	-0.49	-0.25	1.27	-0.19	0.878	1.00
Concentración*% de Solidos	10.94	5.47	1.27	4.32	0.145	1.00
Tiempo (hr)*% de Solidos	-1.55	-0.77	1.27	-0.61	0.651	1.00
Concentración*Tiempo (hr)*% de Solidos	2.26	1.13	1.27	0.89	0.536	1.00
Pt Ctral		18.62	2.83	6.57	0.096	1.00

Nota: Elaboración propia en MINITAB19**Figura 22***Ecuación de regresión***Ecuación de regresión en unidades no codificadas**

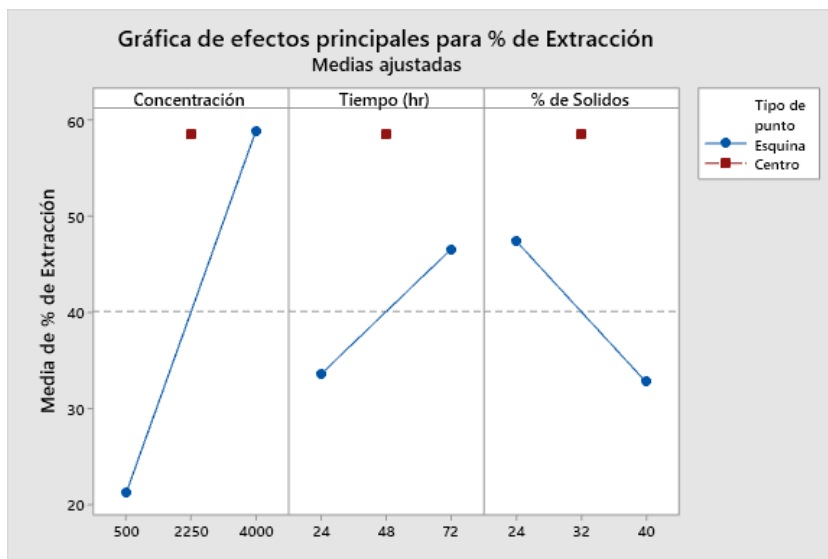
% de Extracción = 41.9 + 0.00374 Concentración + 0.655 Tiempo (hr) - 1.240 % de Solidos
 - 0.000114 Concentración*Tiempo (hr) + 0.000229 Concentración*% de Solidos
 - 0.0116 Tiempo (hr)*% de Solidos
 + 0.000003 Concentración*Tiempo (hr)*% de Solidos + 18.62 Pt Ctral

