

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

**EVALUACIÓN DE VARIABLES EN LA EXTRACCIÓN DE ORO CON GOLD
MAX POR AGITACIÓN DE LOS MINERALES AURÍFEROS DEL
YACIMIENTO CHAPIÑA-COLQUEMARCA-CHUMBIVILCAS-CUSCO
(Investigación Tecnológica 2023 - 2024)**

PRESENTADO POR:

Br. GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI

Br. TAYLOR KID VIZARRETA CORREA

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

ASESOR:

ING. EDUARDO MARCELO QUISPE NINA

**CUSCO – PERÚ
2025**

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN DE VARIABLES EN LA EXTRACCIÓN DE ORO CON GOLD MAX POR AGITACIÓN DE LOS MINERALES AURÍFEROS DEL YACIMIENTO CHAPIÑA - COLBUENARCA - CHUMBIVILCAS - CUSCO
(Investigación Tecnológica 2023-2024)

presentado por: QUIRO HILARIO MOLINA HUDYKANI con DNI Nro.: 74320726 presentado por: TAYLOR KID VIZARRETA CORREA con DNI Nro.: 73532710 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO METALÚRGICO

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

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

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

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 29 de mayo de 2025



Firma

Post firma Eduardo Marcelo Quispe Nina

Nro. de DNI 23957149

ORCID del Asesor 0000-0002-4473-1580

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:463051427

GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI TAYLOR KI... EVALUACIÓN DE VARIABLES EN LA EXTRACCIÓN DE ORO CON GOLD MAX POR AGITACIÓN DE LOS MINERALES AURÍF...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:463051427

153 Páginas

Fecha de entrega

29 may 2025, 10:20 a.m. GMT-5

30.184 Palabras

159.960 Caracteres

Fecha de descarga

29 may 2025, 10:34 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

Guimo Hilario Molina Huayllani-Taylor Kid Vizarreta Correa.pdf

Tamaño de archivo

3.9 MB

8% Overall Similarity

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

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 25 words)

Top Sources

- 8%  Internet sources
- 2%  Publications
- 4%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Hidden Text**
12 suspect characters on 2 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

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

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

PRESENTACIÓN

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

Señores integrantes de la Comisión Evaluadora.

De acuerdo al reglamento de Grados y Títulos vigentes para optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, ponemos a vuestra disposición la tesis colectiva intitulada:

**EVALUACIÓN DE VARIABLES EN LA EXTRACCIÓN DE ORO CON GOLD MAX
POR AGITACIÓN DE LOS MINERALES AURÍFEROS DEL YACIMIENTO
CHAPIÑA-COLQUEMARCA-CHUMBIVILCAS-CUSCO**

El presente trabajo de investigación da a conocer los conocimientos teóricos y prácticos en el campo de procesamiento de minerales auríferos a nivel de laboratorio. Principalmente, en este trabajo se realizó una evaluación de las variables más incidentes que influyen en el proceso de lixiviación por agitación para la extracción del oro con Gold Max a partir de los minerales auríferos del yacimiento Chapiña y con ello contribuir al mejor aprovechamiento de los minerales extraídos del yacimiento en estudio.

Bach. Vizarreta Correa, Taylor Kid

Bach. Molina Huayllani, Guimo Hilario

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por guiarme y protegerme, por bendecirme con salud y trabajo, por haber estado conmigo en los momentos malos y buenos dándome fortalezas para lograr mis objetivos.

A mis padres **GABINO** y **VALENTINA**, por su apoyo constante durante todo el proceso de mis estudios, por inculcarme siempre a practicar los buenos valores.

A mis hermanos y familiares quienes siempre mostraron su apoyo moral, en diferentes circunstancias y dándome consejos para lograr mis objetivos personales y profesionales.

A mis docentes quienes compartieron sus conocimientos y experiencias, por su apoyo

Molina Huayllani, Guimo Hilario

Agradecer Dios por encaminarme en el camino del bien, por darme fuerzas y fortalecerme en cada paso que doy por el camino de la vida, otorgándome salud, trabajo y bienestar.

A mis Hermanas **YESICA** y **KELY** quienes me demostraron su apoyo incondicional en los momentos buenos y malos, motivándome a seguir adelante.

A mis padres **PAUL** y **JULIANA** autores de mi existencia, quienes con amor y cariño han sabido forjarme con valores que hoy poseo, por alentarme a cumplir las metas que me propongo.

A mis familiares, amistades, quienes me apoyaron de una forma desinteresada compartiendo experiencias y conocimientos a quienes siempre les estaré eternamente agradecido.

Vizarreta Correa, Taylor Kid

RESUMEN

El proceso de lixiviación por agitación con el reactivo Gold Max, es un método que permite la extracción del oro que se encuentra como partículas finas y/o ultrafinas en los minerales. En la actualidad los mineros del yacimiento Chapiña aún desconocen la tecnología para extracción de oro con reactivos amigables para el medio ambiente y sus variables operacionales del proceso. Es por esta razón que, el trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar las variables en la extracción de oro con Gold Max por agitación de los minerales del yacimiento Chapiña. El estudio experimental se realizó con una muestra representativa de 62 kg mineral del yacimiento Chapiña, esta muestra se sometió a una preparación mecánica hasta obtener una granulometría de 80% - 200 malla. Para el desarrollo de las pruebas experimentales se hizo uso de un diseño experimental del tipo factorial 2^3 con 8 pruebas experimentales y 2 réplicas en el punto central. Las pruebas de lixiviación por agitación se desarrollaron a nivel de laboratorio tomando en cuenta las siguientes variables; concentración del reactivo Gold Max (0.04-0.08%), el porcentaje de sólidos (25-30%) y el tiempo de lixiviación (24-36 horas), además se consideró un pH estándar de 11.5. mediante la interacción de las variables independientes con los siguientes parámetros operativos; 0.08% de concentración de Gold Max, 30 % de sólidos y con tiempo de 36 horas de lixiviación se logró un 96.244% de extracción para el oro. Las pruebas experimentales se realizaron en el laboratorio metalúrgico de la UNSAAC.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que al evaluar la concentración Gold Max, el porcentaje de sólidos en pulpa y el tiempo de lixiviación se logró una extracción por encima del 90%, obteniéndose un 96.244% de extracción. con ello podemos afirmar que el Gold Max es una alternativa para el tratamiento de los minerales del yacimiento en estudio.

Palabras Claves: Extracción, Lixiviación, Gold Max, Oro, Colquemarca.

ABSTRACT

The agitation leaching process with the Gold Max reagent is a method that allows the extraction of gold found as fine and/or ultrafine particles in minerals. Currently, miners at the Chapiña deposit are still unaware of the technology for extracting gold with environmentally friendly reagents and its operational process variables. For this reason, the research work aims to evaluate the variables in the extraction of gold with Gold Max by agitation of the minerals of the Chapiña deposit. The experimental study was carried out with a representative sample of 62 kg of mineral from the Chapiña deposit. This sample was subjected to mechanical preparation until obtaining a granulometry of 8 Z0% - 200 mesh. For the development of the experimental tests, a 23-factorial experimental design was used with 8 experimental tests and 2 replicates at the central point. The agitation leaching tests were developed at the laboratory level taking into account the following variables: Gold Max reagent concentration (0.04-0.08%), solids percentage (25-30%), and leaching time (24-36 hours) were also considered. A standard pH of 11.5 was also considered. Through the interaction of the independent variables with the following operating parameters: 0.08% Gold Max concentration, 30% solids, and a 36-hour leaching time, a gold extraction rate of 96.244% was achieved. The experimental tests were conducted in the UNSAAC metallurgical laboratory.

Based on the results obtained, it is concluded that by evaluating the Gold Max concentration, the percentage of solids in the pulp, and the leaching time, an extraction rate above 90% was achieved, obtaining a 96.244% extraction rate. Thus, we can affirm that Gold Max is an alternative for the treatment of minerals in the deposit under study.

Keywords: Extraction, Leaching, Gold Max, Gold, Colquemarca.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xix
INTRODUCCIÓN	xxi

CAPÍTULO I

Planteamiento del Problema	1
1.1 Situación problemática	1
1.2 Formulación de Problema.....	2
1.2.1 Problema General.....	2
1.2.2 Problemas Específicos.....	2
1.3 Justificación	2
1.3.1 Conveniencia.....	2
1.3.2 Relevancia Social	3
1.3.3 Relevancia Tecnológica	3
1.3.4 Valor Teórico	3
1.3.5 Utilidad Metodológica.....	4

	viii
1.4	Objetivos.....5
1.4.1	Objetivo General5
1.4.2	Objetivos Específicos5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.....	6
2.1	Antecedentes.....6
2.1.1	Antecedentes Locales.....6
2.1.2	Antecedentes Nacionales.....7
2.1.3	Antecedentes Internacionales8
2.2	Bases Teóricas10
2.2.1	El Oro.....10
2.2.2	Propiedades Químicas del Oro.....10
2.2.3	Ocurrencia del Oro11
2.2.4	Minerales Auríferos.....12
2.2.5	Yacimientos Auríferos13
2.2.6	Tecnologías Para la Extracción y Recuperación de Au13
2.2.7	Agentes Alternativos en la Extracción de Oro14
2.2.8	Selección del Proceso de Extracción de Oro.....15
2.3	Principios en la Hidrometalurgia del Oro.....18
2.3.1	Termodinámica en la Hidrometalurgia de Oro21
2.4	Cinética de las Reacciones en los Procesos hidrometalúrgicos28

2.4.1	Reacciones Heterogenias.....	29
2.4.2	Etapas de Una Reacción heterogenia	30
2.4.3	Energía de activación	33
2.4.4	Cinética de las Reacciones Heterogenias	35
2.4.5	Cinética de Lixiviación en los Procesos de Extracción de Oro.....	37
2.5	Extracción de Oro por Lixiviación	41
2.5.1	Lixiviación	43
2.6	Métodos de lixiviación	43
2.6.1	Método de Lixiviación por Agitación	43
2.6.2	Efecto de Variables en la Lixiviación por Agitación	45
2.7	Lixiviación con el Reactivo Gold Max como Agente Lixivante.....	48
2.7.1	Historia.....	48
2.7.2	Gold Max	48
2.7.3	Funcionamiento del Gold Max.....	49
2.7.4	Ventajas de Gold Max.....	50
2.7.5	Características de Gold Max	50

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	52
3.1 Hipótesis	52
3.1.1 Hipótesis General	52
3.1.2 Hipótesis Específicas.....	52

3.2	Variables.....	x	52
3.2.1	Variables Independientes (X_i).....		52
3.2.2	Variable Dependiente (Y_i).....		53
3.2.3	Variables Intervinientes.....		53
3.3	Operacionalización de Variables		54

CAPÍTULO

IV

	METODOLOGÍA.....		55
4.1	Ámbito de estudio: Localización Política y Geográfica.....		55
4.1.1	Ubicación del Yacimiento Chapiña.....		55
4.1.2	Ubicación del Laboratorio de Procesamiento de Minerales de la UNSAAC.....		56
4.2	Diseño de la investigación.....		57
4.2.1	Enfoque de la Investigación		57
4.2.2	Nivel de la Investigación.....		57
4.2.3	Diseño Experimental de la Investigación.....		57
4.3	Población y Muestra de Estudio.....		58
4.3.1	Población.....		58
4.3.2	Muestra.....		58
4.4	Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos.....		58
4.5	Materiales, Equipos, Reactivos		59
4.5.1	Materiales		59
4.5.2	Equipos.....		60

	xi
4.5.3	Reactivos60
4.6	Validez y Confiabilidad de Instrumentos.61
4.7	Técnicas de Procesamiento de Datos y Plan de Análisis de Datos61
4.8	Metodología Seleccionada y Aplicada al Proyecto de Investigación61

CAPÍTULO V

DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	63
5.1	Descripción de la Preparación Mecánica del Mineral63
5.2	Característica Mineralógica64
5.3	Determinación de la cinética de molienda.....64
5.4	Determinación de la Gravedad específica65
5.5	Preparación y Caracterización de pulpa de mineral66
5.6	Cálculo de Consumo de Cal y su Reposición en el Proceso70
5.7	Cálculo de Gold Max y su Reposición en el proceso.....71
5.8	Descripción del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max71
5.9	Pruebas de Lixiviación por Agitación con Gold Max72
5.9.1	Prueba N° 1 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max.....73
5.9.2	Prueba N° 2 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max.....74
5.9.3	Prueba N° 3 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max.....75
5.9.4	Prueba N° 4 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max.....76
5.9.5	Prueba N° 5 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max.....77
5.9.6	Prueba N° 6 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max.....78

	xii
5.9.7 Prueba N° 7 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max.....	79
5.9.8 Prueba N° 8 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max.....	80
5.9.9 Prueba N° 9 del proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max (punto central)	81
5.9.10 Prueba N° 10 del proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max (punto central)	82

