

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

EXTRACCIÓN DEL ORO MEDIANTE LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN CON SANDIOSS DEL YACIMIENTO MINERO LA ESTRELLA DE LA EMPRESA MINERA AURÍFERA ESTRELLA DE CHAPARRA S.A. CARAVELÍ, AREQUIPA

PRESENTADO POR:

BR. BRUNO MEBERT BOCANGEL CAMARA

BR. EDHI DANIEL DURAND MONRROY

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO METALÚRGICO**

ASESOR:

DR. PEDRO CAMERO HERMOZA

CUSCO – PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor PEDRO CAMERO HERMOZA.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: "EXTRACCIÓN DEL ORO MEDIANTE
LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN CON SANDIÖSS DEL YACIMIENTO
MINERO LA ESTRELLA DE LA EMPRESA MINERA AURÍFERA ESTRELLA
DE CHAPARRA S.A. CARAVELÍ, AREQUIPA".....

Presentado por: BRUNO MEBERT BOCANGEL CAMARA..... DNI N° 74933228 ;
presentado por: EDHI DANIEL DURAND MONROY..... DNI N°: 77033580
Para optar el título Profesional/Grado Académico de
INGENIERO METALÚRGICO.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 09.....%.

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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación 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 de Detección de Similitud.

Cusco, 31 de Marzo..... de 2026.....


.....
Firma

Post firma Pedro Camero Hermoza.....

Nro. de DNI 23956513.....

ORCID del Asesor 0000-0001-5366-9187.....

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:573447698.....

BOCANGEL-DURAND TURNITIN FINAL.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:573447698

Fecha de entrega

31 mar 2026, 10:26 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

31 mar 2026, 11:07 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

BOCANGEL-DURAND TURNITIN FINAL.pdf

Tamaño del archivo

8.4 MB

147 páginas

24.765 palabras

139.646 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones


- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
19 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Conforme al Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, y en cumplimiento del artículo 18° aprobado por Resolución N° CU-324-2020-UNSAAC, sometemos a su consideración el presente trabajo de Tesis, intitulado: **“EXTRACCIÓN DEL ORO MEDIANTE LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN CON SANDIOSS DEL YACIMIENTO MINERO LA ESTRELLA DE LA EMPRESA MINERA AURÍFERA ESTRELLA DE CHAPARRA S.A. CARAVELÍ, AREQUIPA”**, para optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico.

El estudio se orientó a incrementar la extracción de oro mediante lixiviación por agitación, utilizando el reactivo Sandioss como agente lixivante en minerales del yacimiento La Estrella. Mediante un diseño experimental factorial 2^3 , se evaluaron las variables de concentración de reactivo, tiempo de lixiviación y pH. Los resultados determinaron que un tiempo de lixiviación prolongado y un pH alcalino son factores críticos para la eficiencia del proceso, demostrando la viabilidad técnica del Sandioss como una alternativa eficaz al cianuro y confirmando su capacidad para incrementar significativamente la extracción de oro.

DEDICATORIA I

A mi querido padre Mario Durand Romero, tu sabiduría y amor incondicional siempre me han guiado en cada paso. Gracias por infundirme fuerza y perseverancia. Eres mi inspiración.

A mis queridas hermanas María y Mily, cada una de ustedes ha sido un pilar fundamental en mi vida. Sus risas, sus consejos y su apoyo me han dado la fuerza para seguir adelante. Gracias por ser mis compañeras y mejores amigas en todo y en cualquier cosa.

A mis queridas tías Julia Duran y Celia Oviedo, sus palabras de aliento y sus consejos siempre han sido mi refugio seguro. Gracias por su amor y por siempre participar de los momentos importantes conmigo. Las quiero mucho y siempre estarán en mi corazón.

A mis invaluableles amigos Bruno, Danny Aragón, Franszua Ayte, Alex, K, Puma, J. Pareja y A. Camala, la vida fue más apetecible y los problemas más fáciles gracias a todos ustedes. Cada risa compartida y cada aventura que vivimos juntos se convierte en algo que atesoro. Gracias por ser parte de mi vida.

A mi madre Ramosa Monrroy, quien desde la eternidad me concedió el don de la vida, y a Dino, por su inquebrantable fe y preocupación, expreso mi eterna gratitud y la esperanza de que su legado me acompañe siempre en mi camino.

Edhi D. Durand Monrroy

DEDICATORIA II

A Dios, por su guía y protección que me han permitido alcanzar esta meta.

A mi madre, María Jesús Camara Moncada, por su afecto incondicional y apoyo constante, trascendiendo cualquier diferencia de opinión.

A mi padre, Lucio Bocangel Villavicencio, por sus enseñanzas, cuidados y consejos que marcaron mi desarrollo profesional.

Al Ingeniero Miguel Zegarra, por su invaluable asesoría en el ámbito metalúrgico y por facilitar las pruebas experimentales en las instalaciones de CEPROMET.

Y, finalmente, a mis amigos, por su respaldo moral durante mi formación universitaria, forjando en mí una actitud perseverante y guerrera.

Bruno Mebert Bocangel Camara

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, cuyo apoyo incondicional y constante respaldo han constituido el pilar fundamental para la culminación de este trabajo de investigación. A nuestros padres, por ser el ejemplo de perseverancia y entrega; a nuestros hermanos, por su compañía y aliento ininterrumpido.

De igual manera, extendemos nuestro reconocimiento a los amigos que nos han acompañado durante este proceso, brindando su solidaridad y comprensión en cada etapa. Su compañía ha sido un valioso sustento durante el desarrollo de este proyecto.

Resulta imperativo manifestar nuestra gratitud a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, cuyas enseñanzas y guía especializada han enriquecido sustancialmente nuestra formación profesional. Su asesoría ha sido fundamental para el rigor metodológico de esta investigación.

Finalmente, agradecemos a nuestra alma máter por la formación impartida y a todas las instituciones y personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la realización de este estudio. Este logro es también reflejo de su invaluable apoyo.

Los tesistas

RESUMEN

Este estudio evaluó la viabilidad técnica del reactivo Sandioss como agente lixivante alternativo al cianuro de sodio para la extracción de oro mediante lixiviación por agitación. La investigación se centró en un mineral aurífero del yacimiento La Estrella, ubicado en Caravelí, Arequipa. Se aplicó una metodología experimental basada en un diseño factorial completo 2^3 , con réplicas en el punto central, para analizar el efecto de tres variables operativas: la concentración de Sandioss (500, 750 y 1000 ppm), el tiempo de lixiviación (24, 36 y 48 horas) y el pH del medio (11, 11.5 y 12). La caracterización mineralógica previa identificó la presencia de oro libre y asociado a sulfuros como piritita y calcopiritita. Los resultados demostraron que el Sandioss es una alternativa eficaz, logrando una extracción máxima de oro del 95.33% bajo las condiciones óptimas de 1000 ppm, 48 horas de agitación y un pH de 11. Este rendimiento supera la extracción promedio del 91.50% reportada para el proceso con cianuro en la misma operación minera. El análisis estadístico mediante ANOVA determinó que el tiempo de lixiviación fue la variable con mayor influencia estadística en la extracción. A partir de los datos, se generó y validó un modelo matemático predictivo para la extracción. Se concluye que el reactivo Sandioss constituye una alternativa técnicamente viable, de alto desempeño metalúrgico y con un perfil ambiental más favorable, pudiendo implementarse en plantas de procesamiento aurífero para reducir la dependencia del cianuro y su impacto asociado.

Palabras clave: Agitación, Tiempo, Extracción, Sandioss.

ABSTRACT

This study evaluated the technical viability of the Sandioss reagent as an alternative leaching agent to sodium cyanide for gold extraction through agitated leaching. The research focused on a gold-bearing ore from the La Estrella deposit, located in Caravelí, Arequipa. An experimental methodology based on a full 2^3 factorial design, with replicates at the central point, was applied to analyze the effect of three operational variables: Sandioss concentration (500, 750, and 1000 ppm), leaching time (24, 36, and 48 hours), and medium pH (11, 11.5, and 12). Prior mineralogical characterization identified the presence of free gold and gold associated with sulfides such as pyrite and chalcopyrite. The results demonstrated that Sandioss is an effective alternative, achieving a maximum gold extraction of 95.33% under optimal conditions of 1000 ppm, 48 hours of agitation, and a pH of 11. This performance surpasses the average extraction of 91.50% reported for the cyanidation process at the same mining operation. Statistical analysis using ANOVA determined that leaching time was the variable with the greatest statistical influence on extraction. From the data, a predictive mathematical model for extraction was generated and validated. It is concluded that the Sandioss reagent constitutes a technically viable alternative with high metallurgical performance and a more favorable environmental profile, and it can be implemented in gold processing plants to reduce dependence on cyanide and its associated impact

Keywords: Agitation, Time, Extraction, Sandioss.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN -----	i
DEDICATORIA I -----	ii
DEDICATORIA II -----	iii
AGRADECIMIENTO -----	iv
RESUMEN -----	v
ABSTRACT -----	vi
ÍNDICE -----	vii
ÍNDICE DE TABLAS -----	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS -----	xv
SIMBOLOGÍA -----	xvii
INTRODUCCIÓN -----	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática-----	3
1.2. Formulación de problemas -----	4
1.2.1. Problema general -----	4
1.2.2. Problemas específicos -----	4
1.3. Justificación -----	5
1.3.1. Relevancia económica -----	5
1.3.2. Relevancia social -----	5
1.3.3. Relevancia tecnológica -----	5
1.3.4. Valor teórico -----	6
1.3.5. Utilidad metodológica -----	6
1.4. Objetivos de investigación-----	6
1.4.1. Objetivo general -----	6

1.4.2.	Objetivos específicos -----	7
--------	-----------------------------	---

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la investigación -----	8
2.1.1.	Antecedentes internacionales -----	8
2.1.2.	Antecedentes nacionales -----	10
2.2.	Bases teóricas -----	11
2.2.1.	Propiedades químicas del oro -----	11
2.2.2.	Hidrometalurgia del oro -----	12
2.2.3.	Procesos de lixiviación aurífera -----	14
2.2.3.1.	Lixiviación por agitación -----	15
2.2.4.	Agentes lixiviantes alternativos al cianuro -----	17
2.2.5.	Variables para la lixiviación en la extracción de oro -----	18
2.2.6.	Química del oro en medio acuoso -----	18
2.2.7.	Cianuración -----	20
2.2.7.1.	Termodinámica del proceso de cianuración -----	20
2.2.8.	Reactivo Sandioss -----	23
2.2.8.1.	Composición química -----	23
2.2.9.	Funcionalidad de los componentes químicos del Sandioss -----	25
2.2.9.1.	Óxido de sodio (Na_2O) -----	25
2.2.9.2.	Nitrógeno (N) y amonio (NH_4^+) -----	25
2.2.9.3.	Ferrocianuro de sodio ($\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) -----	26
2.2.9.4.	Calcio (Ca) -----	26
2.2.9.5.	Hierro (Fe) -----	26
2.2.9.6.	Agua (H_2O) -----	27

2.2.9.7.	Insolubles en agua -----	27
2.2.10.	Lixiviación con Sandioss. -----	27
2.2.10.1.	Mecanismo de lixiviación con Sandioss -----	28
2.2.10.2.	Ventajas e importancia tecnológica -----	31
2.2.11.	Variables operativas en la lixiviación con Sandioss -----	32
2.2.11.1.	Concentración del reactivo -----	32
2.2.11.2.	Tiempo de lixiviación -----	34
2.2.11.3.	Alcalinidad de la solución -----	36
2.2.12.	Parámetros intervinientes -----	37
2.2.12.1.	Temperatura ambiente -----	37
2.2.12.2.	Presión atmosférica -----	37
2.2.12.3.	Características mineralógicas del mineral -----	37
2.2.13.	Fundamentos de modelamiento cinético -----	39
2.2.13.1.	Modelo de núcleo decreciente -----	39
2.2.14.	Diseño experimental -----	42
2.2.14.1.	Objetivo del diseño experimental -----	42
2.2.15.	Diseño factorial -----	42
2.2.16.	Diseño factorial 2^k -----	42
2.2.16.1.	Características del diseño 2^k -----	43
2.2.16.2.	Ventajas -----	43
2.2.17.	Diseño factorial 2^k con punto central en el diseño -----	43
2.2.17.1.	Punto central en el diseño -----	43
2.2.17.2.	Estructura de un diseño 2^3 con puntos centrales -----	44

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1.	Hipótesis -----	45
3.1.1.	Hipótesis general -----	45
3.1.2.	Hipótesis específicas -----	45
3.2.	Variables -----	45
3.2.1.	Identificación de variables -----	45
3.2.2.	Variables independientes -----	46
3.2.3.	Variables dependientes -----	46
3.2.4.	Variables intervinientes -----	46
3.3.	Matriz de operacionalización de variables -----	47

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1.	Ámbito de estudio: Localización política y geográfica -----	48
4.2.	Diseño de investigación -----	48
4.2.1.	Método de investigación -----	51
4.2.2.	Enfoque de la investigación -----	51
4.2.3.	Tipo de la investigación -----	51
4.2.4.	Nivel de la investigación -----	52
4.3.	Población de estudio -----	52
4.3.1.	Tamaño de muestra -----	52
4.3.2.	Técnicas de selección de muestras -----	53
4.3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos -----	53
4.4.	Validez y confiabilidad de instrumentos -----	54
4.5.	Plan de análisis de datos -----	54
4.6.	Equipos, instrumentos y reactivos -----	55
4.6.1.	Equipos usados -----	55

4.6.2.	Instrumentos de laboratorio -----	56
4.6.3.	Reactivos -----	57
4.7.	Metodología seleccionada y aplicada al proyecto -----	57
4.8.	Procedimiento experimental-----	60
4.8.1.	Preparación mecánica del mineral -----	60
4.8.1.1.	Toma de muestras y preparación mecánica del mineral -----	60
4.8.1.2.	Determinación de la molienda -----	60
4.8.2.	Determinación de la gravedad específica del mineral -----	61
4.8.3.	Determinación de la ley de mineral-----	61
4.8.4.	Caracterización mineralógica óptica-----	63
4.8.5.	Preparación de soluciones y reactivos-----	63
4.8.5.1.	Preparación del nitrato de plata -----	63
4.8.5.2.	Preparación del ioduro de potasio -----	64
4.8.5.3.	Determinación de factor de preparación de Sandioss -----	64
4.8.5.4.	Determinación del cianuro libre en una solución-----	65
4.8.6.	Pruebas de lixiviación -----	65
4.8.6.1.	Condiciones operativas estándar-----	65
4.8.6.2.	Proceso de lixiviación del mineral-----	66
4.8.6.3.	Pruebas experimentales de lixiviación en base al diseño factorial -----	68

CAPÍTULO V

RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1.	Resultados de la caracterización fisicoquímica del mineral-----	69
5.1.1.	Gravedad específica-----	69
5.1.2.	Humedad -----	69
5.1.3.	Distribución granulométrica -----	70

5.1.4.	Ley de cabeza-----	71
5.1.5.	Análisis mineralógico-----	72
5.1.5.1.	Lista de minerales identificados -----	72
5.2.	Evaluación del proceso de lixiviación con Sandioss -----	77
5.2.1.	Condiciones estándar -----	77
5.2.2.	Balances metalúrgicos por prueba experimental -----	78
5.2.3.	Balance metalúrgico integral -----	82
5.2.4.	Análisis cinético de la extracción de oro -----	83
5.2.4.1.	Cinética de la prueba 2-----	84
5.2.4.2.	Cinética de la prueba 4-----	86
5.3.	Análisis estadístico de resultados-----	88
5.3.1.	Aplicación del diseño factorial -----	88
5.3.2.	Estimación de efectos de los factores-----	88
5.3.3.	Análisis de varianza (ANOVA) -----	89
5.3.4.	Modelamiento matemático predictivo -----	90
5.3.4.1.	Ecuación del modelo matemático -----	91
5.3.5.	Validación del modelo y análisis de residuales -----	91
CAPÍTULO VI		
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		
6.1.	Contrastación gráfica de análisis estadístico -----	93
6.2.	Efecto de las variables operativas en la extracción de oro -----	99
6.2.1.	Influencia del tiempo en la extracción-----	99
6.2.2.	Influencia de la concentración de Sandioss-----	99
6.2.3.	Influencia del pH -----	100
CONCLUSIONES -----		101

RECOMENDACIONES ----- 102

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ----- 103

ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia ----- 109

Anexo B: Resultado de análisis de ley de oro ----- 110

Anexo C: Informe de leyes y recuperaciones promedio ----- 111

Anexo D: Cuadro de control parámetros operacionales planta de beneficio-Estrella de Chaparra ----- 112

Anexo E: Informe de ensayo de humedad ----- 113

Anexo F: Informe de caracterización mineralógica óptica ----- 114

Anexo G: Análisis de absorción atómico ----- 115

Anexo H: Resultados de análisis de ripios ----- 116

Anexo I: Comprobante de compra del reactivo Sandioss ----- 118

Anexo J: Hojas de datos de seguridad (Sandioss, Nitrato de plata, Yoduro de potasio, Hidróxido de sodio) ----- 119

Anexo K: Inicio de las pruebas metalúrgicas ----- 123

Anexo L: Control de las pruebas metalúrgicas ----- 124

Anexo M: Determinación de granulometría y control de pH ----- 125

Anexo N: Titulación y obtención de testigos ----- 126

Anexo O: Graficas de cinética de las pruebas 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 ----- 127

Anexo P: Constancia de pruebas metalúrgicas ----- 129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas y desventajas de la lixiviación por agitación. -----	17
Tabla 2 Composición química del reactivo Sandioss.-----	24
Tabla 3 Propiedades físicas y químicas del Sandioss -----	24
Tabla 4 Variables independientes. -----	46
Tabla 5 Matriz de operacionalización de variables. -----	47
Tabla 6 Desarrollo de pruebas y las técnicas de selección de muestras.-----	53
Tabla 7 Pruebas de gravedad específica.-----	69
Tabla 8 Determinación de la humedad del mineral.-----	70
Tabla 9 Control de la granulometría del mineral.-----	70
Tabla 10 Remolienda de 10 minutos para lograr 90% a malla -200.-----	71
Tabla 11 Determinación de la ley de cabeza del mineral. -----	71
Tabla 12 Condiciones estándar para el desarrollo de pruebas experimentales.-----	77
Tabla 13 Balance metalúrgico de las pruebas experimentales. -----	82
Tabla 14 Cálculo de valores de regresión lineal - Prueba 2. -----	84
Tabla 15 Cálculo de valores de regresión lineal - prueba 4.-----	86
Tabla 16 Matriz de diseño factorial.-----	88
Tabla 17 Estimación de efectos de los factores para la extracción de oro. -----	89
Tabla 18 Análisis de varianza (ANOVA)-----	90
Tabla 19 Resumen del modelo. -----	90
Tabla 20 Asignación de factores. -----	91
Tabla 21 Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes. -----	92
Tabla 22 Matriz de consistencia.-----	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo de los procesos hidrometalúrgicos en la producción de oro.....	14
Figura 2 Lixiviación por agitación mecánica.	16
Figura 3 Lixiviación por agitación neumática o tanques Pachuca.....	17
Figura 4 Diagrama Eh-pH para el oro y el aurocianuro, mostrando además las de operación para otros procesos industriales de extracción del oro.	21
Figura 5 Potencial de reducción y oxidación de la disolución del oro.	22
Figura 6 Diagrama Eh-pH de Fe–CN–H ₂ O sistema en 25 °C ([Fe]=10 ⁻² M, [CN]=1 M).	29
Figura 7 Ciclo de vida del ferricianuro.....	32
Figura 8 Relación de la concentración de Sandioss y el tiempo de lixiviación de mineral de Au.	33
Figura 9 Efecto de la concentración del ferricianuro en la extracción del oro.	34
Figura 10 Gráfico de la extracción de Au del mineral vs. el tiempo de lixiviación.	35
Figura 11 Gráfico de la extracción de Au y Ag frente al tiempo de lixiviación.....	35
Figura 12 Efecto del pH en la extracción de Au.....	36
Figura 13 Parámetros operacionales del reactivo Sandioss.	38
Figura 14 Modelo de núcleo decreciente.....	39
Figura 15 Proceso de la reacción de partícula del modelo decreciente.	40
Figura 16 Formación de la película o film en toda la superficie de la partícula de mineral.....	41
Figura 17 Diseño factorial para tres niveles con replica en el punto central del diseño.....	44
Figura 18 Ubicación de la planta de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra y su yacimiento La Estrella.	48
Figura 19 Diseño experimental para la investigación.....	49

Figura 20 Estructura lógica del estudio.	50
Figura 21 Metodología del proyecto.....	59
Figura 22 Oro nativo (Au) en forma libre 20X.....	73
Figura 23 Calcopirita enriquecida (cps) en forma libre 10X, se observa también pirita.	73
Figura 24 Covelita (cv) 10X en forma libre.	74
Figura 25 Oro nativo (Au) 10X diseminado en ganga (GGs).....	74
Figura 26 Oro nativo (Au) 10X asociado en forma lateral con pirita (py).	75
Figura 27 Oro nativo (Au) 20X en forma libre.....	75
Figura 28 Oro nativo (Au) 20X asociado en forma lateral con pirita (py).	76
Figura 29 Covelita 20X en forma libre (Cv).....	76
Figura 30 Freibergita (Fb) 20X en forma libre.	77
Figura 31 Comportamiento cinético de la prueba 2.....	85
Figura 32 Comportamiento cinético de la prueba 4.....	87
Figura 33 Gráfica de cubo (medias ajustadas) de extracción del oro.	93
Figura 34 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	94
Figura 35 Gráfica de optimización de respuesta.....	95
Figura 36 Gráfica de efectos principales para la extracción (%).	95
Figura 37 Gráfica de efectos principales para la extracción (%) con medias de los datos.	96
Figura 38 Gráfica de contornos y las interacciones entre las variables.	97
Figura 39 Gráfica de interacción para la extracción (%).	98

SIMBOLOGÍA

Oz/Tc: Onza por tonelada corta

g/Tm: Gramos por tonelada métrica

S.A: Sociedad anónima

S.A.C: Sociedad anónima cerrada

CIP: Carbón en pulpa

kg/Tm: Kilogramos por tonelada métrica

Ec: Ecuación

E^0 : Potencial estándar

log: Logaritmo

P_{H2}: Presión parcial del hidrógeno

P_{O2}: Presión parcial del oxígeno

2^k: Diseño Factorial

-200M: Pasante de Malla 200

VI₁: Variable independiente 1

VI₂: Variable independiente 2

VI₃: Variable independiente 3

Y₁: Variable dependiente

INTRODUCCIÓN

En la metalurgia aurífera, la selección de un método de extracción está determinada por la naturaleza del mineral y por parámetros operativos críticos. En el sur del Perú, región donde la actividad minera constituye un pilar fundamental de la economía, resulta imperativo implementar procesos más seguros y eficientes que la cianuración convencional. La eficacia de la extracción hidrometalúrgica depende directamente de las características fisicoquímicas del mineral, como la ley metálica, el tipo de ganga y la asociación mineralógica. Para minerales que contienen oro libre y parcialmente asociado a sulfuros, la lixiviación por agitación se erige como una alternativa eficiente, al favorecer un contacto más íntimo entre el reactivo y la partícula en comparación con métodos estáticos como la lixiviación en pilas o por percolación.

No obstante, la cianuración persiste como el método más extendido en la industria debido a su alta eficiencia; sin embargo, su aplicación conlleva riesgos significativos: genera residuos tóxicos, representa una amenaza para los ecosistemas y puede originar conflictos socioambientales con las comunidades aledañas. En este contexto, surge la necesidad de investigar reactivos alternativos que mantengan elevadas extracciones de oro, pero que minimicen los impactos ambientales y sociales asociados.

El presente estudio evalúa el desempeño del reactivo Sandioss en la lixiviación por agitación de un mineral aurífero procedente del yacimiento La Estrella, operado por la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A., localizada en Caravelí, Arequipa. Esta unidad minera reporta extracciones de hasta 91.5 % mediante el proceso de Carbón en Pulpa con cianuro.

Con el objetivo de optimizar la extracción aurífera, se diseñó una investigación experimental considerando tres variables principales: concentración de Sandioss, tiempo de

lixiviación y pH del medio. Se empleó un diseño factorial 2^3 , con réplicas en el punto central, lo que permitió modelar y analizar estadísticamente el comportamiento del sistema.

La tesis se estructura en seis capítulos que detallan de manera secuencial los fundamentos, metodología, resultados y discusión del estudio:

El **CAPÍTULO I** plantea el problema de investigación, contextualizando la situación minera del yacimiento y formulando los objetivos.

El **CAPÍTULO II** compila los antecedentes y bases teóricas relativas a los procesos de lixiviación, reactivos alternativos y variables que influyen en la disolución del oro.

El **CAPÍTULO III** establece la hipótesis de trabajo, junto con la definición y operacionalización de las variables de estudio.

El **CAPÍTULO IV** describe el enfoque metodológico, el diseño experimental, las técnicas de preparación del mineral y los procedimientos analíticos utilizados.

El **CAPÍTULO V** presenta los resultados obtenidos, incluyendo la caracterización fisicoquímica del mineral, los balances metalúrgicos y el modelo predictivo derivado de los datos experimentales.

El **CAPÍTULO VI** discute los hallazgos más relevantes, contrasta los resultados con investigaciones previas y formula recomendaciones para la aplicación industrial del reactivo Sandioss.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

La hidrometalurgia se ha consolidado como la técnica predominante en la metalurgia aurífera para la extracción de metales a partir de soluciones acuosas, especialmente en el tratamiento de minerales oxidados y sulfurados (Marsden & House, 2009). Entre estos procesos, la cianuración es el más extendido y eficaz para la disolución de oro. Sin embargo, su eficiencia se ve comprometida ante la presencia de minerales cianicidas, como sulfuros y compuestos orgánicos, los cuales incrementan el consumo de cianuro y generan residuos complejos de gestionar (Uceda Herrera, 2016). Con el objetivo de optimizar la eficiencia del proceso y cumplir con normativas ambientales cada vez más rigurosas, se han investigado reactivos alternativos como el tiosulfato, la tiourea y, más recientemente, el Sandioss (Shur López, 2017).

Estudios internacionales han demostrado la eficacia del Sandioss como agente lixivante en minerales refractarios. Chao-fei et al. (2014), reportaron una extracción de oro del 97.47 % al emplear Sandioss en concentrados auríferos de Shaanxi, bajo condiciones controladas de pH 12, 48 horas de agitación y una dosificación de 10 kg/t de reactivo. Adicionalmente, empresas de reconocida trayectoria como Shandong Gold y Zijin Mining han validado su aplicación a escala piloto, obteniendo extracciones superiores al 93 % (Sandioss Company, 2020).

En el ámbito nacional, la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A., ubicada en la provincia de Caravelí, Arequipa, emplea el proceso de Carbón en Pulpa (CIP) con cianuro de sodio para el tratamiento de su mineral aurífero. Este se caracteriza por una ley promedio de 0.401 Oz/Tc de Au (Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A., 2024) y 0.407 Oz/Tc de Au (Analytica Mineral Services S.A.C. , 2024) , determinada mediante ensayo al fuego. El análisis

mineralógico óptico identifica una asociación metalúrgica compleja, incluyendo calcopirita, covelita, freibergita, pirita y una ganga predominantemente silicatada (Laboratorios de Metalurgia Extractiva – Rio Seco, 2025).

Estas características mineralógicas restringen la eficiencia del proceso convencional, el cual reporta una extracción promedio de 91.50 % bajo condiciones operativas estándar de 1100 ppm de CN^- , pH 11 y 48 horas de agitación (Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A., 2024). Esta situación genera la necesidad de evaluar una alternativa tecnológica que permita mantener o incrementar el rendimiento metalúrgico, simultáneamente reduciendo el impacto ambiental asociado al uso de cianuro.

En consecuencia, la presente investigación plantea evaluar la viabilidad técnica del reactivo Sandioss como sustituto del cianuro de sodio en la lixiviación por agitación del mineral aurífero del yacimiento La Estrella. El estudio se centrará en analizar la influencia de la concentración de Sandioss, tiempo de lixiviación y pH de la solución en la extracción de oro.

1.2. Formulación de problemas

1.2.1. Problema general

¿Como incrementar la extracción de oro mediante lixiviación por agitación utilizando el reactivo Sandioss como agente lixivante del yacimiento La Estrella?

1.2.2. Problemas específicos

PE1: ¿Cuál es la concentración adecuada del reactivo Sandioss en la lixiviación por agitación para lograr una alta extracción de oro del yacimiento La Estrella?

PE2: ¿Cuál es el tiempo adecuado de lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss para maximizar la extracción de oro del yacimiento La Estrella?

PE3: ¿Cuál es el pH ideal en la lixiviación por agitación para maximizar la extracción de oro del yacimiento La Estrella?

1.3. Justificación

1.3.1. Relevancia económica

Esta investigación busca incrementar la extracción de oro mediante uso del reactivo Sandioss, cuyo desempeño ha sido validado en estudios previos. La adopción de este lixivante alternativo puede incrementar la eficiencia metalúrgica, reduciendo simultáneamente los costos asociados al manejo de residuos cianurados y las contingencias ambientales. La mejora en los indicadores de extracción se traduce directamente en una mayor rentabilidad operativa, asegurando la sostenibilidad económica de la unidad minera y fortaleciendo su posición en el mercado aurífero.

1.3.2. Relevancia social

El estudio posee significativa relevancia social al proponer una alternativa tecnológica más segura que la cianuración convencional. La sustitución del cianuro por el reactivo Sandioss mitiga el riesgo potencial de contaminación de fuentes hídricas, reduciendo la vulnerabilidad de las comunidades aledañas y previniendo conflictos socioambientales. Esta transición hacia procesos más limpios fortalece la licencia social para operar, fomentando una relación de confianza entre la empresa minera y la población, basadas en el compromiso con la salud pública y la integridad de los ecosistemas.

1.3.3. Relevancia tecnológica

Aunque la cianuración persiste como el proceso hidrometalúrgico más extendido, enfrenta limitaciones técnicas en el tratamiento de minerales complejos y crecientes exigencias ambientales. La implementación del reactivo Sandioss representa una innovación en la lixiviación

aurífera, al constituir un agente alternativo con menor toxicidad y un perfil ambiental favorable (Huaco Condori, 2017). Esta investigación contribuye a la validación tecnológica de un proceso más sostenible, posicionando a la industria minera peruana a la vanguardia en la adopción de técnicas extractivas de bajo impacto.

1.3.4. Valor teórico

Este trabajo de investigación consolida los aspectos de relevancia económica, social, tecnológica, valor teórico y utilidad metodológica, enriqueciendo el acervo bibliográfico de la especialidad. Asimismo, el estudio proporciona a los actores interesados un marco de referencia fundamental para la comprensión de las variables más influyentes en el proceso de lixiviación de oro en el yacimiento La Estrella, sentando bases para futuras investigaciones.

1.3.5. Utilidad metodológica

La investigación establece una metodología robusta y replicable para la evaluación de lixiviantes alternativos, integrando técnicas avanzadas de caracterización mineralógica, diseños experimentales factoriales y análisis estadístico. El protocolo desarrollado permite cuantificar con precisión el efecto de las variables operativas y sus interacciones, constituyendo una herramienta válida para la optimización de procesos en contextos metalúrgicos análogos. Este marco metodológico puede ser adoptado en investigaciones futuras y en el escalamiento industrial del proceso.

1.4. Objetivos de investigación

1.4.1. Objetivo general

Demostrar el incremento de extracción de oro mediante lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss en el yacimiento La Estrella.

1.4.2. Objetivos específicos

OE1: Determinar la concentración adecuada del reactivo Sandioss en la lixiviación por agitación para lograr una alta extracción de oro del yacimiento La Estrella.

OE2: Establecer el tiempo adecuado de lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss para una máxima extracción de oro del yacimiento La Estrella.

OE3: Determinar el pH ideal en la lixiviación por agitación para una máxima extracción de oro del yacimiento La Estrella.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Othman y otros (2025), en su investigación *Sandioss como agente de lixiviación ecológico para la extracción de mineral de oro refractario*. Este estudio investigó la extracción de oro de una muestra procedente de Gua Musang, Kelantan, utilizando Sandioss, un agente de lixiviación ecológico, como sustituto del cianuro. La investigación se centró en el impacto de diversos factores, como la dosis de Sandioss, el tiempo de lixiviación, la relación líquido-sólido, el pH y el tamaño de partícula en la extracción de oro. Los resultados demuestran que, en condiciones óptimas, específicamente con una dosis de Sandioss de 900 ppm, una relación sólido-líquido del 30 %, un pH de 12, un tamaño de partícula inferior a 75 μm y un tiempo de lixiviación de 72 horas, la concentración de oro aumentó significativamente de 3,112 ppm a 9,716 ppm. Sandioss, un novedoso agente de lixiviación de oro ecológico, ofrece numerosas ventajas sobre los métodos tradicionales como la lixiviación con cianuro, como la sostenibilidad ambiental, la versatilidad, la rentabilidad y la seguridad. Para otras aplicaciones, Sandioss puede utilizarse para la extracción de oro.

Li y otros (2024), en su investigación *Extracción de metales preciosos de placas de circuitos impresos de desecho mediante soluciones alcalinas de ferricianuro: un estudio exploratorio*. El presente estudio empleó un sistema de lixiviación simple de solución alcalina de ferricianuro con funciones duales de lixiviación y oxidación, para extraer metales preciosos de placas de circuito impreso (PCB) de desecho. Se encontró que la concentración de ferricianuro, el pH y la temperatura afectaban considerablemente la extracción de Au. La extracción selectiva de

Au, Ag y Pd sobre metales base alcanzó 68.3, 93.0 y 74.0 % (10 g/L de ferricianuro, pH 11 y 80 °C), respectivamente. Se demostró que la recuperación de metales preciosos del lixiviado mediante adsorción de carbón y la regeneración de ferricianuro a partir de soluciones estériles que emplean el ciclo redox de ferri/ferrocianuro son factibles. Alrededor del 91.7 % del ferrocianuro se pudo regenerar mediante la oxidación del ferrocianuro con permanganato de potasio. Finalmente, se propusieron diagramas de flujo conceptuales para extraer y recuperar metales preciosos, así como para regenerar y reutilizar el único reactivo introducido, el ferrocianuro. El estudio demostró la viabilidad del sencillo método de lixiviación, lo que allanó el camino para el desarrollo futuro del nuevo proceso.

Liu, Kou, Xing, & Sun (2021), en su investigación *Recuperación del oro de mineral con solución de ferrocianuro de potasio bajo luz UV*. Se investigó el uso de ferrocianuro de potasio, un compuesto precursor no tóxico del cianuro, como agente lixivante para extraer oro. Este compuesto libera iones de cianuro de forma controlada cuando se expone a luz ultravioleta en condiciones de reflexión oscura y difusa. Mediante experimentos y metodología de superficie de respuesta, se analizó cómo factores como el pH, la dosis de reactivo y la temperatura afectan la lixiviación. Bajo condiciones optimizadas (pH altamente alcalino de 12.6, 3.8 kg/t de ferrocianuro, 62°C y adecuada irradiación UV) se logró una recuperación de oro del 67.74%. El estudio también permitió observar el mecanismo de lixiviación. Usando técnicas avanzadas como QCM-D, se identificó que el proceso ocurre en dos etapas: primero, una fase de adsorción donde se forma una capa rígida sobre el oro, seguida de la lixiviación propiamente dicha. Además, análisis con XPS confirmaron la presencia del grupo $-C\equiv N$ y la formación de complejos de AuCN en la superficie, evidenciando la oxidación del oro y la acción efectiva del reactivo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Nina Mamani (2021), en su Tesis *Evaluación del proceso de lixiviación por agitación de minerales oxidados auríferos de la Comunidad Chalhuanca – Apurímac*. Esta investigación evaluó reactivos lixiviantes alternativos al cianuro de sodio para la extracción de oro. El estudio comparó el desempeño del reactivo Sandioss y del Gold Max frente al cianuro y se realizó sobre mineral de óxido aurífero procedente de Chalhuanca, Apurímac, bajo condiciones operativas como: granulometría de 65% -m200, densidad de pulpa al 30% de sólidos, concentración de reactivo de 2000 ppm, pH alcalino de 10.5-11 regulado con cal, y un tiempo de agitación de 48 horas. Los hallazgos demostraron que el reactivo Sandioss no solo presenta propiedades lixiviantes comparables, sino que superó al cianuro de sodio en extracción de oro, obteniendo un 92.92% frente a un 91.42% de este último. Además, se identificó que el Sandioss es una alternativa técnica y ambientalmente viable, posicionándose como un sustituto promisorio para la lixiviación alcalina por agitación en este tipo de minerales.