Nota: Elaboración propia en MINITAB 19

6.6.1.6. Gráficas de diseño factorial

Figura 23

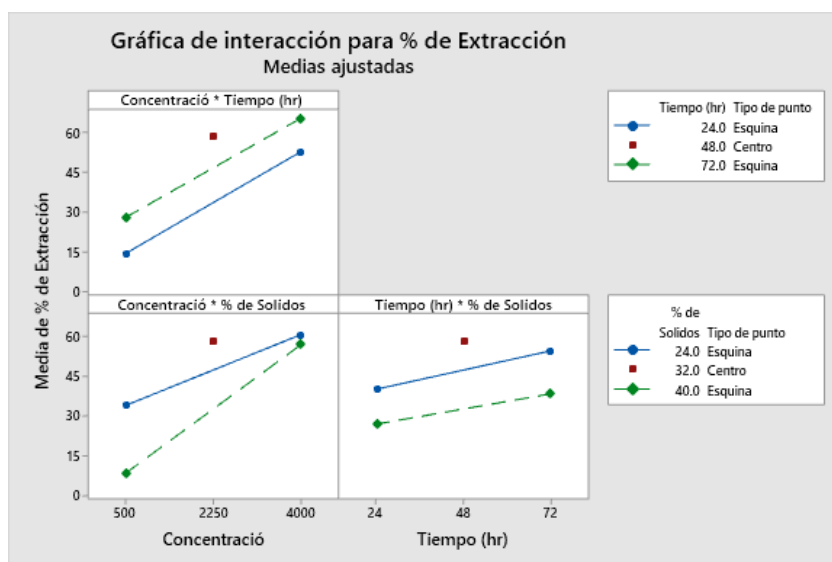
Gráfica de efectos principales



Nota: Elaboración propia en MINITAB 19

Figura 24

Gráficas de interacción



Nota: Elaboración propia en MINITAB 19

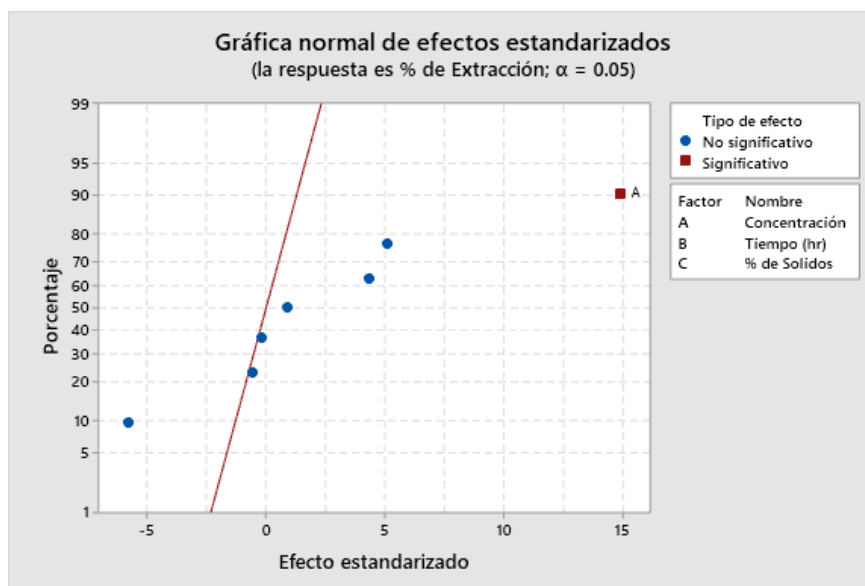
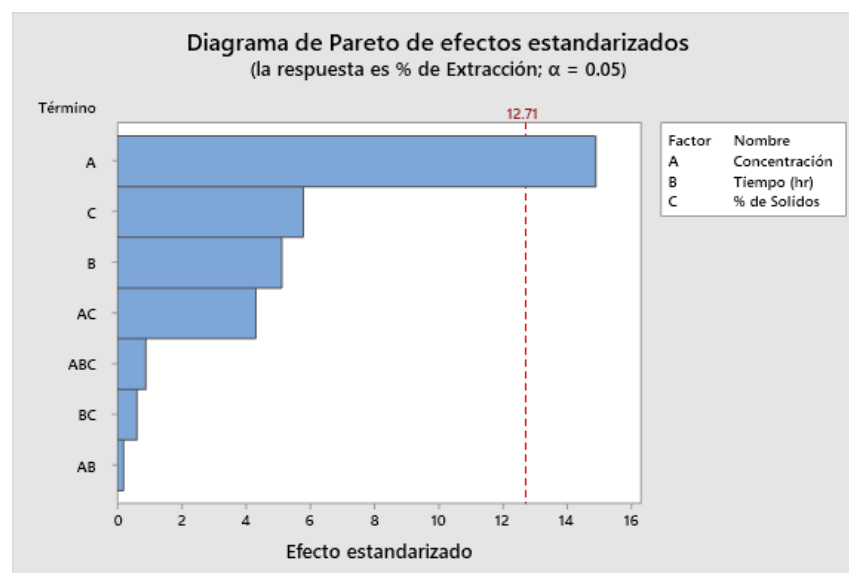
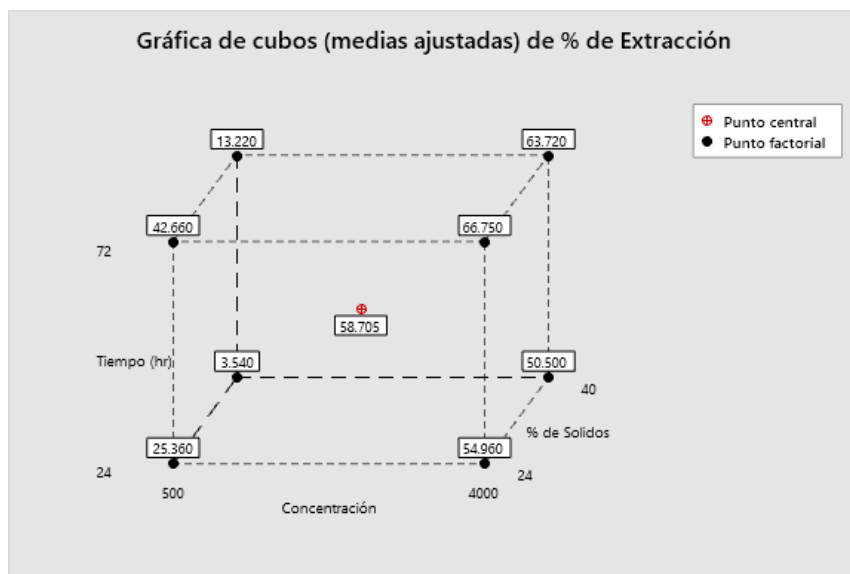
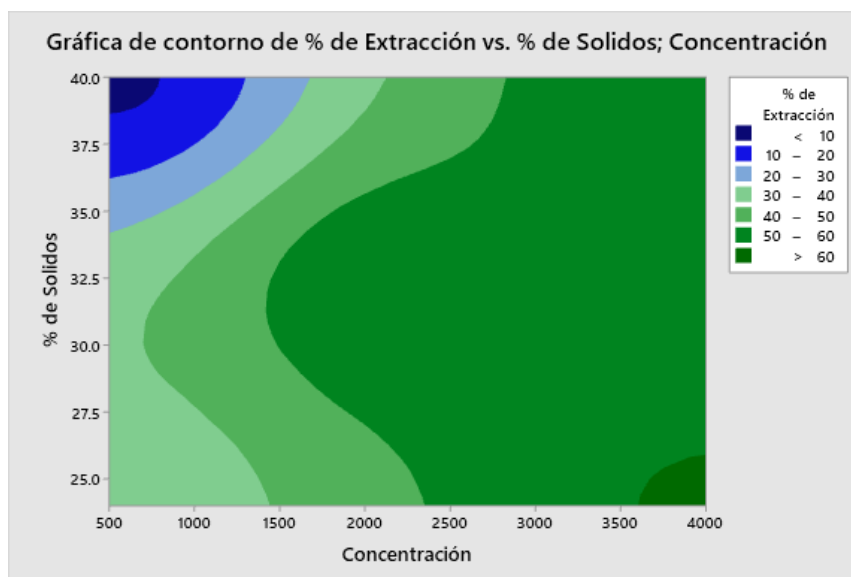
Figura 25*Gráfica normal de efectos**Nota:* Elaboración propia en MINITAB 19**Figura 26***Diagrama de Pareto**Nota:* Elaboración propia en MINITAB 19

Figura 27*Gráfica de cubos*

Nota: Elaboración propia en MINITAB 19

Figura 28*Gráfica de contorno*

Nota: Elaboración propia en MINITAB 19

CAPÍTULO VII

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Sobre los resultados de los análisis químicos de soluciones lixiviantes.

7.1.1. Interpretación de los porcentajes de extracción.

De los porcentajes de extracción que se obtuvieron, se puede observar que las pruebas 4 y 8 de 72 horas presentan una recuperación de 66.75 y 63.72 %, respectivamente; sin embargo, el análisis por vía húmeda de sus respectivas soluciones PLS arrojó concentraciones de 7.87 y 15.86 mg/l; por consiguiente, se deduce que la prueba 8 presenta un porcentaje de extracción ligeramente inferior al de la prueba 4 a pesar de tener la ley de solución lixiviante más alta de todas las 10 pruebas. Esto se debe a los valores del porcentaje en sólidos que se asignaron a las pruebas 4 y 8, los cuales fueron 24 y 40%, respectivamente; por lo que en el balance de pulpa se calculó 251.52 y 470.83 g de mineral y 796.49 y 706.24 ml de agua, respectivamente.

Esto demostró que la prueba 4 tuvo un porcentaje de recuperación más alto debido a que su volumen de agua es mayor respecto al de la prueba 8; de esta manera, el factor determinante de la pulpa 4 respecto a la 8 fue la mayor disposición a la dilución del reactivo.

7.1.2. Interpretación de la curva cinética de lixiviación

La prueba 8, al tener un volumen de pulpa denso debido a que el tamaño de granos del mineral aurífero es grueso, nos llevó a deducir que la recuperación llegaría a sus niveles más altos por medio de la ampliación del tiempo de lixiviación a más de 72 horas.

La gráfica de la cinética de lixiviación (Figura 20) nos ayudó a corroborar esta afirmación, ya que en ella se puede observar una tendencia al alza desde las 0 a 72 horas, lo cual demostró que existe una tendencia al alza de recuperación del oro; con ello se podrá llegar a un porcentaje de extracción que vaya acorde a los 15.85 mg/l de ley de la prueba 8.