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	84
6.1 Resultado del Análisis Químico de las Soluciones PLS.....	84
6.2 Balance Metalúrgico de las Pruebas de Lixiviación Au por Agitación.....	84
6.2.1 Balance metalúrgico de la prueba N° 1.....	84
6.2.2 Balance metalúrgico de la prueba N° 2.....	85
6.2.3 Balance metalúrgico de la prueba N° 3.....	86
6.2.4 Balance metalúrgico de la prueba N° 4.....	87
6.2.5 Balance metalúrgico de la prueba N° 5.....	87
6.2.6 Balance metalúrgico de la prueba N° 6.....	88
6.2.7 Balance metalúrgico de la prueba N° 7.....	89

6.2.8	Balance metalúrgico de la prueba N° 8.....	89
6.2.9	Balance metalúrgico de la prueba N° 9 (punto central)	90
6.2.10	Balance metalúrgico de la prueba N° 10 (punto central)	91
6.3	Resumen de Porcentaje de Extracción del Oro en Cada una de las Pruebas.....	92
6.4	Análisis del Diseño experimental de las Pruebas experimentales de Lixiviación por agitación con Gold Max	92
6.4.1	Coeficientes Codificados y Análisis de la varianza	95
6.4.2	Nuevo Análisis de Resultados Previo a una Corrección en el Modelo.....	97
6.4.3	Coeficientes Codificados.....	97
6.4.4	Análisis de Varianza.....	97
6.4.5	Modelo de Correlación Para la Optimización del Proceso.....	99
6.4.6	Diagrama de Pareto	100
6.4.7	Gráfica normal de efectos estandarizados	101
6.4.8	Gráfica de efectos principales para el % de extracción.....	102
6.4.9	Gráfica de dispersión.....	103
6.4.10	Gráfica de interacción	104
6.4.11	Gráfica de contornos	105
6.4.12	Superficies de respuesta	106
6.4.13	Optimización de porcentaje de extracción.	106
6.4.14	Análisis de la hipótesis	107

6.5	Discusión de resultados	108
	CONCLUSIONES	111
	RECOMENDACIONES.....	112
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
	ANEXOS.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades químicas del oro.....	10
Tabla 2 Minerales auríferos que se encuentran en la naturaleza.....	12
Tabla 3 Componentes del reactivo Gold Max	51
Tabla 4 Propiedades físicas y químicas del reactivo Gold Max	51
Tabla 5 Niveles de las variables independientes.....	53
Tabla 6 Operacionalización de variables.....	54
Tabla 7 Cinética de molienda	64
Tabla 8 Gravedad específica del mineral.....	66
Tabla 9 Cálculo de proporciones de agua y mineral para una pulpa al 25 % de sólidos.....	68
Tabla 10 Cálculo de proporciones de agua y mineral para una pulpa al 30 % de sólidos.....	69
Tabla 11 Cálculo de proporciones de agua y mineral para una pulpa al 27.5 % de sólidos.....	70
Tabla 12 Diseño experimental para el desarrollo de las pruebas.....	72
Tabla 13 Diseño experimental con valores en escala natural y replicas centrales.....	73
Tabla 14 Control del proceso prueba N° 1.....	74
Tabla 15 Control del proceso prueba N° 2.....	75
Tabla 16 Control del proceso prueba N° 3.....	76
Tabla 17 Control del proceso prueba N° 4.....	77
Tabla 18 Control del proceso prueba N°5.....	78
Tabla 19 Control del proceso prueba N° 6.....	79
Tabla 20 Control del proceso prueba N° 7.....	80
Tabla 21 Control del proceso prueba N° 8.....	81
Tabla 22 Control del proceso prueba N° 9.....	82
Tabla 23 Control del proceso prueba N° 10.....	83
Tabla 24 Análisis químico de soluciones PLS	84

Tabla 25 Balance metalúrgico prueba N° 1	85
Tabla 26 Balance metalúrgico prueba N° 2	86
Tabla 27 Balance metalúrgico prueba N° 3	86
Tabla 28 Balance metalúrgico prueba N° 4	87
Tabla 29 Balance metalúrgico prueba N° 5	88
Tabla 30 Balance metalúrgico prueba N° 6	88
Tabla 31 Balance metalúrgico prueba N° 7	89
Tabla 32 Balance metalúrgico prueba N° 8	90
Tabla 33 Balance metalúrgico prueba N° 9	90
Tabla 34 Balance metalúrgico prueba N° 10	91
Tabla 35 Porcentajes de extracción para las pruebas experimentales realizadas	92
Tabla 36 Valores mínimos y máximos de las variables independientes	93
Tabla 37 Diseño factorial en la escalada codificada, natural y el % de extracción	93
Tabla 38 Coeficientes codificados	95
Tabla 39 Análisis de la varianza.....	95
Tabla 40 Resumen del modelo.....	96
Tabla 41 Coeficientes Codificados	97
Tabla 42 Análisis de varianza ajustada	97
Tabla 43 Resumen del modelo ajustado en función a S y R	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Factores que afectan el proceso de selección...	16
Figura 2 Química de la reacción de oro...	20
Figura 3 Diagrama de equilibrio potencial – pH para el sistema Au – H ₂ O a 25°C	25
Figura 4 Esquema de un diagrama de potencial – pH para un sistema metal – agua a 25°C	26
Figura 5 Rangos indicadores en el diagrama ampliado en los procesos de extracción de oro...	27
Figura 6 Representación gráfica de las reacciones heterogenias...	29
Figura 7 Mecanismo de conversión de las reacciones heterogenias	30
Figura 8 Representación grafica de los modelos cinéticos.....	31
Figura 9 Etapas de un modelo SCM.....	32
Figura 10 Etapas de un modelo PCM.....	33
Figura 11 Energía necesaria para la activación del estado inicial en una reacción	34
Figura 12 Efecto de la energía de activación en la velocidad de reacción	35
Figura 13 Representación esquemática de las etapas de una reacción química heterogenia	35
Figura 14 Modelo de núcleo decreciente	38
Figura 15 cinética de extracción de oro con el reactivo Gold Max	41
Figura 16 Equipos de lixiviación por agitación	44
Figura 17 Ubicación de las labores mineras del yacimiento Chapiña	55
Figura 18 Ubicación en mapa del yacimiento minero Chapiña - Colquemarca	56
Figura 19 Diagrama de flujo del procedimiento experimental	62
Figura 20 Cinética de molienda.....	65
Figura 21 Representación del reactor para las pruebas de lixiviación por agitación.....	67
Figura 22 Porcentaje de extracción para cada prueba experimental.....	94
Figura 23 Diagrama de Pareto para efectos estandarizados.....	100
Figura 24 Grafica normal de efectos estandarizados	101

Figura 25 Gráfica de efectos principales para % de extracción	102
Figura 26 Grafica de dispersión del % de extracción	103
Figura 27 Grafica de interacción para el porcentaje extracción	104
Figura 28 Grafica de contornos para él % extracción en función al Tiempo, concentración	105
Figura 29 Gráfica de superficie para el porcentaje de extracción	106
Figura 30 Grafica de la optimización	107
Figura 31 Mineral extraído de las labores del yacimiento chapiña	118
Figura 32 Chancado de mineral.....	118
Figura 33 Pesado de mineral para la etapa de molienda	119
Figura 34 Molienda de mineral	119
Figura 35 Control de granulometría del mineral para determinar la cinética de molienda	120
Figura 36 Mineral producto de la etapa de molienda 65% -200M.....	120
Figura 37 Determinación de la gravedad especifica del mineral.....	121
Figura 38 Mineral, reactivo y cal antes del proceso.....	121
Figura 39 Lixiviación con Gold Max.....	122
Figura 40 Sedimentación para la toma de muestra (solución PLS)	122
Figura 41 Muestra de solución PLS para análisis químico.....	123

LISTA DE ABREVIATURAS

CCC	Cúbica centrada en el cuerpo
Coef	Coeficiente
E°	Potencial de reducción estándar
E_a	Energía de activación
EE del coef	Error estándar del coeficiente
F	Constante de Faraday
FIV	Factor de inflación de la varianza
G.E.	Gravedad específica
g/cm³	Gramos por centímetro cúbico.
GL	Grado de libertad
gpt	Gramos por tonelada.
h	Hora.
H_A	Hipótesis Alternativa
H₀	Hipótesis nula
K	Grados Kelvin.
kg/TM	Kilogramos por tonelada métrica.
MC ajus	Suma de cuadrados medios ajustado
n	Orden de la reacción
PLS	Solución rica en lixiviación
Pm	Picómetros
ppm:	Partes por millón
R	Constante universal de los gases

R-Cuad.	Coeficiente de determinación
S	Desviación estándar
SC ajust	Suma de cuadrados ajustados
u	Micrónes.
U	Unidades de masa atómica
V	Voltios
Valor P	Probabilidad que mide la evidencia en contra la hipótesis nula
Valor T	Medida de la relación entre el coeficiente y su error estándar
X1	Concentración de reactivos Gold Max
X2	Porcentaje de sólidos
X3	Tiempo de lixiviación
%E	Porcentaje de extracción.
ρ_{pulpa}	Densidad de pulpa

INTRODUCCIÓN

Entre los métodos convencionales para la extracción y recuperación de oro a partir de los minerales se tiene la gravimetría, amalgamación, lixiviación, flotación, etc. La elección del método de extracción está en función de la mineralogía y el tamaño de oro. La lixiviación por agitación es uno de los métodos más usados para la extracción de oro ultrafino, dicho proceso utiliza productos regulados que causan daño al medio ambiente y a la salud de las personas. Por esta razón, resulta imperativo implementar procesos de extracción alternativos que incorporen tecnologías sostenibles, con el fin de reducir los impactos negativos y facilitar una comprensión más precisa de las características mineralógicas.

La investigación propone el proceso de lixiviación por agitación para el tratamiento de los minerales auríferos del yacimiento chapiña empleando el agente lixivante Gold Max. El objetivo principal es evaluar la concentración de Gold Max, el porcentaje de sólidos en pulpa y el tiempo de lixiviación en la extracción de oro con Gold Max por agitación de los minerales auríferos del yacimiento Chapiña. Es importante enfatizar que esta investigación se orienta al uso del reactivo Gold Max y sus variables operacionales para el tratamiento de los minerales del yacimiento en mención. La implementación podría convertirse en una alternativa valiosa para los mineros artesanos que trabajan actualmente en el yacimiento Chapiña.

A pesar de los esfuerzos realizados, esta investigación enfrentó desafíos importantes. Uno de los principales fue la falta de laboratorios especializados cercanos para realizar los análisis químicos, mineralógicos y metalúrgicos. Esto llevó a tomar la decisión de enviar las muestras como las soluciones PLS, mineral a la ciudad de Arequipa, donde se realizaron los respectivos análisis en los laboratorios especializados. La segunda dificultad que se tuvo fue el acceso limitado

a la población de mineral en el yacimiento Chapiña, lo cual hizo que se realice un muestreo no probabilístico por conveniencia.

La estructura de la investigación es la siguiente: En el Capítulo I se presenta la realidad problemática, la formulación del problema, los objetivos y la justificación de la investigación. El Capítulo II expone los antecedentes a nivel internacional, nacional y local. Asimismo, se desarrollan los fundamentos teóricos y conceptos relacionados con la extracción por lixiviación en un sistema agitado, así como los factores que influyen en dicho proceso. Además, se aborda la parte correspondiente a la termodinámica y la cinética en los procesos hidrometalúrgicos.

En el Capítulo III se formulan las hipótesis vinculadas a los objetivos del estudio. Se definen las variables dependientes (porcentaje de extracción), las variables independientes (porcentaje de sólidos en pulpa, concentración del reactivo Gold Max y tiempo de proceso), y las variables intervinientes consideradas en el proceso de lixiviación por agitación.