Ciprian Jordan, N. y Mayta Marca, G. (2023), en su Tesis *Extracción de oro por agitación con reactivo Sandioss del yacimiento Quico grande, Ocongate -Región Cusco*. desarrollaron una investigación experimental centrada en la extracción de oro mediante lixiviación por agitación utilizando el reactivo Sandioss, aplicado a un mineral de tipo óxido aurífero del yacimiento Quico Grande, en Ocongate (Cusco). El objetivo fue evaluar un método alternativo al cianuro, más económico y ecológico, capaz de competir en eficiencia metalúrgica. Se utilizó un diseño experimental hexagonal con dos factores (tamaño de partícula y concentración del reactivo) cada uno con dos niveles, además de tres puntos centrales. Las condiciones operativas incluyeron pH 12 y tiempos de lixiviación de hasta 72 horas. Los resultados mostraron una extracción máxima de 92.82% con un consumo de Sandioss de 4.88 kg/TM. El análisis estadístico permitió establecer

un modelo matemático cuadrático, concluyendo que las variables más significativas fueron el tamaño de partícula (78.51% pasando malla 200) y la concentración del reactivo (927.5 ppm), alcanzando así una extracción final de 93.30%.

Romero Garcia, J.O. (2020), en su Tesis *Extracción de oro mediante el proceso de lixiviación con el reactivo Sandioss del yacimiento minero Chocroña, Llusco-Chumbivilcas, Región Cusco*. Evaluó la eficiencia del reactivo Sandioss en la extracción de oro a partir de minerales tipo placer eluvial del yacimiento Chocroña, ubicado en Llusco, Chumbivilcas (Cusco). El estudio se enfocó en lixiviación por agitación bajo condiciones operativas de pH 12, granulometría de 65% bajo malla 200, y un rango de tiempo de 24 a 48 horas. Se utilizaron concentraciones del reactivo entre 0.03 y 0.05 %, y sólidos en pulpa de 25 a 30%. Los resultados evidenciaron una extracción de oro de hasta 98% en 48 horas, siendo el tiempo la variable más determinante. El autor concluye que el reactivo Sandioss constituye una alternativa técnicamente viable y ambientalmente favorable frente al cianuro de sodio, al alcanzar niveles de extracción superiores al 90% en condiciones similares a la cianuración.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Propiedades químicas del oro

- El átomo de oro tiene una configuración electrónica $[\text{Xe}] 4f^{14}5d^{10}6s^1$, que le confiere alta estabilidad química y baja reactividad.
- Es considerado un metal noble. Esto quiere decir que es un metal químicamente estable y en condiciones normales no se oxida ni se corroe.
- Su masa atómica es de 196,97 g/mol y su densidad de 19,3 g/cm³.
- Su punto de ebullición de encuentra en los 2970°C y su punto de fusión en los 1063°C.

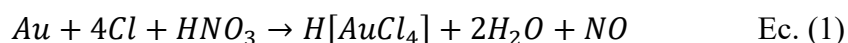
- El oro es un gran conductor del calor y de la electricidad.
- El oro únicamente tiene un isótopo estable, ^{197}Au .
- Los estados de oxidación del oro son +1 y +3. El más habitual en la naturaleza es el primero.

2.2.2. Hidrometalurgia del oro

La hidrometalurgia se basa en el uso de soluciones líquidas para transferir metales desde el sólido mineral hacia una fase acuosa. Este enfoque, ampliamente desarrollado por Marsden & House (2009), es particularmente útil en minerales de oro por su alta selectividad y eficiencia. La termodinámica y la cinética de disolución son factores determinantes en la eficiencia del proceso. Entre los reactivos tradicionales, el cianuro ha sido el más empleado debido a su elevada afinidad con el oro, aunque presenta restricciones por su elevada toxicidad (Marsden & House, 2009).

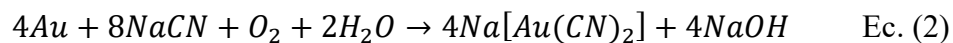
Los procesos hidrometalúrgicos presentan un alto grado de complejidad, principalmente por la variabilidad en la composición mineralógica del material tratado y por la heterogeneidad química de las soluciones obtenidas tras la lixiviación. En este contexto, las leyes teóricas que rigen la cinética y la termodinámica actúan solo como referencias generales, siendo necesario ajustarlas según las condiciones reales de operación.

El oro puede ser disuelto en ácido clorhídrico en presencia de oxidantes tales como ácido nítrico, oxígeno, iones cúpricos o ferrosos y dióxido de manganeso disuelven el oro. La combinación de ácido nítrico y clorhídrico (agua regia) ataca de manera vigorosa el oro tal y como se muestra en la siguiente ecuación (Gasca Torres, 2016, pág. 2):



La Ec. (1) representa la reacción de disolución del oro en medio acuoso ácido, en presencia de un oxidante y un ligante específico para el metal de interés. Para la extracción de oro a partir

de minerales auríferos, la ley que gobierna este proceso, planteada por Elsner, describe la disolución del oro en un medio cianurante con la presencia de oxígeno como agente oxidante (Gasca Torres, 2016, pág. 2).



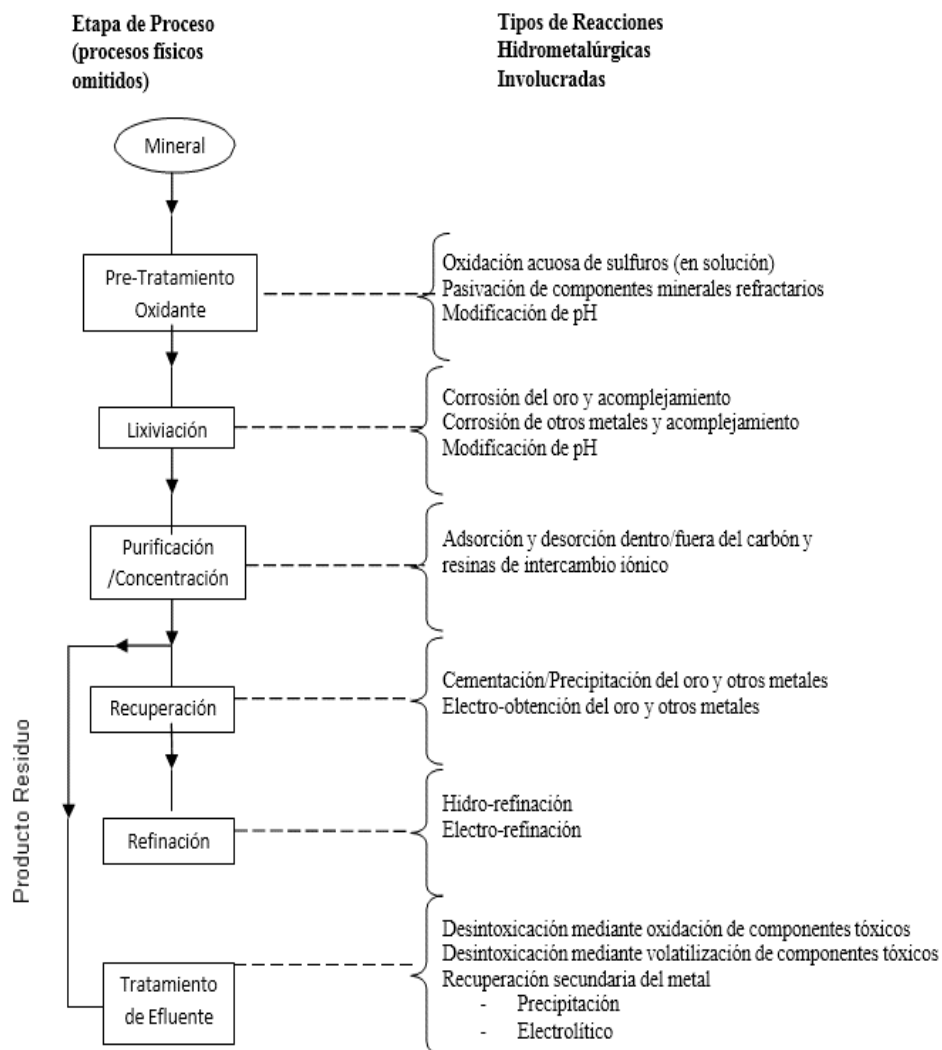
Donde:

- **Au:** Oro
- **NaCN:** Agente lixivante para el oro
- **O₂:** Oxígeno, componente esencial para la reacción de lixiviación
- **H₂O:** Medio de reacción
- **Na[Au(CN)₂]:** Ion aurocianuro, complejo soluble de oro
- **NaOH:** Hidróxido de sodio, producto que mantiene la alcalinidad del medio

Los procesos hidrometalúrgicos que tienen lugar en el tratamiento metalúrgico de los minerales de oro y la producción de oro quedan reflejados en el diagrama de flujo de la Figura 1.

Figura 1

Diagrama de flujo de los procesos hidrometalúrgicos en la producción de oro.



Nota. En la figura se observa los diferentes métodos que se utilizan en los procesos hidrometalúrgicos (Marsden & House, 2009).

2.2.3. *Procesos de lixiviación aurífera*

La lixiviación es un proceso hidrometalúrgico mediante el cual se extraen metales valiosos de una matriz sólida (mineral) hacia una solución líquida, a través de reacciones químicas entre el mineral y un reactivo lixivante. Su aplicación varía según el tipo de mineral; por ejemplo, se emplea lixiviación ácida para minerales oxidados de cobre y zinc, mientras que para el oro se

utiliza predominantemente lixiviación alcalina en presencia de agentes oxidantes y complejantes (Álvarez García, 2005).

Técnicas principales de lixiviación aurífera:

- Lixiviación en canchas o montones.
- Lixiviación por percolación (VAT leaching).
- Lixiviación bacteriana.
- Lixiviación por agitación.

2.2.3.1. Lixiviación por agitación

La lixiviación por agitación es una técnica en la cual el mineral finamente molido se mantiene en suspensión dentro de un medio líquido mediante un sistema de agitación. Este método incrementa significativamente el área de contacto interfacial entre las partículas sólidas y la solución lixivante, optimizando la transferencia de masa y la cinética de reacción. Se emplea principalmente para el tratamiento de minerales de alto valor unitario, como oro, plata y cobre, con el objetivo de alcanzar elevadas recuperaciones metalúrgicas en tiempos operativos reducidos (Domic, 2001).

Existen dos sistemas principales de agitación:

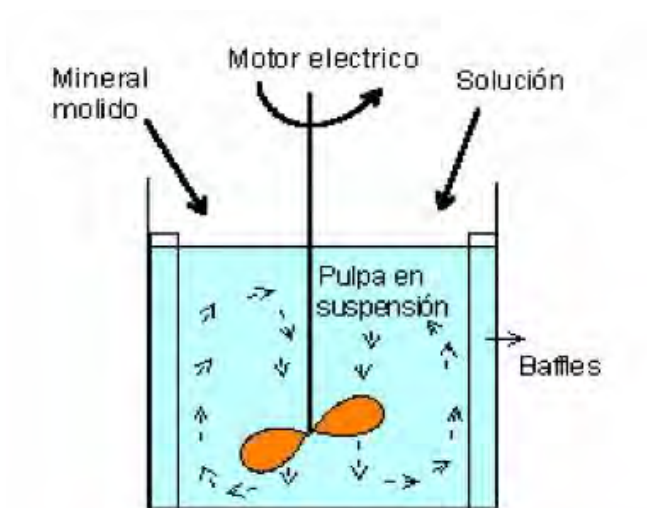
- **Agitación Mecánica:** Emplea un impulsor rotativo (hélices, turbinas o paletas) acoplado a un eje motorizado. El impulsor sumergido en la pulpa genera fuerzas de cizalla y patrones de flujo que aseguran una suspensión homogénea y un mezclado intensivo. Este sistema permite un control preciso de la energía de agitación y es predominante en operaciones que requieren una alta eficiencia de contacto y condiciones de proceso bien definidas (Domic, 2001).

- **Agitación Neumática:** Se basa en la inyección de un gas comprimido (generalmente aire) en el fondo de un tanque, usualmente de diseño cilíndrico con fondo cónico. La corriente ascendente de burbujas induce la circulación del líquido y la suspensión de los sólidos. Además de su función mezcladora, este sistema aporta oxígeno disuelto *in situ*, actuando simultáneamente como agente oxidante, lo que es particularmente ventajoso en procesos como la cianuración aurífera o la biolixiviación de sulfuros (Ramírez Perez & Martinez, 2014).

La selección del sistema de agitación óptimo depende de un análisis técnico-económico que considere factores como la abrasividad del mineral, el consumo energético específico, los requerimientos de oxígeno de la reacción y la escala de la operación.

Figura 2

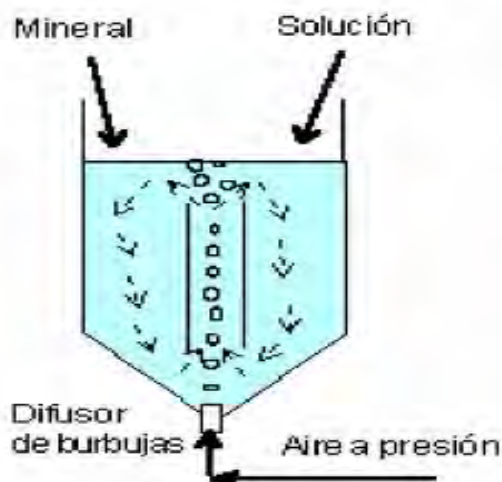
Lixiviación por agitación mecánica.



Nota. Recuperado de lixiviación de minerales por agitación y percolación (Ramírez Perez & Martinez, 2014, pág. 30).

Figura 3

Lixiviación por agitación neumática o tanques Pachuca.



Nota. Obtenido de lixiviación de minerales por agitación y percolación (Ramírez Perez & Martínez, 2014, pág. 30).

Tabla 1

Ventajas y desventajas de la lixiviación por agitación.

Ventajas	Desventajas
Altas extracciones del elemento de interés.	Alto costo de inversión y operación
Proceso continuo con posibilidad de automatización.	Algunos materiales pueden necesitar tratamientos previos de reducción de tamaño
Cinética de extracción más rápida.	

Nota. Recuperado de Domic (2001).

2.2.4. Agentes lixiviantes alternativos al cianuro

Los agentes lixiviantes alternativos, frente al reactivo convencional cianuro de sodio son:

- Tiosulfato
- Tiourea

- Tiocianato
- Amoniac
- Gold Max
- Sandioss

2.2.5. Variables para la lixiviación en la extracción de oro

En el proceso de lixiviación existen una gran variedad de factores que afectan de manera directa en la lixiviación del oro, entre los principales tenemos los siguientes:

- Concentración de oxígeno
- Tamaño de partícula
- Concentración de agente lixivante
- Temperatura
- Alcalinidad de la solución.
- Densidad de la pulpa

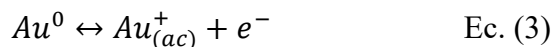
2.2.6. Química del oro en medio acuoso

El oro no se oxida a temperatura ambiente y tampoco a temperaturas cercanas a 1000°C. Es insoluble en ácido sulfúrico (H_2SO_4), nítrico (HNO_3) y clorhídrico (HCl), pero se disuelve en soluciones que contienen cloro o bromo libre como el agua regia (que es una mezcla de HCl y HNO_3 en proporción 3:1) y en soluciones de tiocianato (SCN^-), tiourea ($\text{CS}(\text{NH}_2)_2$) y tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$). La reacción con cloro ha sido estudiada con más detalle, debido a su aplicación en la purificación del oro (Domic, 2001, pág. 190).

Los cianuros de potasio, sodio y calcio, en medio alcalino, disuelven el oro formando complejos de cianuro. Es esta capacidad de disolver al oro y la plata que se basa el proceso de lixiviación.

Así mismo, en medio ácido, la tiourea tiene una buena capacidad disolvente para el oro, que representa un atractivo e interesante proceso.

Considerando que el oro a temperatura ambiente se mezcla con aire, se podría asumir que la oxidación del metal a su estado auroso (Au^{+1}), ocurre de la siguiente forma (Domic, 2001, pág. 190).



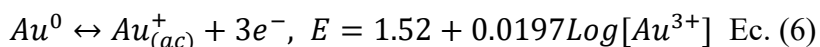
Donde el potencial, dado por la ecuación de Nernst, será:

$$E = E^0 + 2.303 \frac{RT}{NF} \text{Log} \left(\frac{a_{Au^+}}{a_{Au^0}} \right) \quad \text{Ec. (4)}$$

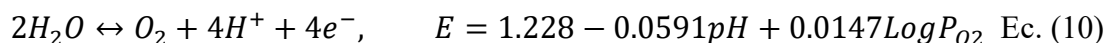
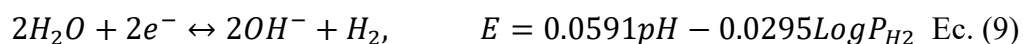
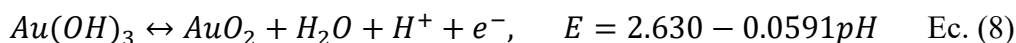
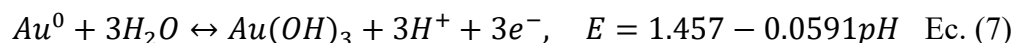
Asumiendo que la actividad del metal Au^0 es 1 y la actividad de la especie disuelta Au^+ es igual a su concentración molar $[Au^+]$ a 25 °C, la ecuación de Nernst puede ser expresado como:

$$E = 1.83 + 0.0591 \log [Au^+] \quad \text{Ec. (5)}$$

Similarmente, para la oxidación al estado áurico Au^{+3} , se tiene:



Durante la oxidación, el metal podría interactuar con el medio ambiente:



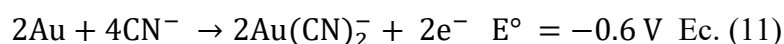
De las respectivas ecuaciones de Nernst, las reacciones Ec. (5) y Ec. (6) pueden ocurrir solamente si existe un oxidante y proporciones suficientes. Para sacar el máximo provechos a las reacciones anteriores se requiere visualizarlas a través de un diagrama Eh/pH para el oro y el agua, tal como se muestra (Domic, 2001).

2.2.7. Cianuración

Proceso de lixiviación por la interacción de oro y el cianuro de sodio, en donde en condiciones ligeramente oxidante, se disuelve el oro contenido en el mineral. Para que el proceso se produzca, la solución lixivante debe contener los siguientes componentes químicos, considerados como esenciales para el proceso y estas son: el ion cianuro (CN^-), el oxígeno disuelto en la solución lixivante (O_2) y el ion hidroxilo (OH^-).

2.2.7.1. Termodinámica del proceso de cianuración

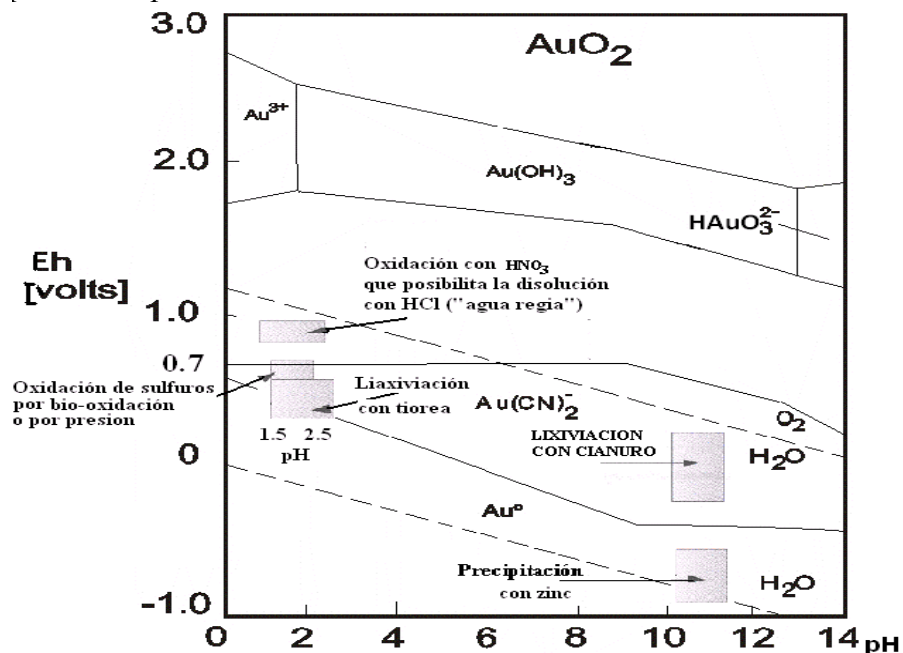
La termodinámica de la lixiviación de oro con las soluciones de cianuro tiene su interpretación mediante los diagramas de equilibrio de Eh vs pH para un sistema de Au- CN^- - H_2O . En la Figura 4 debido a la presencia de cianuro se crea una zona de estabilidad de oro disuelto a la forma de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$. Queda claramente establecida la línea de equilibrio entre Au y $\text{Au}(\text{CN})_2^-$. La reacción de disolución de oro por el cianuro, según la reacción Ec. (11), es la resultante de dos reacciones electroquímicas que se producen simultáneamente, la reacción de oxidación del oro en un medio cianuro, que se produce en un sitio anódico, es de polaridad negativa:



En resumen, la Ecuación 11 no es solo una fórmula química; es la representación fundamental del mecanismo de disolución anódica del oro, cuyo principio es central para entender cualquier proceso hidrometalúrgico aurífero, ya sea con cianuro o con reactivos alternativos. Dicha reacción anódica se lleva a cabo dentro de los límites de estabilidad del H_2O , conforme a la Figura 4.

Figura 4

Diagrama Eh-pH para el oro y el aurocianuro, mostrando además las de operación para otros procesos industriales de extracción del oro.



Nota. Recuperado de Hidrometalurgia, fundamentos, procesos y aplicaciones (Domic, 2001, pág. 197).

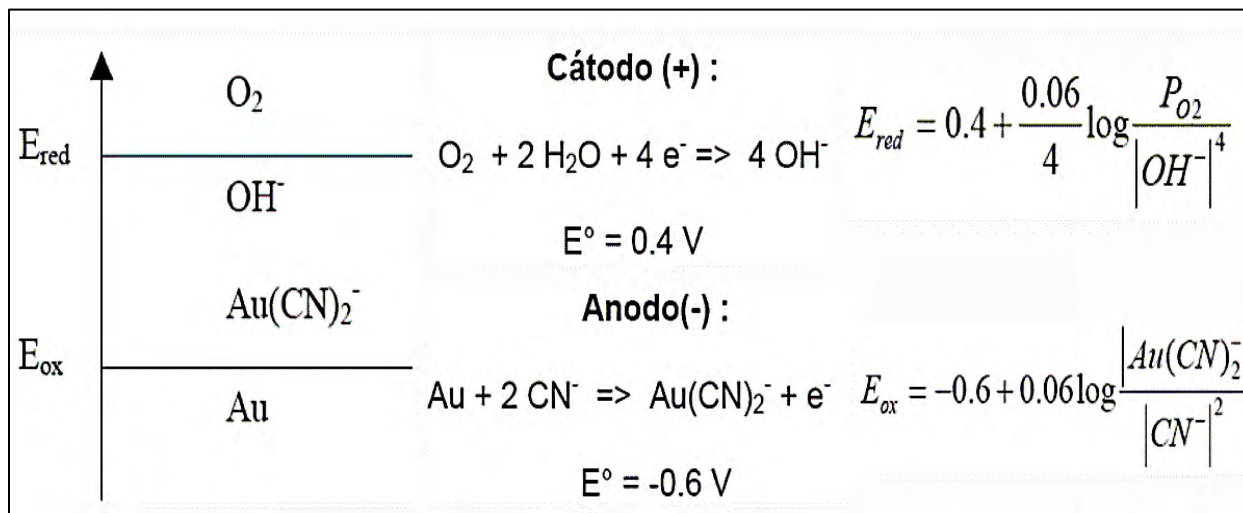
En la Figura 4, el campo de estabilidad de complejos aurocianuros está limitado por una recta que inicialmente muestra una pendiente pronunciada (efecto de la hidrólisis del cianuro a pH menor a 9) tornándose luego casi horizontal debido a la acción oxidante del oxígeno en medio básico, hecho que a su vez permite que se haga efectiva la reacción de lixiviación por formación de complejos aurocianuros. Los complejos aurocianuros tienen un amplio campo de estabilidad extendiéndose en un área del campo de estabilidad del agua. El extenso campo de estabilidad del aurocianuro especialmente a pH > 9 (donde no se genera la formación de HCN) hace que el proceso de cianuración de menas portadoras de oro, sea viable (Domic, 2001, pág. 197).

Dando una interpretación termodinámica del proceso de cianuración, y conforme se muestra en la Figura 5, la reacción de disolución del oro (reacción anódica) se realizará si el

potencial de reducción del oxígeno disuelto (reacción catódica), es superior al potencial de oxígeno del oro (reacción anódica).

Figura 5

Potencial de reducción y oxidación de la disolución del oro.



Nota. La imagen muestra la reacción que ocurre en el cátodo que corresponde al oxígeno y al agua, mientras que en el ánodo ocurre la reacción de oro con el cianuro (Cáceres, 2007, pág. 142).

Como la condición es que $E_{red} > E_{ox}$, entonces se tiene:

$$0.4 + \frac{0.06}{4} \log \frac{P_{O_2}}{|OH^-|^4} > -0.6 + 0.06 \log \frac{|Au(CN)_2^-|}{|CN^-|^2} \quad \text{Ec. (12)}$$

De donde:

$$\log \frac{P_{O_2} |CN^-|^2}{|OH^-|^4 |Au(CN)_2^-|} > -17 \quad \text{Ec. (13)}$$

Por consiguiente, de lo anterior se deduce que las mejores condiciones termodinámicas para disolver el oro son:

- Presión parcial de oxígeno elevada.
- Concentración de cianuro elevado.
- Concentración de iones de OH^- baja (pH moderadamente alcalino).

Sin embargo, las condiciones industriales del proceso de cianuración son:

- Presión parcial de oxígeno constante.
- Concentración de cianuro baja.
- pH elevado.

De lo anterior, las dos últimas condiciones son para evitar la hidrólisis del cianuro y su posterior volatilización, según la siguiente reacción:



2.2.8. Reactivo Sandioss

El reactivo Sandioss se promociona como un agente de extracción de oro que reemplaza al cianuro de sodio, presentándose como una alternativa ecológica. Su uso no requiere modificaciones significativas en los procedimientos o equipos de la lixiviación tradicional. Es aplicable para el tratamiento de oro diseminado, minerales oxidados, mixtos, sulfurados, concentrados y relaves de cianuración, pudiendo emplearse en lixiviación en montones, bateas, tanques agitadores y con carbón en pulpa (Chao-fei, y otros, 2014).

El proceso de lixiviación con Sandioss se basa en que, gracias a sus componentes, los cuales pueden disolver el oro; el porcentaje de disolución es mayor que en la lixiviación con cianuro, llegando a un 98% en la extracción de este metal.

2.2.8.1. Composición química

El reactivo Sandioss es un compuesto de formulación específica cuyos principales componentes, detallados en la Tabla 2, actúan de manera sinérgica para la lixiviación del oro. Su composición garantiza un medio alcalino, capacidad complejante y propiedades oxidantes.

Tabla 2*Composición química del reactivo Sandioss.**Nota.* Obtenido de la ficha técnica de Kouuci Enterprise(Shanghai) Co., Ltd. (2015).

Componente	Fórmula	Porcentaje (%)
Oxido de sodio	Na ₂ O	35 - 50
Nitrógeno	N	12 - 20
Amonio	NH ₄ ⁺	7 - 12
Ferrocianuro de sodio	Na ₄ Fe(CN) ₆ .10H ₂ O	7 - 12
Agua	H ₂ O	1 - 4
Calcio	Ca	1 - 5
Hierro	Fe	1 - 5
Insolubles en agua		3 - 8

Tabla 3*Propiedades físicas y químicas del Sandioss*

Propiedades físicas y químicas del agente de lixiviación Sandioss	
Descripciones generales:	
Apariencia:	Partículas sólidas
Color:	Gris
Olor:	Olor a amoníaco
Cambio de las condiciones	
Punto de fusión / Rango de fusión:	Desconocido
Punto de ebullición / Rango de ebullición:	Desconocido
Punto de ignición:	No aplicable
Riesgo de explosión:	Normalmente el producto no tiene riesgo de explosión.
Densidad	
Densidad relativa:	>1(Agua=1)
Densidad de vapor:	No aplicable
Solubilidad/Compatibilidad	
Agua:	Soluble
Valor pH:	Desconocido

Nota. Obtenido de la ficha técnica de Kouuci Enterprise (Shanghai) Co., Ltd. (2015).

2.2.9. Funcionalidad de los componentes químicos del Sandioss

El reactivo Sandioss ha sido propuesto como una alternativa más segura y eficaz al cianuro de sodio en los procesos de lixiviación de oro (Romero Garcia, 2020). Su formulación contiene varios compuestos que actúan de manera sinérgica para facilitar la disolución del oro. A continuación, se analiza cada uno de sus componentes, tanto desde el punto de vista químico como funcional:

2.2.9.1. Óxido de sodio (Na₂O)

El óxido de sodio es una base fuerte que reacciona con agua para formar hidróxido de sodio (NaOH), un compuesto esencial para mantener el medio alcalino durante la lixiviación. El ambiente básico estabiliza los iones complejantes del oro y previene la formación de gases tóxicos como el ácido cianhídrico (HCN) en presencia de compuestos cianurados (Domic, 2001).

“El mantenimiento de un pH alto favorece la estabilidad del complejo [Au(CN)₂]⁻ y evita la liberación de HCN, que es sumamente tóxico” (Marsden & House, 2009).

Además, una alta alcalinidad mejora la solubilidad de muchos complejos metálicos, acelerando la cinética de lixiviación.

2.2.9.2. Nitrógeno (N) y amonio (NH₄⁺)

El amonio es una fuente de nitrógeno reducida que puede formar complejos con metales y actuar como buffer en soluciones alcalinas. Aunque su rol directo en la lixiviación del oro es limitado, puede estabilizar el pH de la solución. Según Zárate y Ochoa (2013), el ion amonio puede tener un papel secundario en la neutralización de cargas dentro de soluciones con alta concentración de metales. “El amonio y sus compuestos son conocidos por estabilizar ambientes químicos en soluciones complejas, reduciendo interferencias entre iones metálicos” (Zárate & Ochoa, 2013, pág. 145).

2.2.9.3. Ferrocianuro de sodio ($\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Este es el componente clave del reactivo. El ferrocianuro actúa como agente complejante, formando complejos solubles con el oro, similares al aurocianuro en la cianuración convencional.

“El ferrocianuro, al igual que el cianuro libre, puede formar complejos con metales nobles, aunque de menor toxicidad y mayor estabilidad en condiciones alcalinas” (Gasca Torres, 2016, pág. 12).

A diferencia del cianuro libre, el ferrocianuro tiene menor riesgo de liberar ácido cianhídrico, lo que lo convierte en una opción más segura y ambientalmente aceptable. No obstante, debe manejarse con precaución en condiciones ácidas.

2.2.9.4. Calcio (Ca)

El calcio puede estar presente como carbonato o hidróxido y cumple funciones estabilizadoras del pH. También puede precipitar impurezas metálicas que interfieren con la disolución del oro, tales como hierro, cobre o zinc (Chamberlain & Puddephatt, 2003). En sistemas con minerales complejos, ayuda a mejorar la selectividad del proceso.

“El calcio en soluciones lixiviantes mejora la remoción de metales interferentes y estabiliza la química del sistema” (Navarro & Taboada, 2011).

2.2.9.5. Hierro (Fe)

El hierro puede actuar como agente redox, particularmente en su forma férrica (Fe^{3+}), oxidando el oro metálico a Au^+ o Au^{3+} , permitiendo su posterior complejación. Esta función lo convierte en un coadyuvante oxidante que, aunque no es el principal motor de la disolución del oro, sí potencia la cinética del proceso.

“El ion férrico puede oxidar metales nobles facilitando su disolución en procesos hidrometalúrgicos” (Domic, 2001, pág. 153).

2.2.9.6. Agua (H₂O)

El agua es el disolvente principal en los procesos hidrometalúrgicos. Su papel no se limita a la disolución de reactivos, sino que también actúa como medio de transporte iónico y agente térmico, permitiendo que las reacciones químicas ocurran en condiciones más controladas.

En la lixiviación de oro, el uso de soluciones acuosas permite operar a temperaturas relativamente bajas (20 °C a 200 °C), en comparación con los procesos pirometalúrgicos, y ofrece una elevada eficiencia en la formación y transporte de complejos metálicos (Marsden & House, 2009).

2.2.9.7. Insolubles en agua

Los componentes insolubles (como sílice, carbonatos inertes o arcillas no reactivas) no intervienen directamente en la reacción química de lixiviación, pero sí desempeñan funciones físicas relevantes. Actúan como soporte mecánico y promueven una distribución más uniforme del reactivo, además de contribuir a la estabilidad del lecho sólido en reacciones tipo heap leaching o tanque agitado.

Su presencia puede ayudar a evitar zonas muertas y favorecer el contacto entre la solución y el mineral útil, mejorando la eficiencia del proceso (Navarro & Taboada, 2011).

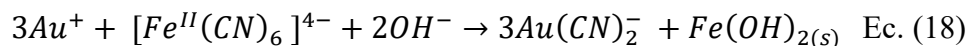
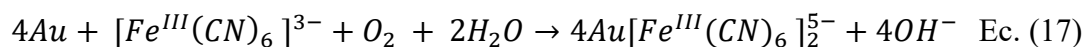
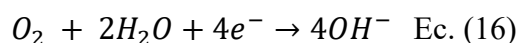
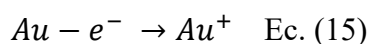
2.2.10. Lixiviación con Sandioss.

El proceso de lixiviación con el reactivo Sandioss, se basa en que gracias a los elementos en su composición química pueden extraer y disolver el Oro a partir de los placeres auríferos y argentíferos; la extracción del metal puede llegar a porcentajes altos, entre 90 a 98% aproximadamente, el valor de extracción depende de las condiciones operativas del proceso. Normalmente trabaja en las mismas condiciones operativas que la cianuración (Romero Garcia, 2020, pág. 25).

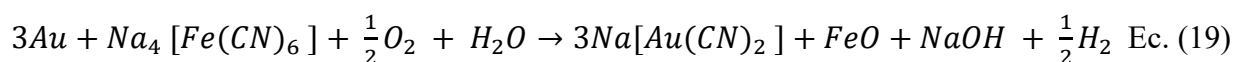
2.2.10.1. Mecanismo de lixiviación con Sandioss

El proceso de lixiviación con Sandioss se sustenta en la acción sinérgica de sus componentes para disolver el oro, pudiendo alcanzar extracciones entre 90% y 98%, dependiendo de las condiciones operativas, las cuales son similares a las de la cianuración (Romero Garcia, 2020).

Se postula que el hierro (Fe) podría liberarse del complejo de ferrocianuro, precipitando posteriormente como hidróxidos en condiciones alcalinas (Ec. (18)) bajo condiciones alcalinas. No obstante, es importante resaltar que esta interpretación se sustenta en fundamentos teóricos y en antecedentes reportados (Li, y otros, 2024).