7.2. Sobre el diseño experimental (tablas y gráficos).

7.2.1. Interpretación de los coeficientes codificados para variables lineales.

7.2.1.1. Efecto de la concentración.

El efecto de la concentración **37.79** indica que existe un aumento significativo del porcentaje de extracción; esto se debe a que la concentración aumenta de 500 a 4000 ppm (Figura 22). A 4000 ppm de concentración, la medida de extracción alcanza su máximo a un valor mayor del 60%; por lo tanto, se sugiere que al aumentar la concentración, el porcentaje de extracción aumenta significativamente.

7.2.1.2. Efecto del tiempo.

El valor del efecto del tiempo **13.00** indica un comportamiento más variable en el proceso de extracción; a 24 horas la extracción presenta un nivel moderado, pero se observa un incremento leve pero constante entre las 48 y 72 horas (Figura 22). Esto sugiere que el tiempo tiene un impacto positivo en la eficiencia del proceso de extracción; a medida que se prolonga el tiempo, también aumenta el porcentaje de extracción, permitiendo que esta sea más eficiente.

7.2.1.3. Efecto del porcentaje de sólidos.

El valor del porcentaje en sólidos **-14.69** muestra que, a medida que disminuye la extracción, aumenta el porcentaje de sólidos. A 24% y 32% de sólidos, el porcentaje de extracción va de mayor a intermedio; pero a un 40%, se observa un decrecimiento (Figura 22). El mayor porcentaje de sólidos puede dificultar la extracción debido a la mayor presencia de la fase sólida que ocasiona un menor contacto con la fase líquida; de esta manera, la dilución no será eficiente para la extracción.

7.2.2. Interpretación de los coeficientes codificados para 2 términos.

7.2.2.1. Efectos de la concentración* tiempo.

El efecto de la interacción entre la concentración y el tiempo (Figura 23), con un valor de **-0.49**, es negativo y pequeño. Esto sugiere que, aunque tanto la concentración como el tiempo tienen efectos positivos sobre la extracción cuando se consideran de manera individual, su combinación no resulta tan favorable, ya que puede llegar a un punto en el que la efectividad de la extracción se vea limitada.

7.2.2.2. Efecto de la concentración* % de sólidos.

El efecto de esta interacción entre concentración y porcentaje de sólidos es 10.94; este es un efecto positivo moderado (Figura 23). La interpretación de dicho efecto indica que, aunque el porcentaje de sólidos tiene un efecto negativo individualmente, este, al interactuar con la concentración, determina un aumento o disminución en el porcentaje de extracción.

7.2.2.3. Efecto del tiempo* % de sólidos.

El efecto de la interacción tiempo y porcentaje en sólidos es **-1.55**; este, al ser un valor negativo, sugiere que cuando el tiempo y el porcentaje de sólidos aumentan conjuntamente, el valor del porcentaje de extracción disminuye ligeramente; a pesar de que anteriormente, a nivel de variables lineales, tienen efectos individuales distintos, su interacción no favorece la extracción (Figura 23).

7.2.3. Interpretación de los coeficientes codificados para 3 términos

7.2.3.1. Efectos de concentración*tiempo*%solidos.

El efecto de la interacción entre los tres factores concentración, tiempo y porcentaje de sólidos es **2.26**; ello demuestra que es un impacto positivo aunque leve. A pesar de ello, también se puede apreciar que no se trata de una interacción significativa; por lo tanto, esto sugiere que la combinación simultánea de estas tres variables de investigación mejora ligeramente el porcentaje de extracción.

Tendencias Observadas:

- A medida que aumenta la concentración, el porcentaje de extracción también tiende a aumentar; esto sugiere que una mayor concentración favorece la extracción.
- El tiempo también tiene un efecto positivo en el porcentaje de extracción; ello indica que un tiempo de reacción más prolongado puede mejorar los resultados.
- La interacción entre las variables concentración y el tiempo ocasiona efectos críticos en el proceso de extracción.

7.2.4. Interpretación del análisis de varianza

7.2.4.1. Lineal.

Para la concentración:

- **Suma de cuadrados (SC Ajust.):** 2855.79
- **Grados de libertad (GL):** 1
- **Cuadrados medios (MC Ajust.):** 2855.79
- **F. calculado (Valor F):** 222.20
- **Probabilidad (Valor p):** 0.043 demuestra que la concentración es estadísticamente significativa, con un valor p cercano a 0.05.

Para el tiempo:

- **Suma de cuadrados (SC Ajust.):** 337.87
- **Grados de libertad (GL):** 1
- **Cuadrados medios (MC Ajust.):** 337.87
- **F. calculado (Valor F):** 26.29
- **Probabilidad (Valor p):** 0.123 es mayor que 0.05, lo que sugiere que el efecto del tiempo no es estadísticamente significativo.

Para el % de sólidos:

- **Suma de cuadrados (SC Ajust.):** 431.45
- **Grados de libertad (GL):** 1
- **Cuadrados medios (MC Ajust.):** 431.45
- **F. calculado (Valor F):** 33.57
- **Probabilidad (Valor p):** 0.109 es mayor respecto al 0.05, lo cual indica que el efecto del porcentaje de sólidos no es estadísticamente significativo.

La concentración es el factor más influyente en el porcentaje de extracción; este alcanza un nivel de significancia estadística considerable. Los que le siguen en términos de influencia en seguir ello son el porcentaje de sólidos y el tiempo; sin embargo, en cuanto a significancia estadística, estos dos últimos factores no muestran un efecto relevante en el análisis.

7.2.4.2. *Interacciones de 2 términos.*

Para interacción de concentración y el tiempo:

- **Suma de cuadrados (SC Ajust):** 0.49
- **Grados de libertad (GL):** 1
- **Cuadrados medios (MC Ajust.):** 0.49
- **F. calculado (Valor F):** 0.04
- **Probabilidad (Valor p):** 0.878 es mucho mayor que 0.05, lo que confirma que la interacción entre concentración y tiempo no es significativa.

Para interacción de concentración y % de sólidos:

- **Suma de cuadrados (SC Ajust):** 239.48
- **Grados de libertad (GL):** 1
- **Cuadrados medios (MC Ajust.):** 239.48

- **F. calculado (Valor F):** 18.63
- **Probabilidad (Valor p):** 0.145 es mayor que 0.05 por lo que la interacción no es estadísticamente significativa.

Para interacción de tiempo y % de solidos:

- **Suma de cuadrados (SC Ajust):** 4.79
- **Grados de libertad (GL):** 1
- **Cuadrados medios (MC Ajust.):** 4.79
- **F. calculado (Valor F):** 0.37
- **Probabilidad (Valor p):** 0.651 es mayor que 0.05 lo que confirma que la interacción entre tiempo y porcentaje de sólidos no es significativa.