El Capítulo IV describe la metodología empleada. La investigación tiene un enfoque cuantitativo, es de carácter experimental a un nivel de investigación explicativo. Para la recolección de datos se realizaron observaciones de campo con el objetivo de identificar el tipo de estructura mineralizada, y se tomaron muestras representativas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Las pruebas experimentales se ejecutaron a nivel de laboratorio con un diseño experimental 2^k , para ello se utilizó los equipos e instrumentos del área de procesamiento de minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNSAAC, con el fin de caracterizar el mineral y determinar el porcentaje de extracción. La recolección de datos incluyó observación directa, uso de instrumentos de medición y análisis químico, los cuales fueron sometidos a tratamiento estadístico.

El Capítulo V está dedicado al desarrollo experimental, en el cual se detalla la preparación mecánica del mineral, la determinación de las condiciones operativas para cada prueba realizada y los resultados obtenidos, junto con sus respectivos balances metalúrgicos. El Capítulo VI aborda la discusión y análisis de los resultados, incluyendo la comparación con los antecedentes y autores citados en el marco teórico. Asimismo, se realizó el análisis estadístico de los datos utilizando el software Minitab, determinándose la significancia, los efectos de las variables y sus respectivas interacciones de segundo y tercer orden, con el propósito de obtener un modelo estadístico confiable.

CAPITULO I

Planteamiento del Problema

1.1 Situación problemática

El desarrollo de la minería es muy importante para el crecimiento de la economía peruana. “Según el Boletín Estadístico Minero, entre 2015 y diciembre del 2024, el sector aportó al país más de S/56,904 millones por concepto de canon, regalías y derechos de vigencia. Solo en el 2024, la minería contribuyó a la recaudación fiscal con S/8,070 millones, un monto importante para las arcas públicas” (AngloAmerican, 2025). Parte de dichos aportes corresponden a la producción de concentrados y elementos metálicos a partir de los minerales. “Dentro de la producción de elemento metálicos, la mayor producción nacional de oro en el mes de setiembre del 2023 fue de 8 908 043 gramos de oro fino” (MINEM, 2023, pág. 8), dentro de ello, “la producción en la región de Cusco fue de “524974 gramos de oro fino” (MINEM, 2023, pág. 8).

En la actualidad, en el distrito de Colquemarca, se ha incrementado la extracción y comercialización de minerales auríferos, “teniendo una producción mensual de 200 a 300 TM” (CCOLQUEMIN, 2023). Mineralógicamente, los minerales auríferos del yacimiento Chapiña se clasifican como sulfurados mixtos, con una marcada presencia de pirita como fase principal portadora de oro. El oro contenido se encuentra en forma ultrafina, mayormente encapsulado o asociado a las fases sulfuradas, además desde un enfoque geometalúrgico, la ausencia de caracterización detallada de las asociaciones mineralógicas y de estudios sobre la liberación del oro representa un reto importante para la recuperación del oro mediante técnicas convencionales. Por otra los mineros artesanos aún desconocen la tecnología para la extracción de oro con reactivos ecológicos y sus variables operacionales del proceso, sumado a ello que aún no existe una planta para el tratamiento metalúrgico de estos minerales, por lo que recurren a comercializar mineral en

bruto a las empresas acopiadoras de Nazca, Arequipa y otros, generando gastos en flete, maquila y con ello obtienen una baja rentabilidad.

A la luz de esta brecha de conocimiento para extraer oro a partir de los minerales del yacimiento de Chapiña, En esta investigación se realizó una evaluación de variables en la extracción de Oro con Gold Max por agitación a partir de los minerales auríferos del yacimiento Chapiña.

1.2 Formulación de Problema

1.2.1 Problema General

¿Será posible evaluar las variables en la extracción de oro con Gold Max por agitación de los minerales auríferos del yacimiento Chapiña, para lograr un alto porcentaje de extracción?

1.2.2 Problemas Específicos

PE 1: ¿Cuál será la concentración adecuada del reactivo Gold Max para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña?

PE 2: ¿Cuál será el porcentaje de sólidos adecuado en la pulpa para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña?

PE 3: ¿Cuál será el tiempo de lixiviación para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña?

1.3 Justificación

1.3.1 Conveniencia

Existen diversos motivos importantes para que se haya realizado esta investigación, pero principalmente se da a conocer el mejor aprovechamiento de los recursos minerales extraídos del yacimiento Chapiña. Mediante el procesamiento de estos minerales (lixiviación) se alcanza un

determinado porcentaje de extracción del oro, y con ello se da un valor agregado utilizando un reactivo amigable con el medio ambiente.

1.3.2 Relevancia Social

En el distrito de Colquemarca, la mayoría de la población enfrenta condiciones de vida limitadas. La posible instalación de una planta metalúrgica dedicada a la extracción de oro representa una oportunidad significativa para la generación de empleo, lo que permitiría dinamizar la economía local. Este desarrollo productivo podría contribuir de manera importante a mejorar la calidad de vida de los habitantes, promoviendo un crecimiento económico sostenible y una mayor inclusión social en la región.

1.3.3 Relevancia Tecnológica

Es un aporte importante que sirve como una referencia y proporciona un mejor conocimiento del proceso a los mineros artesanos de la zona dedicados a esta actividad. ya que se aplicó un método de lixiviación con reactivo Gold Max para la extracción del oro, la misma que es un proceso adecuado y amigable con el medio ambiente. En el entorno contamos con la tecnología, el conocimiento adecuado para poder extraer el oro y lograr buenos resultados de extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña.

1.3.4 Valor Teórico

El presente trabajo de investigación sobre la lixiviación de oro con el reactivo Gold Max de los minerales del yacimiento Chapiña, contribuye significativamente al campo de la metalurgia extractiva. La investigación se fundamenta en los principios de la lixiviación en procesos hidrometalúrgicos, proporcionando datos experimentales sobre la eficiencia del reactivo bajo ciertos parámetros operativos.

Diversos estudios se realizaron del cianuro como agente lixivante que en la actualidad es el reactivo más usado en la extracción del oro; sin embargo, la aplicación del reactivo Gold Max como un agente lixivante ha sido explorada de manera limitada. En este sentido, la presente investigación amplía el conocimiento sobre los factores que influyen en la optimización del proceso, estableciendo bases para futuras investigaciones en la mejora de la extracción del oro por lixiviación. Además, los resultados obtenidos permitirán a la comunidad científica, a la industria minera y especialmente a los mineros artesanos de Chapiña comprender mejor la interacción de variables como la concentración del reactivo Gold Max, el porcentaje de sólidos en pulpa y el tiempo de lixiviación. Asimismo, este estudio puede servir como referencia para el desarrollo de alternativas más eficientes y sostenibles en la metalurgia del oro.

1.3.5 Utilidad Metodológica

La investigación aporta un enfoque metodológico que será como una referencia para futuros estudios en el área. Para esta investigación, el recojo de la muestra de mineral se realizó mediante un muestreo no probabilístico (por conveniencia). Esta muestra obtenida del yacimiento se sometió a una etapa de preparación mecánica del mineral (chancado y molienda) hasta llegar a obtener una granulometría de (80% - 200 malla). Seguidamente para cada una de las pruebas metalúrgicas, las muestras fueron sometidos a pruebas de lixiviación por agitación bajo ciertos parámetros; concentración de Gold Max (0.04-0.08%), Porcentaje de sólidos en pulpa (25-30%) y el tiempo de lixiviación (24-36 horas), los cuales se detallan en los siguientes capítulos. Para poder realizar estas pruebas experimentales, se aplicó un diseño experimental del tipo factorial de 2^k con dos replicas en el punto central. Este diseño permitió evaluar la interacción entre las variables, las variables más influyentes en el proceso y con ello llegar a lograr un porcentaje de extracción por encima del 90%.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la concentración de Gold Max, el porcentaje de sólidos en pulpa y el tiempo de lixiviación en la extracción de oro con Gold Max por agitación de los minerales auríferos del yacimiento Chapiña.

1.4.2 Objetivos Específicos

OE 1: Determinar la concentración del reactivo Gold Max para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña.

OE 2: Establecer el porcentaje de sólidos adecuado en pulpa para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña.

OE 3: Establecer el tiempo de lixiviación para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Locales

Delgado (2023), en su tesis titulado *Lixiviación con Gold Max del oro de los relaves de la concentración gravimétrica del Yacimiento La Cumbre de la compañía minera Galvin*, en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. desarrollaron su trabajo de investigación cuyo objetivo principal fue extraer el oro del relave proveniente de la operación gravimétrica del yacimiento La Cumbre de la Compañía Minera Galvin por el método de lixiviación usando el reactivo Gold Max. Para ello se consideró una muestra total de 150 kg de relave procedente de dicha empresa minera se procedió con todas las etapas de la preparación mecánica del mineral. para la realización de las pruebas experimentales se tomó una granulometría estándar de 52% malla -200 y considerado como variables independientes; la concentración de Gold Max en el rango de 300 – 500 ppm, porcentaje de sólidos en pulpa entre 25% - 30% y el tiempo de lixiviación de 24 a 36 horas. Para poder realizar las pruebas experimentales de lixiviación por agitación, se hizo uso de un diseño experimental del tipo factorial 2^K , con dos replicas en el punto central. llegando de esa manera a resultados óptimo con un 92.37% de extracción para el oro, bajo los siguientes parámetros; tiempo de lixiviación de 36 horas, 30% de porcentaje de sólidos en pulpa y 500ppm de concentración de Gold Max.

Orcoapaza & Taype (2019), en su tesis *Evaluación de variables en la lixiviación por agitación con Gold Max para la extracción de oro del yacimiento de Ayahuay – Apurímac* de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. El objetivo principal del trabajo de investigación fue evaluar las variables del proceso de lixiviación con Gold Max, considerando la

metodología experimental de carácter descriptivo explicativo. Las variables consideradas fueron; la granulometría del mineral, el tiempo de lixiviación y concentración del reactivo Gold Max. Para realizar las pruebas experimentales se aplicó el diseño experimental de tipo factorial 2^3 , realizadas las pruebas experimentales en laboratorio, se llegó a alcanzar un 96.16 % para la extracción de oro. Para ello se consideró los siguientes parámetros operativos; una granulometría de 83.1 % pasante -200 malla, Concentración Gold Max al 0.025% y un tiempo de lixiviación de 40 horas.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Molina (2022), en su tesis de titulado *Uso de Gold Max en la lixiviación de oro y plata en la zona minera de Rinconada – Puno* de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga. El objetivo principal de este trabajo de investigación fue determinar el uso de Gold Max en la lixiviación con eficiencia de oro y plata en la zona minera de Rinconada-Puno. Para ello se ha desarrollado las pruebas metalúrgicas de minerales en el laboratorio Químico Minares South – SRL, donde se determinó la gravedad específica, análisis granulométrico, comparación de las pruebas de lixiviación con Cianuro y Gold Max. las pruebas experimentales se realizaron mediante un diseño experimental del tipo factorial 2^k con replicas en el centro para ello se consideró las siguientes variables; concentración del Gold Max, pH y tiempo de lixiviación. Los parámetros que se estableció para realizar las pruebas experimentales fueron; concentración de Gold Max 0,5 -1 g/l, para el pH con valores de 10 -12 y un tiempo de lixiviación entre 24 a 48 horas. Realizadas las pruebas experimentales, el % de extracción de oro que se logró alcanzar fue un máximo de 95,5% con las siguientes condiciones experimentales; concentración de Gold Max del 0,5 g/l a un pH de 12 y en un tiempo de lixiviación de 48 horas.

Chiquilín & Rengifo (2019), en su tesis *Influencia del Cianuro de Sodio, Gold Max y Sandios en la recuperación de oro por lixiviación de un mineral oxidado de Sayapullo, la*

libertad de la Universidad Privada del Norte. Esta investigación tuvo como objetivo principal determinar la recuperación de oro y tiempo de lixiviación con Goldmax, Sandioss y comparar los resultados con el Cianuro de Sodio en la lixiviación en columna con el mineral oxidado de Sayapullo, La Libertad. Las pruebas experimentales se realizaron con los reactivos NaCN, Gold Max y Sandioss, para ello se tuvo una muestra de 200 kg de mineral aurífero con una ley de 7 g/TM de Au. caracterizando esta muestra se determinó que estaba asociado al cuarzo con presencia de areniscas calcáreas y pequeñas cantidades de pirita. Para realizar las pruebas experimentales con cada uno de los reactivos se consideró los siguientes parámetros operativos estándares; Cal de 3.0 kg/TM de mineral, una granulometría de 100 % -1/4” y dosificación a una concentración de 500 ppm. después de 7 días de lixiviación con NaCN se llega a una recuperación de 80.91%, con Gold Max el 74.29 % y luego el Sandioss que solo llega a una recuperación del 65.29 %.