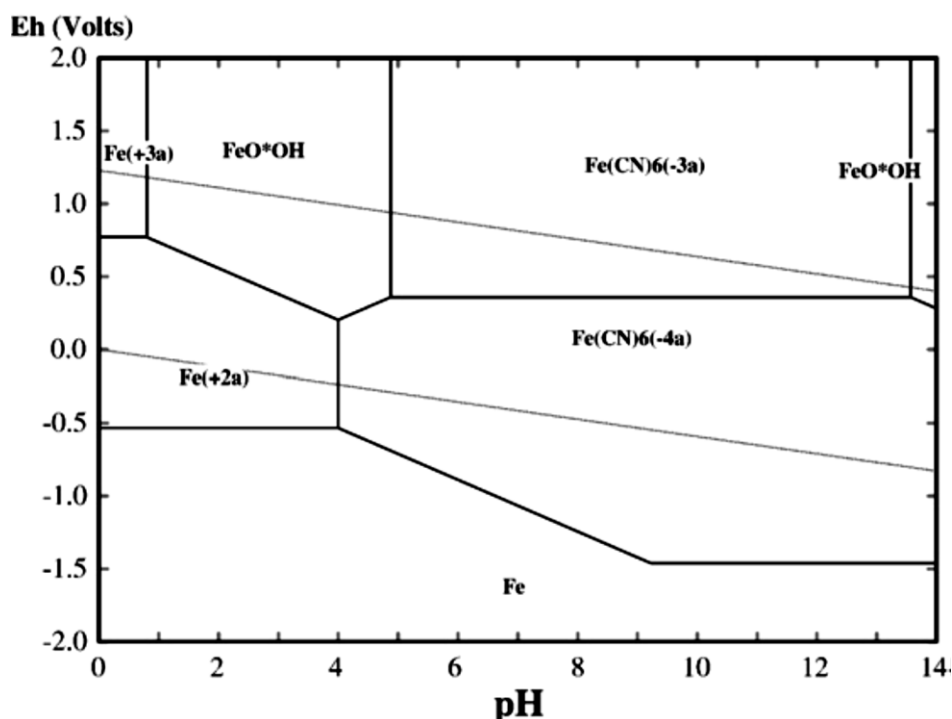
Según la tesis de Ciprian Jordan y Mayta Marca (2023), en medio acuoso a pH 12, el ferrocianuro de sodio formaría aurocianuro de sodio y óxido ferroso.



Pero en la investigación de Xie & Dreisinger (2007) proporciona el diagrama Eh-pH para el sistema Fe-CN-H₂O (Figura 6), mostrando las áreas de estabilidad para $Fe(CN)_6^{4-}$ (ferrocianuro) y $Fe(CN)_6^{3-}$ (ferricianuro).

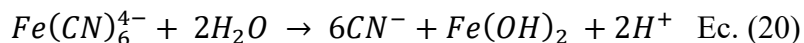
Figura 6

Diagrama Eh-pH de Fe-CN-H₂O sistema en 25 °C ([Fe]=10⁻² M, [CN]=1 M).

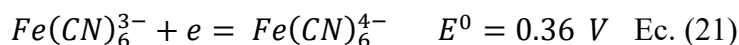


Nota. Se muestra las áreas de estabilidad para el ferrocianuro $Fe(CN)_6^{4-}$ y ferricianuro $Fe(CN)_6^{3-}$ (Xie & Dreisinger, 2007).

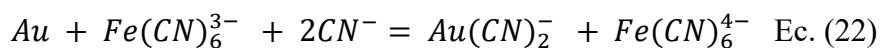
Basándose en la investigación de Treviño-Rodríguez y otros (2024), el proceso podría iniciar con la descomposición del $Fe(CN)_6^{4-}$, liberando cianuro libre e iniciando la precipitación de hidróxido ferroso:



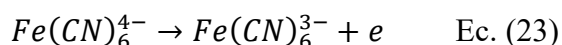
El cianuro libre generado reaccionaría entonces con el oro metálico en presencia de oxígeno, formando el complejo soluble $[Au(CN)_2]^-$ (Ec. (2)). Se ha observado que la presencia de ferricianuro puede aumentar la velocidad de lixiviación debido a su capacidad oxidante (Xie, Dreisinger, & Lu, 2008). La semirreacción es:



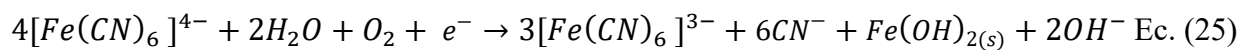
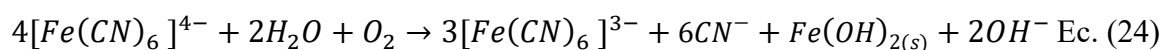
En ausencia de otros oxidantes, la disolución del oro en solución de ferricianuro-cianuro se puede expresar como:



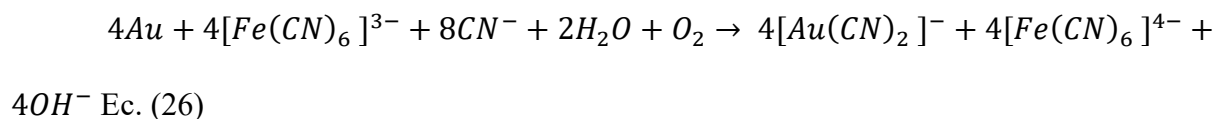
Esta ecuación muestra que el ferricianuro es un oxidante eficaz para disolver el oro y puede acelerar la cinética de lixiviación (Xie & Dreisinger, 2007). Partiendo de la Ec. (21) para la formación de ferricianuro:



El oxígeno molecular actuaría como agente oxidante. Tres complejos se oxidarían de $Fe(CN)_6^{4-}$ a $Fe(CN)_6^{3-}$, y uno se descompondría, liberando ligandos CN^- y precipitando $Fe(OH)_2$. Para balancear la carga, se incluye un electrón:



Basándose en las Ec. (17), Ec. (20), Ec. (22), Ec. (24) y Ec. (2), se propone, bajo una suposición razonable, el siguiente mecanismo global para la lixiviación con Sandioss:



El ferricianuro $[Fe(CN)_6]^{3-}$ funciona como agente oxidante para disolver el oro, mientras que el cianuro libre compleja el oro disuelto. El oxígeno molecular regenera posteriormente el ferricianuro en un ciclo catalítico, pero no aparece directamente en la etapa de disolución del oro. Este mecanismo sugiere que la liberación controlada y progresiva de cianuro evitando su exceso en solución, reduciendo los riesgos ambientales. Es crucial señalar que esta reacción no ha sido confirmada experimentalmente en las condiciones específicas del yacimiento estudiado, por lo que debe considerarse una hipótesis basada en principios químicos conocidos.

2.2.10.2. Ventajas e importancia tecnológica

En comparación con la cianuración tradicional, el reactivo Sandioss ha demostrado alta eficiencia con menores riesgos ambientales. Estudios como el de Chao-fei et al. (2014) reportan extracciones superiores al 97%, validando su viabilidad técnica. Su capacidad para operar en condiciones similares sin generar gases tóxicos ni requerir modificaciones significativas en el diseño de planta lo posiciona como una solución potencial para operaciones de pequeña y mediana minería. Sus ventajas reportadas incluyen:

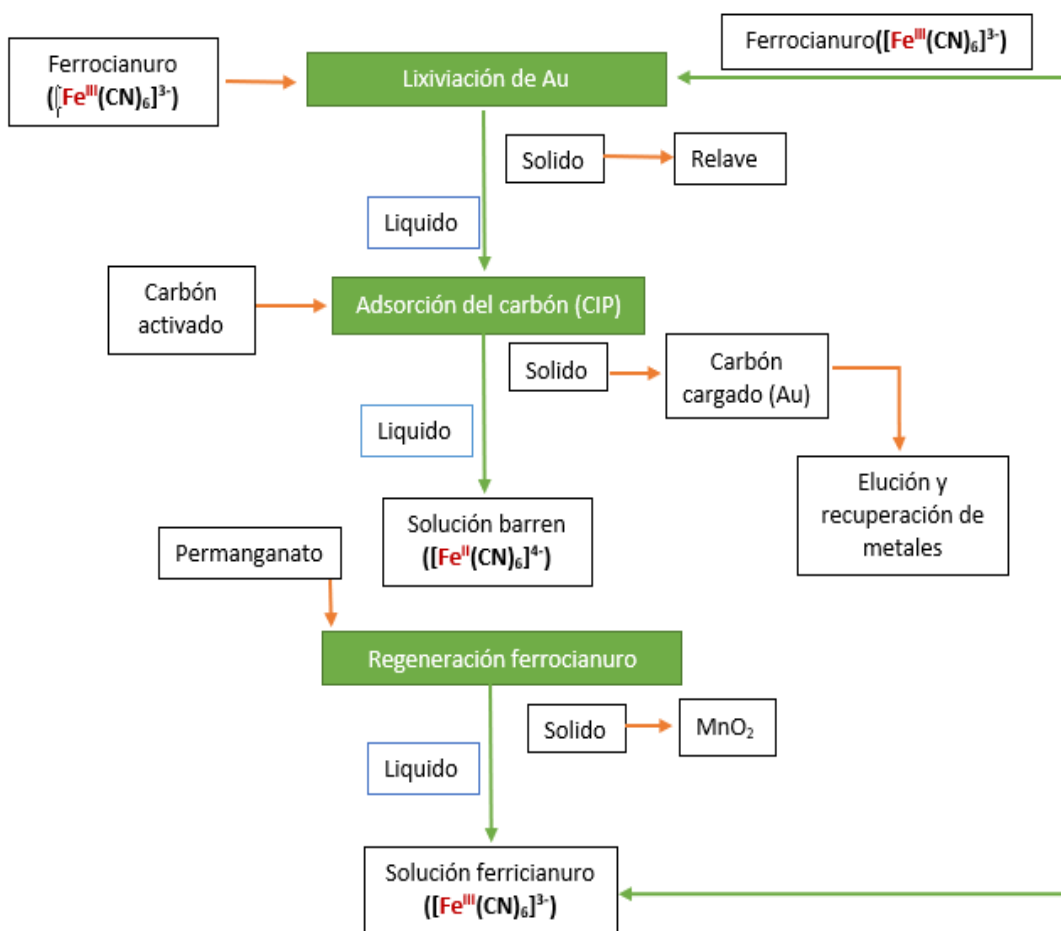
- Tecnológico: Producto de reemplazo directo del cianuro.
- Ecológico: Baja toxicidad, no inflamable, no explosivo.
- Rendimiento Estable: Reduce interferencias de arsénico, azufre, etc.
- Amplia aplicabilidad: usable en montones, bateas, tanques agitadores y CIP.
- Alta tasa de lixiviación: Velocidades reportadas superiores al cianuro.
- Menores tiempos de lixiviación.
- Bajo Costo: En adquisición, transporte, almacenamiento y operación.
- Adsorción selectiva: Compatible con carbón activado.
- Facilidad de uso: Procesos y equipos similares a la cianuración.
- Transporte conveniente: Clasificado como carga normal (Romero Garcia, 2020).

La Figura 7 ilustra un esquema conceptual para la regeneración del ferricianuro utilizando permanganato, lo que potencialmente mejora la sostenibilidad del proceso (Li, y otros, 2024).

“El Sandioss representa una innovación verde en la hidrometalurgia del oro, permitiendo su aplicación sin requerimientos técnicos adicionales y con alto rendimiento metalúrgico” (Romero Garcia, 2020).

Figura 7

Ciclo de vida del ferricianuro.



Nota. Recuperado de Li y otros (2024).

2.2.11. Variables operativas en la lixiviación con Sandioss

Los parámetros operativos para la lixiviación con Sandioss son similares a los de Cianuración (Romero Garcia, 2020), destacando la concentración del reactivo, el tiempo de agitación y el pH.

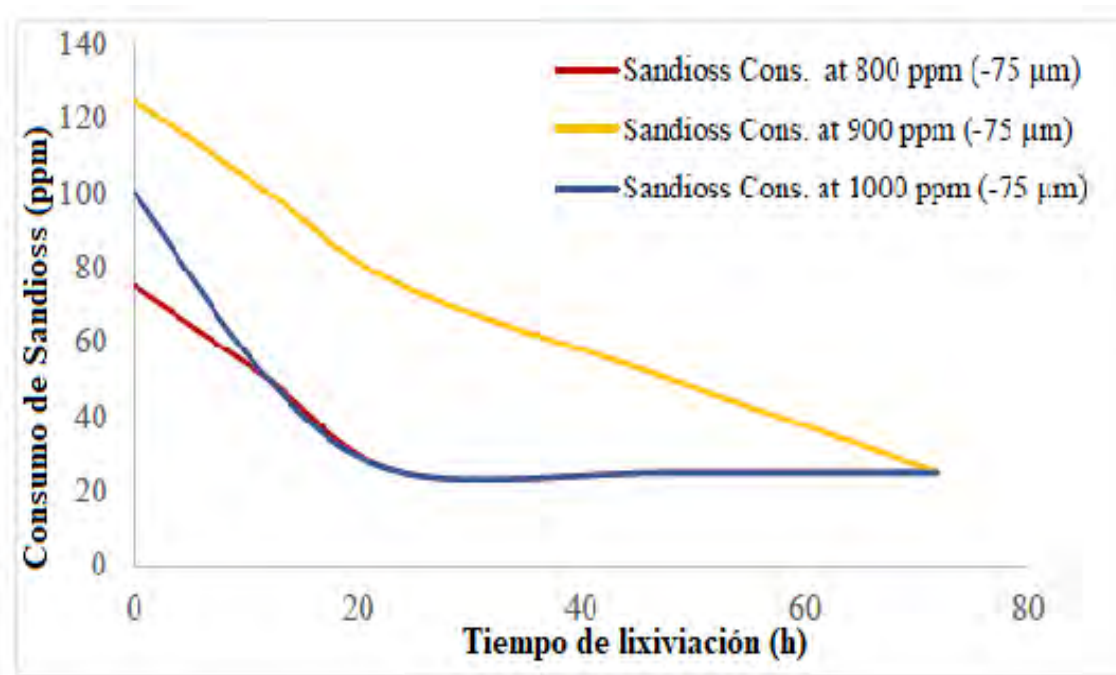
2.2.11.1. Concentración del reactivo

La dosificación óptima de Sandioss depende de la composición y características del mineral. La dosis típica oscila entre 500 y 1000 g/t de mineral, pudiendo ajustarse según las características específicas de la mena y el pH (Sandioss Company, 2020). La Figura 8 muestra la

relación entre la concentración de Sandioss y el tiempo de lixiviación para un mineral de oro molido a $-75\ \mu\text{m}$. Se observa que el consumo de Sandioss disminuye con el tiempo; la reacción es más intensa durante las primeras horas (0–20 h), disolviendo partículas de Au e interactuando con sulfuros, para luego desacelerarse a medida que disminuye la disponibilidad de sitios reactivos (Othman, y otros, 2025).

Figura 8

Relación de la concentración de Sandioss y el tiempo de lixiviación de mineral de Au.

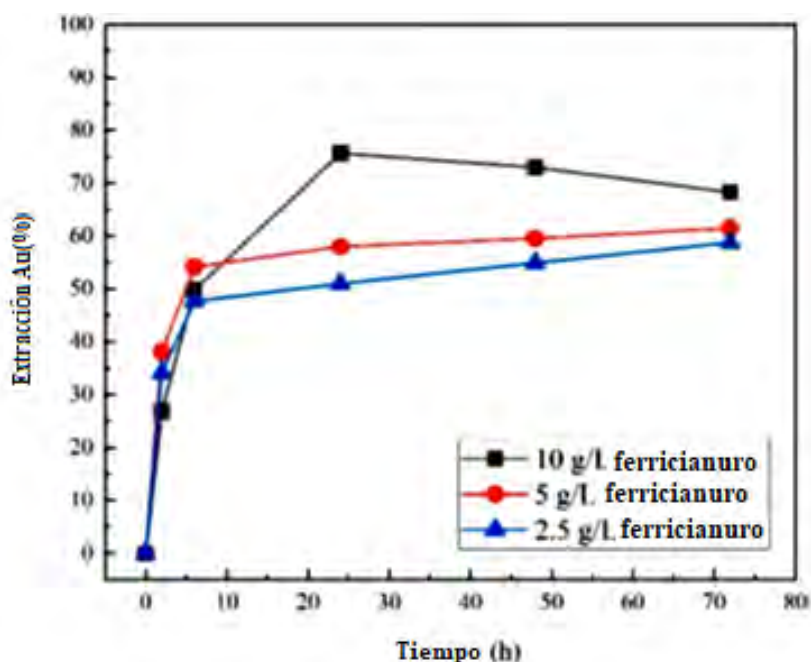


Nota. En la gráfica se aprecia el consumo del Sandioss (Othman, y otros, 2025).

Li y otros (2024) evaluaron el efecto de la concentración de ferricianuro (componente clave) en la lixiviación de oro a pH 11 y $80\ ^\circ\text{C}$ (Figura 9). Los resultados indican que una mayor concentración de ferricianuro favorece la disolución, alcanzándose una extracción máxima del 75.7% con 10 g/L a las 24 horas.

Figura 9

Efecto de la concentración del ferricianuro en la extracción del oro.



Nota. Recuperado de Li y otros (2024).

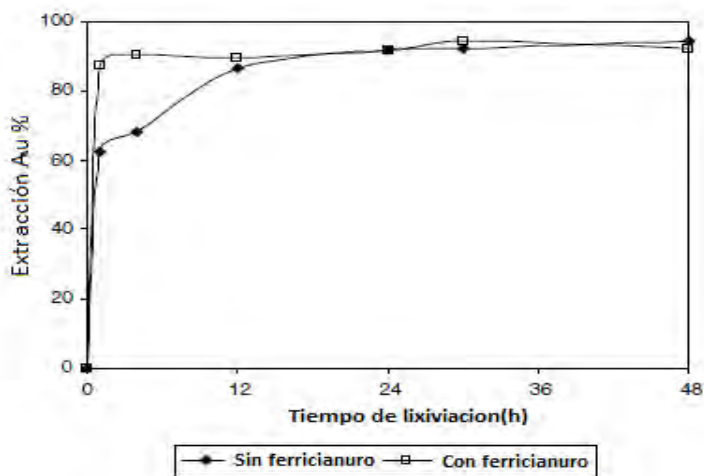
2.2.11.2. Tiempo de lixiviación

En un sistema agitado, existe una correlación directa entre el tiempo de lixiviación y la extracción del metal. Para el reactivo Sandioss, el tiempo máximo estimado es de 48 horas (Romero Garcia, 2020). La Figura 10 muestra el efecto del ferricianuro en la cinética de lixiviación de un mineral de oro. Con ferricianuro, la extracción de oro se estabiliza después de 4 h, comparado con 12 h sin él. Sin embargo, las extracciones finales a 48 h fueron similares (~92-94%), indicando que el ferricianuro acelera la cinética, pero no necesariamente incrementa la extracción final (Xie, Dreisinger, & Lu, 2008).

La Figura 10 demuestra que el ferricianuro aceleró la disolución del oro, pero tuvo poco efecto en la extracción final del oro ya que logro resultados similares a la lixiviación con Cianuro.

Figura 10

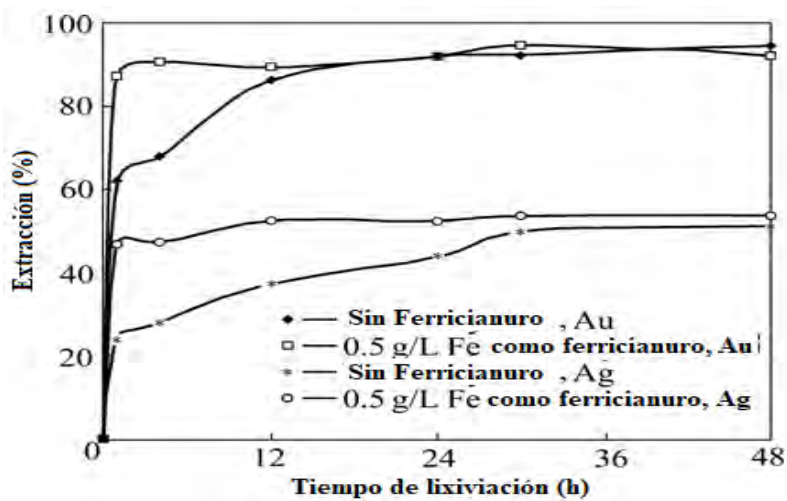
Gráfico de la extracción de Au del mineral vs. el tiempo de lixiviación.



Nota. Según la gráfica se usó 0,5 g/L NaCN, 25 °C; 0,5 g/L Fe como ferricianuro (Xie, Dreisinger, & Lu, 2008).

Figura 11

Gráfico de la extracción de Au y Ag frente al tiempo de lixiviación.



Nota. En la gráfica se utilizaron los siguientes parámetros 0.5 g/L de NaCN, pH=11.5 a temperatura ambiente (Xie & Dreisinger, 2009).

Xie & Dreisinger (2009) evaluaron el efecto del ferricianuro en un mineral aurífero-argentífero (Figura 11). Con 0.5 g/L de Fe como $K_3Fe(CN)_6$, las extracciones de Au y Ag a 1 hora

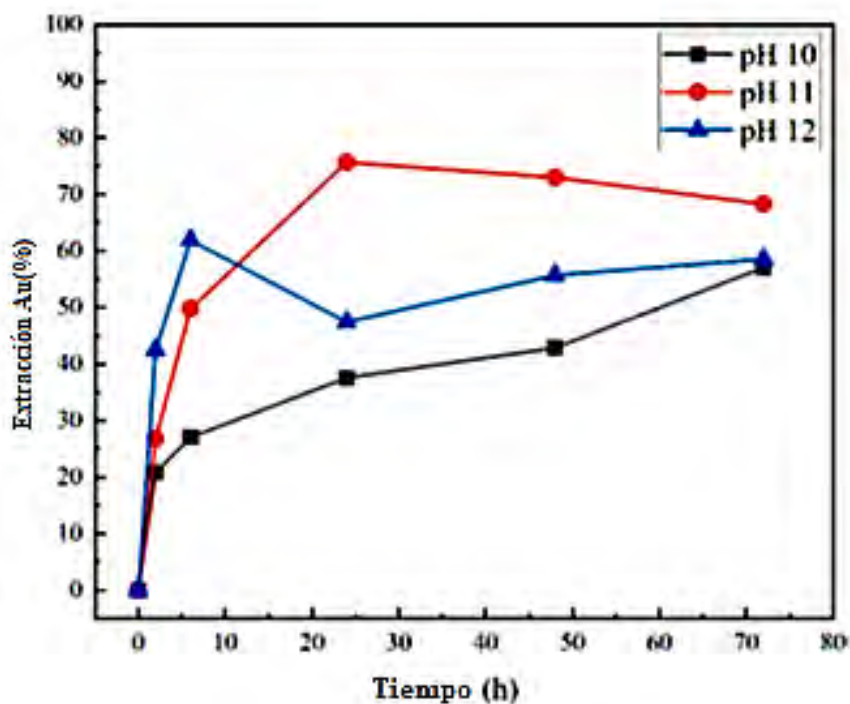
aumentaron a 87% y 47%, respectivamente, frente a 62% y 24% sin ferricianuro. La extracción de oro se estabilizó en 4 horas, confirmando el efecto acelerador del ferricianuro.

2.2.11.3. Alcalinidad de la solución

Generalmente se utiliza cal (CaO) o soda cáustica (NaOH) para mantener la alcalinidad en un rango de pH entre 10 y 12 (Sandioss Company, 2020). Li y otros (2024) analizaron el efecto del pH usando 10 g/L de ferricianuro a 80 °C (Figura 12). El pH 11 favoreció significativamente la extracción en comparación con pH 10 y 12. A pH 12, se observó precipitación del oro disuelto, sugiriendo la existencia de un rango óptimo de operación y la necesidad de estudios adicionales para elucidar el mecanismo.

Figura 12

Efecto del pH en la extracción de Au.



Nota. Recuperado de Li, y otros (2024).

2.2.12. Parámetros intervinientes

Además de las variables de control, existen factores externos y propios del mineral que influyen en la eficiencia de la lixiviación.

2.2.12.1. Temperatura ambiente

La temperatura ambiental constituye un factor relevante, ya que puede modificar la cinética de disolución de los minerales y la solubilidad de los reactivos en el medio acuoso. De acuerdo con Levenspiel (2004), la velocidad de las reacciones químicas suele incrementarse con la temperatura, siguiendo una tendencia exponencial descrita por la ecuación de Arrhenius. En los procesos de lixiviación, una temperatura más elevada puede favorecer la difusión de los iones en la solución y acelerar la disolución del oro. En consecuencia, al trabajar en condiciones de laboratorio y a temperatura ambiente, la influencia de este parámetro se mantiene relativamente constante, evitando la necesidad de ajustes térmicos adicionales.

2.2.12.2. Presión atmosférica

La presión atmosférica tiene un papel indirecto pero significativo, sobre todo en sistemas abiertos. Según Green & Perry (2007), la presión influye en la solubilidad de los gases, particularmente del oxígeno, el cual es fundamental en reacciones de oxidación durante la lixiviación. En regiones de mayor altitud, donde la presión atmosférica es menor, la disponibilidad de oxígeno disuelto puede reducirse, afectando la cinética del proceso. En el caso de la presente investigación, realizada en condiciones propias de la sierra de Arequipa, este factor adquiere relevancia al simular escenarios cercanos a la realidad operativa de las plantas mineras locales.

2.2.12.3. Características mineralógicas del mineral

Las propiedades mineralógicas del material aurífero constituyen uno de los parámetros más determinantes en la lixiviación. La presencia de sulfuros, óxidos y minerales acompañantes como

la pirita, la calcopirita o la covelita, puede influir en la liberación del oro y en el consumo de reactivos. Según Marsden & House (2009), los minerales refractarios limitan la disolución directa del oro al encapsularlo dentro de matrices sulfurosas, mientras que en minerales oxidados la extracción suele ser más eficiente. En este estudio, la caracterización mineralógica permitió identificar la presencia de calcopirita, covelita y pirita, además de oro nativo en distintas formas de ocurrencia, lo cual explica en parte los resultados obtenidos en las pruebas experimentales.

Figura 13

Parámetros operacionales del reactivo Sandioss.

Granulometría	(93-96%- 200 MALLAS)		
Fuerza Sandioss sugerido	300 PPM - 400 PPM		
Densidad de Pulpa	30% - 35% Solidos		
Tiempo de Agitación sugerido	20-35 horas (más corto que con Cianuro)		
PH – Operación	11 a 12		
Regulador PH	Cal y/o soda caustica (NAOH)		
	TIEMPO	temperatura ambiental recomendable	11 - 40 °C
	2 Horas		
CONTROL DE LIXIVIACION	5 Horas		
	8 Horas	PROCESO DE TITULACION	
	12 Horas		
	18 Horas	NITRATO DE PLATA (en solución)	4.33 g/L
	24 Horas		
	30 Horas	IODURO DE POTASIO (solución al 5%)	3 gotas
	35 Horas		
CONTROL- OPCIONAL		TAMAÑO DE ALICUOTA	25 ml
	40 Horas		
METODO RECUPERACION DE SOLUCIONES RICAS SEGÚN LOS CONTENIDOS DE PLATA			
CARBON ACTIVO (CIP-CIL)		POLVO DE ZINC (MERRIL CROWE)	

Nota. Recuperado de Romero García (2020, pág. 28).

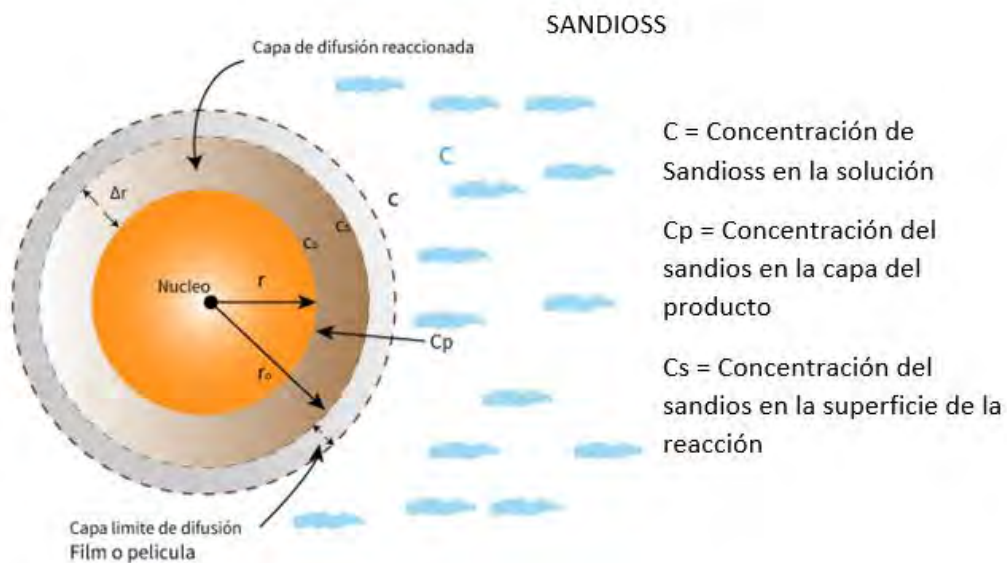
2.2.13. Fundamentos de modelamiento cinético

2.2.13.1. Modelo de núcleo decreciente

El proceso de lixiviación de minerales, con presencia de agente lixivante Sandioss, presenta un comportamiento de modelo de núcleo variable (núcleo decreciente), con tamaño y forma fija de partícula de inicio a fin del proceso (tamaño constante de partícula), esta transformación se desarrolla por la presencia de material estéril formadores de poros fijos que son colaboradores para la difusión del agente lixivante hacia el metal de interés, por medio de la zona inerte (capa ceniza), para su disolución y su posterior difusión de la solución cargada hacia el film o zona de concentración de Sandioss (Levenspiel, 2004).

Figura 14

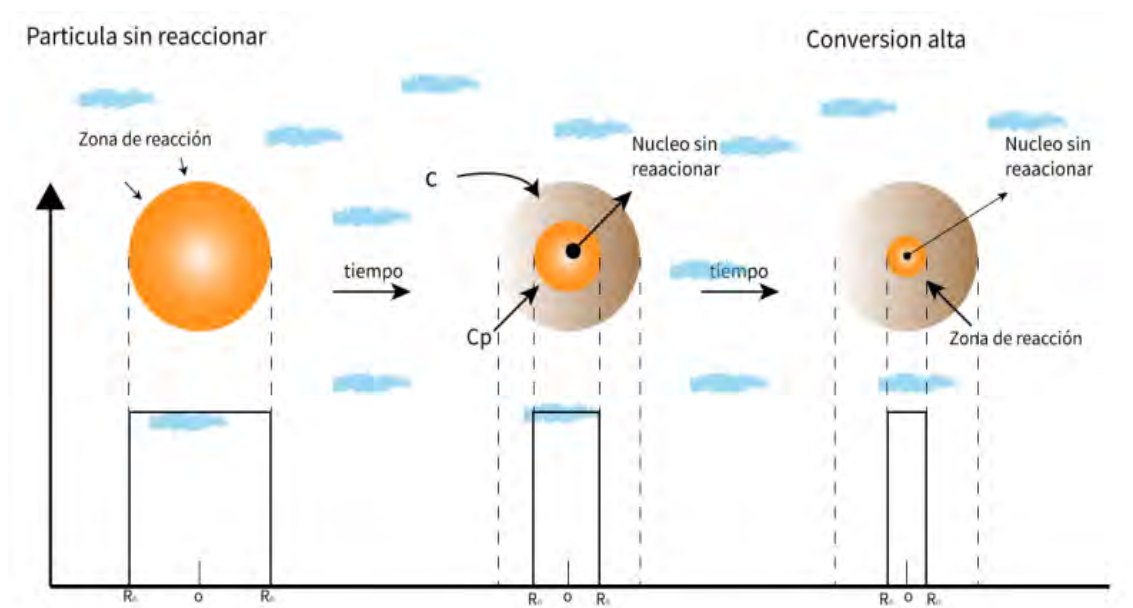
Modelo de núcleo decreciente.



Nota. Adaptado de Levenspiel (2004).

Figura 15

Proceso de la reacción de partícula del modelo decreciente.



Nota. Adaptado de Levenspiel (2004).

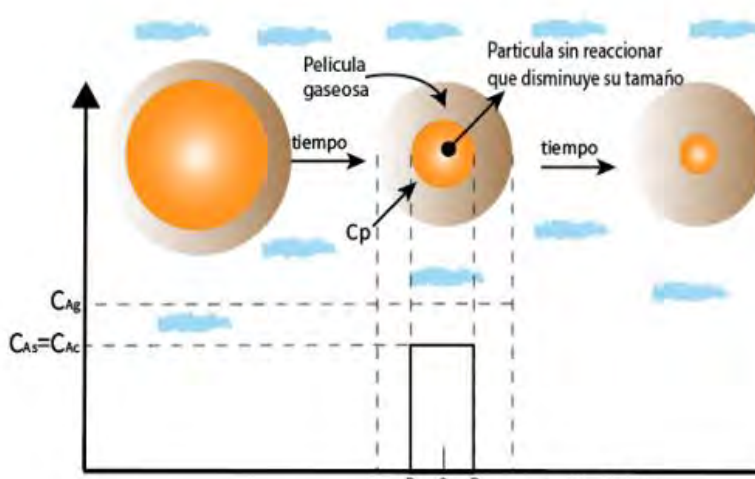
El proceso de reacción según Levenspiel (2004), se muestran en las siguientes etapas:

- I. Conducción del agente lixivante del seno de la solución hacia la parte superficial de la partícula, por medio del film que rodea la superficie total.
- II. Difusión y transporte del agente lixivante por medio de la capa de sólido inerte, hacia la superficie o núcleo no reaccionante de la partícula.
- III. Producción de reacción química en la superficie del núcleo por la interacción del agente lixivante con el mineral tratado.
- IV. Generación de productos y difusión de la solución cargada hacia el exterior (superficie) por medio de la capa formada de inertes (estéril).
- V. Transporte de todos los productos valiosos y estéril disueltos de la superficie de la partícula hacia el seno de la solución.

Para la elaboración de un modelamiento matemático que controle la velocidad de reacción de la lixiviación, debe considerarse todos los procesos mencionados, puede ser una etapa o la combinación entre dos. Levenspiel (2004), sugiere verificar el controlante del sistema, mediante el análisis experimental y las siguientes conjeturas: Primero, el sistema tiene que mantener una temperatura constante (isotérmico), que descarte la existencia de gradientes de temperatura que puedan ocurrir entre la solución lixivante y la partícula sólida. Segundo, Durante el proceso de lixiviación, la partícula debe de considerarse esférica en lo máximo posible, manteniendo la forma y el tamaño durante todo el proceso. Tercero, debido a la difusión que ocurre en los poros a bajas concentraciones de reactivo y producto, es posible rechazar el flujo neto del líquido. Cuarto, se debe considerar la cinética irreversible, de primer orden con respecto a la concentración de reactivo. Quinto, El agente lixivante tiene que encontrarse en exceso estequiométrico, para considerar que la concentración es constante durante todo el proceso. Sexto, Se debe de considerar que el sistema se encuentra en estado pseudo estacionario, donde la velocidad de la difusión de la capa de cenizas es mayor a velocidad de reacción del plano (Levenspiel, 2004).

Figura 16

Formación de la película o film en toda la superficie de la partícula de mineral.



Nota. Adaptado de Levenspiel (2004).

En la Figura 16 se muestra que el control de la reacción se desarrolla en la película formada y se aplica el mismo concepto de velocidad. La partícula de mineral va a ser lixiviado, inicialmente tiene un tamaño definido, sin embargo, en un tiempo determinado disminuye en forma progresiva hasta un tamaño final en función de su radio (Levenspiel, 2004).

2.2.14. Diseño experimental

2.2.14.1. Objetivo del diseño experimental

El diseño experimental es una metodología utilizada para planificar, desarrollar y analizar experimentos de forma controlada. Su principal objetivo es determinar el efecto de uno o más factores sobre una variable de respuesta, minimizando la influencia de fuentes de variación no deseadas. Según Montgomery (2020), esta técnica es esencial en disciplinas como ingeniería, biología, psicología y economía, ya que facilita la toma de decisiones basada en evidencia.