Algunas interacciones, como la de concentración y el porcentaje de sólidos, a pesar de los valores F elevados, no alcanzan un nivel de significancia estadística. Esto sugiere que estas combinaciones de factores no tienen un efecto conjunto relevante; por lo tanto, es probable que los efectos principales de las variables individuales sean más dominantes que sus interacciones en este contexto.

7.2.4.3. *Interacciones de 3 términos.*

Para interacción de concentración, tiempo y % de solidos:

- **Suma de cuadrados (SC Ajust):** 10.24
- **Grados de libertad (GL):** 1
- **Cuadrados medios (MC Ajust.):** 10.24
- **F. calculado (Valor F):** 0.80
- **Probabilidad (Valor p):** 0.536 es significativamente mayor que 0.05, por lo que la interacción de las tres variables no es estadísticamente significativa.

La combinación de estos tres factores no genera un efecto conjunto notable, ello que sugiere que su interacción simultánea no desempeña un papel importante en la explicación de la variabilidad observada en los datos; por el contrario, los efectos individuales de cada factor resultan ser los más relevantes en todo el análisis experimental para comprender el comportamiento del sistema.

7.2.5. Interpretación de la gráfica normal estandarizada y del diagrama de Pareto.

En la figura 24 se puede apreciar la gráfica normal estandarizada; esta permite evaluar qué efectos son significativos con un nivel de confianza de $\alpha = 0.05$.

7.2.5.1. Gráfica normal estandarizada.

Análisis:

- Eje X (Efecto estandarizado): Muestra la magnitud del efecto estandarizado de cada factor en el porcentaje de extracción.
- Eje Y (Porcentaje): Representa el porcentaje acumulado en una escala normal.
- Punto rojo (A): Indica que el factor A (Concentración) es significativo, lo que significa que tiene un efecto considerable sobre el porcentaje de extracción. Este punto está alejado de la línea de referencia roja, lo que confirma su significancia.
- Puntos azules: Indica que los factores B (Tiempo) y C (Porcentaje de sólidos) representan los efectos que no son significativos, es decir, no tienen un impacto estadísticamente ya que están por debajo de la línea de referencia.

Línea de referencia:

- La línea roja diagonal representa la línea de referencia para determinar la significancia de los efectos. Los puntos que se encuentran por encima de esta línea

son considerados significativos, mientras que los puntos azules indican efectos no significativos.

7.2.5.2. Diagrama de Pareto.

La Figura 25 es un diagrama de Pareto de efectos estandarizados; esta muestra el impacto de varios factores y sus interacciones sobre el porcentaje de extracción, nivel de confianza de $\alpha = 0.05$.

Barreras horizontales (factores e interacciones):

- A (Concentración) es el factor más importante, con un efecto estandarizado superior a 12.71, lo que lo hace estadísticamente significativo.
- C (Porcentaje de sólidos), a pesar de no cruzar el umbral de significancia, es el segundo factor más influyente, seguido de B (Tiempo).
- Interacciones AC (Concentración *% de sólidos) y otras interacciones de términos de mayor orden, como ABC, BC, AB, no tienen efectos significativos.

Línea de Referencia:

- La línea roja punteada muestra el valor crítico de 12.71 y cualquier efecto que la supere se considera estadísticamente significativo. Solo A (Concentración) cumple con este criterio, mientras que los demás factores y sus combinaciones no son lo suficientemente grandes como para ser considerados significativos.

7.2.6. Interpretación de las gráficas de cubos y de contorno.

7.2.6.1. Grafica de cubos.

Este gráfico permite visualizar cómo varía la extracción en función de diferentes combinaciones de estos factores. Destacan tanto los puntos centrales como los puntos factoriales (Figura 26).

Ejes y estructura:

El gráfico está estructurado en forma de cubo; cada eje representa una de las variables.

- Eje x: Representa los valores de la concentración de 500 a 4000 ppm.
- Eje y: Representa el porcentaje de sólidos, con valores que van desde 24 hasta 72 %.
- Eje z: Representa el tiempo de 24 a 72 hr.

Puntos centrales y factoriales:

- **Punto central:** El punto 58.705 en el espacio tridimensional se define por tres coordenadas. Estas corresponden a los valores intermedios de los tres factores involucrados en el experimento: 48 horas, 2250 ppm de concentración y 32% en sólidos.
- **Puntos factoriales:** Estos valores indican el porcentaje de extracción en combinaciones específicas de dos factores por vértice; cada uno de estos puntos explica cómo se comporta la extracción bajo cada una de estas condiciones. Los puntos en mención que se encuentran en los vértices del cubo son: 13.220, 63.720, 3.540, 50.500, 42.660, 66.750, 25.360 y 54.960 %.

7.2.6.2. Gráfica de contorno.

La Figura 27 es una gráfica de contorno que muestra la relación entre el porcentaje de extracción de sólidos versus la concentración de reactivo sandioss. Las características resaltantes de esta grafica son las áreas coloreadas, estas indican los distintos valores crecientes del porcentaje de extracción ubicada en la leyenda vista al costado derecho de la gráfica antes mencionada.

- Eje X (Concentración): Varía entre 500 y 4000 ppm e indica diferentes niveles de concentración.

- Eje Y (porcentaje de sólidos): Varía entre el 25 y 40%.

Áreas de extracción y leyenda:

La leyenda a la derecha muestra la escala de colores que representa el área del porcentaje de extracción:

- Azul oscuro: Áreas de menor extracción, valores menores del 10%.
- Verde oscuro: Área de mayor extracción, valores de más del 60%.
- A medida que los colores azul y verde pasan de una transición a otra, el porcentaje de extracción va aumentando.

Tendencias vistas en el gráfico:

- En concentraciones bajas, alrededor de 500 ppm y porcentajes de sólidos cercanos al 40%, se observa una zona azul oscuro; ello indica un bajo porcentaje de extracción, menos del 10%.
- Conforme aumenta la concentración hacia los niveles más altos (3000 a 4000), el porcentaje de extracción mejora notablemente, alcanzando más del 60%, especialmente cuando el porcentaje de sólidos está alrededor de 25-35%.