2.1.3 Antecedentes Internacionales

Valadez (2021), en su tesis con título *Extracción de oro por lixiviación de los relaves de un mineral de cobre de la región de Tiquicheo, Michoacán en Morelia –México* de la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo donde el objetivo principal fue establecer un procedimiento de lixiviación sustentable, técnica y económicamente factible para disolver el oro contenido en los relaves de un mineral de cobre previamente procesado mediante lixiviación ácida, de la región de Tiquicheo. En esta investigación las pruebas se realizaron con dos reactivos; como son el NRW Dezo y Gold Max que se están utilizados como agentes en las diferentes industrias del país y en el mundo para la extracción de oro. Los resultados experimentales muestran que, mediante la lixiviación, ambos reactivos disuelven al oro contenido en el mineral. El agente NRW DEZO se reporta más oro en la solución preñada a comparación del lixivante Gold Max. Se realizaron pruebas por 120 minutos de lixiviación donde indican los resultados con una

concentración de 10 a 15% (w/w) de reactivo NRW DEZO donde la recuperación de oro es del 71%. En el caso del lixivante Gold Max su eficiencia es más baja en alrededor de 20%, comparada con el reactivo NRW DEZO.

Abad (2020), en su tesis *Evaluación de dos procesos de extracción de oro diferentes al de cianuración que cumplan las normativas ambientales establecidas en Ecuador* de la Universidad Técnica de Machala. El objetivo principal fue identificar los métodos fisicoquímicos que se utilizan para la recuperación de oro, cantón Portovelo, provincia de El Oro, que cumplan con las normas ambientales establecidas en el Ecuador. Se realizó un estudio de extracción de oro con tres reactivos el cianuro, el Gold Max y tiourea. como respuesta al problema ¿Que reactivo es más eficiente y más amigable con el medio ambiente y cumpla las normativas ambientales en Ecuador?, teniendo como parámetros operativos para el cianuro; granulometría de 80% malla - 200, tiempo 24 hr y pH de 11, alcanzando el 70.83% de recuperación de Au, y con Gold Max se trabajó con los mismos parámetros con granulometría de 80% –malla 200, tiempo 24 hr y pH de 11, alcanzando una recuperación de 87.50% de Au. Para el caso de tiourea se consideró los mismos parámetros operativos, donde se llegó a obtener un 88% de extracción.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 El Oro

El oro es un elemento químico con un número atómico de 79, del grupo 11 de la tabla periódica. Es un metal blando, maleable, brillante, amarillo, pesado y dúctil. No interacciona con la mayoría de los reactivos químicos, pero es bastante sensible al cloro y al agua regia, resistente a la oxidación y corrosión, por eso se le considera como metal precioso.

“El oro se encuentra en la naturaleza como metal, por ello se le denomina oro nativo y en muy pocas veces como mineral. Etimológicamente el vocablo oro proviene del latín aurum que significa aurora brillante” (Linares G., 2010, pág. 4).

2.2.2 Propiedades Químicas del Oro

Las propiedades químicas más conocidos es su alta resistencia a la oxidación, corrosión y su solubilidad en agua regia y es soluble en soluciones cianuradas. Esta última, se puede decir que es una de las propiedades más importantes y relevantes, ya que esta investigación se basara en esta propiedad que tiene el oro. En la tabla 1, se muestra las propiedades químicas de oro.

Tabla 1

Propiedades químicas del oro

Propiedades	Valor
Masa atómica	196.96 U
Estado de oxidación	3, 1
Radio medio	135 pm
Radio atómico	174 pm
Estructura cristalina	CCC

Nota. Principales propiedades químicas del Au

2.2.3 *Ocurrencia del Oro*

El oro generalmente se encuentra en la naturaleza en las siguientes formas asociado a sulfuros de hierro, asociado a minerales de antimonio o de arsénico, asociado a minerales de cobre, zinc y plomo, en menas refractarias, según (Uceda H., 2020, pág.75) se tiene la siguiente clasificación.

- ✓ Oro libre: cuando no está incluido en otras minerales. Es particularmente de fácil extracción por simple separación gravimétrica, amalgamación o cianuración directa.
- ✓ Oro asociado a sulfuros de hierro: se encuentra diseminado bajo la forma de partículas finas en los cristales de pirita o de pirrotita. Su extracción necesita un proceso más complejo, como de preconcentración y calcinación seguida de cianuración.
- ✓ Oro asociado a minerales de arsénico o de antimonio: la presencia de estos elementos hace el tratamiento aún más difícil, y el proceso clásico (concentración, calcinación y cianuración) puede conducir a rendimientos de extracción demasiados bajos como para permitir una explotación económica.
- ✓ Oro asociado a minerales de cobre, plomo y zinc: el oro puede ser un subproducto de otros metales. Algunos minerales de cobre, extraídos a gran escala, dan producciones importantes de oro. En la metalurgia de cobre, el oro sigue al cobre hasta su afino electrolítico donde es recuperad en los lodos anódicos de la refinación electrolítica.
- ✓ Oro en menas refractarias: el oro es visible al microscopio dentro de los sulfuros metálicos (pirita arsenopirita), y no se puede liberar por métodos tradicionales de cianuración. Estas menas presentan dificultades o excesivo gasta en su cianuración.

2.2.4 *Minerales Auríferos*

“El oro se encuentra en la naturaleza en su mayor proporción en estado nativo o como una aleación con plata denominada como electrum (contiene entre 25 a 55% de plata)” (Uceda H., 2020, pág. 75). También se encuentra asociado a minerales, tales como se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Minerales auríferos que se encuentran en la naturaleza

Elementos nativos y aleaciones	Formulación química
Oro argentífero (electrum)	(Au, Ag)
Oro cuprífero (cuproaururo)	(Au, Cu)
Oro paladinífero (porpesita)	(Au, Pd)
Oro rodonífero (rodita)	(Au, Rh)
Oro irídico	(Au, Ir)
Oro platinífero	(Au, Pt)
Oro bismutífero	(Au, Bi)
Amalgama de oro	(Au ₂ Hg ₃)
Maldonita	(Au ₂ Bi)
Auricúprico	(AuCu ₃)
Paladio cupriáurico	(Cu, Pd) ₃ Au ₂
Según su asociación con sulfuros:	Formulación química
Uytembogarditita	(Au ₃ AuS ₂)
Telururos:	
Calaverita	(Au, Ag)Te ₂
Krennerita	(Au, Ag)Te ₂
Montbrayita	(Au, Sb) ₂ Te ₃
Muthmannita	(Au, Ag)Te
Silvanita	(Au, Ag)Te ₄
Kostavita	(Au, Cu)Te ₄
Nagyagita	(Pb ₅ Au(Te, Sb) ₄ S ₅)
Antimoniuros	Formulación química
Aurostibita	(AuSb ₂)
Seleniuros	
Fischesserita	(AuAg ₂ Se ₂)

Nota. tomada de Linares G.(2010, pág. 5)

2.2.5 Yacimientos Auríferos

Los yacimientos auríferos, según (Uceda H., 2020, pág. 76) se pueden clasificar en:

- ✓ Yacimientos de tipo vetas y filones: el oro se encuentra como parte del mineral valioso, en forma de pequeñas vetillas de oro. Para su extracción debe someterse a una operación de trituración y molienda para alcanzar un buen grado de liberación.
- ✓ Yacimientos de tipo placeres: el oro se encuentra en forma de sedimentos, estos sedimentos se forman por la erosión de macizos rocosos que son mineralizados con oro. Después de la erosión estos son transportados formando sedimentos en las cuencas de los ríos.
- ✓ Yacimientos de tipo diseminado: El oro se encuentra en forma libre, esparcido y de manera fina. Se encuentran formando bolsones mineralizados de gran extensión. Por lo general este tipo de yacimientos está cubierta por una capa no mineraliza de poco espesor.

2.2.6 Tecnologías Para la Extracción y Recuperación de Au

La extracción y la recuperación de oro a partir de minerales está en función al tipo de yacimiento, según (Marsden J.O, 2009, pág. 67) estas son las principales tecnologías:

- ✓ Concentración gravimétrica: permite separar partículas de acuerdo en función a su específico, tamaño y forma. Se realiza mediante por la acción de las fuerzas de gravedad y fuerzas centrifugas en un medio fluido (el agua). Esta tecnología necesita el movimiento continuo del fluido para poder formar estratos de minerales entre especies de menor peso específico y los que tienen mayor peso específico. Recomendado para pequeños mineros que extraen oro nativo.
- ✓ Amalgamación: recuperación de oro por contacto con mercurio líquido para formar una amalgama, permite la recuperación de oro a partir de la roca molida, arena u otro tipo de material. Para separar oro de la amalgama, se somete a un proceso de quemado. Este

proceso de recuperar oro es altamente contaminante para el medio ambiente y el operador, desde que el mercurio es bioacumulable.

- ✓ Lixiviación: este proceso es de mayor aplicación en la actualidad para la extracción del oro debido a bajos costos económico y de gran relevancia en la metalurgia extractiva del oro y plata. Se desarrolla en la industria de gran, mediana y pequeña minería. Como reactivo principal se usa el cianuro de sodio; sin embargo, en la actualidad se inserta al mercado reactivos alternos más orgánicos con la misma eficiencia como Gold Max, Sandioss, NRW Dezo, etc.
- ✓ Flotación: proceso fisicoquímico, utilizado para la concentración de minerales. Este proceso se usa muy poco, debido a su alto peso específico del oro ; sin embargo, se usa a menudo para la recuperar oro impregnado en minerales auríferos sulfuros juntamente con otro elementos, generalmente en gran minería se considera como subproducto (Flotación bulk), se debe tener en consideración que partículas gruesas y las ultra finas de oro tienden a no flotar, pero en un tamaño de grano apropiado aproximadamente de 100 a 200 μ m de separación del oro de partículas y sulfuros puede funcionar.

2.2.7 Agentes Alternativos en la Extracción de Oro

El cianuro de sodio es el reactivo convencional utilizado a nivel mundial en la extracción de oro, este producto en las condiciones no adecuadas resulta ser contaminante y peligro para el operado, además no es recomendable en presencia de alta sulfuración. Existen en el mercado reactivos alternativos al cianuro de sodio, como: Tiosulfato, Tiourea., Tiocianato, Amoniaco, Gold Max, NRW Dezo, Sandioss, etc.

2.2.8 Selección del Proceso de Extracción de Oro

“La selección de procesos es el desarrollo sistemático de la óptima ruta de extracción de metal para un material particular de alimentación utilizando la tecnología más apropiada. En el caso del oro, este procedimiento presenta dos objetivos principales” (Marsden J.O, 2009, pág. 69)

- ✓ Optimizar la economía del proyecto, principalmente una función de recuperación del oro, a través de la velocidad de producción y costos de procesamiento (capital y operativo).
- ✓ Desarrollar un proceso que cumpla con todos los requerimientos del proyecto, incluyendo, por ejemplo, consideraciones políticas y ambientales.

Según Marsden (2009).

La respuesta química de un mineral de oro particular frente a varias opciones de proceso, juega un papel clave para llevar a cabo estos objetivos. En el presente, más de 85% de la producción mundial de oro incluye el procesamiento químico. La selección del proceso está jugando un papel cada vez más importante mientras la complejidad de las técnicas de procesamiento químico se incrementa con la explotación de minerales de oro más complejos y de baja ley (pág. 69).

“La selección del proceso es un procedimiento iterativo que usualmente comienza ni bien la exploración establece la presencia de mineralización del oro en una ley y tonelaje suficiente para que se consideren los yacimientos como reservas potencialmente económicas” (Marsden J.O, 2009, pág. 69).

La cantidad de esfuerzo dedicado para elegir un determinado proceso está asociada principalmente al grado de atractivo general del yacimiento.