2.2.15. Diseño factorial

El diseño factorial es un tipo específico de diseño experimental en el que se evalúan simultáneamente dos o más factores, cada uno con diferentes niveles. Esta metodología es particularmente útil para estudiar no solo los efectos individuales de cada factor, sino también sus posibles interacciones (Montgomery, 2020, pág. 206). Por ejemplo, al investigar la lixiviación de oro y cobre, se pueden estudiar simultáneamente factores como el tiempo, alcalinidad y la concentración de un reactivo.

2.2.16. Diseño factorial 2^k

El diseño factorial 2^k es una variante particular en la que k factores se evalúan en dos niveles (bajo y alto). Este diseño es ampliamente utilizado en la industria y la investigación debido a su simplicidad y capacidad para extraer información valiosa con un número limitado de experimentos (Montgomery, 2020, pág. 253).

2.2.16.1. Características del diseño 2^k

- **Número de Tratamientos:** Las combinaciones de los niveles de los factores generan 2^k .
- **Efectos Analizados:** Incluye los efectos principales de cada factor y las interacciones entre ellos (dos o más factores).
- **Reproducibilidad:** Este diseño puede incluir réplicas para mejorar la precisión y detectar posibles errores experimentales.

2.2.16.2. Ventajas

- **Claridad estadística:** Genera modelos que explican tanto efectos directos como interacciones.
- **Flexibilidad:** Es útil en diferentes campos como ingeniería, biología o química.
- **Optimización de recursos:** Minimiza el número de pruebas necesarias para obtener resultados significativos.

2.2.17. *Diseño factorial 2^k con punto central en el diseño*

El diseño factorial 2^k con réplica en el punto central es una extensión del diseño factorial 2^k tradicional. Este enfoque incorpora puntos centrales al diseño para proporcionar una estimación adicional de la curvatura en la relación entre los factores estudiados y la variable de respuesta, aumentando la robustez del análisis experimental. Este método es ampliamente utilizado en estudios donde se sospecha que la relación entre los factores no es completamente lineal (Montgomery, 2020, pág. 285).

2.2.17.1. Punto central en el diseño

Para Montgomery (2020), el punto central se encuentra entre los niveles alto y bajo de los factores evaluados. Cuando se incluyen réplicas del punto central en el diseño, se logra:

1. **Detección de curvatura:** el punto central proporciona una indicación de que la respuesta está cambiando de manera no lineal en el rango de factores.
2. **Estimación de error experimental:** una mayor cantidad de réplicas permite una estimación más precisa del grado de variabilidad inherente al sistema y, por lo tanto, hace que el análisis estadístico sea más confiable.
3. **Robustez del modelo:** al lograr un equilibrio entre los análisis de efectos lineales y de interacción, se agrega más información sobre la naturaleza de la superficie de respuesta.

2.2.17.2. Estructura de un diseño 2^3 con puntos centrales

Según Montgomery (2020), para un diseño factorial 2^3 con réplicas en el punto central, el número total de ensayos se calcula como:

$$N = 2^3 + n_c \quad \text{Ec. (27)}$$

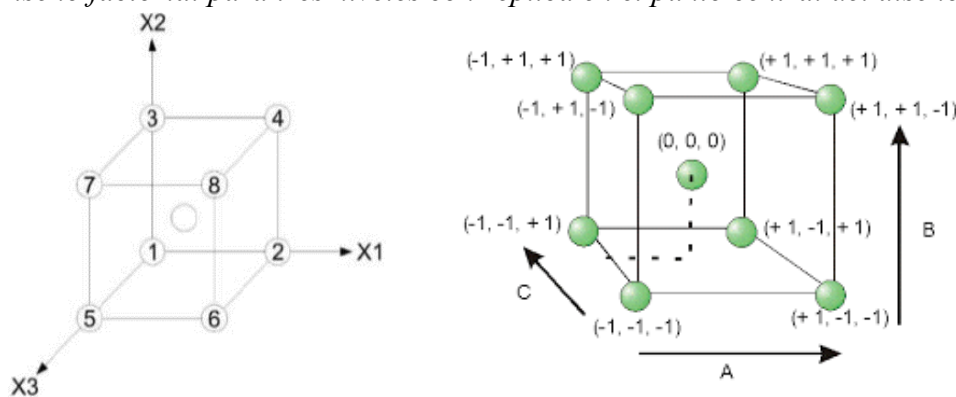
$$N = 8 + n_c \quad \text{Ec. (28)}$$

Donde:

- 2^3 es el número de combinaciones de los niveles alto y bajo de los k factores.
- n_c es el número de réplicas en el punto central.

Figura 17

Diseño factorial para tres niveles con replica en el punto central del diseño.



Nota. El grafico nos muestra el número de pruebas cuando el diseño es 2^3 con replica en el centro (Huaco Condori, 2017).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La lixiviación con Sandioss mediante agitación incrementa significativamente la extracción de oro del yacimiento La Estrella.

3.1.2. Hipótesis específicas

H₁: Con una concentración de 1000 ppm del reactivo Sandioss se incrementa la extracción de oro del yacimiento La Estrella.

H₂: Con un tiempo de lixiviación de 48 horas en un sistema agitado se obtiene una mayor extracción de oro del yacimiento La Estrella.

H₃: Con un pH 11 durante la lixiviación se obtiene una mayor extracción de oro del yacimiento La Estrella.

3.2. Variables

3.2.1. Identificación de variables

Para el tratamiento de los datos se aplica la técnica del Diseño Factorial (2^K) a fin de procesar e identificar la influencia de las variables en estudio las cuales son: Extracción de oro, concentración de reactivo, tiempo de lixiviación y pH.

En el análisis de los datos se aplicará el Software Estadístico Minitab Versión 19, a fin de evaluar, interpretar y optimizar las variables en estudio que permitan determinar un modelo matemático para la optimización en la extracción de oro.

En el presente trabajo de investigación se han considerado las siguientes variables: independientes y dependientes.

3.2.2. Variables independientes

Para efectos de estudio los niveles de las variables independientes son las que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Variables independientes.

Variables independientes	Nivel de los variables			Unidad
	Nivel bajo	Nivel intermedio	Nivel alto	
VI ₁ : Concentración del Sandioss	500	750	1000	ppm
VI ₂ : Tiempo de lixiviación	24	36	48	h
VI ₃ : pH	11	11.5	12	-

Nota. Elaboración propia.

3.2.3. Variables dependientes

- Extracción de oro

3.2.4. Variables intervinientes

- Temperatura del ambiente
- Presión atmosférica
- Características mineralógicas del mineral

3.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 5

Matriz de operacionalización de variables.

VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	DIMENSIÓN	UNIDAD	INSTRUMENTOS Y/O TÉCNICAS
Extracción de oro	Dependiente	Es el oro disuelto respecto al contenido metálico total presente en el mineral, expresando la eficiencia del proceso de lixiviación (Marsden & House, 2009).	Determinación de la extracción metalúrgica mediante el balance de masa entre la ley de cabeza, el contenido aurífero en la solución lixivante y la ley de residuos (colas).	Presencia de Oro en la solución.	0 a 100	%	Ensayo al fuego (ley de cabeza y colas), Análisis por absorción atómica (solución lixiviada), Balance Metalúrgico
Tiempo de lixiviación	Independiente	Es la duración del contacto entre la fase sólida (mineral) y la fase líquida (solución lixivante), que determina la cinética de disolución del metal valioso(CODELCO Chile, 2019).	Control y medición del período de agitación continua de la pulpa en el reactor, desde la adición del reactivo hasta la finalización de la prueba.	Cantidad de Oro lixiviado en función del tiempo.	24 a 48	h	Cronometro
Concentración de Sandioss	Independiente	Es una medida cuantitativa de la cantidad de materia disuelta (Sandioss) en una determinada cantidad de solución (Romero Garcia, 2020).	Dosificación del reactivo y verificación de su concentración en solución mediante titulación con nitrato de plata, utilizando ioduro de potasio como indicador.	Gramo de reactivo/ kg de mineral.	500 a 1000	ppm	Balanza gramera de precisión 600g/0.1g Bureta graduada, matraz de Erlenmeyer, Ioduro de potasio y Nitrato de plata
pH	Independiente	Es el potencial de hidrogeniones que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa. (Canela Gonzalo, 2014).	Medición y ajuste de la alcalinidad de la pulpa utilizando hidróxido de sodio para mantener el rango operativo óptimo.	Acidez, Neutralidad y Basicidad.	11-12	-	pHmetro de tiras reactivas, NaOH

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. **Ámbito de estudio: Localización política y geográfica**

La planta de beneficio de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A., está ubicada a unos 15.10 km al Sur del distrito de Chala y su yacimiento minero la Estrella está ubicada a unos 28.85 km al Este de su planta de beneficio y a unos 38.29 km al Sureste del distrito de Chala en la provincia de Caravelí de la región Arequipa como se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Ubicación de la planta de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra y su yacimiento La Estrella.



Nota. Recuperado de Google Earth 2024.

4.2. **Diseño de investigación**

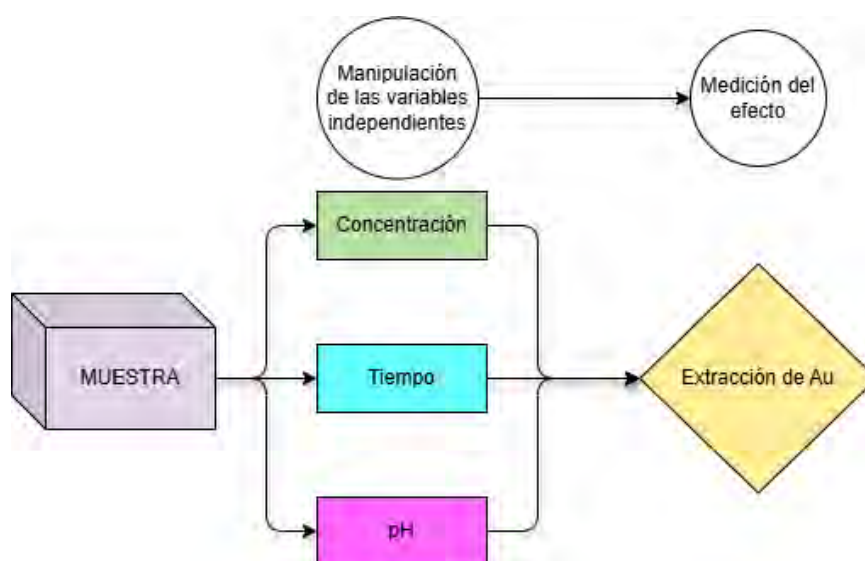
La investigación desarrollada se enmarca dentro del diseño **experimental**, ya que se trabajó con un conjunto de variables que fueron manipuladas de manera intencional para analizar su efecto en la extracción de oro a través de la lixiviación con Sandioss en un sistema agitado. Para este fin,

se consideraron como factores principales la concentración del reactivo, el tiempo de lixiviación y el pH de la solución.

Tal como señalan Hernández, Fernández, & Baptista (2014), en este tipo de diseños el investigador manipula deliberadamente una o varias variables independientes con el propósito de examinar las consecuencias que dicha manipulación produce sobre la variable dependiente.

Figura 19

Diseño experimental para la investigación.



Nota. Elaboración propia.

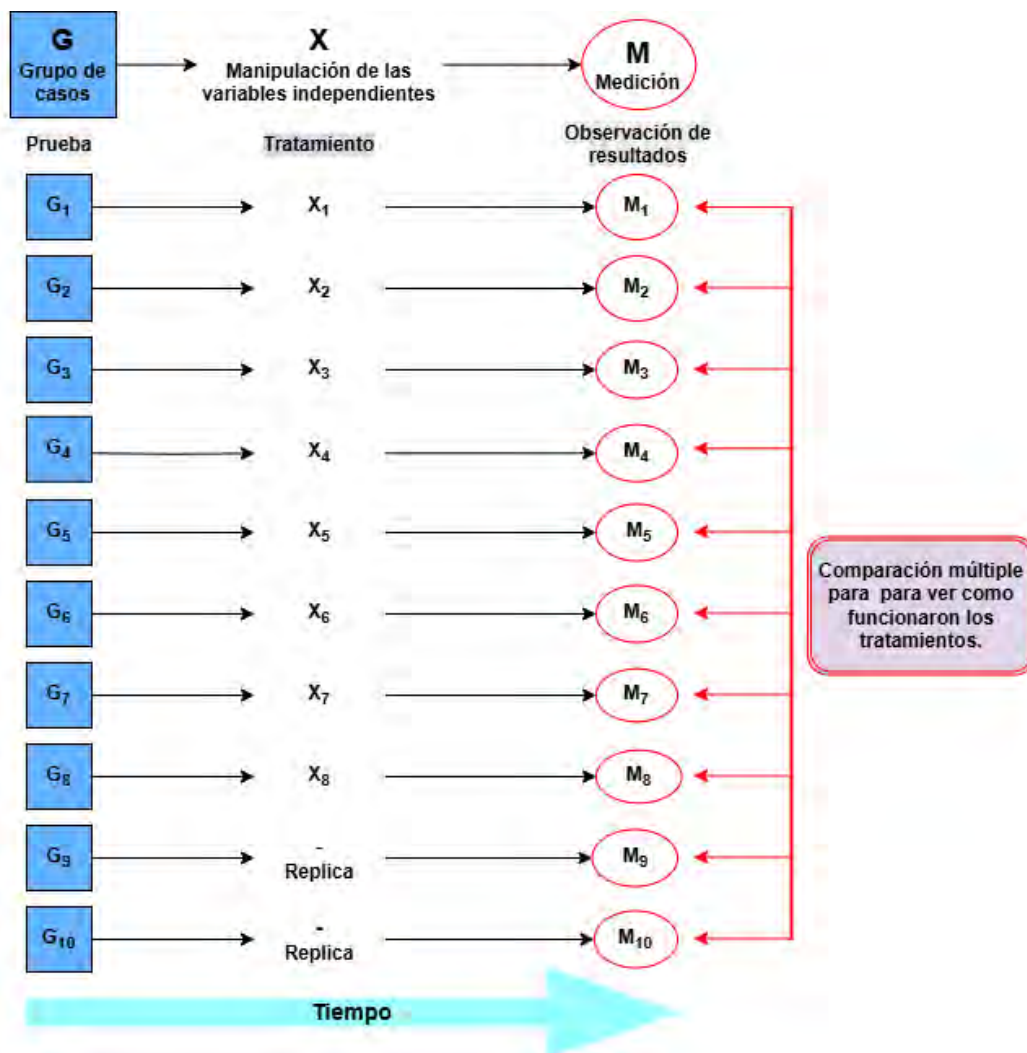
El procedimiento se llevó a cabo bajo condiciones de laboratorio controladas, garantizando que otros parámetros (como la granulometría del mineral, la relación sólido-líquido y la temperatura) permanecieran constantes durante los ensayos. De este modo, fue posible aislar la influencia de las variables estudiadas y establecer con mayor precisión la relación entre los factores experimentales y el porcentaje de oro extraído.

La Figura 20 muestra un diseño experimental factorial aplicado a las muestras de mineral (G). Cada grupo recibió un tratamiento (X) donde se variaron de forma controlada la concentración de Sandioss, tiempo de lixiviación y pH. Los resultados (M) corresponden al porcentaje de oro

extraído en cada prueba. Además, se incluyeron dos réplicas en el punto central para dar mayor confiabilidad. Finalmente, se compararon todos los tratamientos para identificar las condiciones más eficientes de extracción.

Figura 20

Estructura lógica del estudio.



Nota. Adaptado de Hernández, Fernández & Baptista (2014).

Esquema del diseño experimental aplicado en la investigación. Se muestra la manipulación de variables (concentración, tiempo y pH), la medición de resultados y la comparación de tratamientos para determinar las condiciones óptimas de lixiviación con Sandioss.

4.2.1. Método de investigación

El método es **hipotético-deductivo** ya que la investigación anticipará las respuestas de la investigación y mediante la contrastación de resultados se comprobará las respuestas, para ello se realizará la lixiviación con el reactivo Sandiooss a nivel de laboratorio y se evaluará la extracción de oro en los laboratorios de CEPROMET Minera Porvenir S.A.C. ubicada en Apipa Sector IX en el distrito de Yura de la provincia de Arequipa en el departamento de Arequipa.

4.2.2. Enfoque de la investigación

La investigación es de enfoque **cuantitativo** el cual es secuencial y probatorio el cual utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 4).

La investigación se planteó desde un enfoque cuantitativo, ya que el análisis se centró en información numérica obtenida directamente de los ensayos realizados en laboratorio. Entre los datos registrados destacan el porcentaje de oro extraído, la concentración del reactivo utilizado y los valores de pH de las soluciones preparadas. Este enfoque permitió examinar los resultados con objetividad y apoyarse en herramientas estadísticas para garantizar la solidez y confiabilidad de las conclusiones alcanzadas.

4.2.3. Tipo de la investigación

La presente investigación es de tipo **tecnológica**, pues su propósito principal no es descubrir nuevas leyes científicas, sino aplicar conocimientos ya existentes para reconstruir y optimizar procesos productivos (Bello, 1996). En este sentido, el estudio no solo buscó generar información teórica, sino también evaluar una alternativa práctica al proceso tradicional de lixiviación de oro. Para ello, se analizó el desempeño del reactivo Sandiooss como posible sustituto

del cianuro, bajo condiciones experimentales controladas. El objetivo fue obtener resultados aplicables al contexto metalúrgico, con miras a incrementar la extracción. De esta forma, la investigación aporta soluciones concretas y viables que podrían implementarse en plantas de beneficio.

4.2.4. Nivel de la investigación

La investigación se ubica en un nivel **descriptivo** y **explicativo**. En una primera fase, cumple un propósito descriptivo al caracterizar el mineral del yacimiento La Estrella y detallar las condiciones experimentales bajo las cuales se llevaron a cabo las pruebas de lixiviación, lo que permitió contextualizar el problema de estudio.

Posteriormente, adquiere un nivel explicativo, ya que no se limita a presentar resultados, sino que busca comprender las relaciones entre las variables que intervienen en el proceso. Tal como señalan Hernández, Fernández, & Baptista (2014), en este tipo de estudios las variables independientes se consideran las causas, mientras que las variables dependientes representan los efectos, que en este caso corresponden a la extracción del oro. Bajo esta lógica, se analizaron los efectos de concentración del reactivo Sandioss, tiempo de lixiviación y pH, con el fin de establecer relaciones de causa-efecto que sustentaran las conclusiones obtenidas.

4.3. Población de estudio

Reservas de minerales auríferos pertenecientes al yacimiento La Estrella de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A.

4.3.1. Tamaño de muestra

El mineral se extrajo de las contramuestras del área de muestreo de la planta de Beneficio de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A., tomadas a partir de los lotes de mineral provenientes del yacimiento La Estrella, siendo estos de un peso de 400 g con un tamaño de

partícula del 80% de malla -200, de ello se obtuvo una muestra total de 30 kg, aplicando la técnica del muestreo de cono y cuarteo se obtuvo 10 muestras representativas para desarrollar la parte experimental, la muestra se sometió a una remolienda para llegar al 90% malla -200.

4.3.2. Técnicas de selección de muestras

Tabla 6

Desarrollo de pruebas y las técnicas de selección de muestras.

Unidad de muestreo	Técnica de muestreo	Frecuencia de muestreo	Muestra	Objetivo
Mineral de prueba	Cono y cuarteo	Al inicio de la prueba	1kg (90% - Malla -200)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Obtener muestra representativa. ✓ Iniciar con las pruebas.
Solución del proceso de lixiviación con Sandioss	Por pipeteo	Cada: 12, 24, 36 y 48 horas, después del inicio de cada prueba	10 ml por intervalo de tiempo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinar el nivel de pH. ✓ Consumo y reposición de los reactivos extractantes. ✓ Determinación del % de extracción de oro.
Los rípios	Por cuarteador de rifles	Después de cada proceso	30 g por cada prueba experimental	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contenido metálico en los rípios, para un balance de materia.

Nota. Elaboración propia.

4.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de información se aplicaron tres técnicas principales: observación directa, experimentación en laboratorio y análisis documental.

- ✓ Mediante la observación visual se caracterizó el mineral empleado, se identificaron los reactivos requeridos y se registraron los fenómenos desarrollados durante las pruebas de lixiviación.
- ✓ A través de la experimentación en laboratorio se recopilaron datos correspondientes al análisis granulométrico, la determinación de la alcalinidad, la gravedad específica, así como el monitoreo de la lixiviación en agitación y de los parámetros de operación asociados.

- ✓ Con el empleo de la técnica de análisis documental se accedió a los resultados de la determinación del contenido de oro en el mineral y en las soluciones, obtenidos mediante espectrometría de absorción atómica. Como instrumento de registro se utilizó la ficha de resultados experimentales, que permitió sistematizar y organizar la información generada en cada etapa.

4.4. Validez y confiabilidad de instrumentos

La validez y confiabilidad de los datos recopilados dependen del método de recolección, por su importancia científica, las mediciones de estabilidad que utilizan para cerciorar y garantizar la confiabilidad de los instrumentos que van a adquirir los datos, ya que estos instrumentos de cálculo muestran de dos a más veces los datos a cada cierto tiempo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

4.5. Plan de análisis de datos

- A. Con los datos obtenidos en cada prueba experimental se realizará balances de materia para determinar el porcentaje de extracción de oro, para lo cual se utilizó el Excel Metalúrgico.
- B. Con el propósito de procesar e interpretar los resultados obtenidos en los ensayos, se implementó una estrategia de análisis estadístico sustentada en el diseño experimental. Este procedimiento permitió desarrollar un modelo matemático orientado a identificar las variables con mayor influencia en el proceso de lixiviación, así como su relación con la extracción del oro utilizando el reactivo Sandioss. Para este fin se empleó un diseño factorial a dos niveles con tres factores (2^3), lo que implicó la ejecución de un total de ocho pruebas metalúrgicas.

C. El tratamiento estadístico de los datos se llevó a cabo mediante el software Minitab versión 19, el cual facilitó:

- La evaluación de los efectos principales y de las interacciones entre variables.
- La aplicación del análisis de varianza (ANOVA).
- La obtención de un modelo matemático representativo del proceso.
- La determinación de los parámetros más favorables para la extracción.
- La elaboración de representaciones gráficas que incluyen diagramas de interacción e isóneas, útiles para visualizar la correlación entre las variables de operación y el grado de extracción de oro.

D. Preparación de resultados mediante gráficos, tablas y cuadros.

4.6. Equipos, instrumentos y reactivos

Los equipos destinados a la preparación mecánica del mineral, con el objetivo de obtener las granulometrías requeridas para el proceso de lixiviación, fueron los siguientes:

4.6.1. Equipos usados

Los equipos utilizados para la preparación mecánica del mineral, hasta obtener los tamaños requeridos para el estudio cinético y para el proceso de lixiviación son los siguientes:

- Molino de bolas de 4*1 pies y 1*2 pies
- Agitadores mecánicos de 4L
- Pulverizador de discos
- Destilador a presión de aire de 40-60 psi
- Compresora de 0.5 m³ y pistola de aire
- Tamices Tyler Malla N° 150 y 200

- Mufla de 150°C

4.6.2. Instrumentos de laboratorio

- Matraz de 25 y 50 ml
- Bandejas metálicas de 15cm*25cm
- Espátulas
- Cucharon de laboratorio
- Brocha
- Cuarteador manual
- Cucharillas
- Papel PANPHEA
- Vasos precipitados de 50, 100 y 250 ml
- Piseta 500 ml
- Embudos
- Pipeta de 5 y 10 ml
- Propipeta
- Fiolas de 250 ml
- Papel filtro
- Balanzas de 600 g y 10kg
- Bureta automática
- Varilla
- Soporte universal
- Probeta de 250 y 500 ml
- Luna de reloj

- Gotero
- Tubos de ensayo

4.6.3. Reactivos

- Sandioss
- Nitrato de plata $\geq 99\%$
- Ioduro de potasio $\geq 99.5\%$
- Hidróxido de sodio $\geq 98\%$
- Agua destilada
- Agua industrial

4.7. Metodología seleccionada y aplicada al proyecto

Para la obtención de información experimental se recolectaron 30 kg de muestra mineral, los cuales fueron procesados en los laboratorios de procesamiento de minerales e hidrometalurgia de CEPROMET Minera Porvenir S.A.C., en dichos laboratorios se desarrollaron las pruebas a nivel experimental con el fin de caracterizar la muestra y evaluar el grado de extracción de oro alcanzado. La recopilación de datos se efectuó mediante la observación directa y la aplicación de instrumentos de medición y análisis químico, lo que permitió posteriormente su tratamiento estadístico.

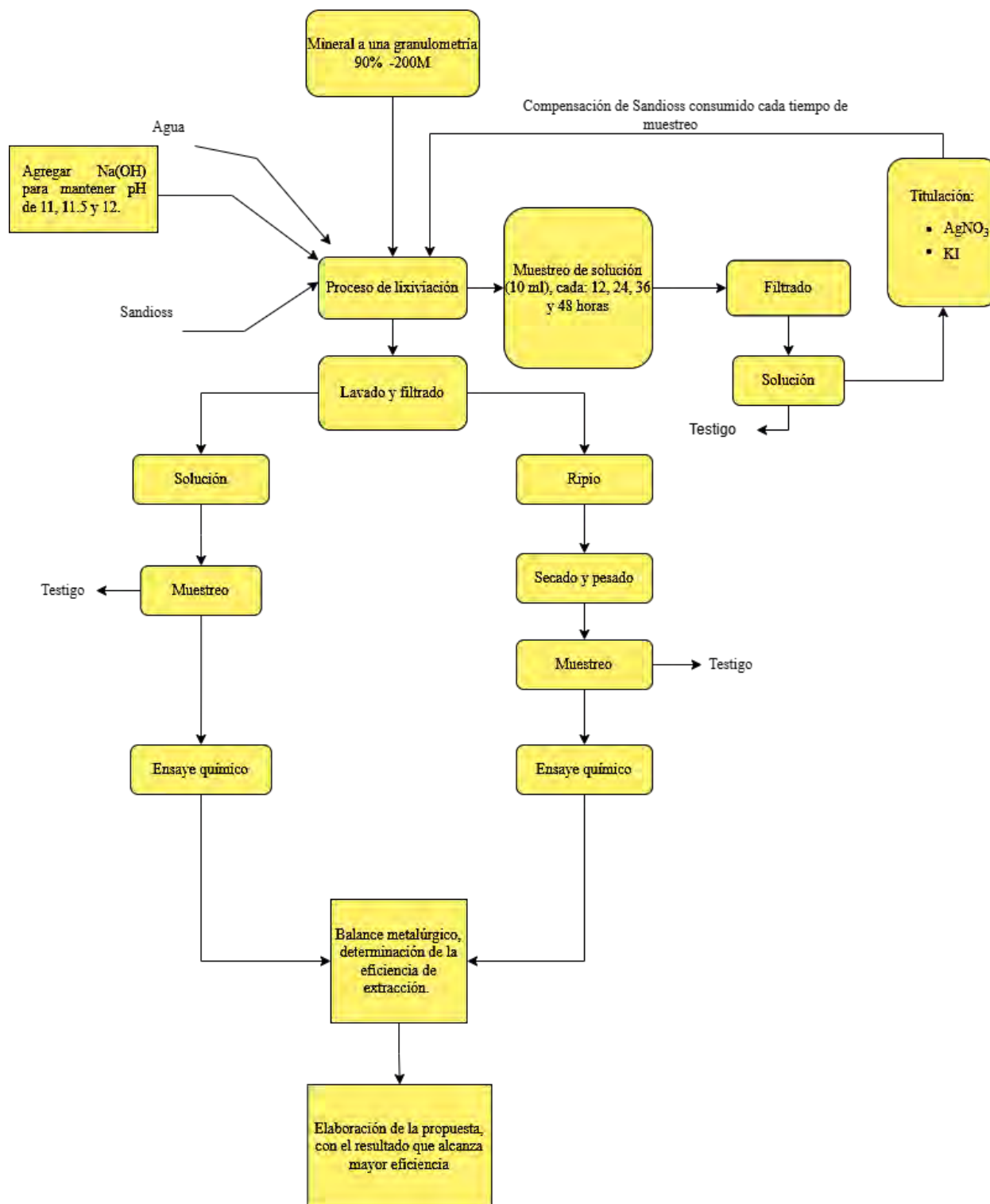
La metodología aplicada en el estudio se estructuró en una secuencia ordenada de procedimientos, orientados a la evaluación del proceso de lixiviación con el reactivo Sandioss:

1. Revisión conceptual de los procesos de extracción aurífera, junto con el análisis de fichas técnicas y antecedentes relacionados con el uso de Sandioss.
2. Preparación mecánica de la muestra en los laboratorios.
3. Muestreo de mineral.

4. Caracterización física y/o mineralógica.
5. Observación microscópica óptica.
6. Caracterización óptica del mineral.
7. Medición de gravedad específica del mineral.
8. Definición de granulometría adecuada mediante molienda.
9. Preparación de los reactivos necesarios para el proceso.
10. Preparación de pulpa y acondicionamiento, controlando el pH en el rango de 11 a 12.
11. Ejecución de los ensayos experimentales establecidos en el diseño factorial, siguiendo el diagrama de flujo mostrado en la Figura 21.

Figura 21

Metodología del proyecto.



Nota. Elaboración propia.

4.8. Procedimiento experimental

4.8.1. Preparación mecánica del mineral

4.8.1.1. Toma de muestras y preparación mecánica del mineral

El mineral usado para las pruebas metalúrgicas proveniente del yacimiento minero La Estrella, esta fue tomada de las contramuestras de la empresa que explota el yacimiento estas contramuestras fueron sometidas a molienda durante 1 hora y 15 minutos en la que luego se realizaron un muestreo y posterior análisis; de dicha contramuestra se obtuvo 30 kg de mineral molido, con una granulometría de 80 % a malla -200, por lo que se procedió de la siguiente manera:

- Se efectuó una remolienda en molino de bolas de laboratorio, logrando una granulometría de 90 % pasando la malla -200, tamaño considerado adecuado para favorecer la eficiencia del proceso de lixiviación.
- Posteriormente, el mineral fue homogenizado y sometido a muestreo mediante los métodos de cuadrillas y cono-cuarteo, extrayéndose una fracción de 500 g destinada a la determinación de la ley de cabeza.
- Finalmente, se homogenizó nuevamente el material y se obtuvieron diez muestras de 1 kg cada una, utilizadas en las pruebas metalúrgicas.

4.8.1.2. Determinación de la molienda

La determinación de la molienda se refiere al tiempo de permanencia del mineral aurífero en el molino, cuyo propósito es alcanzar la granulometría óptima que asegure un grado adecuado de liberación de partículas, condición indispensable para maximizar la extracción de oro en el proceso de lixiviación por agitación. Para ello se siguió el siguiente procedimiento:

- Preparación del molino de bolas
- Parametrización del tiempo de molienda

- Homogenización del mineral
- Obtención de la granulometría promedio

4.8.2. Determinación de la gravedad específica del mineral

Se adiciona un volumen determinado de agua en una probeta, luego se adiciona mineral pulverizado y luego se mide el incremento volumétrico resultante (Ciprian Jordan & Mayta Marca, 2023), entonces calculamos el resultado con la siguiente formula:

$$Ge = \frac{Masa\ del\ mineral(g)}{Volumen\ desplazado(cm^3)}$$

donde:

Ge: Gravedad específica

Volumen desplazado: Diferencia entre volumen final e inicial

4.8.3. Determinación de la ley de mineral

La muestra identificada con el código "BRUNO" fue enviada a los laboratorios de Analytica Mineral Services S.A.C. (2024) ubicado en Arequipa, para su análisis. En este se realizó el método Newmont que consiste en un ensayo al fuego(procedimiento), con el objetivo de determinar el contenido total de oro presente en los minerales provenientes del yacimiento minero La Estrella.

- Se peso 200 g de mineral con una liberación > al 80% malla -150
- Se quita la humedad al mineral y saber con cuanta humedad esta y se realiza con la siguiente formula.

$$\%H = \frac{P_o - P_s}{P_o} \times 100\%$$

Donde:

P_o es el peso total con humedad

P_s es el peso seco

- Luego se hace el tamizado con la malla N°150 y el material que debe pasar debe ser un 80-85% de pasante para que el método de Newmont salga de la forma correcta.
- Toda la muestra gruesa retenida se va para la fundición y se pesa entre 15-20gr de muestra fina pasante para la fundición.
- En la fundición se prepara 2 crisoles para el grueso y el fino.
- Se le agrega las muestras a cada crisol y también los fundentes necesarios (litargiro bórax, bicarbonato de sodio y sílice).
- Las muestras son fundidas a 1000°C por 1 hora.
- Se cola en una lingotera, para enfriarlo y separar la escoria del regulo que se encuentra en la parte baja de la lingotera.
- Se empieza a golpear para formar una forma cuadrática con la finalidad que encaje en la copela.
- Una vez formada el regulo se coloca en la copela, que este ya está siendo calentada dentro del horno minutos antes, una vez colocada se debe esperar por unos 25 min a 35 min.
- Luego de copelar se obtiene un botón de color plateado que se conoce como “doré” o también conocido como “bullón”.
- Seguidamente se lamina el doré con un martillo para que tenga más superficie para que el ataque químico sea más rápido.
- Entonces se sigue con el ataque químico usando el ácido nítrico a una temperatura de 200°C para acelerar la reacción.

- Y finalmente el pesado del producto para sacar su ley final (Analytica Mineral Services S.A.C. , 2024).

4.8.4. Caracterización mineralógica óptica

Para el análisis por microscopía óptica se utilizó una muestra de 1.5 kg de mineral, el cual ingreso con el código N° RS-012-25 al Centro de Investigación y Laboratorios de Metalurgia Extractiva – Rio Seco (Arequipa) donde se realizó el siguiente procedimiento:

- Se preparó el material a diferentes mallas +200 y -200.
- Se uso resina epóxica, teniendo cuidado de no generar burbujas.
- Se procedió a secar.
- Se procedió al proceso de desbastado y pulido usando diferentes paños y polvos.
- Luego se procedió a observar la muestra en el microscopio óptico (Leica) a luz polarizada mediante imágenes reflejadas en nicoles paralelos y nicoles cruzados, se usaron a 20 aumentos (Laboratorios de Metalurgia Extractiva – Rio Seco, 2025).

4.8.5. Preparación de soluciones y reactivos

4.8.5.1. Preparación del nitrato de plata

La solución de nitrato de plata con una concentración del 0.025 molar, sirve para averiguar cuanto cianuro libre tenemos en una solución cianurada al formar AgCN, su preparación de la solución de nitrato de plata se hace de la siguiente manera:

- Se pesó 4.33 g de AgNO₃ de 99% de pureza.
- Se diluyó en 1 litro de agua destilada contenida en una fiola.

$$CM = \frac{n}{V} \rightarrow \frac{m}{M} = \frac{4.33 \text{ g}}{\frac{169.87 \text{ g/mol}}{\frac{1L}{1}}} = 0.025 \text{ molar}$$

Donde:

CM: Concentración molar AgNO_3

V: Volumen

m: Masa del nitrato de plata en gramos

M: Masa molecular del nitrato de plata es 169.87 g/mol

n: Numero de moles

4.8.5.2. Preparación del ioduro de potasio

El compuesto de ioduro de potasio al 5% nos ayuda a poder visualizar mejor el cambio del tono color de la solución cianurada cuando los iones de CN se van acabando al formar el AgCN , su preparación de la solución indicadora de yoduro de potasio se da de la siguiente manera:

- Se pesó 5 g de KI.
- En una fiola se diluyó 1000 ml de agua destilada con el KI pesado.
- Se agita durante 30s para hacer una correcta homogenización.