CONCLUSIONES

- Se logró la lixiviación por agitación utilizando el reactivo Sandioss, alcanzando una extracción superior al 60% de oro en las muestras 4 y 8 en un periodo de 72 horas. Estos resultados confirman la efectividad del proceso, así como también sugieren una tendencia hacia niveles de extracción cercanos al 83% bajo condiciones optimizadas. Esto destaca el potencial del método para alcanzar altos rendimientos en la recuperación.
- Se requirió concentraciones entre 500 y 4000 ppm de reactivo Sandioss para lograr la lixiviación por agitación. Se pudo observar también que, al aumentar la concentración, el porcentaje de extracción de oro se incrementa significativamente. De esta manera, la importancia de una dosificación adecuada de Sandioss maximiza la recuperación de oro en el proceso de lixiviación.
- Se necesitó para la lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss un tiempo estimado de 24 a 72 horas; sin embargo, los resultados demostraron que se requiere de un tiempo mayor a 72 horas para optimizar la recuperación de oro. Esto sugiere que, aunque el rango inicial es adecuado, un período más largo es necesario para mejorar significativamente la eficiencia del proceso. Este ajuste incorpora la nueva información de manera clara.
- Se requirió un porcentaje de sólidos de 24% a 40% para la lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss, demostrando que es adecuado para la extracción de oro de tipo grueso; sin embargo, se observó que un mayor porcentaje de sólidos puede dificultar la extracción, lo que resalta la importancia de mantener la dilución adecuada para lograr alta recuperación de oro bajo las condiciones evaluadas.

$$Y = 41.9 + 0.00374 C + 0.655 T - 1.240 \% S - 0.000114 C * T + 0.000229 C * \% S - 0.0116 T * \% S + 0.000003 C * T * \% S + 18.62$$

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los tesisistas que tomen estos ítems o similares, ajustar cuidadosamente la relación entre la cantidad de mineral y el volumen de agua; de esta manera se asegurará que el porcentaje de sólidos sea adecuado para evitar un incremento en el tiempo de lixiviación, especialmente en el caso de minerales gruesos. Un exceso de sólidos o una proporción inadecuada de agua puede ralentizar el proceso de lixiviación.
- Se recomienda a los estudiantes de la rama minero-metalúrgica dedicar mayor atención y estudio a los reactivos ecológicos. Actualmente, estas tecnologías aún presentan ciertas desventajas frente a los reactivos tradicionales; sin embargo, con el paso del tiempo y el desarrollo continuo, es probable que este reactivo evolucione.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

- Ballester, A., Verdeja , L. F., & Sancho, J. (2000). *Metalurgia Extractiva* (Vol. I). Madrid, España: Síntesis.
- Benavente Escóbar, C., Delgado Madera, F., Taipe Maquerhua, E., Audin, L., & Pari Pinto, W. (2013). *Nanotectonica y Peligro Sismico en la Regio Cusco*. INGEMET, Lima, Peru.
- Boulangger Rondoy, E., Chong Kam, L., & Sipión Baltomado, C. (2019). *Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para inclusión económica social y desarrollo en la región Cusco: sector meridional*. INGEMMET, Lima, Peru.
- C. Montgomery, D. (2004). *Diseño y analisis de experimentos* (Vol. 2da). Mexico D.F., Mexico: Limusa S.A.
- Derry, R. (1972). *Pressure hydrometallurgy, a bibliographical review; mineral processing information no 7*. Warren Springs Laboratory, Hertfordshire. UK.
- Domic Mihovilovic', E. M. (2001). *Hidrometalurgia fundamentos, procesos y aplicaciones*. Santiago, Chile.
- Gaviria C, A. C., Restrepo B:, O. J., & Bustamante R., M. O. (2007). Hidrometalurgia aplicada linea de metales preciosos. (*Notas de clase*). Universidad Nacional de Colombia Medellin, Medellin, Colombia.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Analisis y diseño de experimentos* (2da ed.). Mexico D.F.: Mc Graw Hill.

- Habashi, F. (1967). *KInetics an mechanisms of gold and silver dissolution im cyanide solutions*. EE. UU.: Bureau of Mines, CO.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodologia de la investigación* (Vol. 6ta). Mexico D.F., Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Huare Inacio, E. J. (2019). *Método de investigación*.
- Ives, D. (1964). *Principles of the Extration of Metaldas. Royal Insitute of Chemostry Monograph for Teachers N° 3*. London, UK.
- Levenspiel, O. (2004). *Ingeniería de las reacciones químicas*. Oregón, EEUU: Limusa Wiley.
- Marsden, J., & House, C. (2009). *The Chemistry of Gold Extraction*. Colorado, USA.
- Miranda Arauz, A. (1989). *Consideraciones para uniformizar los resultados de un analisis quimico de suelos*. San Jose, Costa Rica: IICA.
- Misari Chuquipoma, F. S. (1993). *Metalurgia del oro*. Lima, Peru.
- Molina Porcel, E. (2014). *Geografia del Cusco*. Cusco, Peru: Aquarela Impresiones Graficas.
- Tecsup. (2022). *Metalurgia extractiva del oro*. Arequipa, Peru.
- Uceda Herrera, A. D. (2016). *Hidrometalurgia Quimica e Ingenieria*. Lima, Peru: Crea Ediciones Graficas EIRL.
- Uceda Herrera, D. A. (2016). *Hidrometalurgia Qumica e Ingenieria de la Extraccion de Oro*. (U. N. Trujillo, Ed.) Moquegua; Peru.

- Vargas Gallardo, J. (1990). *Metalurgia del oro y la plata* (Vol. 2da). Lima, Perú: San Marcos.

ARTICULOS ELECTRONICOS

- Garcia Rosales, E. M., Camporredondo Saucedo, J. E., Castruita Avila, L. G., & Equihua Guillem, F. (2020). *Asturnatura.com*. doi:<https://www.asturnatura.com/mineral/oro/8.html>

TESIS

- Alonso, R., & Bustamante, E. (2015). Evaluación metalúrgica de lixiviación con ácido sulfúrico de mineral oxidado de cobre de la Mina Antapaccay para optimizar su comportamiento frente a los parámetros controlados de altura y curado. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Peru.
- Ciprian Jordan, N., & Mayta Marca, G. (2023). Extracción de oro por agitación con reactivo Sandioss del yacimiento Quico Grande, Ocongate - región Cusco. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Delgado Farfan, G. V., & Kancha Guerra, J. L. (2023). Lixiviación con Gold Max del oro de los relaves de la concentración gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Peru.
- Chuquilin Quiliche, C. J. (2019). “INFLUENCIA DEL CIANURO DE SODIO, GOLDMAX Y SANDIOSS EN LA RECUPERACIÓN DE ORO POR. (*Tesis de grado*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Peru.

- Gomez Elorrieta, J. L., & Morales Mendoza, M. (2012). Evaluacion del proceso de lixiviación por agitación de minerales de Au - Ag en la Compañia Ares Castilla - Arequipa. (*Investigacion tecnologica*). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Peru.
- Huaco Condori, M. C. (2017). Evaluación del porcentaje de dislución de oro en la lixiviación con sandioss mediante diseños experimentales. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de San Agustin, Arequipa, Peru.
- Romero Garcia, J. O. (2020). Extraccion del oro mediante el proceso de lixiviación con el reactivo sandioss de yacimiento minero Chocrocoña, Llusco - Chumbivilcas, Region Cusco. (*Investigación tecnologica*). Universidad Nacional de San Atonio Abad del Cusco, Cusco, Peru.
- Urquizo Urquizo , F. G. (2023). Aplicación del lixiviante GDA como alternativa al uso del cianuro en la planta de beneficio de la Empresa Minera y Construtura Comincobos S.A: *Trabajo de Integración Curricular*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas, Ecuador.
- Yana Vilca, J. C. (2018). Optimización del proceso de cianuración de oro en la Planta La Joya Mining. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa, Arequipa, Peru.