El riesgo asociado al desarrollo y puesta en marcha de proyectos de oro puede minimizarse mediante programas de prueba metalúrgicas, teniendo en consideración de todos los

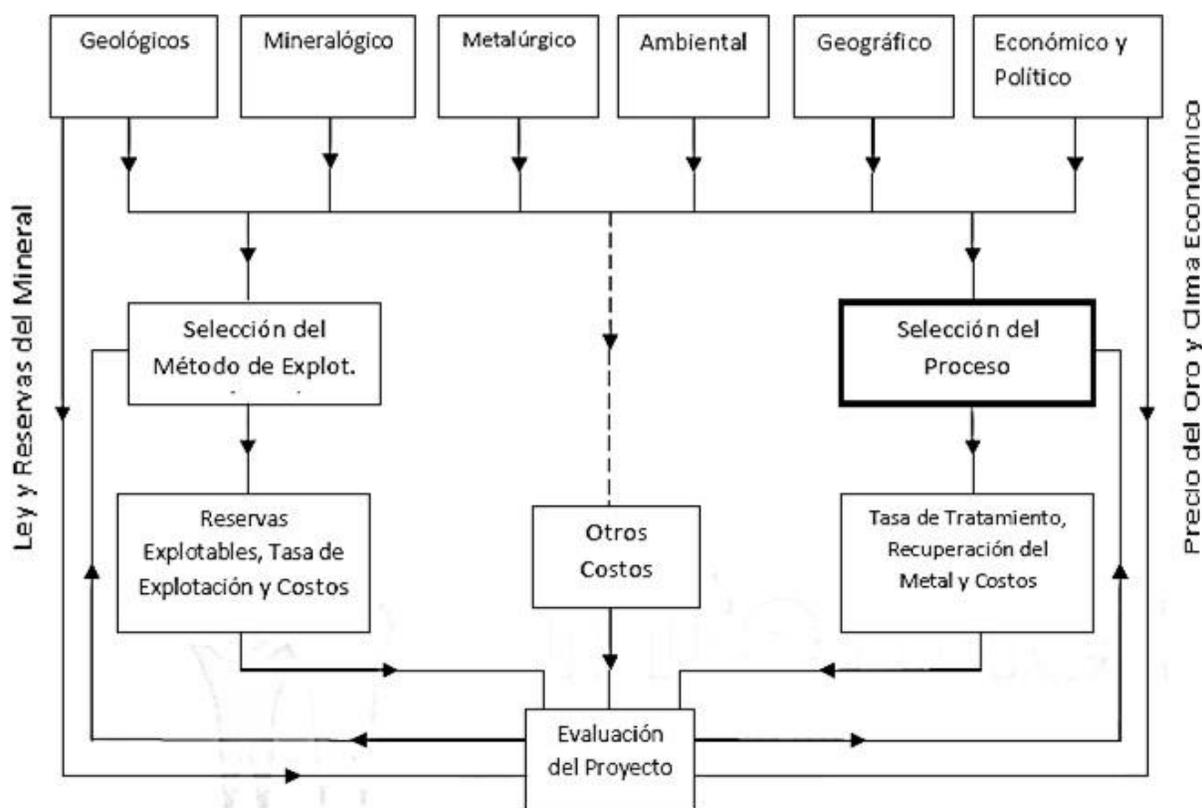
requerimientos específicos del proyecto. Incluyendo capital disponible, rentabilidad, niveles aceptables de riesgo y factores ambientales.

2.2.8.1 Factores que Afectan la Selección del Proceso

“Los factores que afectan la selección del proceso, y la realización de los objetivos enumerados, pueden agruparse en seis áreas principales: Geológicos, mineralógicos, metalúrgicos, ambientales, geográficos, económica y política” (Marsden J.O, 2009, pág. 70).

Figura 1

Factores que afectan el proceso de selección



Nota. tomado de Marsden J.O (2009, pág. 70)

El papel de cada uno en un proyecto de desarrollo se muestra en la figura 1. “Dos de dichos factores (mineralógico y metalúrgico) tienen un impacto directo en la química de extracción de oro y en la selección del proceso, puesto que estos determinan la respuesta del mineral a un tratamiento

químico” (Marsden J.O, 2009, pág. 70). Los otros factores tienen un efecto indirecto que depende de las condiciones y requerimientos específicos del proyecto y de la viabilidad general del proyecto.

En un proyecto minero, cada uno de los factores considerados tiene una influencia directa en la viabilidad técnica, económica y ambiental de la operación. Comenzando por los aspectos geológicos, estos definen la naturaleza del yacimiento: su ubicación, forma, tamaño, profundidad y características estructurales. Estos datos son fundamentales para calcular las reservas del mineral, así como para seleccionar el método de explotación más adecuado, ya sea a cielo abierto o subterráneo.

Los factores mineralógicos complementan la información geológica al revelar la composición del mineral, su asociación con otros elementos y la presencia de materiales no deseados (ganga). Esta información influye directamente en la complejidad del proceso de separación y en la eficiencia del tratamiento, lo que repercute en los costos operativos y en la recuperación del metal valioso.

En paralelo, los aspectos metalúrgicos permiten determinar, a través de ensayos técnicos, cuál es el mejor proceso para extraer y recuperar el metal contenido en el mineral. Esta etapa es crucial para definir la tasa de recuperación y los costos de tratamiento. Si el mineral es difícil de tratar, esto puede comprometer la rentabilidad del proyecto.

Los factores ambientales juegan un papel determinante en la factibilidad del proyecto. Las regulaciones ambientales, la gestión de residuos, el uso del agua, el impacto en la biodiversidad y la huella ecológica son elementos que pueden limitar o encarecer la operación. Además, los permisos ambientales son condiciones necesarias para que un proyecto pueda ejecutarse legalmente.

La ubicación geográfica del yacimiento también influye de manera significativa. La disponibilidad de infraestructura básica como caminos, energía eléctrica, fuentes de agua y proximidad a centros logísticos afecta tanto los costos de instalación como de operación. Además, aspectos como el clima o la topografía pueden agregar complejidad técnica y logística al desarrollo del proyecto.

En cuanto al entorno económico y político, este establece el marco en el cual se desarrolla la inversión minera. Factores como la estabilidad jurídica, las políticas fiscales, las regalías, el acceso a financiamiento y el riesgo país impactan directamente en la decisión de invertir. Un entorno político inestable o con políticas extractivas desfavorables puede desalentar la inversión aún en proyectos técnicamente viables.

Finalmente, el precio del oro y el clima económico global son factores externos que influyen sobre la evaluación del proyecto. A precios altos del oro, incluso yacimientos de baja ley pueden ser rentables. Por el contrario, precios bajos pueden hacer inviables proyectos técnicamente sólidos, al reducir los márgenes de ganancia o incluso generar pérdidas.

Todos estos factores convergen en una evaluación integral del proyecto minero, donde se comparan las reservas explotables, los costos de explotación y procesamiento, los riesgos asociados, y los ingresos esperados. Solo si el balance entre estos elementos es positivo, el proyecto se considera factible desde una perspectiva económica, técnica y ambiental.

2.3 Principios en la Hidrometalurgia del Oro

Los procesos hidrometalúrgicos involucran las reacciones químicas para extraer, purificar y recuperar oro en un sistema acuoso. “Dentro de las técnicas hidrometalúrgicas en la extracción de oro; las más importantes de estas son la lixiviación, purificación y concentración de la solución, y su posterior recuperación del oro” (Marsden J.O, 2009, pág. 140). “Según el tipo de mineral, se

puede realizar pretratamiento como la cloración, la oxidación a presión y la oxidación biológica para una buena extracción de oro en posteriores etapas de hidrometalúrgicas” (Marsden J.O, 2009, pág. 140).

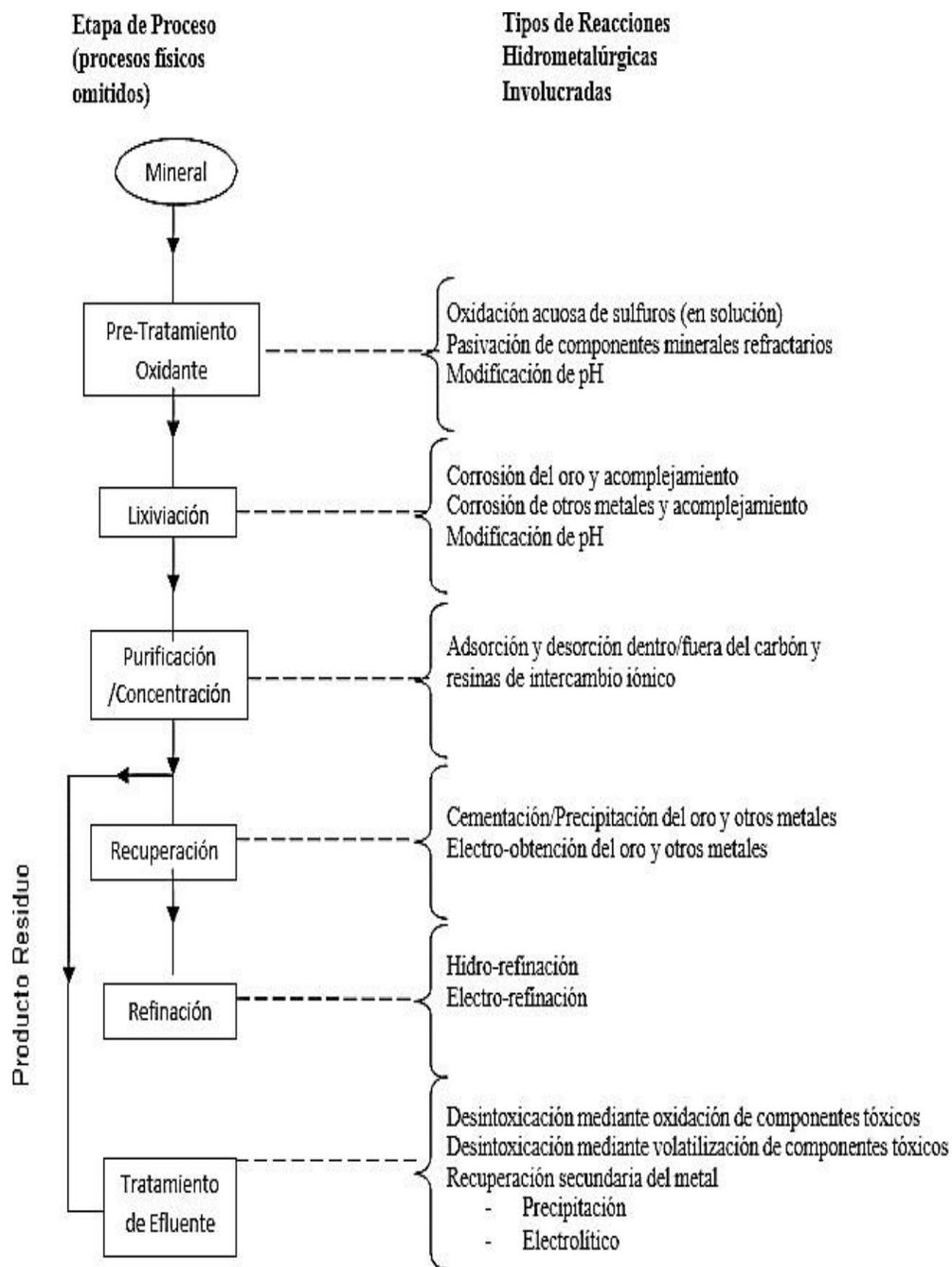
En los procesos hidrometalúrgicos, en la extracción de oro, se debe tener especial consideración de la velocidad de reacción y en qué grado la reacción procederá. El primero depende de las propiedades termodinámicas del sistema químico, que determinará la fuerza motriz total de la reacción. El último, la cinética de la reacción, depende de la combinación de factores físicos, químicos y de transferencia de masa, los que pueden controlarse, hasta cierto punto, mediante la apropiada selección del proceso y el diseño de la planta.

Las interacciones químicas más importantes en la hidrometalurgia del oro son aquellas que involucran el oro en sí, otros metales de valor como la plata o metales del grupo del platino y las reacciones secundarias que involucran minerales de ganga. Dichas interacciones secundarias pueden provocar un aumento en el consumo de reactivos, la disolución de especies que pueden afectar negativamente procesos posteriores (como el cobre o el mercurio) y la precipitación de especies a partir de soluciones; todos estos pueden afectar la eficiencia total de la extracción de oro. Diversos tipos de reacciones químicas en la extracción de oro, se ven resumidos en la Figura 2.

Los procesos de extracción hidrometalúrgica del oro son complejos, debido a la heterogeneidad de las especies presentes en los minerales y en las soluciones PLS resultantes del proceso. Por lo tanto, los principios generales como la termodinámica y la cinética teórica brindan sólo una aproximación a las condiciones reales de la reacción en situ. Pero, estos temas son imprescindibles para la comprensión de la química del proceso de la extracción de oro.