4.8.5.3. Determinación de factor de preparación de Sandioss

Para determinar el factor de concentración del reactivo Sandioss, se hará pruebas para determinar la fuerza con cierto peso del Sandioss para así poder dosificar la concentración de la solución para las distintas pruebas que se realizaran:

1. Se pesará una cierta cantidad de reactivo Sandioss
2. Se diluirá en 1 litro de agua industrial
3. Se añadirá NaOH (g) al agua para llevar a un pH 11.5
4. Luego se procederá a titular la solución ya removida y se calculará el factor del reactivo con la siguiente ecuación:

$$\text{Factor Sandioss} = \frac{\text{Fuerza titulada de Sandioss}(\%) \times \text{Volumen de H}_2\text{O}(\text{ml})}{\text{Peso de Sandioss}(\text{g})}$$

4.8.5.4. Determinación del cianuro libre en una solución

Para realizar la titulación se tiene que sacar muestra limpia y filtrada de una solución cianurada, esto se hace para saber cuánto de cianuro libre está presente, los reactivos necesarios para hacer la titulación son el nitrato de plata y el ioduro de potasio y se realiza de la siguiente manera:

- Se obtiene una muestra de 5ml o 10 ml de una solución cianurada filtrada
- Se agrega entre 2 a 3 gotas de ioduro de potasio
- Con la ayuda de una bureta automática se hace caer gotas de nitrato de plata (AgNO_3) disuelta a una concentración de 0.025 molar
- Al caer las gotas de nitrato de plata a la solución cianurada se tornará lechoso
- Seguir dejando caer y a la vez agitando hasta que se torne lechoso por completo
- Medir el consumo de nitrato de plata
- Y hacemos los cálculos respectivos con la siguiente ecuación:

$$\text{Para } 5 \text{ ml} \rightarrow \text{Gasto de Nitrato de plata (ml)} * 0.05 = \%CN * 10000 = \text{ppm}$$

$$\text{Para } 10 \text{ ml} \rightarrow \text{Gasto de Nitrato de plata (ml)} * 0.025 = \%CN * 10000 = \text{ppm}$$

4.8.6. Pruebas de lixiviación

4.8.6.1. Condiciones operativas estándar

Las condiciones operativas establecidas para la lixiviación con Sandioss fueron las siguientes:

- **Masa de la muestra utilizada:** 1 kg de mineral seco, esta cantidad corresponde al material sólido sometido al proceso.
- **Volumen de agua empleado:** 2.5 litros, que representan el medio líquido requerido para llevar a cabo la lixiviación.

- **Capacidad del reactor:** 4 litros, lo que asegura un espacio suficiente para contener la mezcla de sólidos y líquidos sin comprometer la eficiencia del sistema.
- **Proporción de sólidos en la mezcla:** 28.57 % de sólidos, calculada como la relación entre la masa del sólido y la masa total del sistema (sólido + líquido).
- **Relación de dilución:** 2.5:1, lo que indica que se utilizan dos partes de agua por cada una de sólido, garantizando una mezcla adecuada para el proceso.
- **Tamaño de partícula de la muestra:** 90% de malla -200, lo que asegura una granulometría óptima para maximizar el área de contacto entre el sólido y el reactivo.

Estas condiciones representan los parámetros clave que se mantienen constantes durante el experimento, permitiendo reproducir los resultados y optimizar el desempeño de la lixiviación. El establecimiento de estos valores es fundamental para la validez del proceso y su aplicación en contextos específicos.

4.8.6.2. Proceso de lixiviación del mineral

En cada ensayo de lixiviación llevado a cabo con Sandioss, se emplearon distintos parámetros de operación, establecidos conforme al diseño experimental planteado. A continuación, se describe de manera general el procedimiento utilizado durante la lixiviación, omitiendo los valores específicos de los parámetros empleados en cada prueba. Estos detalles particulares se presentarán más adelante en el documento, en la sección correspondiente:

1. Se incorporaron 2.5 litros de agua al reactor como medio inicial del proceso.
2. Se agregan las cantidades necesarias de NaOH para obtener un pH que va de 11 a 12.
3. Luego se disuelve el reactivo Sandioss en el reactor para lograr la fuerza necesaria de lixiviación.

4. Se encienden los reactores y se da un tiempo de adecuación y homogenización de 10 minutos para el Sandioss.
5. Posteriormente, se añadió 1 kg de mineral al interior del reactor para su tratamiento.
6. Las pulpas se sometieron a agitación durante 15 minutos, tras lo cual se procedió a medir su pH.
7. Para ajustar el pH y prevenir la generación de gas ácido cianhídrico, se adiciona Na(OH) a la mezcla y se agita durante 10 minutos.
8. Al finalizar este tiempo, se realizó una nueva medición del pH en cada tanque, ajustándolo mediante la adición de hidróxido de sodio (NaOH) según los parámetros de operación establecidos dentro del rango de 11 a 12.
9. El reactor fue colocado en los agitadores, tomando muestras para análisis del sistema en intervalos de 12, 24,36 y 48 horas de acuerdo a los parámetros establecidos.
10. Las muestras recolectadas se filtraron empleando papel filtro, con un tiempo de filtración que varió entre 15 y 20 minutos.
11. De cada muestra filtrada, se extrajeron 10 ml mediante una pipeta, los cuales fueron titulados para determinar la concentración Sandioss.
12. Finalmente, se llevó a cabo el filtrado de toda la pulpa y se recolectaron muestras de la solución enriquecida para su análisis mediante Absorción Atómica así también del sólido para análisis en laboratorio.

Este procedimiento permitió evaluar la dinámica del proceso de lixiviación bajo las condiciones especificadas, asegurando un monitoreo adecuado de las variables de estudio.

4.8.6.3. Pruebas experimentales de lixiviación en base al diseño factorial

Con base en el diseño experimental factorial 2^3 con réplicas en el punto central, se llevaron a cabo un total de 8 experimentos principales, complementados con 2 réplicas adicionales (Montgomery, 2020), con la siguiente fórmula determinamos el número de pruebas total:

$$N = 2^k + n_c$$

$$N = 2^3 + 2$$

$$N = 10$$

Donde:

N: Número total de pruebas

n_c : Número de réplicas

2^k : Diseño experimental factorial

Estos 10 ensayos se desarrollaron para evaluar el proceso de lixiviación utilizando el agente Sandioss, permitiendo analizar la influencia de las variables estudiadas y su interacción bajo condiciones controladas.

CAPÍTULO V

RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1. Resultados de la caracterización fisicoquímica del mineral

5.1.1. Gravedad específica

La determinación de la gravedad específica del mineral se realizó mediante el método de desplazamiento de agua, ejecutando tres ensayos replicados. Los resultados, presentados en la Tabla 7, oscilaron entre 2.39 y 2.44 g/cm³, con un valor promedio de 2.42 g/cm³. Este promedio es considerado representativo para el conjunto de muestras analizadas.

Tabla 7

Pruebas de gravedad específica.

Pruebas	Peso mineral (g)	Volumen inicial(ml)	Volumen final(ml)	Volumen desplazado(ml)	Gravedad específica
1	80	200	233.0	33.0	2.42
2	80	200	232.8	32.8	2.44
3	80	200	233.5	33.5	2.39
Promedio					2.42

Nota. Elaboración propia.

5.1.2. Humedad

El contenido de humedad fue determinado mediante secado a 120 °C. Los resultados, consignados en la Tabla 8, muestran un valor promedio de 1.306 % de humedad. Este bajo porcentaje indica que el mineral se encuentra en condiciones aceptables para su procesamiento metalúrgico sin requerir etapas adicionales de secado.

Tabla 8*Determinación de la humedad del mineral.*

Prueba	Peso mineral húmedo (g)	%H₂O
ME-173	100	1.234
ME-174	100	1.300
ME-175	100	1.385
Promedio		1.306

Nota. Elaboración propia.

Para la preparación de la carga de lixiviación, se calculó la masa de mineral húmedo equivalente a 1000 g de material seco, de la siguiente manera:

$$\text{Masa de agua} = 1000 \text{ g} * \frac{1.306\%}{100\%} = 13.06 \text{ g}$$

$$\text{Muestra para lixiviación} = 1000 \text{ g} + 13.06 \text{ g} = 1013.06 \text{ g}$$

5.1.3. Distribución granulométrica

A las muestras que se utilizaron para la lixiviación previamente se le realizó una molienda en la empresa que procesa el mineral, durante 1 hora y 15 minutos obteniendo una malla -200 al 80%.

Tabla 9*Control de la granulometría del mineral.*

Tiempo de Molienda(min)	%malla -200
0	10.80
30	40.20
60	62.30
75	80.10

Nota. Elaboración propia.

Por tal motivo se realizó una remolienda de 10 minutos obteniendo 90% malla -200, cumpliendo con el primer parámetro constante para una buena lixiviación.

Tabla 10

Remolienda de 10 minutos para lograr 90% a malla -200.

Tiempo (min)	%malla -200
0	80
10	90

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 10, se evidencia que al incrementar el tiempo de molienda se obtiene un mayor porcentaje de material pasante por la malla 200 (74 μm). De esta manera, se alcanzó la granulometría requerida del 90 % de material fino a un tiempo de molienda de 10 minutos.

5.1.4. Ley de cabeza

El cálculo de la ley de cabeza se realizó a partir del valor reportado de 0.407 Onzas de Au por Tonelada Corta (Oz Au/Tc), obteniéndose un resultado de 13.954 gramos de oro por tonelada métrica (g Au/Tm). La conversión se efectuó de la siguiente manera:

$$\text{Ley de cabeza} = 0.407 \frac{\text{Oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034\text{g}}{10\text{z}} * \frac{1\text{Tc}}{0.90718\text{Tm}} = 13.954 \frac{\text{g Au}}{\text{Tm}}$$

Expresado en miligramos por kilogramo (mg Au/kg):

$$\text{Ley de cabeza} = 13.954 \frac{\text{g}}{\text{Tm}} * \frac{1\text{Tm}}{10^6\text{g}} * \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} * \frac{10^3\text{g}}{1\text{kg}} = 13.954 \frac{\text{mg Au}}{\text{kg}}$$

Tabla 11

Determinación de la ley de cabeza del mineral.

Código	Au Oz/Tc (+150 Mesh)	Au Oz/Tc (-150 Mesh)	Promedio Ponderado Au Oz/Tc	Au g/Tm
BRUNO	0.147	0.260	0.407	13.954

Nota. Ley de mineral para las pruebas experimentales (Analytica Mineral Services S.A.C. , 2024).

El valor de 0.407 Oz Au/Tc establecido en la Tabla 11 se utilizó como referencia base para el desarrollo de todas las pruebas metalúrgicas subsiguientes.

5.1.5. Análisis mineralógico

El análisis realizado por Laboratorios de Metalurgia Extractiva – Rio Seco (2025) identificó la presencia de minerales de cobre, plata, oro y hierro. La mayor concentración de minerales de cobre corresponde a calcopirita (Cp), evidenciada en la Figura 23, junto con calcopirita enriquecida (Cps) y covelita (Cv), identificada en las Figuras 24 y 29. Estos minerales se presentan en forma libre y asociados con ganga en disposición lateral, con tamaños de partícula entre 50 μm y 151 μm .

Respecto a los minerales de plata, se identificaron sulfosales como la freibergita (Fb), la cual se presenta en forma libre con tamaños aproximados de 66 μm (Figura 30). En cuanto al oro, se determinó su presencia en distintos modos de ocurrencia: en forma libre (Figuras 22 y 27), diseminado dentro de la ganga (Figura 25) y asociado lateralmente con pirita (Figuras 26 y 28). Las partículas libres presentaron tamaños entre 18 μm y 52 μm , las diseminadas dimensiones cercanas a 9 μm y las asociadas con pirita alrededor de 46 μm .

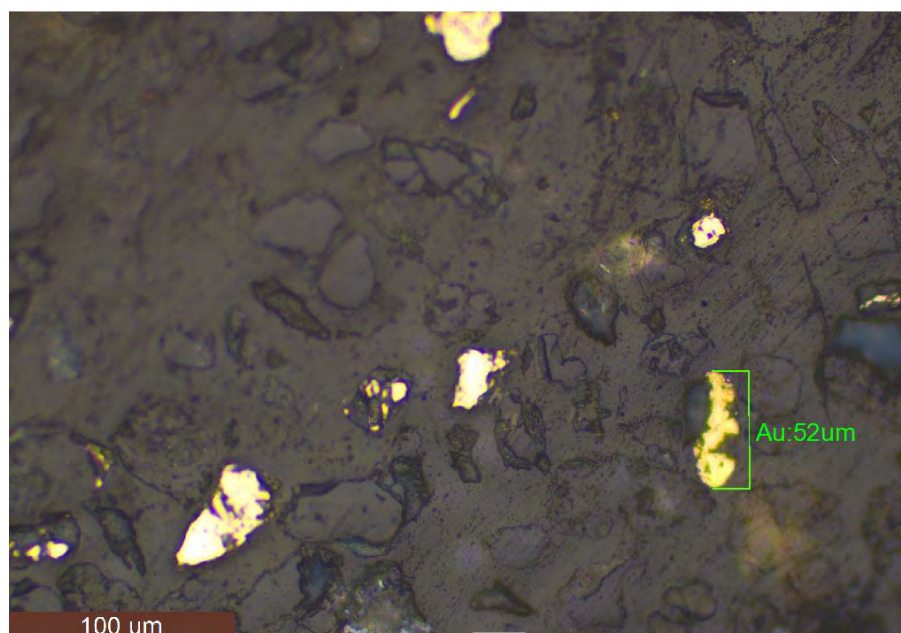
5.1.5.1. Lista de minerales identificados

De acuerdo con el análisis de microscopía óptica (Laboratorios de Metalurgia Extractiva – Rio Seco, 2025), se determinó la siguiente asociación mineralógica:

- Oro (Au): Au
- Pirita (py): FeS_2
- Covelita (cv): CuS , con 66.46% de cobre
- Chalcopirita (cp): CuFeS_2 , con 34.63% de cobre
- Freibergita (Fb): $(\text{Ag,Cu,Fe})_{12}(\text{Sb,As})_4\text{S}_{13}$, con 40.25% de plata
- Gangas (GGs)

Figura 22

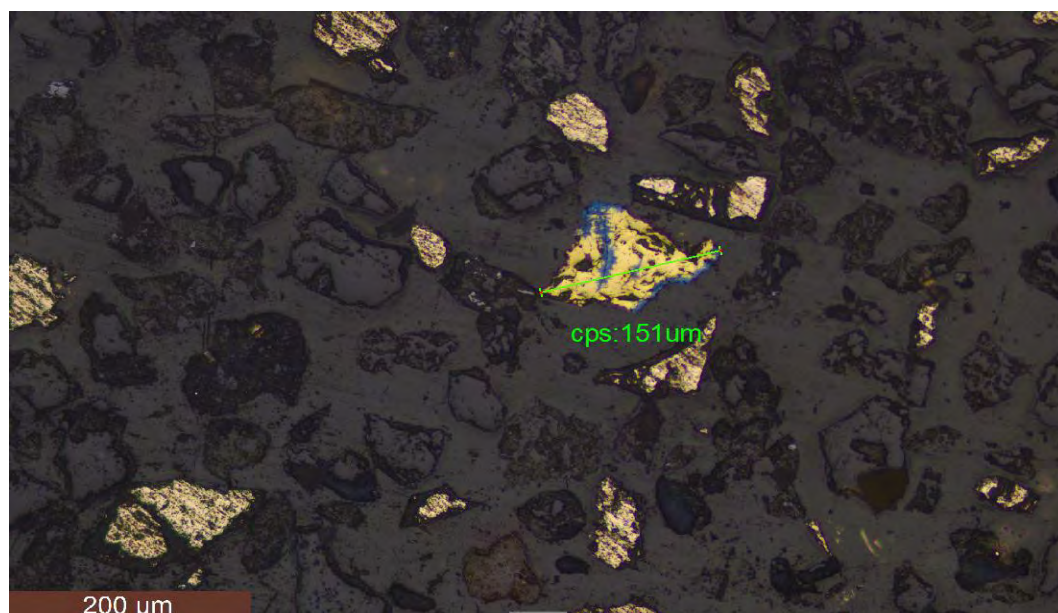
Oro nativo (Au) en forma libre 20X.



Nota. En la imagen se puede ver al oro nativo en forma libre de un tamaño de 52 μm.

Figura 23

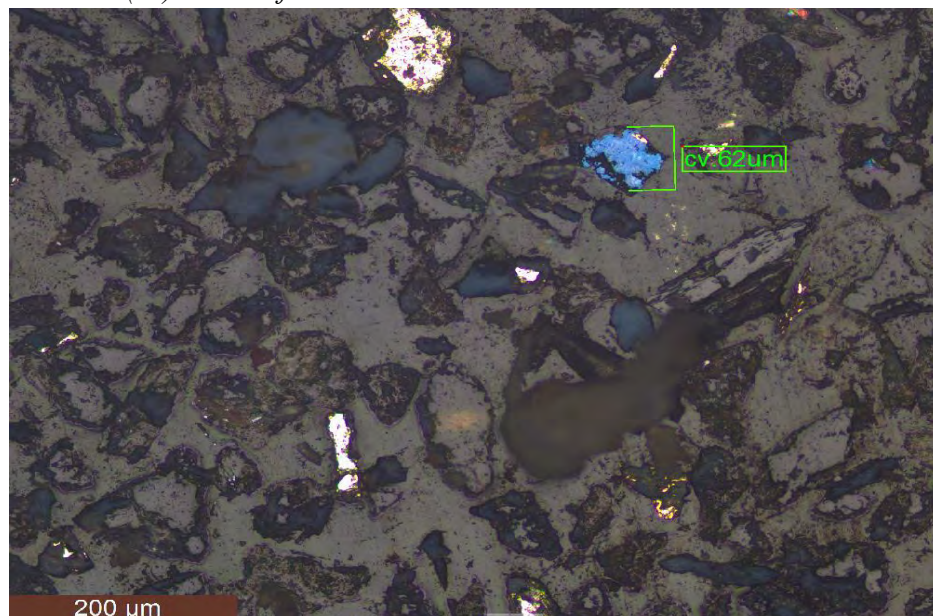
Calcopirita enriquecida (cps) en forma libre 10X, se observa también pirita.



Nota. Se puede visualizar que se encontró calcopirita con un tamaño de 151 μm en forma libre, de la misma forma se puede ver que la Covelita está bordeando la calcopirita por algunas partes.

Figura 24

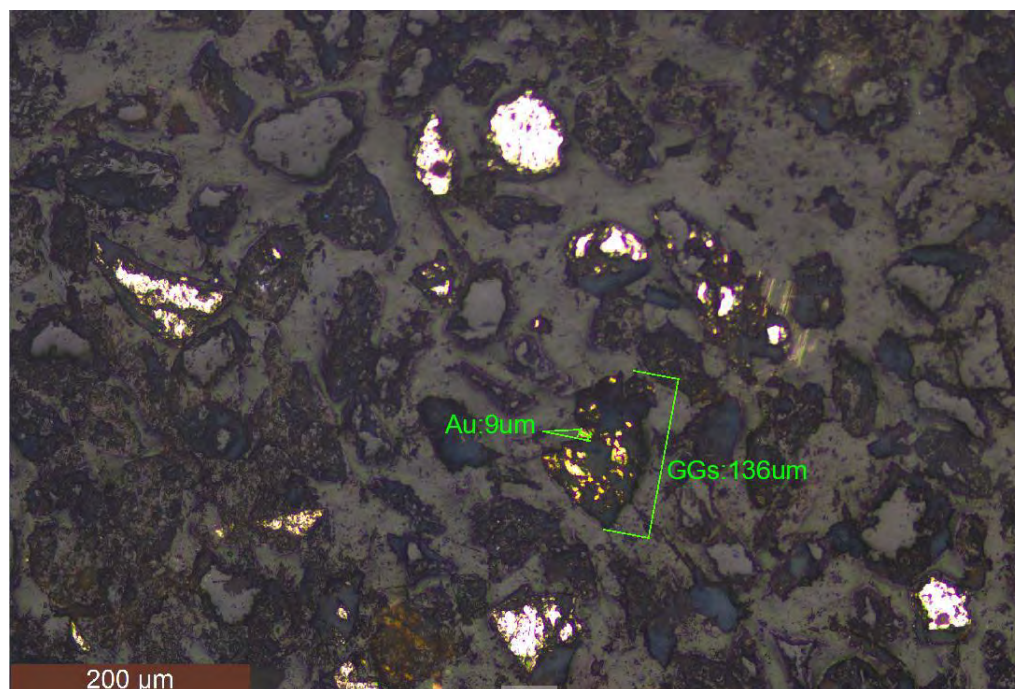
Covelita (cv) 10X en forma libre.



Nota. En la imagen se puede ver que la Covelita está en forma libre y se encuentra a unos 62 μm.

Figura 25

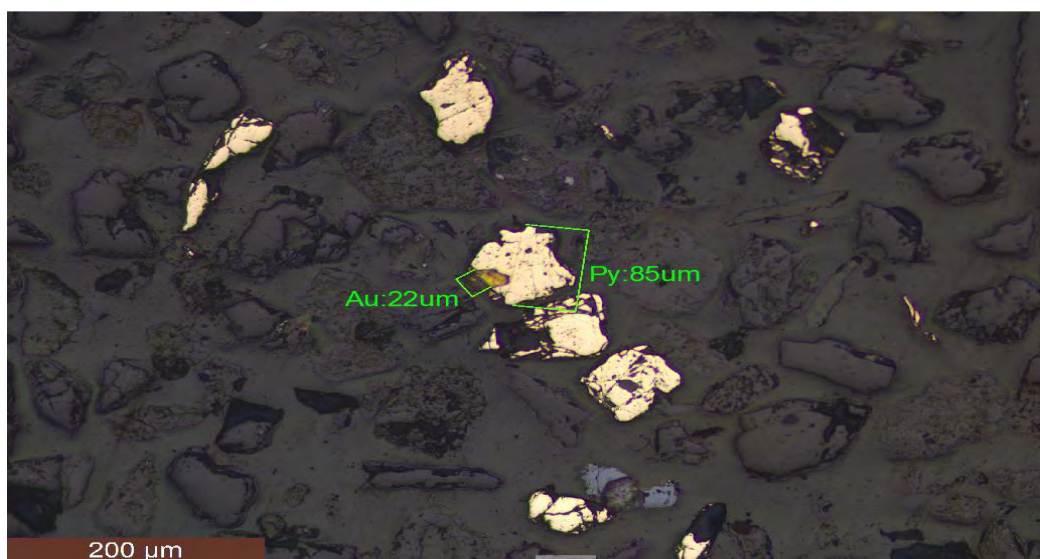
Oro nativo (Au) 10X diseminado en ganga (GGs).



Nota. En la imagen se puede ver al oro nativo con un tamaño de 9μm y este se encuentra diseminado en una ganga de un tamaño de 136 μm.

Figura 26

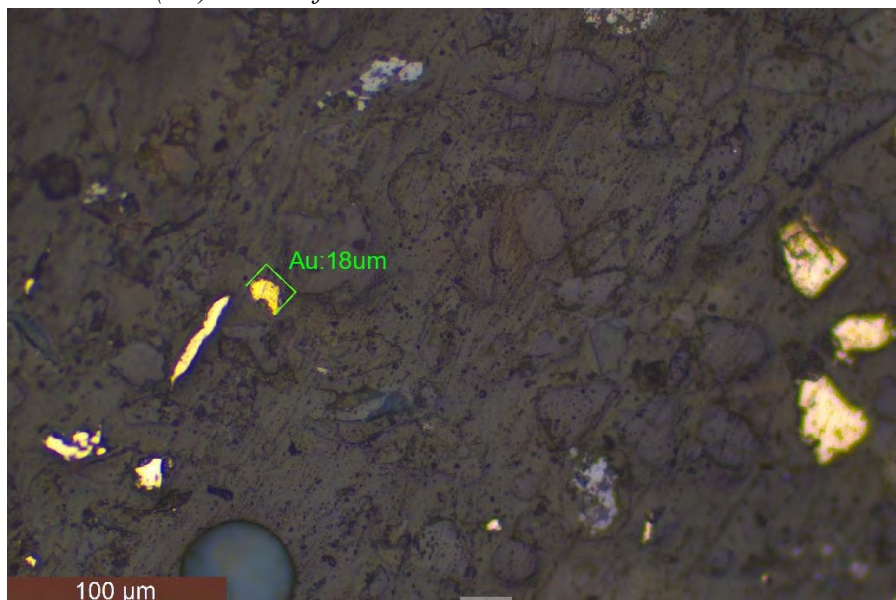
Oro nativo (Au) 10X asociado en forma lateral con pirita (py).



Nota. En esta imagen vemos al oro nativo con un tamaño de 22 μm incrustado en forma lateral en una pirita de un tamaño de 85 μm .

Figura 27

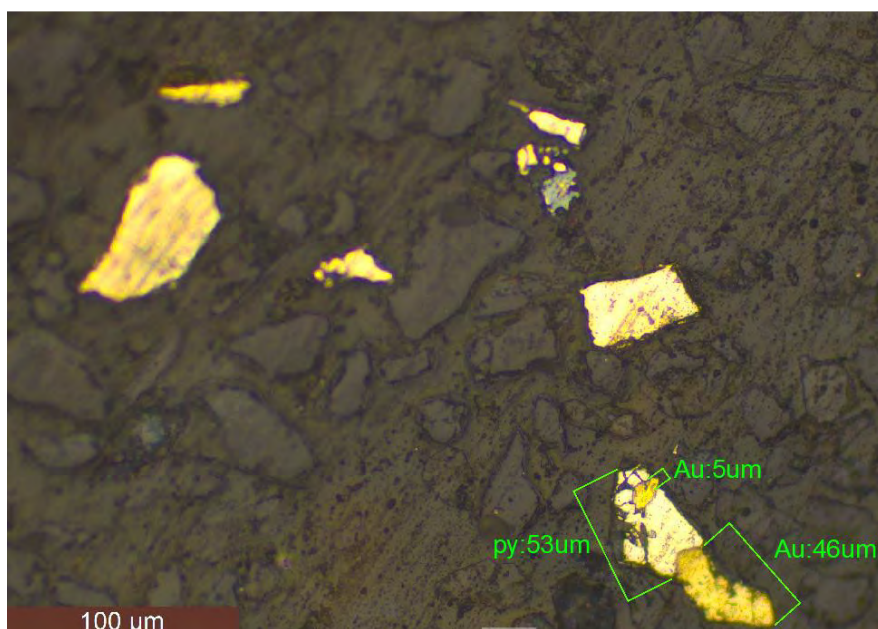
Oro nativo (Au) 20X en forma libre.



Nota. En la imagen se puede visualizar oro nativo en forma libre de un tamaño de 18 μm y cercano a él se encuentra la pirita.

Figura 28

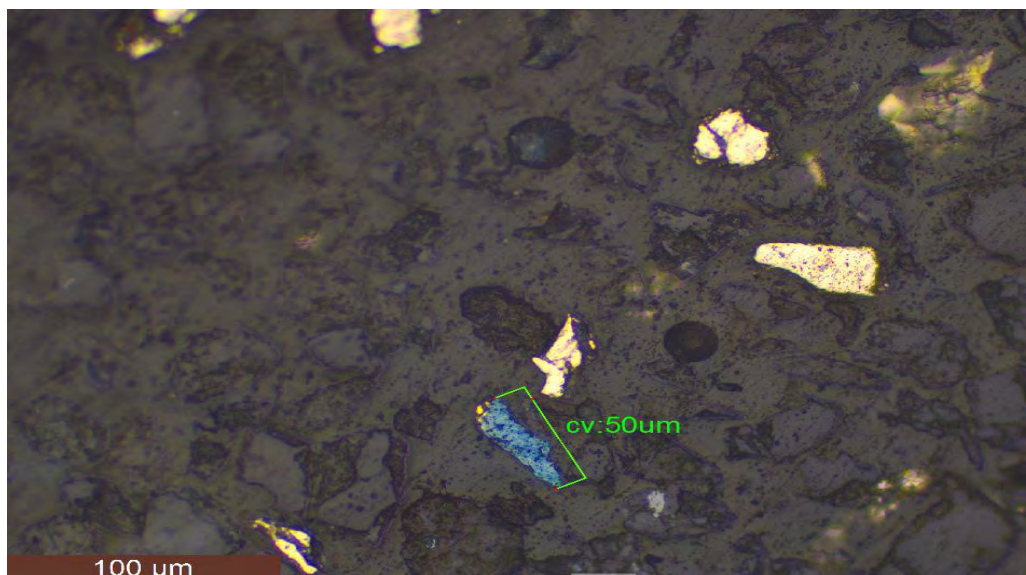
Oro nativo (Au) 20X asociado en forma lateral con pirita (py).



Nota. Se puede visualizar al oro nativo de un tamaño de 5 μm que esta incrustado de forma lateral en la pirita y también hay oro nativo de un tamaño de 46 μm asociado en la parte baja de la pirita.

Figura 29

Covelita 20X en forma libre (Cv).



Nota. Se puede visualizar covelina en forma libre de un tamaño de 50 μm en la parte superior se ve migajas de calcopirita.

Figura 30

Freibergita (Fb) 20X en forma libre.



Nota. Se observa la freibergita en forma libre con un tamaño de 66 μm , a su vez está acompañado de pirita.

5.2. Evaluación del proceso de lixiviación con Sandioss

5.2.1. Condiciones estándar

Para el desarrollo de todas las pruebas metalúrgicas basadas en el diseño experimental tomaremos como constante según la siguiente tabla:

Tabla 12

Condiciones estándar para el desarrollo de pruebas experimentales.

Condiciones estándar	
Mineral	1013.06 g
Agua	2500 mL
Densidad de pulpa	1201.41 g/L
Granulometría	90 % malla -200
RPM	85

Nota. Elaboración propia.

5.2.2. Balances metalúrgicos por prueba experimental

Prueba 1:

- Contenido metálico

$$\text{Solución} = 2.5 \text{ L} * 3.457 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 8.64 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Ripios} = 1000\text{g} * 0.152 \frac{\text{oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034\text{g}}{10\text{z}} * \frac{1\text{Tc}}{0.90718\text{Tm}} * \frac{1\text{Tm}}{10^6\text{g}} * \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 5.22 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 8.64 \text{ mg} + 5.22 \text{ mg} = 13.86 \text{ mg de Au}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{13.86 \text{ mg} - 5.22\text{mg}}{13.86 \text{ mg}} * 100\% = 62.36\%$$

Prueba 2:

- Contenido metálico

$$\text{Solución} = 2.5 \text{ L} * 4.89 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 12.22 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Ripios} = 1000\text{g} * 0.155 \frac{\text{oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034\text{g}}{10\text{z}} * \frac{1\text{Tc}}{0.90718\text{Tm}} * \frac{1\text{Tm}}{10^6\text{g}} * \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 5.36 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 12.22 \text{ mg} + 5.36 \text{ mg} = 17.58 \text{ mg de Au}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{17.58 \text{ mg} - 5.36\text{mg}}{17.58 \text{ mg}} * 100\% = 69.53\%$$

Prueba 3:

- Contenido metálico

$$\text{Solución} = 2.5 \text{ L} * 5.544 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 13.86 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Ripios} = 1000\text{g} * 0.031 \frac{\text{oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034\text{g}}{10\text{z}} * \frac{1\text{Tc}}{0.90718\text{Tm}} * \frac{1\text{Tm}}{10^6\text{g}} * \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 1.06 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 13.86 \text{ mg} + 1.06 \text{ mg} = 14.92 \text{ mg de Au}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{14.92 \text{ mg} - 1.06 \text{ mg}}{14.92 \text{ mg}} * 100\% = 92.88\%$$

Prueba 4:

- Contenido metálico

$$\text{Solución} = 2.5 \text{ L} * 7.84 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 19.60 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Ripios} = 1000 \text{ g} * 0.028 \frac{\text{oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034 \text{ g}}{10 \text{ z}} * \frac{1 \text{ Tc}}{0.90718 \text{ Tm}} * \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.96 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 19.60 \text{ mg} + 0.96 \text{ mg} = 20.56 \text{ mg de Au}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{20.56 \text{ mg} - 0.96 \text{ mg}}{20.56 \text{ mg}} * 100\% = 95.33\%$$

Prueba 5:

- Contenido metálico

$$\text{Solución} = 2.5 \text{ L} * 4.241 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 10.60 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Ripios} = 1000 \text{ g} * 0.180 \frac{\text{oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034 \text{ g}}{10 \text{ z}} * \frac{1 \text{ Tc}}{0.90718 \text{ Tm}} * \frac{1 \text{ Tm}}{10^6 \text{ g}} * \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 6.17 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 10.60 \text{ mg} + 6.17 \text{ mg} = 17.58 \text{ mg de Au}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{17.58 \text{ mg} - 6.17 \text{ mg}}{17.58 \text{ mg}} * 100\% = 63.21\%$$

Prueba 6:

- Contenido metálico

$$\text{Solución} = 2.5 \text{ L} * 4.794 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 11.99 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Ripios} = 1000g * 0.146 \frac{\text{oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034g}{10z} * \frac{1\text{Tc}}{0.90718\text{Tm}} * \frac{1\text{Tm}}{10^6g} * \frac{10^3mg}{1g} = 5 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 11.99 \text{ mg} + 5 \text{ mg} = 16.99 \text{ mg de Au}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{16.99 \text{ mg} - 5 \text{ mg}}{16.99 \text{ mg}} * 100\% = 70.54\%$$

Prueba 7:

- Contenido metálico

$$\text{Solución} = 2.5 \text{ L} * 7.444 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 18.61 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Ripios} = 1000g * 0.039 \frac{\text{oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034g}{10z} * \frac{1\text{Tc}}{0.90718\text{Tm}} * \frac{1\text{Tm}}{10^6g} * \frac{10^3mg}{1g} = 1.34 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 18.61 \text{ mg} + 1.34 \text{ mg} = 19.95 \text{ mg de Au}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{19.95 \text{ mg} - 1.34 \text{ mg}}{19.95 \text{ mg}} * 100\% = 93.30\%$$

Prueba 8:

- Contenido metálico

$$\text{Solución} = 2.5 \text{ L} * 6.865 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 17.16 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Ripios} = 1000g * 0.03 \frac{\text{oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034g}{10z} * \frac{1\text{Tc}}{0.90718\text{Tm}} * \frac{1\text{Tm}}{10^6g} * \frac{10^3mg}{1g} = 1.06 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 17.16 \text{ mg} + 1.06 \text{ mg} = 18.23 \text{ mg de Au}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{18.23 \text{ mg} - 1.06 \text{ mg}}{18.23 \text{ mg}} * 100\% = 94.17\%$$

Prueba 9:

- Contenido metálico

$$\text{Solución} = 2.5 \text{ L} * 4.785 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 11.96 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Ripios} = 1000\text{g} * 0.071 \frac{\text{oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034\text{g}}{10\text{z}} * \frac{1\text{Tc}}{0.90718\text{Tm}} * \frac{1\text{Tm}}{10^6\text{g}} * \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 2.434 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 11.96 \text{ mg} + 2.434 \text{ mg} = 14.40 \text{ mg de Au}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{14.40 \text{ mg} - 2.434\text{mg}}{14.40 \text{ mg}} * 100\% = 83.09\%$$

Prueba 10:

- Contenido metálico

$$\text{Solución} = 2.5 \text{ L} * 4.833 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 12.08 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Ripios} = 1000\text{g} * 0.060 \frac{\text{oz}}{\text{Tc}} * \frac{31.1034\text{g}}{10\text{z}} * \frac{1\text{Tc}}{0.90718\text{Tm}} * \frac{1\text{Tm}}{10^6\text{g}} * \frac{10^3\text{mg}}{1\text{g}} = 2.057 \text{ mg de Au}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 12.08 \text{ mg} + 2.057 \text{ mg} = 14.14 \text{ mg de Au}$$

- Extracción de oro

$$\% \text{ Extracción} = \frac{14.14 \text{ mg} - 2.057 \text{ mg}}{14.14 \text{ mg}} * 100\% = 85.45\%$$

5.2.3. Balance metalúrgico integral

Tabla 13

Balance metalúrgico de las pruebas experimentales.