PAGINAS WEB

- Aguilar, I., Cruces, E., & Diaz, B. (s.f.). *Riuma*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/10372/15%20PIE%20ANOVA.pdf

- Lemcorp. (s.f.). Scribd. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/244753154/MSDS-SANDIOSS-pdf>
- Minera Ores. (14 de Agosto de 2022). Pruebas de Cianuración - Laboratorio Metalúrgico. YouTube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=WL77Bq05KUw>
- Shanghai Sheng Xin Materials Co., L. (2020). *Sandioss*. doi:<http://www.sandioss.com/es/h-col-127.html>

APÉNDICES

Apéndice 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TEMA: LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN CON REACTIVO SANDIOSS PARA LA EXTRACCIÓN DE ORO DE LA MINA HATUN K'ASA SECTOR CCALANI COMUNIDAD GUANACO DISTRITO DE LIVITACA - CHUMBIVILCAS - CUSCO

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema general. ¿Sera la tecnología más optima la lixiviación por agitación con reactivo Sandioss para extraer oro de la mina Hatun K'asa sector Ccalani comunidad Guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco? Problemas específicos. • ¿Qué dosis de reactivo Sandioss se requerirá para realizar la lixiviación por agitación para extraer oro de la Mina Hatun K'asa Sector Ccalani Comunidad Guanaco Distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco? • ¿Cuánto tiempo se necesitará para lixiviar por agitación con reactivo Sandioss para extraer oro de la Mina Hatun K'asa sector Ccalani comunidad Guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco? • ¿Qué porcentaje de sólidos contendrá la pulpa en la lixiviación por agitación utilizando el reactivo Sandioss para la extracción de oro en la Mina Hatun K'asa, ubicada en el Sector Ccalani de la Comunidad Guanaco, Distrito de Livitaca, Chumbivilcas, Cusco?	Objetivo general. Ejecutar la lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss para extraer oro de la Mina Hatun K'asa, en el Sector Ccalani de la Comunidad Guanaco, Distrito de Livitaca, Chumbivilcas, Cusco. Objetivos específicos. • Determinar la cantidad y la concentración de reactivo Sandioss requerido para la lixiviación por agitación para extraer oro de la mina Hatun K'asa sector Ccalani Comunidad guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco. • Establecer el tiempo necesario para la lixiviación por agitación con reactivo Sandioss para extraer oro de la mina Hatun K'asa sector Ccalani Comunidad guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco. • Determinar el porcentaje en solidos optimo de la pulpa para la lixiviación por agitación con reactivo Sandioss para extraer oro de la mina Hatun K'asa sector Ccalani Comunidad guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco.	Hipótesis general. La lixiviación por agitación mediante el uso del reactivo sandioss logra extraer el oro metálico del mineral aurífero de la Mina Hatun K'asa Sector Ccalani Comunidad Guanaco Distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco. Hipótesis específicas. • La concentración de reactivo sandioss es de 500 – 4000 ppm para lixiviar por agitación para extraer oro de la Mina Hatun K'asa Sector Ccalani Comunidad Guanaco Distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco. • El tiempo estimado es de 48 horas para realizar lixiviación por agitación con reactivo sandioss para extraer oro de la mina Hatun K'asa sector Ccalani Comunidad guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco. • El porcentaje en solidos de la pulpa es de 40% para la lixiviación por agitación con reactivo sandioss para extraer oro de la mina Hatun K'asa Sector Ccalani Comunidad guanaco distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco.	Dependientes. • Porcentaje de extracción de oro Independientes. • Concentración de reactivo sandioss • Tiempo de lixiviación • Porcentaje de solidos Intervinientes. • Temperatura • Grado de oxidación Indicadores. • Cantidad porcentual de oro recuperado (%). • Cantidad de reactivo Sandioss por unidad de volumen (ppm). • Tiempo total que duro la extracción de oro por lixiviación (hr). • Valor numérico del porcentaje en peso que se ajuste al proceso de lixiviación (%).	Tipo de Investigación. Experimental - Tecnológica Nivel de investigación. Descriptivo – explicativo Diseño de investigación Factorial 2³ Población. 34 ton/día de mineral aurífero la mina Hatun K'asa sector Ccalani Comunidad Guanaco Distrito de Livitaca Chumbivilcas Cusco Muestra. 13 kg de mineral proveniente de la Comunidad de Huanaco Técnicas. • Pruebas experimentales en laboratorio • Análisis químico metalúrgico Instrumentos • Libros • Artículos científicos • Antecedentes bibliográficos • Microsoft Excel • Minitab 19

Nota: Elaboración propia

Apéndice 2

Balance de pulpa pruebas 5, 6 ,7 y 8:

		Base de calculo			
		Para 100 g de pulpa		Para 900 cc de pulpa	
	P.S.	PESO (gr)	VOLUMEN (ml)	PESO (gr)	VOLUMEN (cc)
MINERAL	40%	40	16.46	470.83	193.76
AGUA	60%	60	60	706.24	706.24
PULPA	100%	100	76.46	1177.07	900.00
CAL				1.88	

Balance de pulpa pruebas 9 y 10:

		Base de calculo			
		Para 100 g de pulpa		Para 900 cc de pulpa	
	P.S.	PESO (gr)	VOLUMEN (ml)	PESO (g)	VOLUMEN (cc)
MINERAL	32%	32	13.17	354.82	146.02
AGUA	68%	68	68	753.98	753.98
PULPA	100%	100	81.17	1108.80	900.00
CAL				1.42	

Pesos y volúmenes de las pruebas 1 al 10:

Muestra	Peso	Volumen
M -1	251.52	796.49
M -2	251.52	796.49
M -3	251.52	796.49
M -4	251.52	796.49
M -5	470.83	706.24
M -6	470.83	706.24
M -7	470.83	706.24
M -8	470.83	706.24
M -9	354.82	753.98
M -10	354.82	753.98