Figura 2

Química de la reacción de oro



Nota. Etapas en la extracción de oro, tomado de Marsden J.O.(2009, pág. 141)

2.3.1 *Termodinámica en la Hidrometalurgia de Oro*

La termodinámica en hidrometalurgia analiza los principios energéticos y químicos que determinan la espontaneidad de las reacciones químicas involucradas en un proceso. Su aplicación es fundamental para optimizar procesos como la lixiviación, la cementación y el electro obtención, permitiendo analizar la estabilidad de las especies metálicas, el equilibrio químico y la eficiencia en la recuperación de metales, lo que contribuye al desarrollo de técnicas más sostenibles y eficaces en la metalurgia extractiva. Es por ello que es muy importante abordar concepto como la energía libre de Gibbs, potencial redox, equilibrio químico, ecuación de Nerst, diagramas de pourbaix.

2.3.1.1 **Energía Libre de Gibbs.**

La Energía Libre de Gibbs es un criterio fundamental en termodinámica para determinar si una reacción química ocurre de manera espontánea bajo condiciones de temperatura y presión constantes. Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

Donde:

ΔG = Cambio de energía libre de Gibbs (J/mol).

ΔH = Cambio de entalpía (energía absorbida o liberada, en J/mol).

T =Temperatura en Kelvin (K).

ΔS =Cambio de entropía (medida del desorden del sistema, en J/mol·K).

El criterio de espontaneidad de una reacción química se determina con el valor de ΔG . Si el valor es negativo la reacción es espontaneo, si el valor es positivo la reacción es no espontaneo y si es igual a cero se considera que el sistema está en equilibrio.

2.3.1.2 Electroquímica y el Potencial Redox.

El potencial redox es una medida de la tendencia de una sustancia a ganar o perder electrones en una reacción química. Una reacción de oxidación se considera cuando existe una pérdida de electrones, mientras que si hay una ganancia de electrones se considera una reacción de reducción.

El potencial estándar E° de un electrodo mide la tendencia de una especie a reducirse en condiciones estándares. Cuanto E° estándar es positivo hay una mayor tendencia a reducirse, mientras que se tiene un valor negativo hay mayor tendencia a oxidarse.

2.3.1.3 Ecuación de Nernst

La ecuación de Nernst es una herramienta fundamental en la electroquímica que permite calcular el potencial de electrodo en condiciones no estándar, considerando la concentración de los reactivos y productos de una reacción redox.

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} * \text{Log}(Q) \quad (2)$$

Donde:

E = Potencial de electrodo en condiciones reales (V).

E° = Potencial estándar de electrodo (V).

n = Número de electrones transferidos en la reacción.

Q = Cociente de reacción.

R = Constante universal de gases.

T = Temperatura en kelvin (K).

F = Constante de Faraday.

2.3.1.4 Diagrama de Pourbaix

Los diagramas de Pourbaix son gráficos que ilustran la estabilidad de las especies metálicas según el pH y el potencial Redox (E) en soluciones acuosas. En el campo de la hidrometalurgia, resultan fundamentales para anticipar si un metal permanecerá en solución, precipitará o se estabilizará como un compuesto sólido.

2.3.1.5 Química de Oro en Medio Acuoso

El oro es muy estable, indicado por su falta de reactividad en el aire y en la mayoría de las soluciones acuosas y ácidas fuertes. El oro sólo se disuelve en soluciones oxidantes que contienen ciertos ligandos complejos, como: cianuros, haluros, tiosulfatos, tiourea y tiocianatos. Este comportamiento permite que el oro se extraiga de manera muy selectiva de los minerales. Gran parte de la química del oro y sus compuestos, especialmente su comportamiento en solución acuosa puede estar relacionado como su electronegatividad relativa alta, es decir, la tendencia a atraer electrones de enlace. Los compuestos de oro y las especies de soluciones existen casi exclusivamente en los estados de oxidación Au+1 y Au+3 (Uceda H., 2020, pág. 117).

“El oro no es reactivo en agua pura y en un rango de pH muy amplio. A pH<1 y en condiciones muy oxidantes (potenciales de solución > 1.4V), se pueden formar iones de Au+3 en solución, representados por la reacción media” (Uceda H., 2020, pág. 118)



$$E_h = 1.52 + 0.0197 \text{Log}(Au^{+3}) \text{ (V)} \quad (4)$$

Donde:

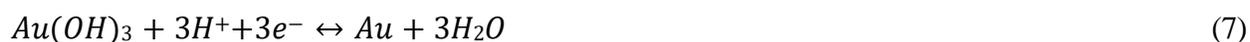
E_h , es el potencial de reducción definido por la ecuación de Nernst y 1.52 es el potencial de reducción estándar (E^0).

“El Au^{+1} es inestable en agua bajo todas las condiciones de pH potencial, como lo indica la reacción media” (Uceda H., 2020, pág. 118):



$$E_h = 1.83 + 0.0591 \text{Log}(Au^{+3}) \text{ (V)} \quad (6)$$

“Esta reacción tiene un valor de E^0 mayor que la reducción de Au^{+3} y consecuentemente el oro se oxida rápidamente a Au^{+3} sin que se forme el Au^{+1} . Entre aproximadamente pH 1 y 13, y con potenciales muy altos, puede formarse hidróxidos de Au^{+3} insoluble” (Uceda H., 2020, pág. 118):



$$E_h = 1.457 - 0.0591 \text{pH} \text{ (V)} \quad (8)$$

“Considerando la reacción del oro a temperatura ambiente, en una 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:

$$E = E^0 + 2.303 \frac{RT}{NF} \text{Log}\left(\frac{\alpha_{Au^{+}}}{\alpha_{Au^0}}\right) \quad (10)$$

“A $\text{pH} > 13$ y $> 0.6\text{V}$, se forma la especie soluble de hidroaurato, $HAuO_3^{2-}$ o $Au(OH)_5^{2-}$. Las reacciones (5) y (9) ocurren todas a potenciales mayores que los requeridos para la reducción de oxígeno” (Uceda H., 2020, pág. 118).



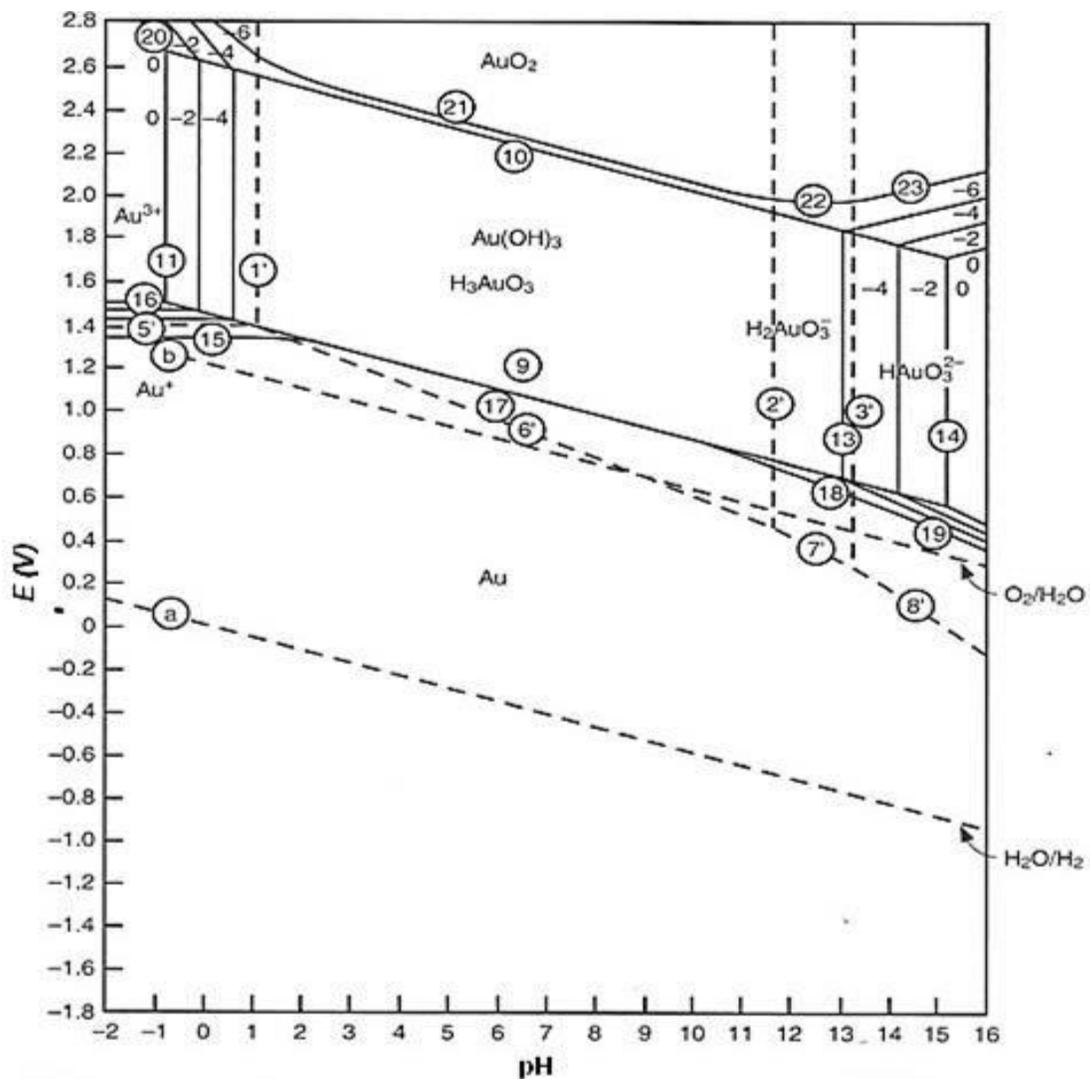
$$E^0 = 1.229 \text{ (V)} \quad (12)$$

Todo lo anterior explica la estabilidad del oro en solución acuosa, la misma que se muestra en la figura 3. Es de indicar que otros agentes oxidantes tales como ácido nítrico, sulfúrico y

perclórico también son ineficaces para la disolución de oro en ausencia de ligandos que puedan formar complejos de oro.

Figura 3

Diagrama de equilibrio potencial – pH para el sistema Au – H₂O a 25°C



Nota. Tomado de Uceda H. (2020, pág. 128)

2.3.1.6 Modificación de pH y Escala de pH

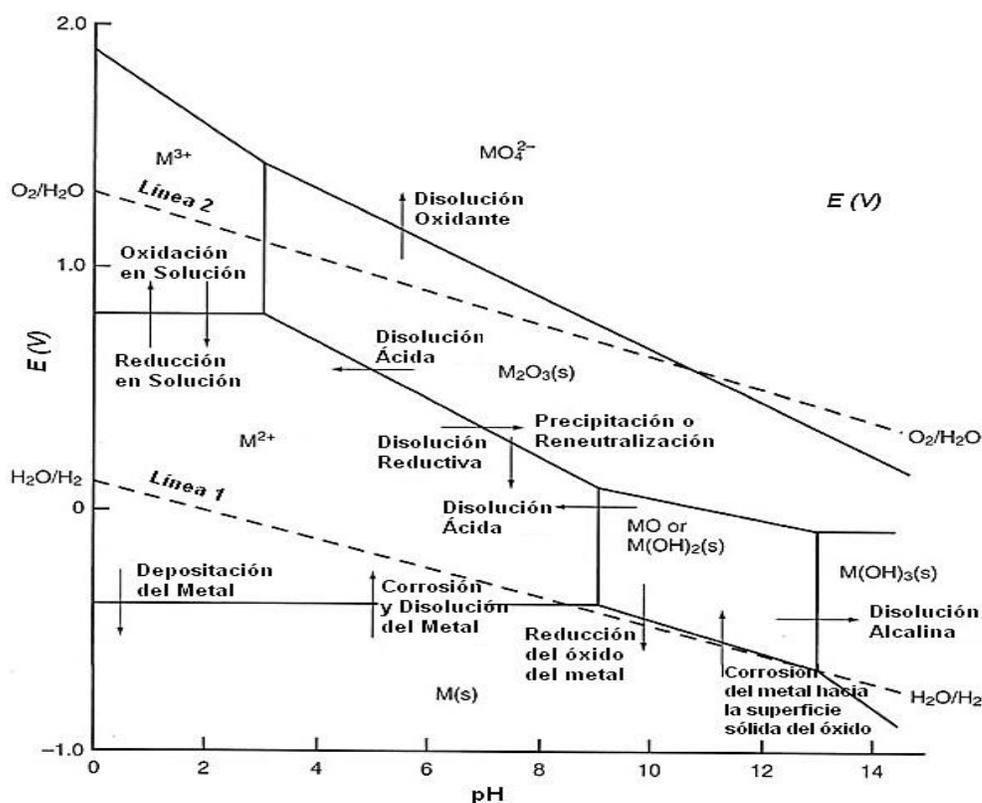
Los procesos hidrometalúrgicos de oro se realizan en soluciones acuosas que contienen iones de hidrógeno (H⁺) e hidroxilo (OH⁻) y, por lo tanto, los equilibrios y la cinética de la

reacción son frecuentemente usualmente dependientes del pH. (Marsden J.O, 2009, pág.157) nos dice que la efectividad del proceso de la lixiviación, adsorción y desorción con carbón, química de la superficie, oxidación de sulfuro acuosa y procesos de precipitación con zinc dependen de la capacidad para calcular y controlar el pH. En particular, el consumo de reactivos como el de cianuro, son a menudo fuertemente dependientes del pH. Por consiguiente, es importante considerar el pH y los equilibrios asociados a la modificación del pH.