Prueba	Tiempo de lixiviación (h)	Concentración de Sandioss (ppm)	pH	Volumen de agua(ml)	Cantidad de Mineral (g)	Solución		Ripio		Cabeza calculada		Extracción de oro (%)
						Ley (mg/L)	Contenido Metálico (mg)	Ley (Oz/Tc)	Contenido Metálico (mg)	Ley (Oz/Tc)	Cont. Metálico (mg)	
1	24	500	11	2500	1000	3.457	8.643	0.152	5.218	0.404	13.860	62.36
2	24	1000	11	2500	1000	4.889	12.223	0.156	5.358	0.513	17.580	69.53
3	48	500	11	2500	1000	5.544	13.860	0.031	1.062	0.435	14.922	92.88
4	48	1000	11	2500	1000	7.839	19.598	0.028	0.960	0.600	20.557	95.33
5	24	500	12	2500	1000	4.241	10.603	0.180	6.171	0.489	16.774	63.21
6	24	1000	12	2500	1000	4.794	11.985	0.146	5.006	0.496	16.991	70.54
7	48	500	12	2500	1000	7.444	18.610	0.039	1.337	0.582	19.947	93.30
8	48	1000	12	2500	1000	6.865	17.163	0.031	1.063	0.532	18.225	94.17
9	36	750	11.5	2500	1000	4.785	11.963	0.071	2.434	0.420	14.397	83.09
10	36	750	11.5	2500	1000	4.833	12.083	0.060	2.057	0.412	14.140	85.45

Nota. Elaboración propia.

5.2.4. *Análisis cinético de la extracción de oro*

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 13, se observa una variación significativa en la extracción del oro en función del tiempo de lixiviación. En la Prueba 2, se registró una extracción máxima de 69.53% a las 24 horas, mientras que en la Prueba 4, durante un tiempo de lixiviación prolongado de 48 horas, se alcanzó una extracción notablemente superior de 95.33%. Estos valores representan los índices de extracción más elevados obtenidos en el estudio, demostrando que el incremento en el tiempo de contacto constituye un factor determinante para el proceso. La diferencia de 25.8 puntos porcentuales entre ambas pruebas evidencia la importancia de prolongar el tiempo de lixiviación más allá de 24 horas para maximizar la extracción de oro con el reactivo Sandioss. Por ello se analizaron las Pruebas 2 y 4 a fin de determinar la ecuación de regresión lineal. Para el cálculo de regresión lineal aplicaremos las siguientes ecuaciones:

$$y = ax + b$$

$$a = \frac{n \sum xy - (\sum x) (\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{\sum y - a (\sum x)}{n}$$

donde:

- **y** representa el porcentaje de extracción de oro
- **x** corresponde al tiempo de lixiviación
- **n** es el número de datos experimentales
- **a** y **b** son los coeficientes de la ecuación de regresión

Este análisis permitirá establecer un modelo predictivo para la cinética de disolución aurífera bajo las condiciones experimentales estudiadas.

5.2.4.1. Cinética de la prueba 2

El análisis de regresión lineal para los datos de la prueba 2 se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14

Cálculo de valores de regresión lineal - Prueba 2.

x	y	xy	x ²
0	0	0	0
12	51.19	614.24	144
24	69.53	1668.65	576
36	120.71	2282.89	720

Nota. Elaboración propia.

Reemplazando datos:

$$a = \frac{3 * 2282.89 - (36)(120.71)}{3 * 720 - (36)^2}$$

$$a = 2.897$$

$$b = \frac{120.71 - 2.897(36)}{3}$$

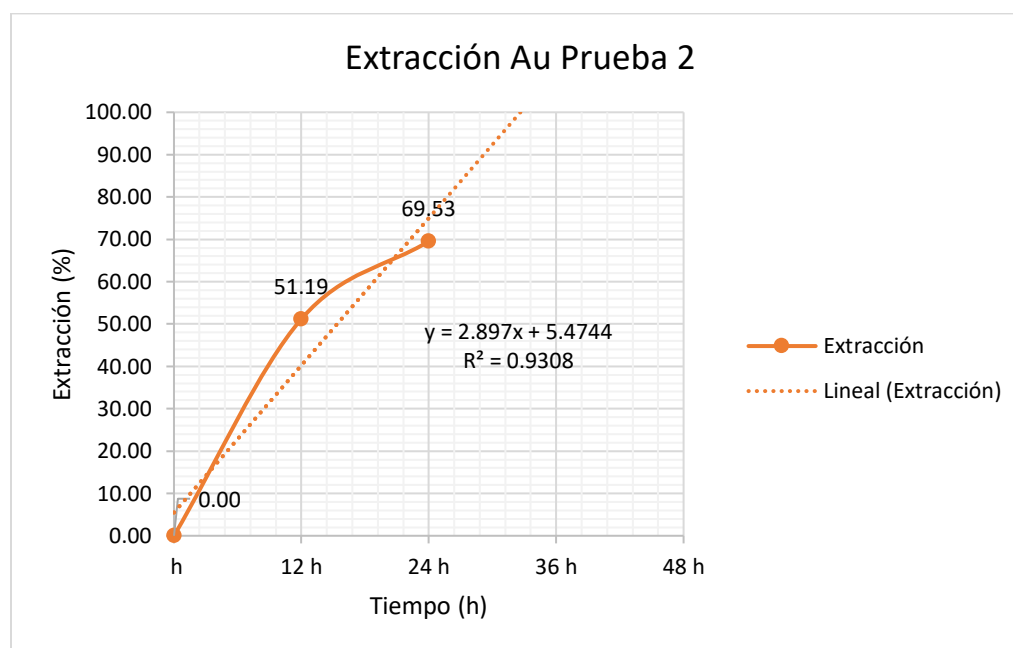
$$b = 5.4744$$

Ecuación final de regresión lineal:

$$y = 2.897x + 5.4744$$

Figura 31

Comportamiento cinético de la prueba 2.



Nota. Elaboración propia.

La gráfica demuestra la relación entre el tiempo de lixiviación y la extracción del oro mediante el reactivo Sandioss. El comportamiento sigue una cinética lineal representada por el modelo $y = 2.897x + 5.4744$, donde:

- La pendiente de 2.897 indica una tasa de extracción constante de 2.90% por hora.
- El coeficiente de determinación $R^2 = 0.9308$ evidencia que el tiempo explica el 93.08% de la variabilidad en la extracción.
- La ausencia de una meseta en el rango estudiado sugiere que extender el tiempo de lixiviación a 48 horas podría incrementar aún más la extracción de oro.

5.2.4.2. Cinética de la prueba 4

Cálculo de la ecuación lineal de la prueba 4:

Tabla 15

Cálculo de valores de regresión lineal - prueba 4.

x	y	xy	x ²
0	0	0	0
12	92.58	1111.01	144
24	94.26	2262.20	576
36	95.16	3425.57	1296
48	95.33	4575.85	2304
120	377.33	11374.63	4320

Nota. Elaboración propia.

Reemplazando datos:

$$a = \frac{5 * 11374.63 - (120)(377.33)}{5 * 4320 - (120)^2}$$

$$a = 1.6103$$

$$b = \frac{377.33 - 1.6103(120)}{5}$$

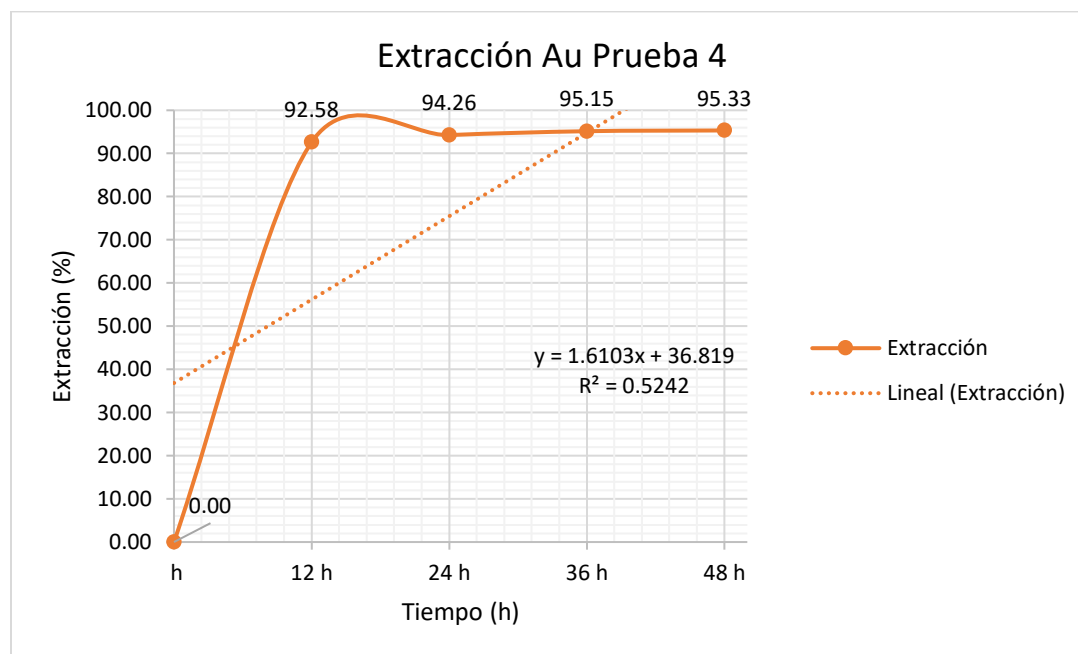
$$b = 36.819$$

Ecuación final de regresión lineal:

$$y = 1.6103x + 36.819$$

Figura 32

Comportamiento cinético de la prueba 4.



Nota. Elaboración propia.

La gráfica presenta el comportamiento cinético de la extracción de oro en la cuarta prueba experimental. El modelo lineal obtenido ($y = 1.6103x + 36.819$) revela características importantes del proceso:

- El intercepto de 36.819% indica que aproximadamente el 37% del oro se extrae en etapas iniciales.
- La pendiente de 1.6103 refleja una tasa de extracción más lenta después del período inicial.
- El coeficiente de determinación $R^2 = 0.5242$ indica que el tiempo explica solo 52.42% de la variabilidad.

El proceso alcanza una extracción máxima y la cinética observada sugiere limitaciones en la difusión del reactivo y en la liberación del oro.

5.3. Análisis estadístico de resultados

5.3.1. Aplicación del diseño factorial

Tabla 16

Matriz de diseño factorial.

N° de prueba	Escala codificada			Escala natural			Y(Respuesta) (%)
	X ₁	X ₂	X ₃	Concentración de Sandioss (ppm)	Tiempo de lixiviación con Sandioss (h)	pH	
1	-1	-1	-1	500	24	11	62.36
2	1	-1	-1	1000	24	11	69.53
3	-1	1	-1	500	48	11	92.88
4	1	1	-1	1000	48	11	95.33
5	-1	-1	1	500	24	12	63.21
6	1	-1	-1	1000	24	12	70.54
7	-1	1	1	500	48	12	93.30
8	1	1	1	1000	48	12	94.17
9	0	0	0	750	36	11.5	83.09
10	0	0	0	750	36	11.5	85.45

Nota. Elaboración propia.

La Tabla 16 presenta la matriz codificada del diseño factorial 2³, donde se evaluó tres variables: concentración de Sandioss (500-1000 ppm), tiempo de lixiviación (24-48 h) y pH (11-12), mediante valores codificados (-1,0,+1). Los puntos centrales (pruebas 9-10) analizan la curvatura de respuesta. Las extracciones (62.36-95.33%) confirman la influencia de las variables en la extracción aurífera, validando la efectividad del diseño para optimizar el proceso.

5.3.2. Estimación de efectos de los factores

La concentración de Sandioss es el único factor estadísticamente significativo (valor p = 0.027), con un efecto de 27.512 en la extracción de oro. El tiempo de lixiviación y el pH no muestran significancia estadística (valor p > 0.05). Las interacciones entre variables presentan efectos negativos moderados, pero no significativos. El punto central sugiere una posible curvatura

en el modelo (valor $p = 0.198$). Todos los factores muestran $FIV = 1$, confirmando la independencia entre variables en el diseño experimental.

Tabla 17

Estimación de efectos de los factores para la extracción de oro.

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		80.163	0.59	135.88	0.005	
Tiempo de lixiviación	4.455	2.227	0.59	3.78	0.165	1
Concentración de Sandioss	27.512	13.756	0.59	23.32	0.027	1
pH	0.28	0.14	0.59	0.24	0.852	1
Tiempo de lixiviación*Concentración de Sandioss	-2.795	-1.398	0.59	-2.37	0.254	1
Tiempo de lixiviación*pH	-0.354	-0.177	0.59	-0.3	0.815	1
Concentración de Sandioss*pH	-0.654	-0.327	0.59	-0.55	0.678	1
Tiempo de lixiviación*Concentración de Sandioss*pH	-0.434	-0.217	0.59	-0.37	0.776	1
Pt Ctral		4.11	1.32	3.11	0.198	1

Nota. Adaptado de Minitab.

5.3.3. Análisis de varianza (ANOVA)

El análisis de varianza para el modelo de regresión se presenta en la Tabla 18. El valor p del modelo (0.091) indica significancia estadística marginal, mientras que el componente lineal presenta un valor p de 0.054, cercano al nivel de significancia del 5%.

El tiempo de lixiviación emerge como el factor estadísticamente más significativo (valor $p = 0.027$), explicando la mayor variabilidad en la extracción de oro. La concentración de Sandioss y el pH no muestran significancia individual dentro del rango estudiado.

Tabla 18*Análisis de varianza (ANOVA)*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	1597.83	199.73	71.74	0.091
Lineal	3	1553.72	517.91	186.02	0.054
Concentración Sandioss	1	39.69	39.69	14.25	0.165
Tiempo de lixiviación	1	1513.87	1513.87	543.74	0.027
pH	1	0.16	0.16	0.06	0.852
Interacciones de 2 términos	3	16.73	5.58	2	0.469
Concentración Sandioss*Tiempo de lixiviación	1	15.63	15.63	5.61	0.254
Concentración Sandioss*pH	1	0.25	0.25	0.09	0.815
Tiempo de lixiviación*pH	1	0.85	0.85	0.31	0.678
Interacciones de 3 términos	1	0.38	0.38	0.14	0.776
Concentración Sandioss*Tiempo de lixiviación*pH	1	0.38	0.38	0.14	0.776
Curvatura	1	27	27	9.7	0.198
Error	1	2.78	2.78		
Total	9	1600.61			

Nota. Adaptado de Minitab.**5.3.4. Modelamiento matemático predictivo**

El resumen del modelo (Tabla 19) indica un excelente ajuste, con un R-cuadrado de 99.83% y R-cuadrado ajustado de 98.43%.

Tabla 19*Resumen del modelo.*

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
1.66859	99.83%	98.43%	*

Nota. Adaptado de Minitab.

5.3.4.1. Ecuación del modelo matemático

$$\begin{aligned} \text{Extracción} = & 27 - 0.018 \text{ Concentración Sandioss} + 0.87 \text{ Tiempo de lixiviación} - 0.6 \text{ pH} \\ & + 0.00120 \text{ Concentración Sandioss} * \text{Tiempo de lixiviación} \\ & + 0.0038 \text{ Concentración Sandioss} * \text{pH} + 0.054 \text{ Tiempo de lixiviación} * \text{pH} \\ & - 0.000145 \text{ Concentración Sandioss} * \text{Tiempo de lixiviación} * \text{pH} + 4.11 \text{ Pt Ctral} \end{aligned}$$

Tabla 20

Asignación de factores.

Factor	Nombre
A	Concentración de Sandioss
B	Tiempo de lixiviación
C	pH

Nota. Adaptado de Minitab.

Reemplazando los factores en la ecuación:

$$\text{Extracción} = 27 - 0.018A + 0.87B - 0.6C + 0.00120AB + 0.0038AC + 0.054BC - 0.000145ABC + 4.11 \text{ Pt Ctral}$$

El modelo matemático evidencia la preponderancia del tiempo de lixiviación (coeficiente +0.87) como variable determinante. Los coeficientes negativos para la concentración de Sandioss (-0.018) y pH (-0.6) deben interpretarse en el contexto de las interacciones, particularmente la sinergia positiva entre tiempo y pH (término BC, coeficiente +0.054), que explica las extracciones superiores al 95% alcanzadas en las pruebas prolongadas a 48 horas.

5.3.5. Validación del modelo y análisis de residuales

La Tabla 21 presenta los resultados de diagnósticos poco comunes aplicado a los datos de extracción del oro, el cual se analizó con base en ocho observaciones provenientes de las pruebas experimentales.

Tabla 21

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes.

Obs	% Extracción	Ajuste	Resid	Resid est.	
1	62.36	62.36	0	*	X
2	69.53	69.53	0	*	X
3	92.88	92.88	0	*	X
4	95.33	95.33	0	*	X
5	63.21	63.21	0	*	X
6	70.54	70.54	0	*	X
7	93.3	93.3	0	*	X
8	94.17	94.17	0	*	X

Nota. Adaptado de Minitab.

Según la Tabla 21, para las ocho observaciones, los valores observados y los ajustados por el modelo son idénticos. En consecuencia, todos los residuos son iguales a cero. Este resultado, indicado con un asterisco (*) en la columna de residuos estandarizados, sugiere un ajuste perfecto del modelo a los datos de la muestra. Además, el análisis de residuos confirma la robustez del modelo, con una desviación estándar residual (S) de 1.66859 (Tabla 19). Los valores atípicos se encuentran dentro de límites aceptables, validando la adecuación del modelo para la predicción de la extracción de oro dentro del espacio experimental definido.

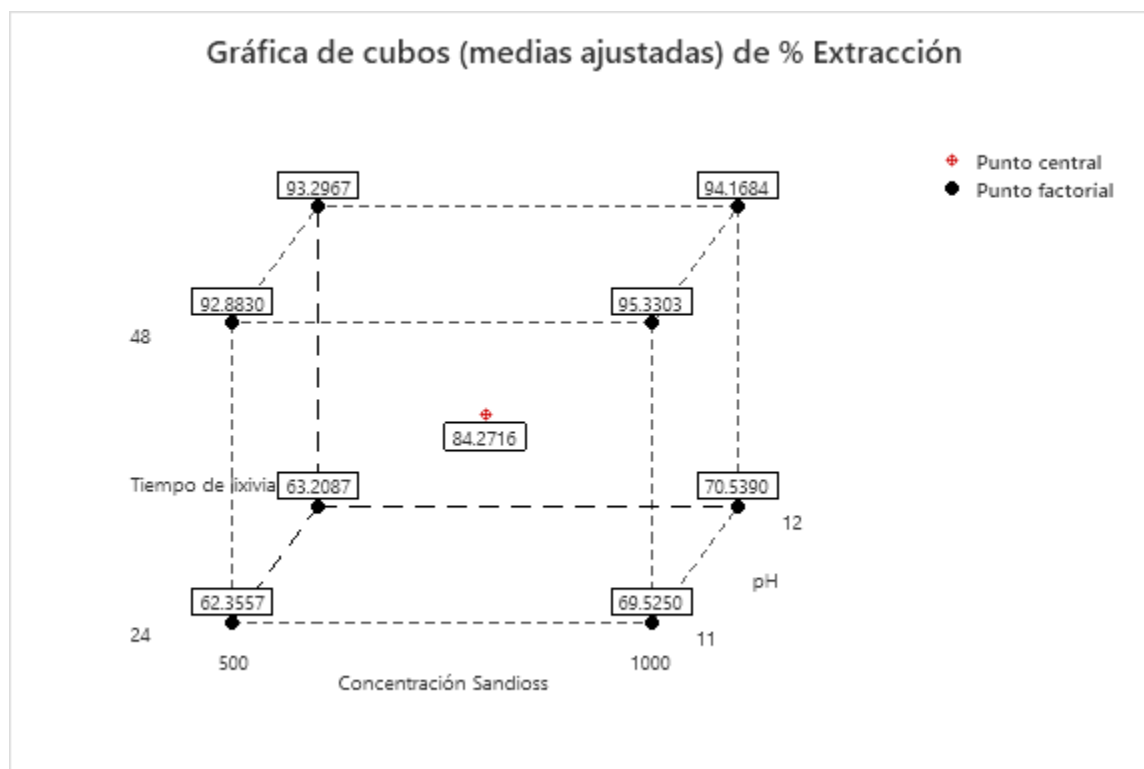
CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación gráfica de análisis estadístico

Figura 33

Gráfica de cubo (medias ajustadas) de extracción del oro.



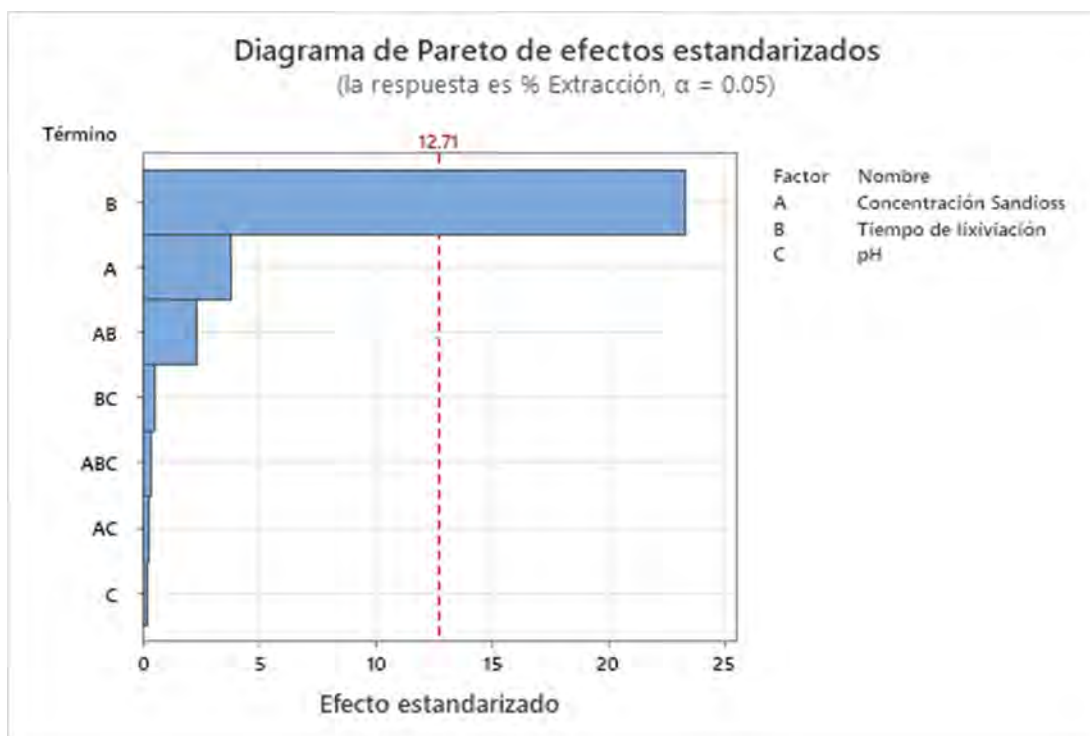
Nota. Adaptado de Minitab.

La gráfica de cubos muestra cómo varía la extracción del oro en función de tres factores: la concentración del reactivo Sandioss, el tiempo de lixiviación y el pH de la solución. En cada vértice del cubo se observan los valores medios ajustados correspondientes a las combinaciones factoriales, mientras que el punto central representa el promedio de los ensayos en condiciones intermedias. Los valores más bajos de extracción se registraron en concentraciones bajas (500 ppm) y tiempos cortos (24 h), alcanzando alrededor de 62,36 %. Por el contrario, los porcentajes más altos superaron el 95 %, observándose en condiciones de pH 11 y tiempo de 48 h.

Además, la gráfica demuestra que el tiempo de lixiviación es el factor más influyente en la extracción de oro, ya que valores altos (48 h) generan porcentajes de extracción superiores al 90 %. En cambio, una mayor concentración de reactivo implica mejores resultados, especialmente cuando se combina con tiempos largos de contacto.

Figura 34

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.



Nota. Adaptado de Minitab.

En los efectos de estandarizado se muestra que el tiempo de lixiviación(B) ha sido el único que ha repercutido más en la extracción de oro durante las pruebas, la interacción del tiempo de lixiviación y la concentración de Sandioss(AB), la concentración de Sandioss(A), la interacción del tiempo de lixiviación, concentración de Sandioss y pH(ABC), la interacción del tiempo de lixiviación y pH(BC), la interacción de la concentración de Sandioss y pH(AC) y el pH(C) no presentaron influencia en la extracción del oro durante las pruebas que se realizó.

Figura 35

Gráfica de optimización de respuesta.

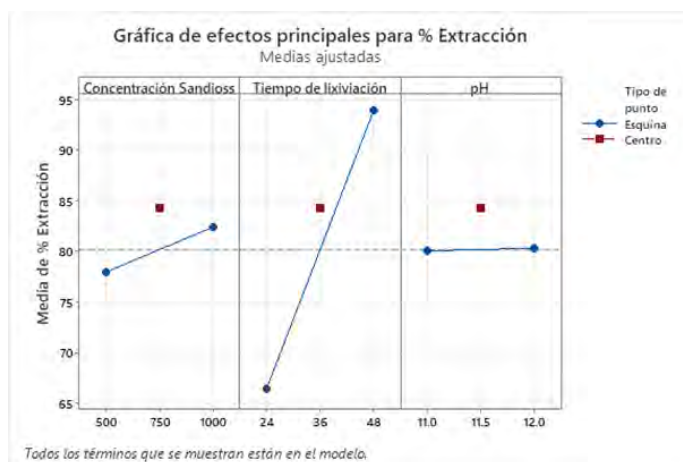


Nota. Adaptado de Minitab.

Cuando se habla de extracción de oro siempre se busca tener una máxima extracción, de acuerdo al diseño la máxima extracción de oro se daría cuando: las variables de concentración de Sandioss de 1000 ppm, tiempo de la prueba de 48 horas y pH 11. A esas condiciones la extracción máxima de oro sería de 95.33%.

Figura 36

Gráfica de efectos principales para la extracción (%).



Nota. Adaptado de Minitab.

En la anterior gráfica se puede apreciar que el tiempo de lixiviación de 48 horas obtiene una mayor extracción al lixiviar por 24 horas, mientras que la concentración de Sandioss óptima

para alcanzar una mayor extracción es de 1000 ppm vs los 500 ppm y que el pH 11 obtiene un mejor resultado que el pH 12.

Figura 37

Gráfica de efectos principales para la extracción (%) con medias de los datos.

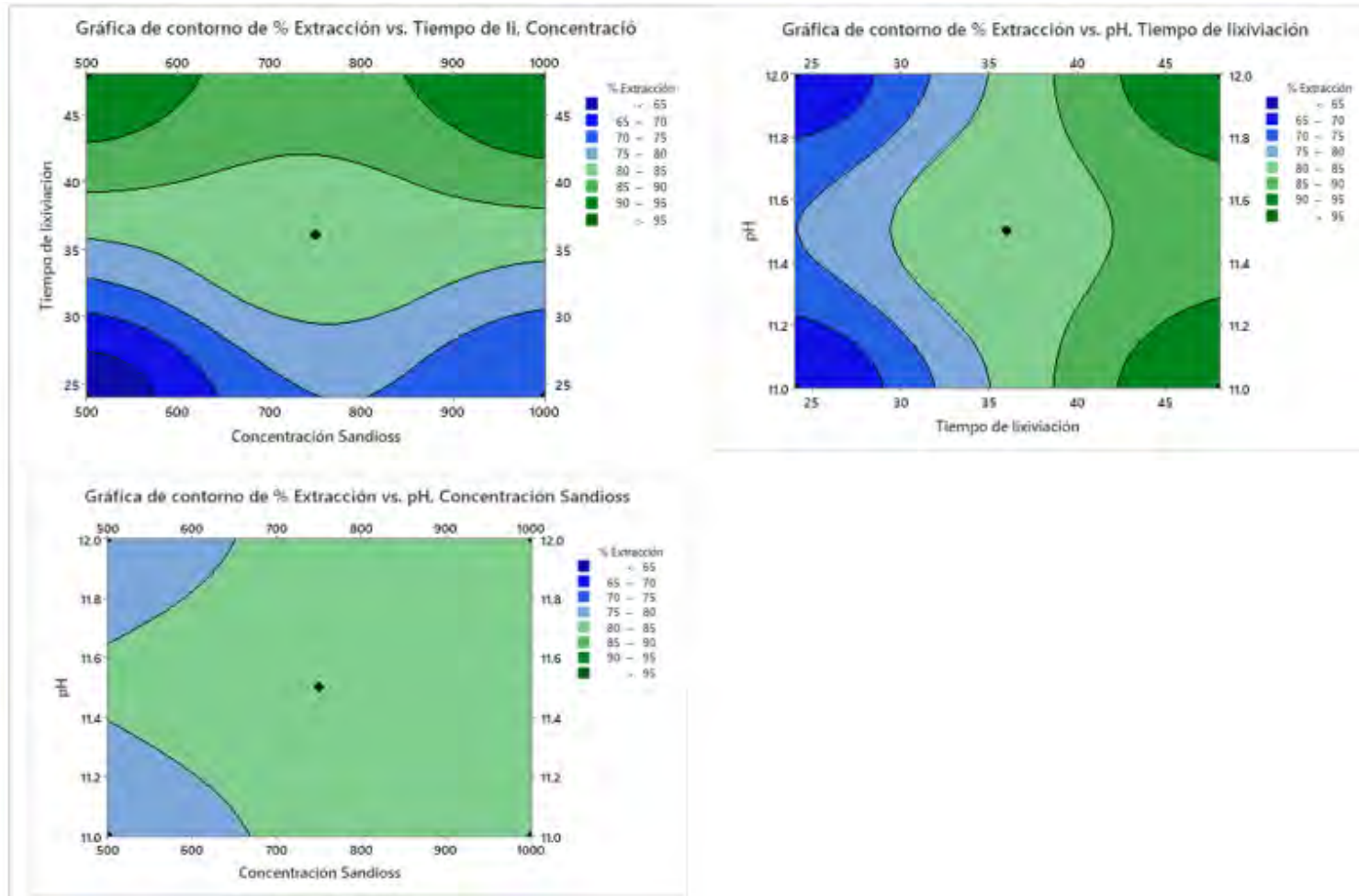


Nota. Adaptado de Minitab.

En la gráfica se puede observar que el tiempo de lixiviación de 48 tiene más influencia en el porcentaje de extracción alcanzando los 95.33%, mientras que la concentración de Sandioss de 750 ppm, tiempo 36 h y pH 11.5 las extracciones llegan a 83.09% y 85.45%.

Figura 38

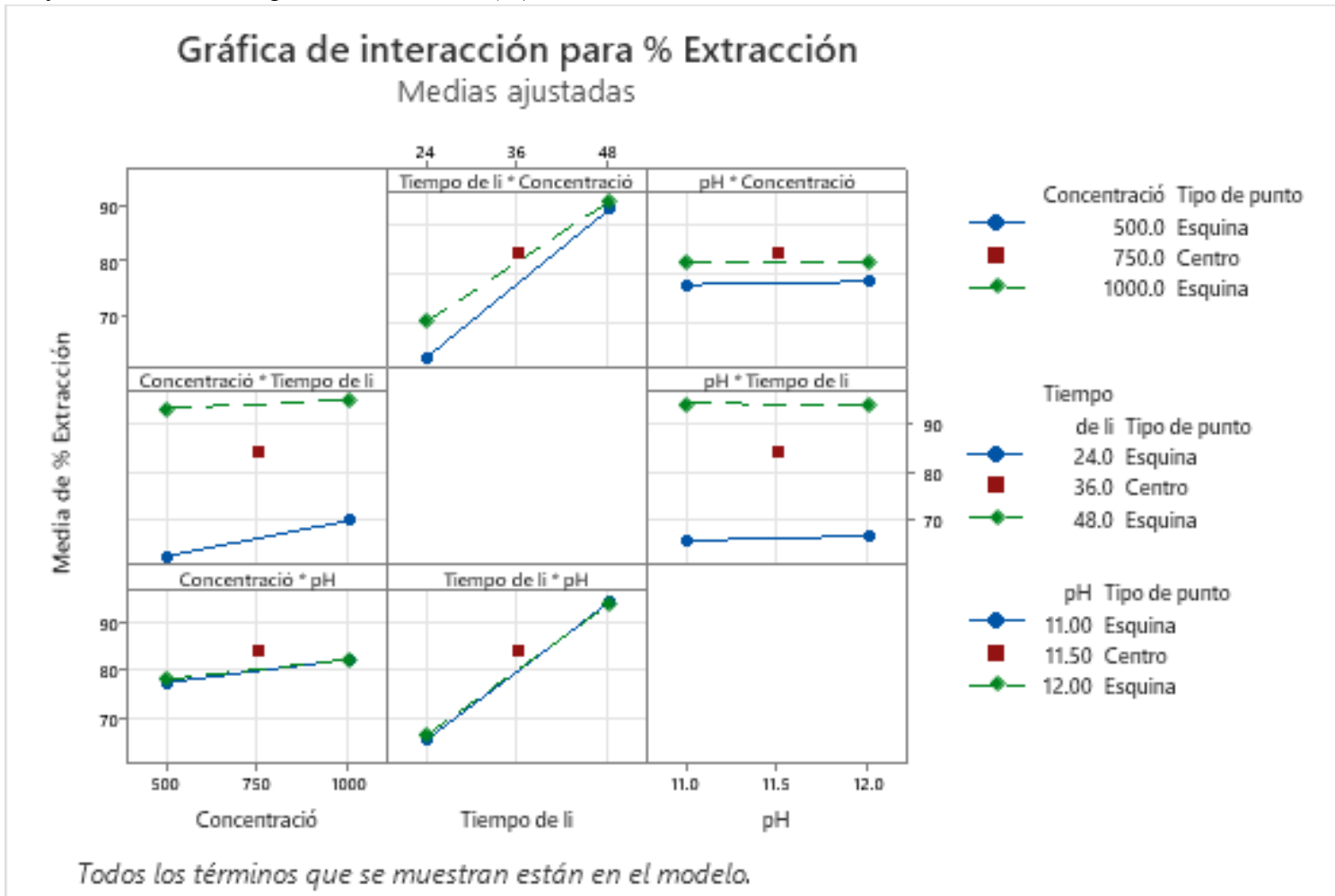
Gráfica de contornos y las interacciones entre las variables.



Nota. Las gráficas de contorno demuestran que la extracción óptima de oro (>95%) requiere tiempos de lixiviación de 48 horas, donde se maximiza la eficiencia del proceso junto a concentraciones de Sandioss de 1000 ppm y pH 11.

Figura 39

Gráfica de interacción para la extracción (%).



Nota. La gráfica muestra la interacción de la concentración del reactivo Sandioss, tiempo de lixiviación y pH. Además, cada línea representa el comportamiento de la extracción del oro bajo diferentes combinaciones de estas variables.

6.2. Efecto de las variables operativas en la extracción de oro

6.2.1. Influencia del tiempo en la extracción

El tiempo de lixiviación mostró el mayor efecto estadísticamente significativo en la extracción de oro ($p = 0.027$), según el análisis de varianza (Tabla 18). Según los resultados experimentales (Tabla 13), al incrementar el tiempo de 24 a 48 horas, la extracción pasó de 69.53 % a 95.33 %, lo que representa un aumento cercano al 26 % bajo condiciones óptimas.

Este comportamiento puede interpretarse mediante el modelo cinético de núcleo decreciente. Durante las primeras 24 horas, el proceso está dominado por la difusión del reactivo Sandioss a través de la capa límite hacia la superficie del mineral. Superada esta etapa, la reacción progresa hacia el núcleo de las partículas, donde la penetración del reactivo se ve condicionada por la presencia de sulfuros como pirita y calcopirita, que suelen encapsular el oro y ralentizar su extracción.

La comparación con estudios previos revela lo siguiente:

Chao-fei, y otros (2014), reportaron 97.47% de extracción en concentrados de oro a 48 h, validando que tiempos prolongados son necesarios para concentrados.

Ccari Sirena (2018), obtuvo 93.98% de extracción oro a 72 h en minerales oxidados, sugiriendo que la presencia de sulfuros en el yacimiento La Estrella (CuFeS_2 , FeS_2 y gangas) justifica plenamente las 48 h requeridas.