Apéndice 3

Control de lixiviación reactor 1

REACTOR 1										
				AgNO ₃			Sandioss			
Tiempo de control (H)	Hora	Vo	Vf	Gasto AgNO ₃	Conc.	Conc. (%)	Reposición (%)	Reposición (gr)	pH	Adición de cal (gr)
1	14:00	3.2	3.7	0.5	3.13	0.03	0.02	0.15	12	
2	16:00	7.9	8.5	0.6	3.75	0.04	0.01	0.10	12	
4	20:00	11.9	12.2	0.3	1.87	0.02	0.03	0.25	12	
8	04:00	0.3	0.6	0.3	1.88	0.02	0.03	0.25	12	
9	13:00	5.7	6.5	0.8	5.00	0.05	0.00	0.00	12	

24

Control de lixiviación reactor 2

REACTOR 2										
				AgNO ₃			Sandioss			
Tiempo de control (H)	Hora	Vo	Vf	Gasto AgNO ₃	Conc.	Conc (%)	Reposición (%)	Reposición (gr)	pH	Adición de cal (gr)
1	14:00	3.7	4.5	0.8	5.00	0.05	0.00	0.00	12	
2	16:00	8.6	9.4	0.8	5.00	0.05	0.00	0.00	12	
4	20:00	12.2	12.9	0.7	4.38	0.04	0.01	0.05	12	
8	04:00	0.7	1.5	0.8	5.00	0.05	0.00	0.00	12	
9	13:00	6.6	7.5	0.9	5.63	0.06	-0.01	-0.05	12	

24

Control de lixiviación reactor 3

REACTOR 3										
				AgNO ₃			Sandioss			
Tiempo de control (H)	Hora	Vo	Vf	Gasto AgNO ₃	Conc	Conc (%)	Reposición (%)	Reposición (gr)	pH	Adición de cal (gr)
1	14:20	8.7	9.4	0.7	4.38	0.04	0.01	0.05	12	
2	16:20	18.4	19	0.6	3.75	0.04	0.01	0.10	11.5	0.1
4	20:20	0.1	0.3	0.2	1.25	0.01	0.04	0.30	11.5	0.2
8	04:20	0.2	0.5	0.3	1.88	0.02	0.03	0.25	11.8	0.3
16	20:20	0.3	0.6	0.3	1.88	0.02	0.03	0.25	12	
32	04:20	16.4	17	0.6	3.75	0.04	0.01	0.10	12	
9	13:20	0.2	0.6	0.4	2.50	0.03	0.03	0.20	12	

72

Control de lixiviación reactor 4

REACTOR 4										
				AgNO ₃			Sandioss			
Tiempo de control (H)	Hora	Vo	Vf	Gasto AgNO ₃	Conc	Conc (%)	Reposición (%)	Reposición (gr)	pH	Adición de cal (gr)
1	14:20	9.9	10.4	0.5	3.13	0.03	0.02	0.15	12	
2	16:20	19.0	19.5	0.5	3.13	0.03	0.02	0.15	12	
4	20:20	0.4	1.1	0.7	4.38	0.04	0.01	0.05	12	
8	04:20	0.7	1.5	0.8	5.00	0.05	0.00	0.00	12	
16	20:20	0.7	1.2	0.5	3.13	0.03	0.02	0.15	12	
32	04:20	17.1	17.9	0.8	5.00	0.05	0.00	0.00	12	
9	13:20	0.7	1.6	0.9	5.63	0.06	-0.01	-0.05	12	

72

Control de lixiviación reactor 5

REACTOR 5										
				AgNO ₃			Sandioss			
Tiempo de control (H)	Hora	Vo	Vf	Gasto AgNO ₃	Conc	Conc (%)	Reposición (%)	Reposición (gr)	pH	Adición de cal (gr)
1	14:00	4.6	5.1	0.5	3.13	0.03	0.02	0.13	12	
2	16:00	9.4	9.8	0.4	2.50	0.03	0.03	0.18	12	
4	20:00	13.0	13.6	0.6	3.75	0.04	0.01	0.09	12	
8	04:00	1.7	2.1	0.4	2.50	0.03	0.03	0.18	12	
9	13:00	7.9	8.6	0.7	4.38	0.04	0.01	0.04	12	

24

Control de lixiviación reactor 6

REACTOR 6										
				AgNO ₃			Sandioss			
Tiempo de control (H)	Hora	Vo	Vf	Gasto AgNO ₃	Conc	Conc (%)	Reposición (%)	Reposición (gr)	pH	Adición de cal (gr)
1	14:00	5.2	6.4	1.2	7.50	0.08	-0.03	-0.18	12	
2	16:00	9.9	10.6	0.7	4.38	0.04	0.01	0.04	12	
4	20:00	13.6	14.2	0.6	3.75	0.04	0.01	0.09	12	
8	04:00	2.2	3.0	0.8	5.00	0.05	0.00	0.00	12	
9	13:00	8.7	9.6	0.9	5.63	0.06	-0.01	-0.04	12	

24

Control de lixiviación reactor 7

REACTOR 7										
				AgNO ₃			Sandioss			
Tiempo de control (H)	Hora	Vo	Vf	Gasto AgNO ₃	Conc	Conc (%)	Reposición (%)	Reposición (gr)	pH	Adición de cal (gr)
1	14:20	11.3	11.5	0.2	1.25	0.01	0.04	0.26	12	
2	16:20	20.1	20.5	0.4	2.5	0.02	0.03	0.18	11.5	0.1
4	20:20	1.2	1.4	0.2	1.25	0.01	0.04	0.26	11.5	0.2
8	04:20	1.7	2.2	0.5	3.125	0.03	0.02	0.13	12	
16	20:20	1.3	1.9	0.6	3.75	0.04	0.01	0.09	12	
32	04:20	17.9	18.3	0.4	2.5	0.03	0.02	0.18	12	
9	13:20	1.7	2.1	0.4	2.5	0.03	0.03	0.18	12	

72

Control de lixiviación reactor 8

REACTOR 8										
				AgNO ₃			Sandioss			
Tiempo de control (H)	Hora	Vo	Vf	Gasto AgNO ₃	Conc	Conc (%)	Reposición (%)	Reposición (gr)	pH	Adición de cal (gr)
1	14:20	12.2	12.7	0.5	3.13	0.03	0.02	0.13	12	
2	16:20	20.6	21.1	0.5	3.13	0.03	0.02	0.13	11.5	0.1
4	20:20	1.5	1.7	0.2	1.25	0.01	0.04	0.26	11.8	0.2
8	04:20	2.3	3	0.7	4.38	0.04	0.01	0.04	12	
16	20:20	2	2.6	0.6	3.75	0.04	0.01	0.09	12	
32	04:20	18.3	18.7	0.4	2.50	0.02	0.03	0.18	12	
9	13:20	2.1	2.7	0.6	3.75	0.04	0.01	0.09	12	