En la figura 4 podemos ver como la variación del pH, genera el aumento o la disminución del potencial del proceso y con ello se va generando regiones dominantes en la disolución de los metales.

Figura 4

Esquema de un diagrama de potencial – pH para un sistema metal – agua a 25°C

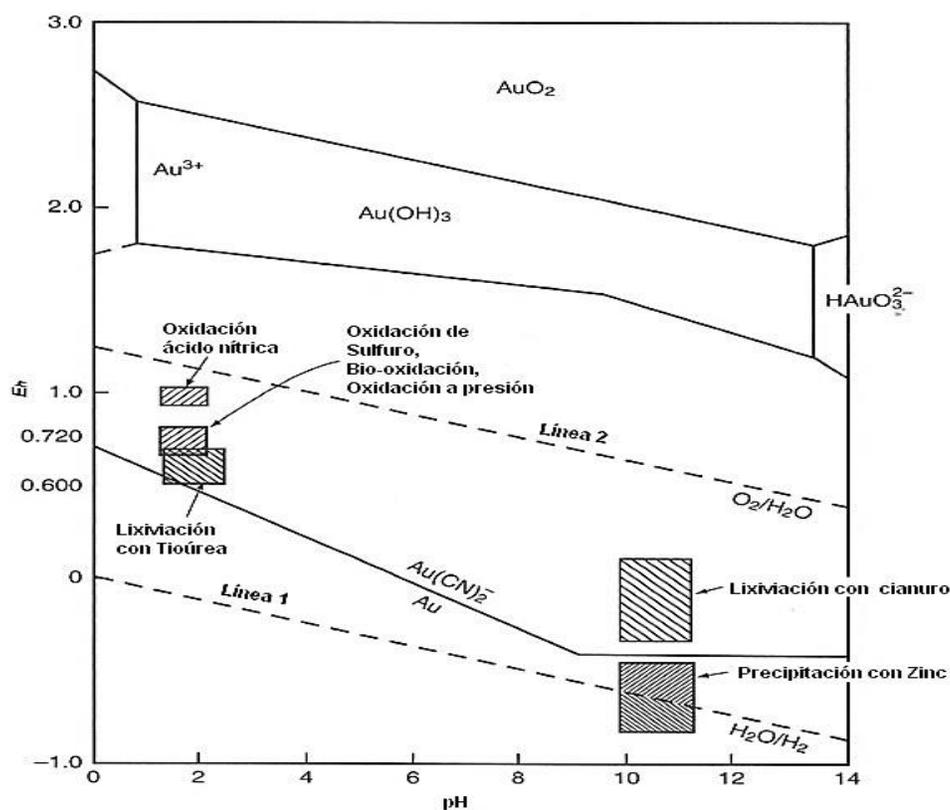


Nota. Tomado de Marsden J.O. (2009, pág. 157)

Del diagrama anterior, “en la región comprendida entre las líneas 1 y 2, se producen reacciones de oxidación con reducción paralela de la línea 2, las especies son estables en agua, porque no se genera reacción catódica (reducción) que se pueda acoplar a la corrosión del metal anódico” (Uceda H., 2020, pág. 128). “En el caso del oro, como se muestra en la figura 5, el área de estabilidad del metal se extiende por encima de la línea de reducción de oxígeno (línea 1), es evidente que el oro es estable en agua pura en ausencia de complejos” (Marsden J.O, 2009, pág. 159). Las condiciones de Eh-pH que son aplicados en los procesos hidrometalúrgicos e industriales de oro se indican en la figura 5.

Figura 5

Rangos indicadores en el diagrama ampliado en los procesos de extracción de oro



Nota. Tomado de Uceda H. (2020, pág. 150)

2.3.1.7 Complejos de Oro

La estabilidad del oro se reduce en presencia de ciertos ligandos complejos, como el cianuro, cloruro, tioúrea, tiocianato, iones de tiosulfato, mediante el acomplejamiento estable. Como resultado, el oro puede disolverse en soluciones oxidantes relativamente suaves (soluciones aireadas de cianuro acuoso). Aunque el oro se forma complejos estables con iones de cloruro, el ácido clorhídrico (HCl) por sí sólo no es un oxidante lo suficientemente fuerte para disolver el oro. Se requieren mezclas, ya sea de ácido clorhídrico y ácido nítrico (agua regia) como de ácido clorhídrico y cloro, para brindar componentes fuertemente oxidantes y complejos (Uceda H., 2020, pág. 119).

2.4 Cinética de las Reacciones en los Procesos hidrometalúrgicos

El estudio de la cinética de reacciones en los procesos hidrometalúrgicos se centra en la rapidez con la que tienen lugar las reacciones químicas asociadas a la disolución, precipitación y recuperación de metales en medios acuosos. Su análisis resulta esencial para mejorar la eficiencia de operaciones como la lixiviación, la cementación y la electrodeposición, ya que permite identificar los factores que afectan el rendimiento en el procesamiento de minerales.

La fundamentación termodinámica de que un proceso puede proceder, pero no es suficiente para determinar si se producirá en forma significativa dentro de una escala de tiempo práctica. Esto depende de la cinética de las reacciones, una consideración importante en el diseño y economía de todos los procesos hidrometalúrgicos. Asimismo, para las operaciones de existentes procesos, maximizar la cinética usualmente tiene como resultado el aumento de la eficiencia del proceso (Marsden J.O, 2009, pág. 131).

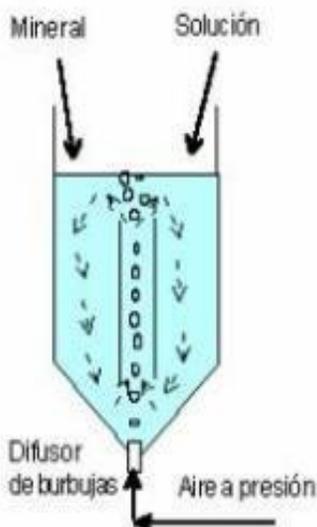
2.4.1 Reacciones Heterogenias

Las reacciones heterogéneas ocurren cuando los reactivos y productos están en diferentes fases, como sólido-líquido, sólido-gas o líquido-gas como se observa en la figura 6. En hidrometalurgia, estas reacciones desempeñan un papel clave, ya que un caso común es la disolución de metales desde minerales sólidos en soluciones acuosas.



Figura 6

Representación gráfica de las reacciones heterogenias



Nota. Tomado de Cáceres A. (2007)

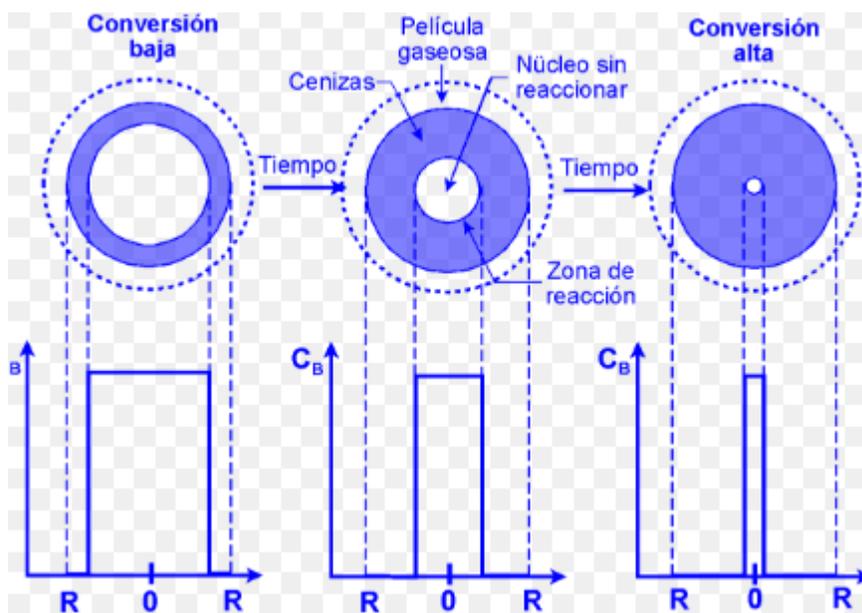
En la siguiente imagen 7, podemos observar el proceso de conversión en reacciones heterogéneas, donde partículas sólidas reaccionan con un reactivo gaseoso o líquido. Según Levenspiel (1999) se distinguen tres etapas principales en la conversión.

- ✓ Conversión baja: El núcleo sólido permanece sin reaccionar, mientras que la capa externa ya se ha transformado en producto, indicando un avance inicial de la reacción.

- ✓ Conversión intermedia: Se forma una película gaseosa y se desarrolla una zona de reacción alrededor del núcleo sólido aún sin reaccionar, rodeado por una capa de cenizas inertes.
- ✓ Conversión alta: La reacción ha progresado casi por completo, reduciendo el núcleo sin reaccionar a un tamaño mínimo y dejando principalmente material convertido.

Figura 7

Mecanismo de conversión de las reacciones heterogenias



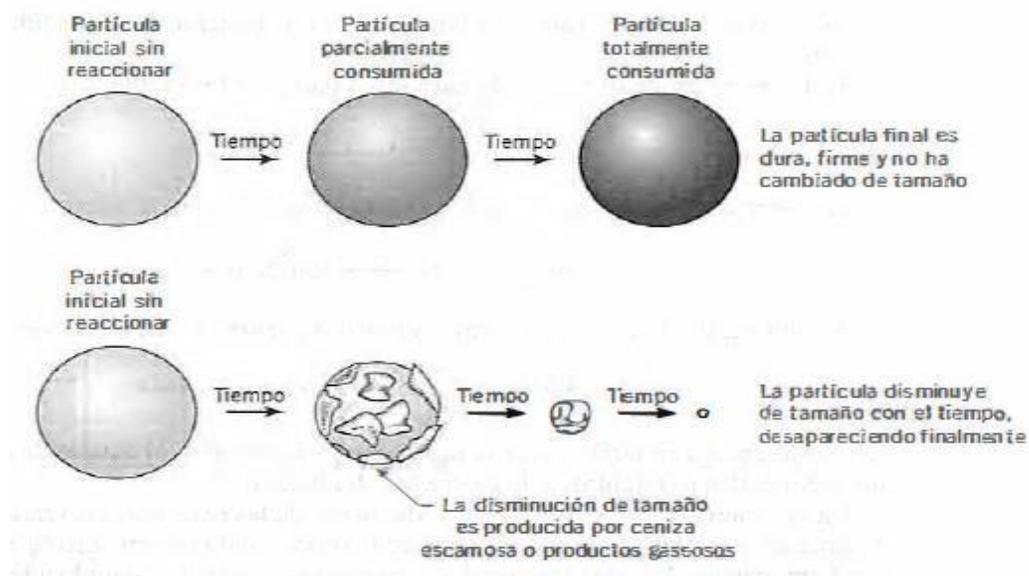
Nota. Tomado de Levenspiel. (1999, pág. 581)

2.4.2 Etapas de Una Reacción heterogenia

En la figura 8 se muestra el comportamiento de las partículas en la lixiviación y sus etapas.

Figura 8

Representación gráfica de los modelos cinéticos



Nota. Obtenida de Levenspiel (1999).