6.2.2. Influencia de la concentración de Sandioss

De acuerdo con la Tabla 13, la variación de la concentración de Sandioss entre 500 y 1000 ppm produjo un incremento en la extracción de oro, alcanzando el valor máximo de 95.33 % a 1000 ppm. No obstante, el análisis de varianza (Tabla 18) muestra que este factor no resultó

estadísticamente significativo ($p = 0.165$), lo que indica que, si bien la concentración influye en el proceso, su efecto es menos determinante que el del tiempo de lixiviación.

En términos prácticos, esto significa que el empleo de 1000 ppm garantiza mejores resultados operativos, aunque la diferencia frente a concentraciones menores no alcanza un nivel de significancia estadística en el modelo experimental aplicado.

6.2.3. Influencia del pH

La Tabla 15 revela que el pH tiene una incidencia clara en la extracción: la máxima extracción de oro (95.33 %) se obtuvo a pH 11, mientras que a valores más altos (11.5 y 12) la eficiencia disminuyó ligeramente. No obstante, el ANOVA de la Tabla 16 indica que el pH no presenta significancia estadística ($p = 0.852$).

Este comportamiento sugiere que, aunque el control del pH es esencial para asegurar la estabilidad química del sistema y evitar pérdidas de reactivo, su influencia directa en la variación de la extracción no fue concluyente dentro de los rangos evaluados. Los hallazgos coinciden con las recomendaciones del fabricante.

Máxima extracción a pH 11 (95.33%) vs. pH 12 (94.17%).

De acuerdo con Sandioss Company (2020), el rango óptimo de operación se encuentra entre pH 10 y 12, ya que en estas condiciones el reactivo mantiene su estabilidad. Sin embargo, estudios como el de Romero García (2020), en minerales tipo placer eluvial de Chocroña (Cusco) evidencian que valores de pH 12 como estabilizadores de pulpa en la extracción de oro.

CONCLUSIONES

El uso de Sandioss en lixiviación por agitación incrementó la extracción de oro a 95.33%, superando en 3.83 puntos porcentuales a la cianuración convencional (91.50%). Este resultado valida la viabilidad técnica del Sandioss como una alternativa eficaz en la extracción aurífera.

La concentración de 1000 ppm de Sandioss es la más eficiente para la lixiviación de oro, alcanzando un 95.33% de extracción. Este valor superó a concentraciones menores y también al rendimiento promedio del método tradicional con cianuro (91.50%), demostrando que Sandioss es una alternativa eficaz y competitiva.

Se determinó que un tiempo de 48 horas maximiza la disolución del oro. Esta variable resultó ser la de mayor influencia estadística, la extracción incrementa con mayor tiempo de contacto entre el reactivo y el mineral, especialmente en presencia de sulfuros.

Un pH de 11 fue identificado como el más adecuado para la lixiviación con Sandioss. Este valor permitió mantener un medio alcalino favorable para la solubilidad del oro y la formación de complejos estables, sin generar compuestos tóxicos. Además, trabajar en este pH representa ventajas operativas sin comprometer la eficiencia del proceso.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a investigadores en ingeniería metalúrgica estudiar la estabilidad del Sandioss bajo condiciones ambientales reales (variaciones de temperatura, humedad, radiación UV y exposición a agua de lluvia), con el propósito de establecer su comportamiento a largo plazo y predecir su efectividad en operaciones metalúrgicas continuas.
- Se sugiere a metalurgistas e ingenieros de procesos evaluar el rendimiento del Sandioss en menas con alto contenido de arsénico, antimonio o carbono orgánico, analizando el efecto del peróxido de hidrógeno como oxidante complementario, con el objetivo de optimizar el proceso para minerales refractarios y mejorar la cinética de disolución en sistemas complejos.
- Se recomienda a los investigadores metalurgistas investigar la posible formación de subproductos derivados de la degradación del Sandioss en condiciones operativas extremas, con la finalidad de validar su uso seguro a escala industrial y garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales en plantas de procesamiento aurífero.
- Se recomienda a los ingenieros metalúrgicos desarrollar estudios de costos comparativos entre Sandioss y cianuro, considerando parámetros como extracción por tonelada, consumo de reactivos, requerimientos energéticos y tratamiento de residuos, con el propósito de establecer la rentabilidad del proceso y fundamentar técnicamente su implementación industrial mediante pruebas piloto en colaboración con unidades mineras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez García, R. (2005). *Aplicación de sistemas pasivos para el tratamiento de soluciones residuales de procesos de cianuración en minería de oro*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Analytica Mineral Services S.A.C. . (2024). *Informe de ensayo AMS-M-IE-407582*.
- Arias Odón, F. G. (2012). *El proyecto de investigación* (Sexta ed.). Caracas: Editorial Episteme.
Obtenido de <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Bello, F. (1996). *La Investigación Tecnológica: O cuando la solución es el problema*. Naganagua: Universidad de Carabobo.
- Boni, M. (2018). *ACADEMIA*. Recuperado el 04 de Junio de 2024, de ACADEMIA: http://www.academia.edu/9586024/METODO_DE_LIXIVIACION
- Bustamante Prado, F. V., Camero Hermoza, P., & Segovia Segovia, M. (2021). *Extracción de oro con Gold Max y Sandioss en Ayahuay - Apurímac - Perú : comparación de la extracción de oro con Gold Max y Sandioss del Yacimiento Aurífero de Ayahuay- Antabamba - Apurímac*. (M. B. Bassin, Ed.) Cusco: Editorial Académica Española. Recuperado el 2024
- Cáceres, G. (2007). *Introduccion a la Hidrometalurgia*. Arica: Universidad de Atacama.
- Canela Gonzalo, M. (27 de Abril de 2014). *Potencial de Hidrogeniones pH*. Actualización Clínica.
Obtenido de <https://www.oroacolab.info/que-es-el-ph-como-se-mide-cual-es-su-importancia#:~:text=La%20escala%20de%20pH%20se,encima%20de%207%20es%20alcalino>.
- Ccari Sirena, N. N. (2018). *Lixiviación de minerales de oro con reactivo sandioss en la Empresa Minera Colibrí S.A.C*. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Chamberlain, K., & Puddephatt, R. J. (2003). *The chemistry of gold extraction*. Amsterdam:

Elsevier Science.

Chao-fei, L., Jia-lin, J., Xin-gang, Z., Xiao-liang, L., Ya-ning, W., Ya-xin, Y., . . . Jun-qing, Z. (24 de Agosto de 2014). *Aplicación del reactivo de lixiviación de oro respetuoso con el medio ambiente Sandioss en el procesamiento de un concentrado de oro de Shaanxi*. Tongguan Zhongjin Smelting. doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2015.01.025

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.

CODELCO Chile. (2019). *Lixiviación "El Riesgo"*. CODELCO Educa, 27. Obtenido de CODELCO EDUCACI: https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005316/lixiviacion_media_tecnico_080119.pdf

Díaz Carrasco, S. (2006). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: Editorial San Marcos.

Domic, E. M. (2001). *Hidrometalurgia, Fundamentos, Procesos y Aplicaciones*. Santiago, Chile.

Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. (2024). *Informe N°023-2024/Pampa Capa*. Informe interno.

Gasca Torres, J. A. (2016). *Carbón activado de carácter básico para recuperar oro de lixiviados y cianurados*. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C, México.

Green, D. W., & Perry, R. H. (2007). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGraw-Hill/ Interamericana Editores, S.A. De C.V.

Huaco Condori, M. C. (2017). *Evaluación del porcentaje de disolución de oro en la lixiviación*

- con sandioss mediante diseños experimentales*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Kouuci Enterprise(Shanghai) Co., Ltd. (2015). *bioper*. Obtenido de https://bioper.com.pe/pdf/MSDS_Sandioss.pdf
- Laboratorios de Metalurgia Extractiva – Rio Seco. (2025). *INFORME N° 013-2025-LME-DAIMA-FIP*.
- Levenspiel, O. (2004). *Ingeniería de las reacciones químicas* (Tercera edición ed.). México D.F.: Limusa Wiley.
- Li, H., Oraby, E., Eksteen, J., Xie, W., Gu, J., & Yuan, H. (2024). *Extraction of precious metals from waste printed circuit boards using alkaline ferricyanide solutions: An exploratory study*. ScienceDirect. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.109144>
- Liu, Z., Kou, J., Xing, Y., & Sun, C. (2021). *Recovery of Gold from Ore with Potassium Ferrocyanide Solution under UV Light*. Minerals. doi:doi.org/10.3390/min11040387
- Marsden, J. O., & House, C. L. (2009). *The Chemistry of Gold Extraction* (Second Edition ed.).
- Montgomery, D. C. (2020). *Diseño y Análisis de Experimentos* (Decima ed.). Wiley.
- Navarro, H., & Taboada, D. (2011). *Manual de hidrometalurgia: Tecnología de extracción de metales*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Nina Mamani, H. (2021). *Evaluación del proceso de lixiviación por agitación de minerales oxidados auríferos de la Comunidad Chalhuanca – Apurímac*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna. Obtenido de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4175>
- Othman, A., Ibrahim, I., Arbain, R., Joannes, C., Selvaraj, T., & Baharuddin, S. (2025). *Sandioss as an Eco-Friendly Leaching Agent for Refractory Gold Ore Extraction*. Malaysian Journal

of Chemistry, 1-9.

Ramírez Perez, P. A., & Martínez, A. G. (2014). *Lixiviación de minerales por agitación y percolación*. Tesis de pregrado. Universidad industrial de Santander, Bucaramanga.

Romero Garcia, J. O. (2020). *Extracción del oro mediante procesos de lixiviación con el reactivo Sandioss del Yacimiento Minero Chocrocoña, Llusco-Chumbivilcas, Región Cusco*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco.

Sandioss Company. (2020). *Casos de uso: Sandioss Company*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2024, de Sandioss: <http://www.sandioss.com/es/h-col-142.html>

Shur López, J. C. (2017). *Plan de intervención para la prevención de riesgos a la salud por exposición a cianuro en trabajadores de una empresa minera de oro en Nicaragua*. Proyecto de graduación para obtener el título de Master en Salud Ocupacional. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Obtenido de <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/9405/1/250157.pdf>

Treviño-Rodríguez, V. D., Soria-Aguilar, M. d., Martínez-Luevanos, A., Aguilera-González, E. N., & Carrillo-Pedroza, F. R. (2024). *Descomposición fotocatalítica del ferrocianuro*. SYENSQO. Obtenido de <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/8869>

Uceda Herrera, D. A. (2016). *Hidrometalurgia Química e Ingeniería* (Primera ed.). Lima, Perú: Crea Ediciones Gráficas EIRL. Obtenido de <https://iimp.org.pe/archivos/publicaciones/a621-20210824-062743-1552.pdf>

Xie, F., & Dreisinger, D. (2009). *Use of ferricyanide for gold and silver cyanidation*. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 714-718.

Xie, F., & Dreisinger, D. B. (2007). *Leaching of silver sulfide with ferricyanide–cyanide solution*.

ScienceDirect, 98-108.

- Xie, F., Dreisinger, D., & Lu, J. (2008). *The novel application of ferricyanide as an oxidant in the cyanidation of gold and silver*. *Minerals Engineering*, 21, 1109-1114.
doi:10.1016/j.mineng.2008.02.009
- Zárate, J. M., & Ochoa, M. G. (2013). *Equilibrio químico en soluciones acuosas*. Ciudad de México: McGraw-Hill Educación.
- Zhang, Y., Cui, M., Wang, J., Liu, X., & Lyu, X. (2022). *A review of gold extraction using alternatives to cyanide: Focus on current status and future prospects of the novel eco-friendly synthetic gold lixivants*. *Minerals Engineering*, 176.
doi:10.1016/j.mineng.2021.107336

ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia

Tabla 22

Matriz de consistencia.

EXTRACCIÓN DEL ORO MEDIANTE LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN CON SANDIOSS DEL YACIMIENTO MINERO LA ESTRELLA DE LA EMPRESA MINERA AURÍFERA ESTRELLA DE CHAPARRA S.A. CARAVELÍ, AREQUIPA				
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Dependiente	Metodología
¿Como incrementar la extracción de oro mediante lixiviación por agitación utilizando el reactivo Sandioss como agente lixivante del yacimiento La Estrella?	Demostrar el incremento de extracción de oro mediante lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss en el yacimiento La Estrella.	La lixiviación con Sandioss mediante agitación incrementa significativamente la extracción de oro del yacimiento La Estrella.	<ul style="list-style-type: none"> Extracción de oro. 	ENFOQUE Cuantitativo TIPO Tecnológica NIVEL Descriptivo Explicativo DISEÑO Experimental POBLACIÓN Mineral aurífero del yacimiento minero La Estrella de la Empresa Minera Aurífera Estrella De Chaparra S.A. Caravelí, Arequipa. MUESTRA: 30 Kg TÉCNICAS E INSTRUMENTO: Observación Ensayos de laboratorio Diseño factorial, Excel
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables Independientes	
PE₁: ¿Cuál es la concentración adecuada del reactivo Sandioss en la lixiviación por agitación para lograr una alta extracción de oro del yacimiento La Estrella? PE₂: ¿Cuál es el tiempo adecuado de lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss para maximizar la extracción de oro del yacimiento La Estrella? PE₃: ¿Cuál es el pH ideal en la lixiviación por agitación para maximizar la extracción de oro del yacimiento La Estrella?	OE₁: Determinar la concentración adecuada del reactivo Sandioss en la lixiviación por agitación para lograr una alta extracción de oro del yacimiento La Estrella. OE₂: Establecer el tiempo adecuado de lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss para una máxima extracción de oro del yacimiento La Estrella. OE₃: Determinar el pH ideal en la lixiviación por agitación para una máxima extracción de oro del yacimiento La Estrella.	H₁: Con una concentración de 1000 ppm del reactivo Sandioss se incrementa la extracción de oro del yacimiento La Estrella. H₂: Con un tiempo de lixiviación de 48 horas en un sistema agitado se obtiene una mayor extracción de oro del yacimiento La Estrella. H₃: Con un pH 11 durante la lixiviación se obtiene una mayor extracción de oro del yacimiento La Estrella.	<ul style="list-style-type: none"> Concentración de reactivo. Tiempo de lixiviación. pH. 	

Nota. Elaboración propia.

Anexo B: Resultado de análisis de ley de oro

AMS-M-IE-407582 Pagina 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

AMS-M-IE-407582

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	:	BRUNO MEBERT BOCANGEL CAMARA 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 06/05/24 19:39 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	:	Bolsa Plastica Sellada Peso Aprox. 307 g. Aparentemente Seco
REFERENCIA DEL CLIENTE	:	Solicitud del 06/05/2024
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	Del 06/05/2024 al 7/05/2024

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		PROMEDIO PONDERADO
	Au + 150 Mesh	Au - 150 Mesh	
BRUNO	0.147	0.260	0.407

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

Analytica Mineral Services S.A.C.

Ing. Jesús Danilo Lorenzo Cordero

Gerente de Laboratorio

CIP N° 144633

Fijo : 054 772708

RPC : 959376141

jlorenzo@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú

Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orión Sector Quebrada Honda S/N - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

Anexo C: Informe de leyes y recuperaciones promedio



EMPRESA MINERA AURIFERA ESTRELLA DE CHAPARRA S. A.
 "AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACION DE NUESTRA
 INDEPENDENCIA Y DE LA CONMEMORACION DE LAS HEROICAS BATALLAS DE
 JUNIN Y AYACUCHO"

INFORME N° 023- 2024/PAMPA CAPA

A : BRUNO MEBERT BOCANGEL CAMARA.
BACHILLER EN INGENIERIA METALURGICA.

DE : Ing. CRISTIAN MENDIETA SALINAS
ENCARGADO DE PLANTA CAPA.

ASUNTO : INFORME DE LEYES Y RECUPERACIONES PROMEDIO.

FECHA : PAMPA CAPA 15 DE MAYO DEL 2024

Por medio del presente me dirijo a usted, con el fin de informarle a detalle acerca de nuestro proceso de lixiviación de nuestra empresa e informar acerca de leyes y recuperaciones del año 2023 comprendidos de enero a diciembre, dicho informe es para fines informativos por los cuales es solicitado y requerido.

RELACION PROMEDIO DE LAS LEYES Y % DE RECUPERACIÓN.

- Se adjunta cuadro con el promedio de las leyes de minera y promedio de la recuperación.

MESES	PRODUCCION 2023		
	TMS PROCESADA	LEY (Onz/tc)	% DE RECP.
ENERO	1322.74	0.335	90.35
FEBRERO	1113.34	0.388	92.22
MARZO	1113.30	0.398	91.49
ABRIL	1064.50	0.409	91.50
MAYO	1164.82	0.409	89.34
JUNIO	1397.28	0.419	92.78
JULIO	1465.70	0.435	92.75
AGOSTO	1354.48	0.435	92.89
SETIEMBRE	1672.62	0.305	91.76
OCTUBRE	1493.86	0.456	91.76
NOVIEMBRE	1227.56	0.416	90.84
DICIEMBRE	1488.60	0.407	90.28
PROM.	1323.23	0.401	91.50

- La ley promedio de todos los lotes ha sido de 0.401 Onz/tc.
- El promedio de la recuperación porcentual de oro ha sido de 91.50%

CH
 CRISTIAN JHON
 MENDIETA SALINAS
 Ingeniero Metalúrgico
 CIP N° 212152

Anexo E: Informe de ensayo de humedad

AMS-M-IE-440781 Pagina 1 de 1

INFORME DE ENSAYO AMS-M-IE-440781

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	:	EMPRESA MINERA AURIFERA ESTRELLA DE CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	:	DETERMINACION FISICA
PRODUCTO DESCRITO COMO	:	Mineral en Roca
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	3
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Determinacion de Humedad DP 100g. Simple
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	:	CHALA 30/03/25 19:56 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	:	Bolsa Plastica Sellada Peso Aprox. 500 g. Aparentemente Seco
REFERENCIA DEL CLIENTE	:	Solicitud del 30/03/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	Del 30/03/2025 al 31/03/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	H2O %		
	H2O 1	H2O 2	PROMEDIO
ME - 173	1.234	-	1.234
ME - 174	1.300	-	1.300
ME - 175	1.384	-	1.384

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-03

Determinación De Humedad En Minerales No Ferrosos

Anexo F: Informe de caracterización mineralógica óptica



Facultad de Ingeniería de Procesos
Departamento de Ingeniería Metalúrgica e
Ingeniería Ambiental
Centro de Investigación y Laboratorios de
Metalurgia Extractiva – Río Seco

INFORME N° 013-2025-LME-DAIMA-FIP

PARA: Ing. Miguel Zegarra
Minera Porvenir

DE: Ing. Héctor Gelber Bolaños Sosa
Administrador de Laboratorios de Metalurgia Extractiva – Río Seco

ASUNTO: **CARACTERIZACION MINERALÓGICA OPTICA**

FECHA: 19 Abril 2025

A continuación, remito a Ud. el informe de los ensayos de microscopía óptica de la muestra proporcionadas por el Ing. Miguel Zegarra, identificada con código N° RS-012-25

I. OBJETIVO

- Determinar las especies mineralógicas presentes en la muestra
- Determinar las asociaciones presentes

II. PROCEDIMIENTO:

Se preparó el material a diferentes mallas +200, -200
Se uso resina epóxica, teniendo cuidado de no generar burbujas
Se procedió a secar
Se procedió al proceso de desbastado y pulido usando diferentes paños y polvos.
Luego se procedió a observar la muestra en el microscopio óptico (Leica) e luz polarizada mediante imágenes reflejadas en nicoles paralelos y nicoles cruzados, se usaron a 20 aumentos.



Fig. 01: Microscopio óptico Leica, usado en el ensayo

III. RESUMEN

Oficina: Av. Independencia s/n – Telefax (054) 289902 – Arequipa – Perú 1/7
Laboratorios: Parque Industrial Río Seco Mz. I Lt. 6 – Cerro Colorado / Teléfono: 054-443140 / www.unsa.edu.pe
Email: metalurgia_cilme_rioseco@unsa.edu.pe, hbolanos@unsa.edu.pe, malarcongar@unsa.edu.pe




Facultad de Ingeniería de Procesos
Departamento de Ingeniería Metalúrgica e
Ingeniería Ambiental
Centro de Investigación y Laboratorios de
Metalurgia Extractiva – Río Seco



Fig. 9: 20X Freibergita (Fb) en forma libre.

Atentamente,


Ing. Héctor Gelber Bolaños Sosa
Metalurgista CIP 32136
Administrador
Laboratorios de Metalurgia Extractiva
Río Seco

Oficina: Av. Independencia s/n – Telefax (054) 289902 – Arequipa – Perú 7/7
Laboratorios: Parque Industrial Río Seco Mz. I Lt. 6 – Cerro Colorado / Teléfono: 054-443140 / www.unsa.edu.pe
Email: metalurgia_cilme_rioseco@unsa.edu.pe, hbolanos@unsa.edu.pe, malarcongar@unsa.edu.pe

Anexo G: Análisis de absorción atómico

Señores : **Bruno Mebert Bocangel Camara**
 Referencia : **Análisis de Oro Por Absorción Atómica**
 Fecha : **Arequipa, 25 de Agosto 2024**

Estimado Señor:

Por medio de la presente, nos es grato entregarle los "RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ORO POR ABSORCIÓN ATÓMICA". En el documento adjunto encontrará los detalles y resultados.

Agradecemos la confianza depositada en nuestra empresa y expresamos nuestro compromiso de colaborar. Quedamos a su disposición para cualquier consulta adicional o para coordinar.

Atentamente,
 Ing. Juan Miguel Zegarra Medina
 Gerente De Operaciones
 Centro De Estudios Y Entrenamiento De Procesos Metalúrgicos Minera Porvenir
 Teléfono: 957802527

CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.
 APIPA Sector IX Mz. H Lote 4 Yura Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALÚRGICO Informe de ensayo N° CPM-A-2024-008

Fecha : 25/08/2024
 Para : Bruno Mebert Bocangel Camara
 Edhi Daniel Durand Mourroy

Requerimiento : Análisis de oro por Absorción Atómica

Muestra

Muestra : Soluciones Atriferas realizadas con el reactivo Sandhoss

Resultados:

ANÁLISIS DE ORO (Au) POR ABSORCIÓN ATÓMICA

PRUEBA N°1		
MUESTRA	CÓDIGO	LEY (Au)
Solución	12 h	2.073 mg/L
Solución	24 h	3.457 mg/L
PRUEBA N°2		
MUESTRA	CÓDIGO	LEY (Au)
Solución	12 h	2.247 mg/L
Solución	24 h	4.889 mg/L
PRUEBA N°3		
MUESTRA	CÓDIGO	LEY (Au)
Solución	12 h	3.384 mg/L
Solución	24 h	4.070 mg/L
Solución	36 h	4.246 mg/L
Solución	48 h	5.544 mg/L
PRUEBA N°4		
MUESTRA	CÓDIGO	LEY (Au)
Solución	12 h	3.884 mg/L
Solución	24 h	6.304 mg/L
Solución	36 h	7.541 mg/L
Solución	48 h	7.839 mg/L

CEPROMET MINERA PORVENIR S.A.C.
 "Comprometidos con la educación y el medio ambiente"

CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.
 APIPA Sector IX Mz. H Lote 4 Yura Arequipa
 RUC: 20455230714



PRUEBA N°5		
MUESTRA	CÓDIGO	LEY (Au)
Solución	12 h	2.486 mg/L
Solución	24 h	4.241 mg/L
PRUEBA N°6		
MUESTRA	CÓDIGO	LEY (Au)
Solución	12 h	2.870 mg/L
Solución	24 h	4.794 mg/L
PRUEBA N°7		
MUESTRA	CÓDIGO	LEY (Au)
Solución	12 h	2.305 mg/L
Solución	24 h	4.384 mg/L
Solución	36 h	6.403 mg/L
Solución	48 h	7.444 mg/L
PRUEBA N°8		
MUESTRA	CÓDIGO	LEY (Au)
Solución	12 h	4.132 mg/L
Solución	24 h	5.256 mg/L
Solución	36 h	6.269 mg/L
Solución	48 h	6.865 mg/L
REPLICA N°1		
MUESTRA	CÓDIGO	LEY (Au)
Solución	12 h	2.669 mg/L
Solución	24 h	4.345 mg/L
Solución	36 h	4.785 mg/L
REPLICA N°2		
MUESTRA	CÓDIGO	LEY (Au)
Solución	12 h	2.765 mg/L
Solución	24 h	4.171 mg/L
Solución	36 h	4.833 mg/L

CEPROMET MINERA PORVENIR S.A.C.
 "Comprometidos con la educación y el medio ambiente"

Anexo H: Resultados de análisis de rípios

AMS-M-IE-414900 Pagina



**INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-414900**

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION : BOCANGEL CAMARA BRUNO MEBERT
CHALA - AREQUIPA
ASUNTO : ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO : Lote Comercial
CANTIDAD DE MUESTRAS : 1
SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis Oro FA 30g. Duplicado
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION : CHALA 18/07/24 20:20 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS : Bolsa Plastica Sellada
Peso Aprox. 400 g. Aparentemente Seco
REFERENCIA DEL CLIENTE : Solicitud del 18/07/2024
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : Del 18/07/2024 al 19/07/2024

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
Pb - 3	0.034	0.028	0.031

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

MÉTODOS DE REFERENCIA



Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orión Sector Quebrada Honda SIN - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

AMS-M-IE-414900 Pagina



**INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-414900**

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION : BOCANGEL CAMARA BRUNO MEBERT
CHALA - AREQUIPA
ASUNTO : ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO : Lote Comercial
CANTIDAD DE MUESTRAS : 1
SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis Oro FA 30g. Duplicado
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION : CHALA 18/07/24 20:20 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS : Bolsa Plastica Sellada
Peso Aprox. 400 g. Aparentemente Seco
REFERENCIA DEL CLIENTE : Solicitud del 18/07/2024
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : Del 18/07/2024 al 19/07/2024

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
Pb - 4	0.032	0.024	0.028

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

MÉTODOS DE REFERENCIA



Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orión Sector Quebrada Honda SIN - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

AMS-M-IE-414900 Pagina 1 de 1



**INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-414900**

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION : BOCANGEL CAMARA BRUNO MEBERT
CHALA - AREQUIPA
ASUNTO : ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO : Lote Comercial
CANTIDAD DE MUESTRAS : 1
SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis Oro FA 30g. Duplicado
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION : CHALA 18/07/24 20:20 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS : Bolsa Plastica Sellada
Peso Aprox. 400 g. Aparentemente Seco
REFERENCIA DEL CLIENTE : Solicitud del 18/07/2024
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : Del 18/07/2024 al 19/07/2024

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
Pb - 5	0.215	0.145	0.180

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

MÉTODOS DE REFERENCIA



Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orión Sector Quebrada Honda SIN - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.



**INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-414900**



**INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-414900**



**INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-414900**

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION : BOCANGEL CAMARA BRUNO MEBERT
 CHALA - AREQUIPA
 ASUNTO : ANALISIS GRAVIMETRICO
 Lote Comercial
 PRODUCTO DESCRITO COMO :
 CANTIDAD DE MUESTRAS : 1
 SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis Oro FA -30g. Duplicado
 LUGAR Y FECHA DE RECEPCION : CHALA 18/07/24 20:20 Hrs
 CARACTERISTICAS Y CONDICIONES : Bolsa Plastica Sellada
 DE RECEPCION DE MUESTRAS : Peso Aprox. 400 g. Aparentemente Seco
 REFERENCIA DEL CLIENTE : Solicitud del 18/07/2024
 FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : Del 18/07/2024 al 19/07/2024

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
Pb - 6	0.143	0.149	0.146

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

METODOS DE REFERENCIA



Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
 Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orión Sector Quebrada Honda S/N - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION : BOCANGEL CAMARA BRUNO MEBERT
 CHALA - AREQUIPA
 ASUNTO : ANALISIS GRAVIMETRICO
 Lote Comercial
 PRODUCTO DESCRITO COMO :
 CANTIDAD DE MUESTRAS : 1
 SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis Oro FA -30g. Duplicado
 LUGAR Y FECHA DE RECEPCION : CHALA 18/07/24 20:20 Hrs
 CARACTERISTICAS Y CONDICIONES : Bolsa Plastica Sellada
 DE RECEPCION DE MUESTRAS : Peso Aprox. 400 g. Aparentemente Seco.
 REFERENCIA DEL CLIENTE : Solicitud del 18/07/2024
 FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : Del 18/07/2024 al 19/07/2024

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
Pb - 7	0.031	0.048	0.039

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

METODOS DE REFERENCIA



Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
 Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orión Sector Quebrada Honda S/N - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION : BOCANGEL CAMARA BRUNO MEBERT
 CHALA - AREQUIPA
 ASUNTO : ANALISIS GRAVIMETRICO
 Lote Comercial
 PRODUCTO DESCRITO COMO :
 CANTIDAD DE MUESTRAS : 1
 SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis Oro FA -30g. Duplicado
 LUGAR Y FECHA DE RECEPCION : CHALA 18/07/24 20:20 Hrs
 CARACTERISTICAS Y CONDICIONES : Bolsa Plastica Sellada
 DE RECEPCION DE MUESTRAS : Peso Aprox. 400 g. Aparentemente Seco
 REFERENCIA DEL CLIENTE : Solicitud del 18/07/2024
 FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : Del 18/07/2024 al 19/07/2024

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
Pb - 8	0.037	0.025	0.031

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

METODOS DE REFERENCIA



Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
 Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orión Sector Quebrada Honda S/N - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

Anexo I: Comprobante de compra del reactivo Sandioss

Cantidad		Unidad Medida	Descripción	Valor Unitario(*)	Descuento(*)	Importe de Venta(**)	ICBPER
1.00	BOLSA		SANDIOS GOLD LIXIVIAN X 25 KG	355.93	0.00	419.9974	0.00
Otros Cargos :							S/0.00
Otros Tributos :							S/0.00
ICBPER :							S/ 0.00
Importe Total :							S/420.00
SON: CUATROCIENTOS VEINTE Y 00/100 SOLES							
(*) Sin impuestos.				Op. Gravada :	S/ 355.93		
(**) Incluye impuestos, de ser Op. Gravada.				Op. Exonerada :	S/ 0.00		
				Op. Inafecta :	S/ 0.00		
				ISC :	S/ 0.00		
				IGV :	S/ 64.07		
				ICBPER :	S/ 0.00		
				Otros Cargos :	S/ 0.00		
				Otros Tributos :	S/ 0.00		
				Monto de Redondeo :	S/ 0.00		
				Importe Total :	S/ 420.00		
<p><i>Esta es una representación impresa de la Boleta de Venta Electrónica, generada en el Sistema de la SUNAT. El Emisor Electrónico puede verificarla utilizando su clave SOL, el Adquirente o Usuario puede consultar su validez en SUNAT Virtual: www.sunat.gob.pe, en Opciones sin Clave SOL/ Consulta de Validez del CPE.</i></p>							

BOLETA DE VENTA ELECTRONICA
RUC: 20600101111
EB01-8

BIOPER CONSULTING S.A.C
 MZA. A LOTE. 02 URB. LOS PORTALES DEL GOLF
 VICTOR LARCO HERRERA - TRUJILLO - LA LIBERTAD

Fecha de Vencimiento :
 Fecha de Emisión : **15/03/2024**
 Señor(es) : **BRUNO MEBERT BOCANGEL**
 : **CAMARA**
 DNI : **74933228**
 Dirección del Cliente : AV. 24 DE JUNIO 24 CUSCO-
 CUSCO-WANCHAQ
 Tipo de Moneda : **SOLES**
 Observación :

Anexo J: Hojas de datos de seguridad (Sandioss, Nitrato de plata, Yoduro de potasio, Hidróxido de sodio)

MSDS (Fichas de Datos de Seguridad)

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA Y DE LA COMPAÑÍA

Nombre del producto: Agente de extracción de oro
 Uso general: extraer y recuperar el oro
 Proveedor y fabricante: Kouuci Enterprise (Shanghai) Co., Ltd.
 Dirección: No.351, Guanghua Road, XiaoKunShanTown, Songjiang District, Shanghai.
 Teléfono: 021-5785.4340
 Fax: 021-5785.3440
 Departamento de información: Kouuci Enterprise (Shanghai) Co., Ltd.
 Departamento del caso de emergencia: Kouuci Enterprise (Shanghai) Co., Ltd.
 Correo Electrónico: 2421263957@QQ.com
 Contacto: Jin Lan

2. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

Nombres de los Componentes	Fórmula	Número CAS	Porcentaje de peso%
Oxido de Sodio	Na ₂ O	1313-59-3	35 - 50
Nitrógeno	N	7727-37-9	12 - 20
Amonio	NH ₄ ⁺	14798-03-9	7 - 12
Ferrocianuro de Sodio	Na ₄ Fe(CN) ₆ ·10H ₂ O	13601-19-9	7 - 12
Agua	H ₂ O	7732-18-5	1 - 4
Calcio	Ca	7440-70-2	1 - 5
Hierro	Fe	7439-89-6	1 - 5
Insolubles en agua	-- --	-- --	3 - 8

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Descripciones Generales	
Apariencia:	Partículas sólidas
Color:	Gris
Olor:	Olor a amoníaco
Cambio de las condiciones	
Punto de fusión / Rango de fusión:	Desconocido
Punto de ebullición / Rango de ebullición:	Desconocido
Punto de ignición:	No aplicable
Riesgo de explosión:	Normalmente el producto no tiene riesgo de explosión.
Densidad	
Densidad relativa:	>1(Agua=1)
Densidad de vapor:	No aplicable
Solubilidad / compatibilidad	
Agua:	Soluble
Valor pH:	Desconocido

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- **Estabilidad química:** En circunstancias normales, el producto es estable.
- **Solubilidad:** Soluble en la mayoría de los disolventes tales como agua y ácidos inorgánicos.
- **Productos de descomposición peligrosos:** El producto en sí no es combustible pero puede descomponerse y producir gases tóxicos en caso de incendio o de calor o de reacción con los productos químicos que pueden reaccionar.
- **Polimerización peligrosa:** No ocurrirá polimerización peligrosa.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

NFPA - Categoría (Área: 0 - 4)



Peligro para salud: 1 (Baja Toxicidad, irritación) Peligro de incendio: 0 (no inflamable) Reactividad: 0 (estable)

- **Riesgos:** El producto es de baja toxicidad, no inflamable y alta estabilidad, el polvo generado en el proceso causa perjuicio al inhalarlo.
- **Via de intrusión:** Contacto con la piel, contacto con los ojos, ingestión, inhalación.



3.1. Potenciales efectos agudos sobre la salud:

- **Contacto con los ojos:** Es irritable al contactar directamente con los ojos, puede causar algún dolor, enrojecimiento y lágrima de los ojos si no lo trata eficiente y adecuadamente, no frotar si entra algún polvo a los ojos.
- **Contacto con la piel:** No produce irritación significativa el contacto de poco tiempo y poca cantidad, pero puede estimular las áreas heridas de la piel y causar inflamación. Dada la buena higiene industrial, el contacto directo con cualquier producto químico se debe mantener al mínimo y hacer el trabajo de protección personal.
- **Inhalación:** No causa daño significativo la inhalación de polvo con poco tiempo y pequeña cantidad, el exceso de inhalación de una cantidad grande en poco tiempo puede provocar irritación respiratoria. Si la inhalación de polvo es de largo tiempo puede causar el daño pulmonar:

- Datos de toxicidad aguda en animales:
LD 50: N/D
LC 50: N/D
- Datos de irritación en animales: leve irritación, no hay datos detallados experimentales de irritación en animales.
- Efectos crónicos al hombre:
Carcinogenicidad: No identificado
Mutagenicidad: No identificado
Teratogenicidad: No identificado

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

- Nocivo a la ecología: Inocuo y no tóxico sobre los organismos acuáticos y los medios acuáticos.
- **Degradabilidad:** No degradable.
- **Consideraciones ambientales:** Durante el proceso de fabricación debe reducir o evitar el derroche de relacionadas sustancias perjudiciales en el sistema de alcantallado y el medio ambiente.