72

Control de lixiviación reactor 9

REACTOR 9										
				AgNO ₃			Sandioss			
Tiempo de control (H)	Hora	Vo	Vf	Gasto AgNO ₃	Conc (%)	Conc (ppm)	Reposición (%)	Reposición (gr)	pH	Adición de cal (gr)
1	14:20	12.9	13.5	0.6	3.75	0.04	0.01	0.09	12	
2	16:20	21.1	21.4	0.3	1.87	0.02	0.03	0.24	11.5	0.1
4	20:20	1.8	2.1	0.3	1.88	0.02	0.03	0.24	12	
8	04:20	3.1	3.6	0.5	3.13	0.03	0.02	0.14	12	
16	20:20	2.7	3.2	0.5	3.13	0.03	0.02	0.14	12	
17	13:20	6.6	7.2	0.6	3.75	0.04	0.01	0.09	12	

48

Control de lixiviación reactor 10

REACTOR 10										
				AgNO ₃			Sandioss			
Tiempo de control (H)	Hora	Vo	Vf	Gasto AgNO ₃	Conc (%)	Conc (ppm)	Reposición (%)	Reposición (gr)	pH	Adición de cal (gr)
1	14:00	8	8.4	0.4	2.5	0.03	0.03	0.19	12	
2	16:00	9.6	10.2	0.6	3.8	0.04	0.01	0.09	12	
4	20:00	14.0	14.4	0.4	2.5	0.03	0.03	0.19	12	
8	04:00	18.7	19.3	0.6	3.8	0.04	0.01	0.09	12	
16	20:00	14.4	14.7	0.3	1.9	0.02	0.03	0.24	12	
17	13:00	9.7	10.5	0.8	5.0	0.05	0.00	0.00	12	

48

Apéndice 4

Fotografía 1. Acondicionamiento del molino de bolas



Fotografía 2. Pesaje del mineral



Fotografía 3. Tamizado de mineral



Fotografía 4. Distribución de mallas



Fotografía 5. División de la muestra de mineral aurífero



Fotografía 6. Muestreo del mineral aurífero



Fotografía 7. Embolsado de las muestras representativas



Fotografía 8. Preparación y rotulación de reactores y adición de reactivos



Fotografía 9. Agitación de los reactores



Fotografía 10. Determinación de pH



Fotografía 11. Obtención de solución PLS para titulación



Fotografía 12. Soluciones PLS de los reactores



ANEXOS

Anexo 1



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : E3A6F104

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-23-08470

Página 1 de 1

Señores: HECTOR RAUL TAPE MAYHUA
Dirección: URB 28 DE JULIO VIA EXPRESA SAN SEBASTIAN A-4 - CUSCO
Atención: HECTOR RAUL TAPE MAYHUA
Recepción: 26/8/2023
Realización: 26/8/2023
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*552 Método de ensayo a fuego para oro por reconocimiento gravimetría

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*552	
				g/TM	oz/TC
MN23015864	MUESTRA MINERALOGICA PARA DETERMINACION DE PRESENCIA DE ORO (500 gr)	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	37,33	1,0890

Fin del informe


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Firmado por: JUÁREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado. LLAAMA.PE. 29/8/2023 13:30:42

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

" <Valor numérico>="Limite de detección del método," <Valor Numérico>="Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe via web

Anexo II



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : D6BB5900

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-24-00383

Fecha de emisión: 21/8/2024

Página 1 de 1

Señores: HECTOR RAUL TAPE MAYHUA
Dirección: AREQUIPA
Atención: HECTOR RAUL TAPE MAYHUA
Recepción: 21/8/2024
Realización: 21/8/2024
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*901 Método de ensayo para Oro por Absorción Atómica en solución Alcalina

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*901 Au mg/L
SS24001580	M-01 24 H	No proporcionado por el cliente	Solución Alcalina	2,99
SS24001581	M-02 24 H	No proporcionado por el cliente	Solución Alcalina	6,48
SS24001582	M-03 72 H	No proporcionado por el cliente	Solución Alcalina	5,03
SS24001583	M-04 72 H	No proporcionado por el cliente	Solución Alcalina	7,87
SS24001584	M-05 24 H	No proporcionado por el cliente	Solución Alcalina	0,88
SS24001585	M-06 24 H	No proporcionado por el cliente	Solución Alcalina	12,57
SS24001586	M-07 72 H	No proporcionado por el cliente	Solución Alcalina	3,29
SS24001587	M-08 72 H	No proporcionado por el cliente	Solución Alcalina	15,86
SS24001588	M-09 48 H	No proporcionado por el cliente	Solución Alcalina	10,76
SS24001589	M-10 48 H	No proporcionado por el cliente	Solución Alcalina	9,87

Fin del informe

Firmado por: JUAN CARLOS SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc., Ingeniero Químico CP 114426, Entidad de certificación: LLAJA-PE, 21/8/2024, 19:36:53

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Anexo III



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 7531C45A

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-24-00412

Fecha de emisión: 6/9/2024

Página 1 de 1

Señores: HECTOR RAUL TAIPE MAYHUA
Dirección: AREQUIPA
Atención: HECTOR RAUL TAIPE MAYHUA
Recepción: 5/9/2024
Realización: 5/9/2024
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*968 Método de ensayo para oro por colección en plomo - absorción atómica

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*968
				Au ppm
SS24001681	M-8 2h	No proporcionado por el cliente.	Sol. Sandos	2,68
SS24001682	M-8 4h	No proporcionado por el cliente.	Sol. Sandos	5,20
SS24001683	M-8 8h	No proporcionado por el cliente.	Sol. Sandos	10,52
SS24001684	M-8 16h	No proporcionado por el cliente.	Sol. Sandos	13,15
SS24001685	M-8 32h	No proporcionado por el cliente.	Sol. Sandos	14,79

Fin del informe

Firmado por: JUAN PÉREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M. S.C. Ingeniero Químico CP 114426, Emisor de certificado: LLAMA PE, 6/9/2024 19:03:20

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

"c" < Valor numérico " = Límite de detección del método, "m" < Valor Numérico " = Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú, (054)443294 - (054)444582.

Anexo IV

AMS-M-IE-415456 Pagina 1 de 1

INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-415456

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	:	CHALCCO SOLIS IVONM SOFIA CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	:	ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO	:	Lote Comercial
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	1
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Analisis Oro Newmont FA 200g. Simple
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	:	CHALA 23/07/24 19:58 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	:	Bolsa Plastica Sellada Peso Aprox. 420 g. Aparentemente Seco
REFERENCIA DEL CLIENTE	:	Solicitud del 23/07/2024
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	Del 23/07/2024 al 24/07/2024

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au + 150 Mesh	Au - 150 Mesh	PROMEDIO PONDERADO
IVONM CHALCCO	0.262	0.411	0.674

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-02 Determinación De Oro Total En Minerales No Ferrosos - Método Newmont