13. CONSIDERACIONES PARA LA ELIMINACIÓN

- **Producto:** Debe eliminarse de acuerdo con las leyes aplicables y reglamentos estatales y locales.
- **Recomendación:** El tratamiento según los pertinentes métodos locales de eliminación de residuos.
- **Embalajes sin limpiar:** La disposición recomendada debe ser de acuerdo con las normativas vigentes.

14. INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

- **Nombre oficial de transporte:** no especificado.
- **Número de N.N.U.U:** No aplicable
- **Grupo Del Embalaje:** NA
- **Clasificación de producto peligroso:** NA
- **Contaminante marino:** No

en el momento del proceso y aplicación se debe tener protección respiratoria para evitar la inhalación excesiva del polvo.
 - **Ingestión:** La ingestión del producto es considerado peligroso, no dejar al alcance de los niños.

3.2. Potenciales efectos crónicos sobre la salud:

- **Efectos cancerígenos:** Ingredientes contenidos en el producto no tiene un conocido carcinógeno significativo. (Clasificado por la NTP de IARC y OSHA de E.E.U.U).
- **Efectos mutagénicos:** No disponible.
- **Efectos teratogénicos:** Desconocida.

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación:** Si produce malestar, aléjese de inmediato a un lugar aireado y fresco y mantenga la permeabilidad de la vía respiratoria, se debe dar oxígeno si tiene dificultad para respirar, si paraliza la respiración inmediatamente se aplica respiración artificial y se dirige a urgencias médicas.
- **Contacto con la piel:** limpie a fondo con agua corriente y jabón.
- **Contacto con los ojos:** Retire lentes de contacto (si los hay), levante los párpados superiores e inferiores, lave inmediatamente con abundante agua durante varios minutos si la situación no mejora consulte inmediatamente al médico.
- **Ingestión:** Después de ingerir excesivamente se enjuaga con agua, tome leche o clara de huevo y luego provoque vómito, consulte a un médico de inmediato

5. LUCHA CONTRA INCENDIOS

- **Información general:** En cualquier incendio, los bomberos deben usar aparatos de respiración autónoma y ropa protectora para evitar la inhalación de los gases tóxicos y nocivos generados por la combustión de

la descomposición o a alta temperatura, y deben proteger los extintores para evitar una posible explosión cuando el recipiente se caliente.

- **Medios para extinguir el fuego:** Agua y extintor.
- **Punto de inflamación:** No aplicable.
- **Temperatura de auto ignición:** No aplicable.
- **Riesgo de incendio y peligro:** Ninguno.
- **Riesgo de incendio anormal o explosión:** Ninguno.

6. MEDIDAS CONTRA LIBERACIÓN ACCIDENTAL

- **Pequeñas fugas:** Cuando se produce una pequeña fugas, se limpia la sustancia directamente al recipiente de tratamiento.
- **Derrame y fuga importantes:** Cuando una fuga grande se produce, el área de la fuga debe ser aislada, el acceso es restringido para evitar la contaminación con el material fugado, se recicla el material fugado no contaminado al recipiente respectivo; los personales de reciclaje deben usar ropa de protección contra el polvo, guantes protectores y máscaras contra el polvo, y limpian el material contaminado al recipiente de tratamiento dependiendo de la situación.

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Manejo y manipulación:** Disponer medidas de protección para los operadores del producto, prestar atención en el momento de empaquetar y manipular para no producir daños y fugas, debe evitar la producción del polvo para que los operadores no inhalen excesivamente. En el proceso de producción puede generar polvo o humos, por lo tanto, se debe hacer el trabajo relacionado de la protección personal y un plan integral del control de ventilación.
- **Almacenamiento:** el producto es fuertemente estable, generalmente no tiene exigencia estricta sobre la condición del almacenamiento, se puede almacenar según las condiciones normales, mantenga la zona de

- **Exigencia del empaque:** No especificado
- **Clasificación ADR /RID:** No aplicable
- **Clasificación de mercancía peligrosa /IMO:** No aplicable
- **Clasificación de ICAO/IATA:** No aplicable

15. INFORMACIÓN NORMATIVA

- **Frases de Peligrosas Sustancias Químicas de la Unión Europea:**
R20/22 Perjudicial por inhalación e ingestión.
R36/37/38 Irrita los ojos, el sistema respiratorio y la piel.
- **Frases sobre la Seguridad de Sustancias Químicas de Unión Europea:**
S2 Evitar alcance de los niños.
S22 Evitar respirar el polvo.
S25 Evitar el contacto con los ojos.
S46 En caso de ingestión, acuda inmediatamente al médico y muestra la etiqueta o el envase.

16. OTRAS INFORMACIONES

La información anterior fue establecida con base en nuestro conocimiento existente, los diferentes datos e informaciones son referentes. Los usuarios deben determinar su disponibilidad de acuerdo a los requisitos de aplicación, en particular, debe prestar atención al producto cuando se mezcla con otros materiales puede provocar nuevos y diferentes riesgos, y de conformidad con las normas pertinentes, proporciona las medidas necesarias de seguridad para los trabajadores.

Teléfono contacto de emergencia: 021-5785 0.3440

Persona de contacto: Jin Lan

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE

**Nitrato de plata ≥99 %, Ph.Eur., extra puro**

número de artículo: 9370

Versión: 8.1 es

Reemplaza la versión de: 11.06.2025

Versión: (8)

fecha de emisión: 25.10.2018
Revisión: 04.08.2025**SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa****1.1 Identificador de producto**

Identificación de la sustancia	Nitrato de plata ≥99 %, Ph.Eur., extra puro
Número de artículo	9370
Número de registro (REACH)	01-2119513705-43-xxxx
Número de clasificación del anexo VI del CLP	047-001-00-2
Número CE	231-853-9
Número CAS	7761-88-8

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos pertinentes identificados:	Producto químico de laboratorio Uso analítico y de laboratorio
Usos desaconsejados:	No utilizar para inyección o dispersión. No utilizar en productos que son destinados para el contacto directo con la piel. No utilizar para propósitos privados (domésticos). Alimentos, bebidas y piensos.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridadCarl Roth GmbH + Co. KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
AlemaniaTeléfono: +49 (0) 721 - 56 06 0
Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149
e-mail: sicherheit@carlroth.de
Sitio web: www.carlroth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad: Department Health, Safety and Environment

e-mail (persona competente): sicherheit@carlroth.deProveedor (importador): QUIMIVITA PRODUCTS S.L.
Balmaes, 245 6ª planta
08006 Barcelona**1.4 Teléfono de emergencia**

Nombre	Calle	Código postal/ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica (SIT)		28232 Madrid	+34 91 562 0420	https://www.mju.es/id.a.gob.es/es/institucional/organismos/instituto-nacional/servicios/servicio-informacion

1.5 Importador**Ficha de datos de seguridad**

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE

**Nitrato de plata ≥99 %, Ph.Eur., extra puro**

número de artículo: 9370

QUIMIVITA PRODUCTS S.L.
Balmaes, 245 6ª planta
08006 Barcelona
España

Teléfono: +34 932 380 094

Fax: -

e-Mail: quimivita@quimivita.comSitio web: www.quimivita.es**SECCIÓN 2. Identificación de los peligros****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla**

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Sección	Clase de peligro	Categoría	Clase y categoría de peligro	Indicación de peligro
2.14	Sólidos comburentes	2	Ox. Sol. 2	H272
2.16	Corrosivos para los metales	1	Met. Corr. 1	H290
3.2	Corrosión o irritación cutáneas	1B	Skin Corr. 1B	H314
4.1A	Peligroso para el medio ambiente acuático - peligro agudo	1	Aquatic Acute 1	H400
4.1C	Peligroso para el medio ambiente acuático - peligro crónico	1	Aquatic Chronic 1	H410

Véase el texto completo en la SECCIÓN 16

Los principales efectos adversos fisicoquímicos, para la salud humana y para el medio ambiente
Corrosión cutánea produce una lesión irreversible en la piel, esto es, una necrosis visible a través de la epidermis que alcanza la dermis. Tanto el derrame como el agua de extinguido pueden contaminar los cursos de agua.**2.2 Elementos de la etiqueta**

Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Palabra de advertencia Peligro**Pictogramas**GHS03, GHS05,
GHS09**Indicaciones de peligro**H272 Puede agravar un incendio; comburente
H290 Puede ser corrosivo para los metales
H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves
H410 Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos**Consejos de prudencia****Consejos de prudencia - prevención**P273 Evitar su liberación al medio ambiente
P280 Llevar guantes/gafas de protección

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE

**Ioduro de potasio ≥99,5 %, p.a., ISO**

número de artículo: 6750

Versión: 6.0 es

Reemplaza la versión de: 03.03.2024

Versión: (5)

fecha de emisión: 17.09.2015
Revisión: 19.09.2024**SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa****1.1 Identificador de producto**

Identificación de la sustancia	Ioduro de potasio ≥99,5 %, p.a., ISO
Número de artículo	6750
Número de registro (REACH)	01-2119966161-40-xxxx
Número CE	231-659-4
Número CAS	7681-11-0

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos pertinentes identificados:	Producto químico de laboratorio Uso analítico y de laboratorio
Usos desaconsejados:	No utilizar en productos que estarán en contacto directo con alimentos. No utilizar para propósitos privados (domésticos). Alimentos, bebidas y piensos.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridadCarl Roth GmbH + Co. KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
AlemaniaTeléfono: +49 (0) 721 - 56 06 0
Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149
e-mail: sicherheit@carlroth.de
Sitio web: www.carlroth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad: Department Health, Safety and Environment

e-mail (persona competente): sicherheit@carlroth.deProveedor (importador): QUIMIVITA PRODUCTS S.L.
Balmaes, 245 6ª planta
08006 Barcelona
+34 932 380 094
-
quimivita@quimivita.com
www.quimivita.es**1.4 Teléfono de emergencia**

Nombre	Calle	Código postal/ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica (SIT)		28232 Madrid	+34 91 562 0420	http://www.mjusticia.gob.es/es/institucional/organismos/instituto-nacional-servicios/servicio-informacion

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE

**Ioduro de potasio ≥99,5 %, p.a., ISO**

número de artículo: 6750

1.5 ImportadorQUIMIVITA PRODUCTS S.L.
Balmaes, 245 6ª planta
08006 Barcelona
España

Teléfono: +34 932 380 094

Fax: -

e-Mail: quimivita@quimivita.comSitio web: www.quimivita.es**SECCIÓN 2. Identificación de los peligros****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla**

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Sección	Clase de peligro	Categoría	Clase y categoría de peligro	Indicación de peligro
3.9	Toxicidad específica en determinados órganos (exposiciones repetidas)	1	STOT RE 1	H372

Véase el texto completo en la SECCIÓN 1.6

Los principales efectos adversos fisicoquímicos, para la salud humana y para el medio ambiente
Se pueden esperar efectos retardados o inmediatos como consecuencia de una exposición a corto o largo plazo.**2.2 Elementos de la etiqueta**

Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Palabra de advertencia Peligro**Pictogramas**

GHS08

**Indicaciones de peligro**

H372 Provoca daños en los órganos (tiroides) tras exposiciones prolongadas o repetidas (en caso de ingestión)

Consejos de prudencia**Consejos de prudencia - prevención**

P270 No comer, beber ni fumar durante su utilización

Etiquetado de los envases cuyo contenido no excede de 125 mlPalabra de advertencia: **Peligro**

Pictograma(s) de peligro:



H372

Provoca daños en los órganos (tiroides) tras exposiciones prolongadas o repetidas (en caso de ingestión).

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE

**Hidróxido de sodio ≥98 %, p.a., ISO, pellets**

número de artículo: 6771

Versión: 7.1 es

Reemplaza la versión de: 18.09.2024

Versión: (7)

Fecha de emisión: 02.06.2015

Revisión: 09.10.2024

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa**1.1 Identificador de producto**

Identificación de la sustancia	Hidróxido de sodio ≥98 %, p.a., ISO, pellets
Número de artículo	6771
Número de registro (REACH)	01-2119457892-27-xxxx
Número de clasificación del anexo VI del CLP	011-002-00-6
Número CE	215-185-5
Número CAS	1310-73-2

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconejados

Usos pertinentes identificados:	Producto químico de laboratorio Uso analítico y de laboratorio
Usos desaconejados:	No utilizar para inyección o dispersión. No utilizar en productos que son destinados para el contacto directo con la piel. No utilizar para propósitos privados (domésticos). Alimentos, bebidas y piensos.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Carl Roth GmbH + Co. KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
Alemania

Teléfono: +49 (0) 721 - 56 06 0

Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149

e-mail: sicherheit@carlroth.deSitio web: www.carlroth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad: Department Health, Safety and Environment

1.4 Teléfono de emergencia

Nombre	Calle	Código postal/ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica (SIT)		28232 Madrid	+34 91 562 0420	http://www.mjusticia.gob.es/es/institucional/organismos/instituto-nacional-servicios/servicio-informacion

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE

**Hidróxido de sodio ≥98 %, p.a., ISO, pellets**

número de artículo: 6771

1.5 Importador

QUIMIVITA PRODUCTS S.L.
Balmes, 245 6ª planta
08006 Barcelona
España

Teléfono: +34 932 380 094

Fax: -

e-Mail: quimivita@quimivita.comSitio web: www.quimivita.es**SECCIÓN 2. Identificación de los peligros****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla**

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Sección	Clase de peligro	Categoría	Clase y categoría de peligro	Indicación de peligro
2.1.6	Corrosivos para los metales	1	Met. Corr. 1	H290
3.2	Corrosión o irritación cutáneas	1A	Skin Corr. 1A	H314
3.3	Lesiones oculares graves o irritación ocular	1	Eye Dam. 1	H318

Véase el texto completo en la SECCIÓN 15

Los principales efectos adversos fisicoquímicos, para la salud humana y para el medio ambiente

Corrosión cutánea produce una lesión irreversible en la piel, esto es, una necrosis visible a través de la epidermis que alcanza la dermis.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Palabra de advertencia	Peligro
-------------------------------	----------------

Pictogramas

GH505

**Indicaciones de peligro**

H290 Puede ser corrosivo para los metales
H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Consejos de prudencia**Consejos de prudencia - prevención**

P233 Mantener el recipiente herméticamente cerrado
P280 Llevar guantes/gafas de protección

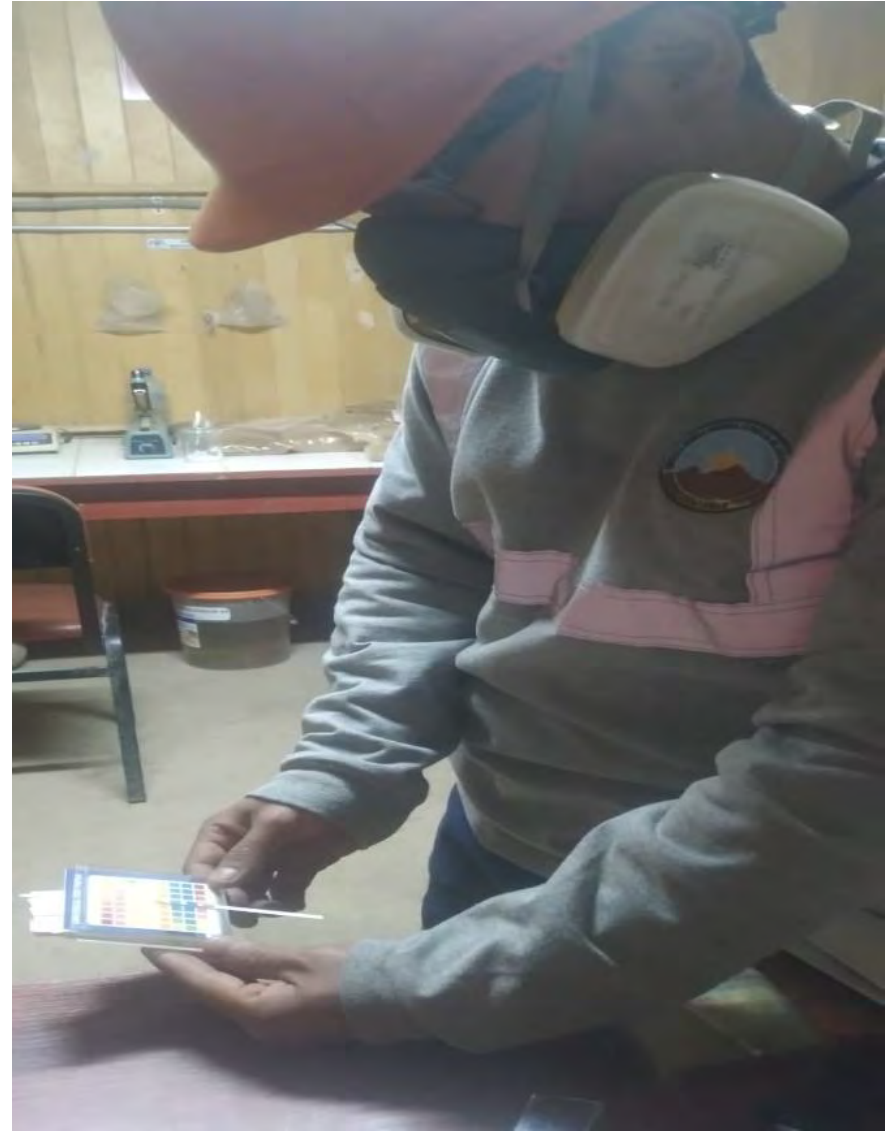
Anexo K: Inicio de las pruebas metalúrgicas



Anexo L: Control de las pruebas metalúrgicas

Nº prueba	Tiempo de lixiviación (h)	Dosificación inicial NaOH (g)	pH inicial	Dosificación inicial Sandioss (g)	Fuerza inicial Sandioss (ppm)
1	24	2.50	11.00	7.82	500
2	24	2.50	11.00	15.63	1000
3	48	2.50	11.00	7.82	500
4	48	2.50	11.00	15.63	1000
5	24	3.00	12.00	7.82	500
6	24	3.00	12.00	15.63	1000
7	48	3.00	12.00	7.82	500
8	48	3.00	12.00	15.63	1000
9	36	2.70	11.50	11.72	750
10	36	2.70	11.50	11.72	750

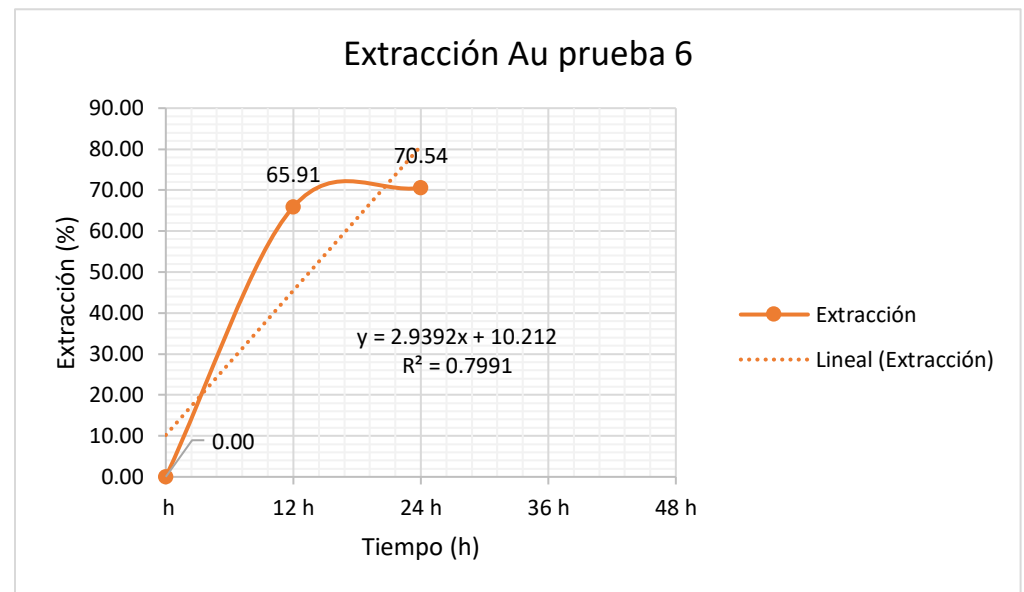
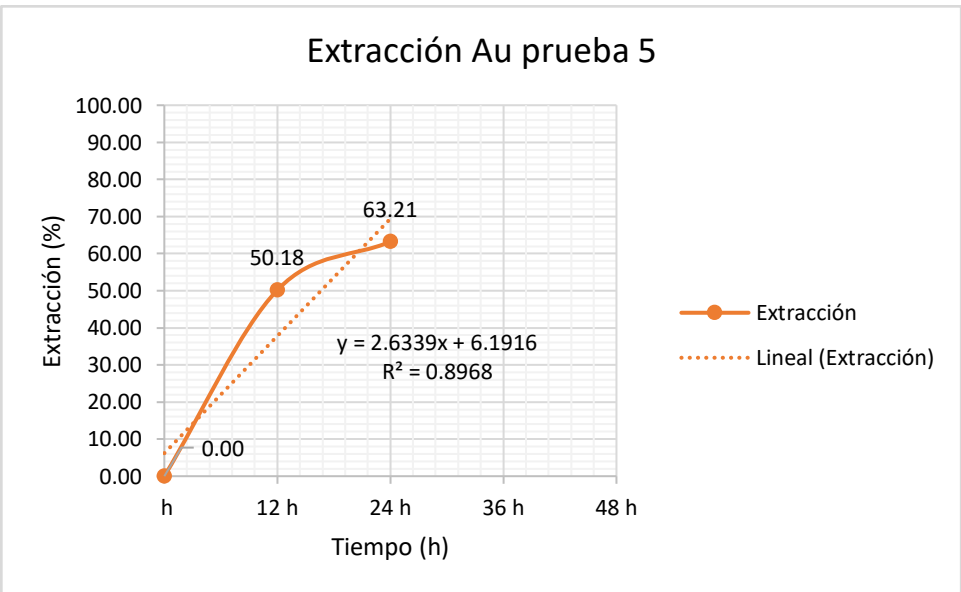
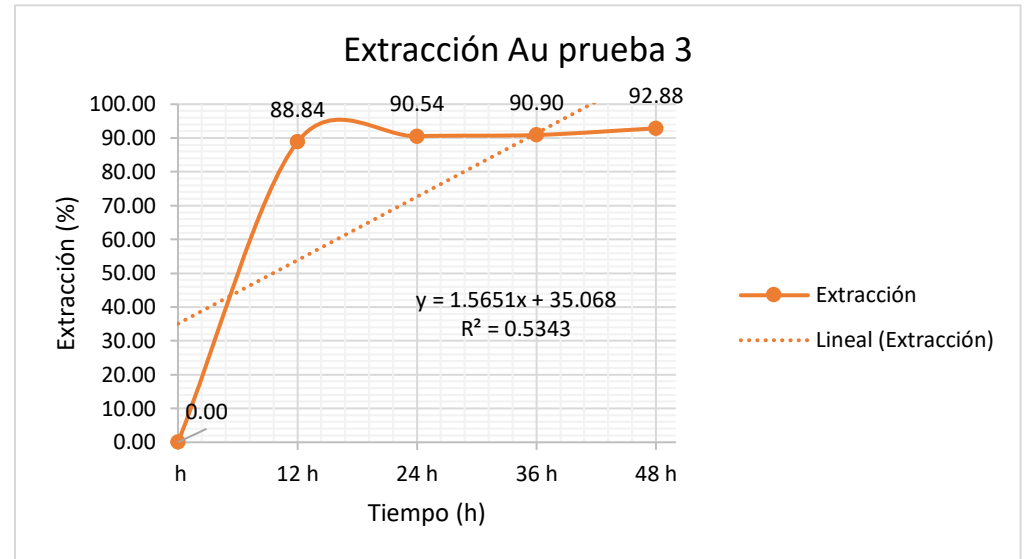
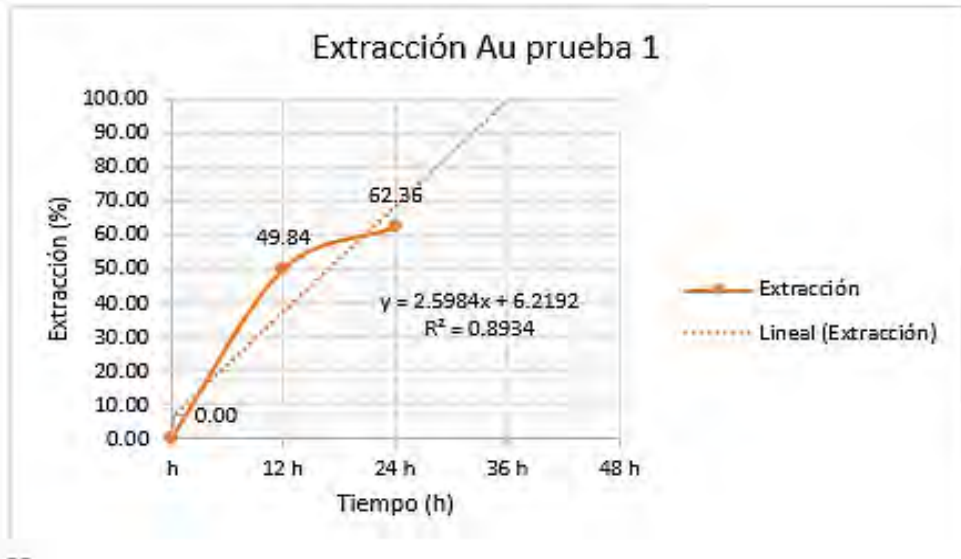
Nº DE PRUEBA	Tiempo de lixiviación (h)	NaOH presente (g)	Reposición NaOH (g)	pH	Gasto de AgNO ₃ (ml)	Sandioss presente (g)	Fuerza de Sandioss(ppm)	Reposición de Sandioss (g)
PRUEBA 1	0	2.50	-	11.00	1.00	7.82	500	-
	12	2.30	0.20	10.12	0.74	5.78	370	2.04
	24	2.40	-	10.56	0.56	4.38	280	-
PRUEBA 2	0	2.50	-	11.00	2.00	15.63	1000	-
	12	2.35	0.15	10.34	1.40	10.94	700	4.69
	24	2.40	-	10.56	0.95	7.42	475	-
PRUEBA 3	0	2.50	-	11.00	1.00	7.82	500	-
	12	2.30	0.20	10.12	0.56	4.38	280	3.45
	24	2.45	0.05	10.78	0.48	3.75	240	4.07
	36	2.45	0.05	10.78	0.40	3.13	200	4.70
	48	2.50	-	11.00	0.30	2.34	150	-
PRUEBA 4	0	2.50	-	11.00	2.00	15.63	1000	-
	12	2.45	0.05	10.78	1.00	7.82	500	7.82
	24	2.40	0.10	10.56	1.10	8.60	550	7.03
	36	2.45	0.05	10.78	1.60	12.50	800	3.13
PRUEBA 5	0	2.45	-	10.78	1.70	13.29	850	-
	0	3.00	-	12.00	1.00	7.82	500	-
	12	2.80	0.20	11.20	0.64	5.00	320	5.32
	24	2.85	-	11.40	0.70	5.47	350	-
PRUEBA 6	0	3.00	-	12.00	2.00	15.63	1000	-
	12	2.75	0.25	11.00	1.30	10.16	650	5.47
	24	2.90	-	11.60	1.40	10.94	700	-
PRUEBA 7	0	3.00	-	12.00	1.00	7.82	500	-
	12	2.70	0.30	10.80	0.60	4.69	300	3.13
	24	2.80	0.20	11.20	0.50	3.91	250	3.92
	36	2.80	0.20	11.20	0.45	3.52	225	4.31
	48	2.90	-	11.60	0.70	5.47	350	-
PRUEBA 8	0	3.00	-	12.00	2.00	15.63	1000	-
	12	2.65	0.35	10.60	0.95	7.42	475	8.21
	24	2.75	0.25	11.00	1.30	10.16	650	5.47
	36	2.90	0.10	11.60	1.60	12.50	800	3.13
	48	2.90	-	11.60	1.95	15.24	975	-
PRUEBA 9	0	2.70	-	11.50	1.50	11.72	750	-
	12	2.50	0.20	10.65	0.90	7.03	450	4.69
	24	2.45	0.25	10.44	1.06	8.28	530	3.44
	36	2.65	-	11.29	1.40	10.94	700	-
PRUEBA 10	0	2.70	-	11.50	1.50	11.72	750	-
	12	2.60	0.10	11.07	0.84	6.56	420	5.16
	24	2.55	0.15	10.86	1.10	8.60	550	3.13
	36	2.70	-	11.50	1.36	10.63	680	-
Condiciones Estándar					Reactor de agitación			
Mineral	1013.06 g con humedad				RPM	85		
Agua	2500 mililitros				Capacidad	4 L		
Granulometría	90 % malla -200				Vatios	7 watts		

Anexo M: Determinación de granulometría y control de pH

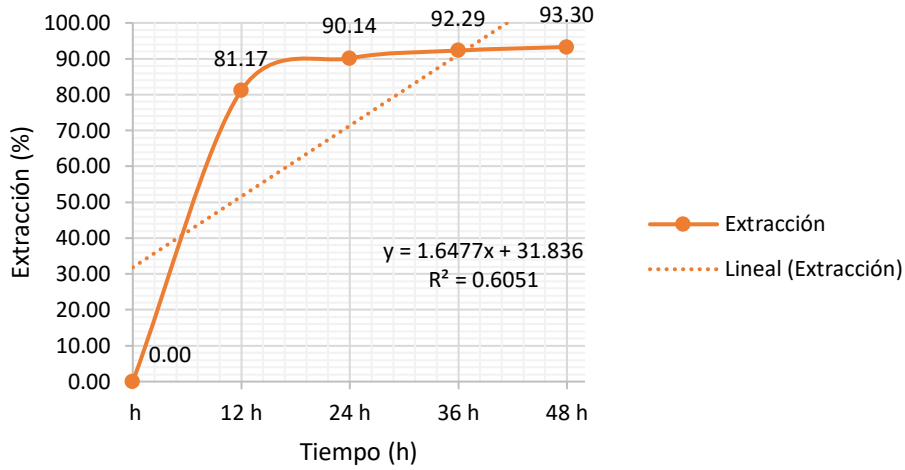
Anexo N: Titulación y obtención de testigos



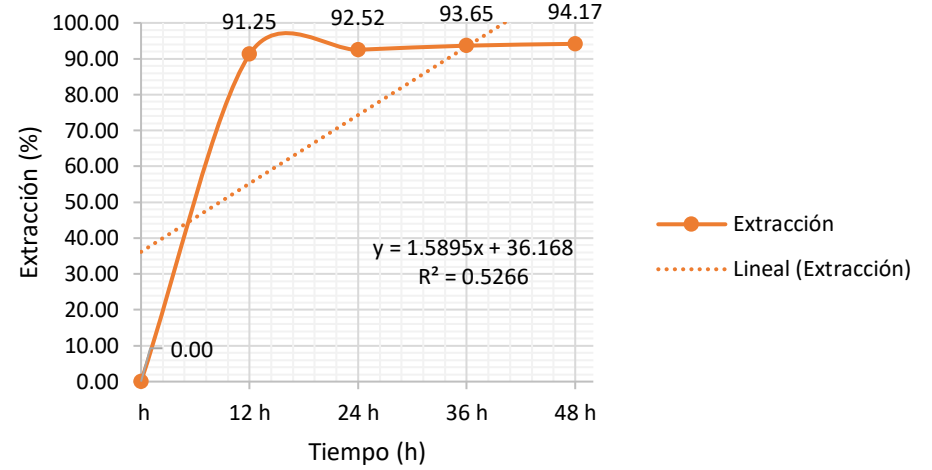
Anexo O: Graficas de cinética de las pruebas 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9 y 10



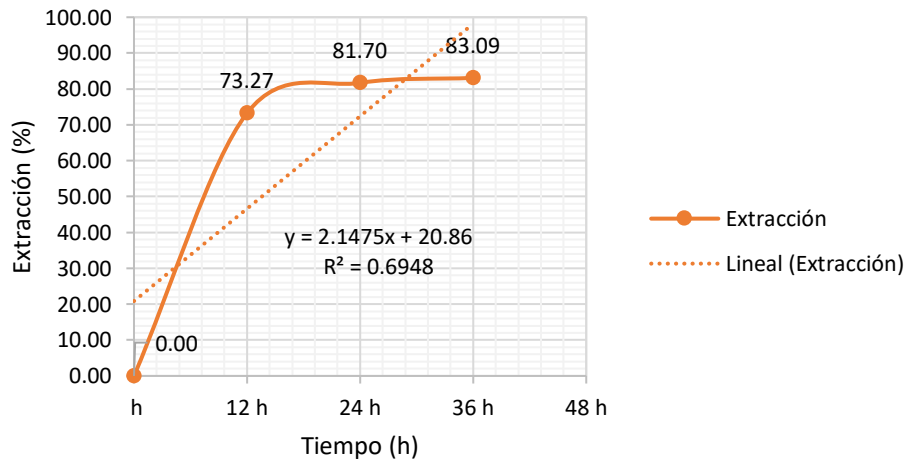
Extracción Au prueba 7



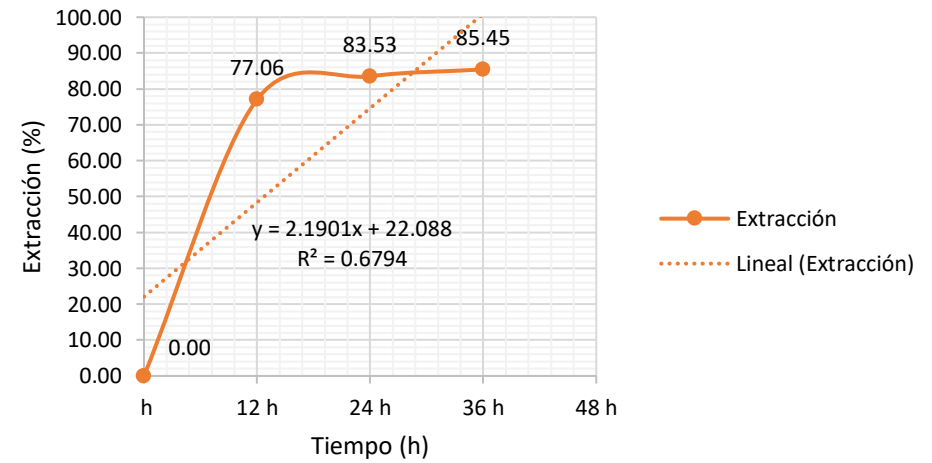
Extracción Au prueba 8



Extracción Au prueba 9



Extracción Au prueba 10



Anexo P: Constancia de pruebas metalúrgicas

CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.
 APIPA Sector IX Mz. H Lote 4 Yura Arequipa
 RUC: 20455230714



CONSTANCIA DE PRUEBAS METALÚRGICAS

De : Ing. Miguel Zegarra Medina
 Gerente de Operaciones
 CEPROMET - Minera Porvenir S.A.C.
 Para : Br. Bruno Mebert Bocangel Camara
 Br. Edhi Daniel Durand Monrroy
 Fecha : 28 de noviembre del 2025

Mediante el presente documento, se hace constar que los Bachilleres Bruno Mebert Bocangel Camara, con DNI N° 74933228 y Edhi Daniel Durand Monrroy, con DNI N° 77033580, llevaron a cabo con éxito una serie de pruebas experimentales en los laboratorios de CEPROMET - Minera Porvenir S.A.C., en el periodo comprendido entre el 25/06/2024 y el 05/07/2024.

Las pruebas realizadas estuvieron enfocadas en la "Extracción de oro mediante lixiviación por agitación con el reactivo Sandioss" y consistieron en las siguientes actividades:

- Preparación Mecánica de Muestras.
- Caracterización del Mineral.
- Procesos de Lixiviación.
- Monitoreo y Análisis.
- Análisis de Resultados.

Esta constancia se expide a solicitud de los interesados para los fines que estimen por convenientes.

Atentamente,

MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Gerente de Operaciones
 CEP N° 231530

Ing. Miguel Zegarra Medina
 Gerente de Operaciones
 CEPROMET - Minera Porvenir S.A.C.
 Teléfono: 957802527