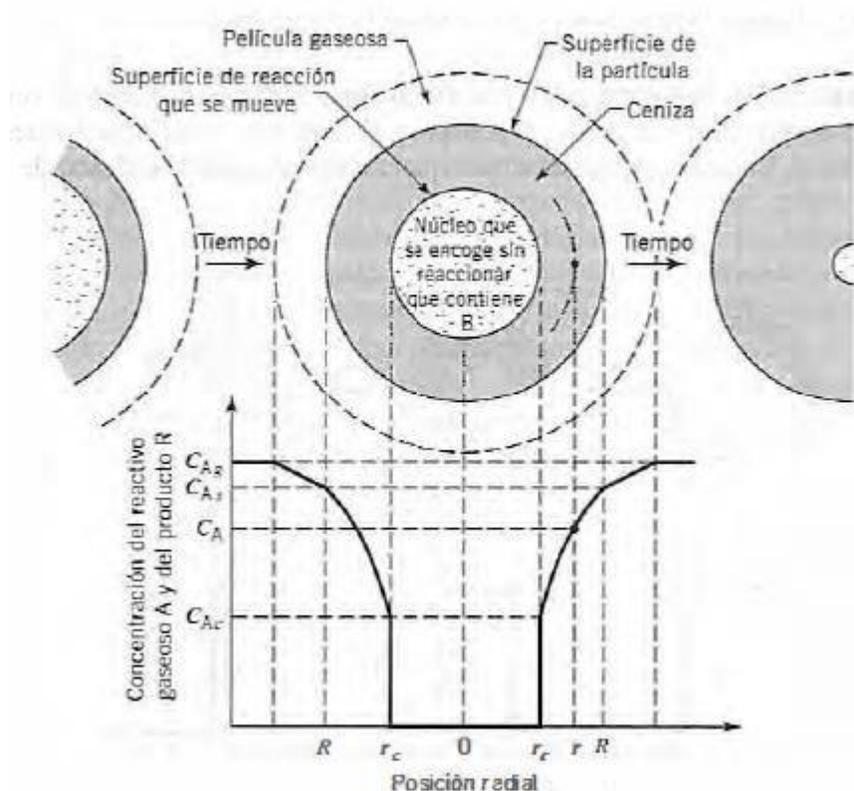
Modelo de núcleo que se encoge sin reaccionar

Según Levenspiel, para un modelo de núcleo que se encoge sin reaccionar, se consideran 5 etapas. Como se aprecia en la figura 9.

1. Difusión del reactivo gaseoso A a través de la película gaseosa que rodea a la partícula hasta la superficie de ésta.
2. Penetración y difusión de A a través de la capa de ceniza hasta la superficie del núcleo que no ha reaccionado.
3. Reacción del reactivo gaseoso A con el sólido en esta superficie de reacción.
4. Difusión de los productos gaseosos formados a través de la capa de ceniza hacia la superficie exterior del sólido.
5. Difusión de los productos gaseosos a través de la película gaseosa de regreso al cuerpo principal del fluido.

Figura 9

Etapas de un modelo de núcleo que se encoge sin reaccionar



Nota. Obtenido de Levenspiel (1999).

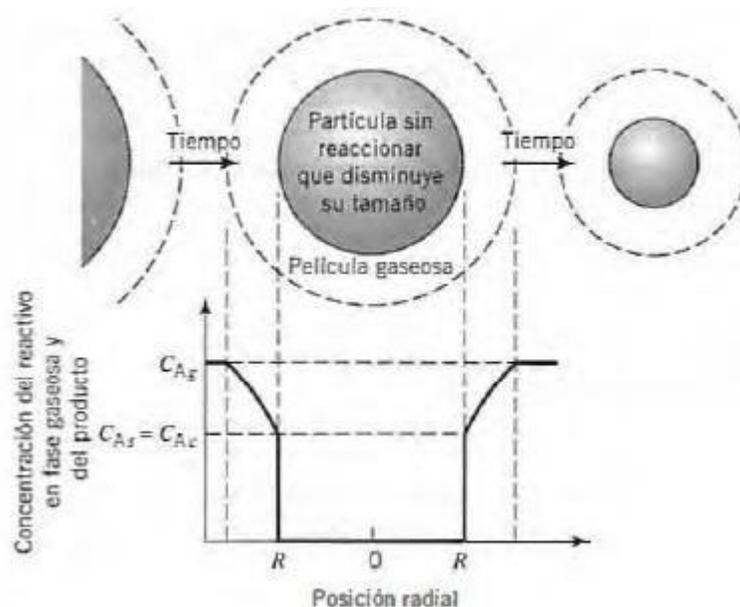
Modelo de conversión progresiva

De acuerdo a Levenspiel (1999). El modelo de conversión progresiva presenta las siguientes etapas de conversión como se observa en la figura 10.

1. Difusión del reactivo A desde el cuerpo principal del gas a través de la película gaseosa hasta la superficie del sólido.
2. Reacción sobre la superficie entre el reactivo A y el sólido.
3. Difusión de los productos de reacción desde la superficie del sólido a través de la película gaseosa hasta el cuerpo principal del gas. Tener presente que no hay capa de ceniza, y por ello no puede ofrecer resistencia alguna.

Figura 10

Etapas de un modelo de conversión progresiva



Nota. Obtenido de Levenspiel (1999).

2.4.3 Energía de activación

La energía de activación es un parámetro clave en la cinética de las reacciones químicas, ya que influye directamente en la velocidad de reacción. La energía de activación podemos definir como la cantidad de energía que un sistema necesita para iniciar un proceso específico (reacción) o también podemos conceptualizar como energía mínima requerida para que los reactivos se transformen en productos.

El físico y químico sueco Svante August Arrhenius propuso una relación fundamental entre la constante de velocidad (K) y la energía de activación (E_a), Estableciendo su dependencia con la temperatura.

$$K = Ae^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (13)$$

Donde:

K= Constante de velocidad

A= Factor de frecuencia

E_a = Energía de activación, J/mol o cal/mol

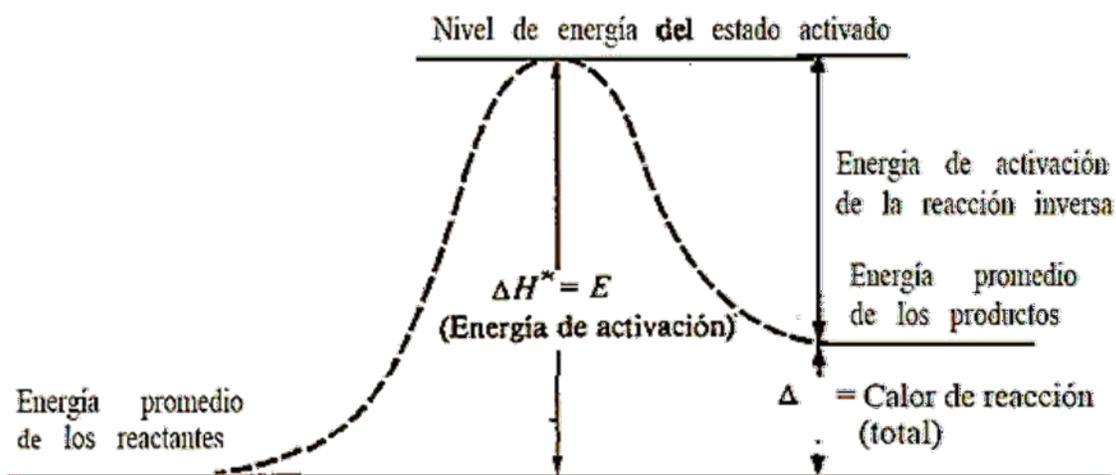
R= Constante de los gases, 8.314 J/mol.K=1.987 cal/mol.K

T= Temperatura absoluta, K

e = Numero de Euler (Épsilon)

Figura 11

Energía necesaria para la activación del estado inicial en una reacción.

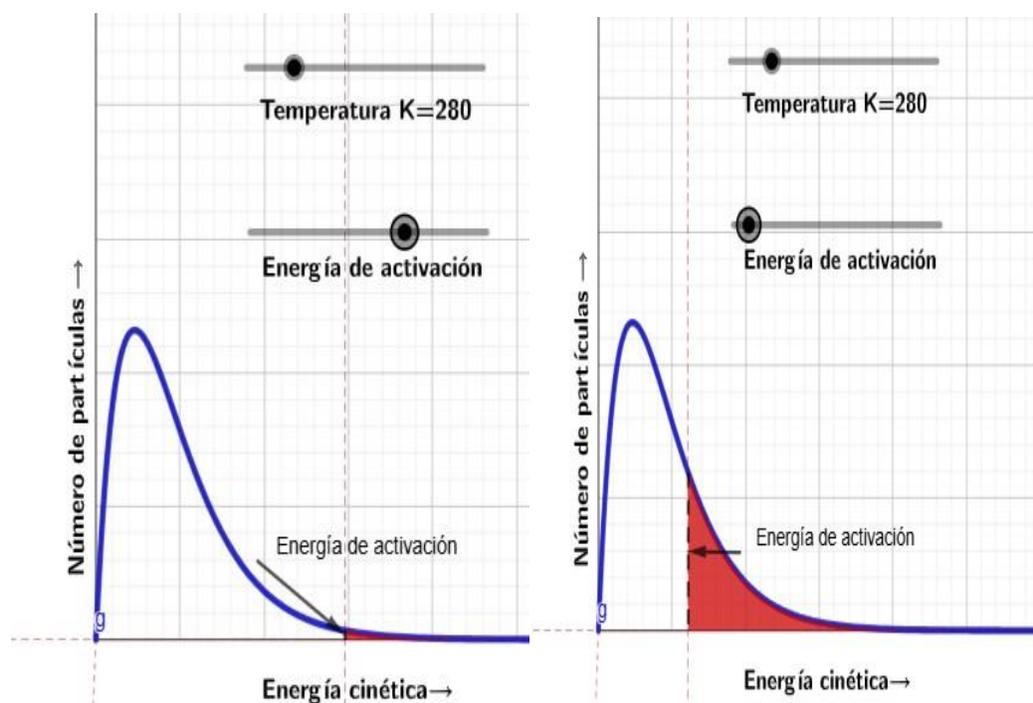


Nota. Obtenido de Smith (1991).

Según la ecuación 13, la velocidad de la reacción aumentaría exponencialmente en función a la temperatura, ya que va ser mayor número de partículas que van a superar la energía de activación. De igual forma cuanto menos sea la energía de activación (E_a), mayor será la velocidad de la reacción.

Figura 12

Efecto de la energía de activación en la velocidad de reacción

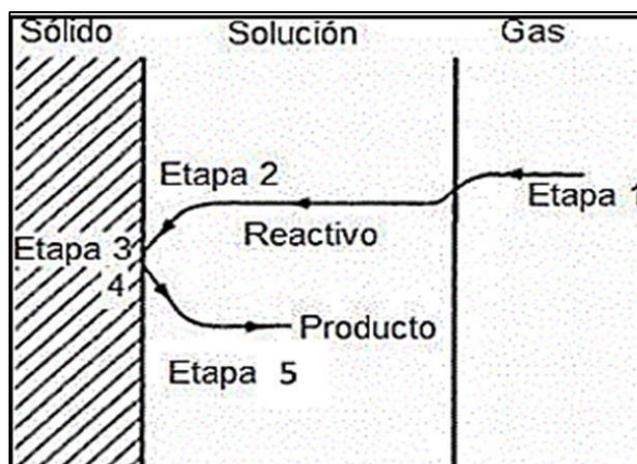


Nota. Tomado de Valdés, J. (s.f.).

2.4.4 Cinética de las Reacciones Heterogéneas

Figura 13

Representación esquemática de las etapas de una reacción química heterogénea



Nota. Tomado de Bustinza Rivera (2019, pág. 19).

En la Figura 13 se muestra modelo de reacción simplificado. “Si la velocidad de toda la reacción es controlada por las etapas 1, 2 o 4, se dice que la reacción es controlada por transferencia de masa. Pero si la etapa 3 controla la velocidad del proceso, la reacción sería controlada químicamente” (Uceda H., 2020, pág. 131). La etapa determinante de la velocidad puede cambiar para una reacción, “si las condiciones cambian; si se aumenta la concentración de un reactivo limitante de la velocidad, una reacción puede cambiar de ser controlada por transferencia de masa a químicamente controlada, ya que hay reactivos disponibles para su transferencia a la superficie de la reacción” (Marsden J.O, 2009, pág. 132). Una reacción para la que tanto la transferencia de masa como los factores químicos afectan su velocidad, se dice que procede bajo control mixto.

Las reacciones homogéneas son generalmente más rápidas que las heterogéneas, ya que incluyen solo transferencia de masa por una sola etapa; las especies de solución reaccionan rápidamente ya que no hay ningún requisito para la adsorción en, o desorción de, una superficie sólida. En comparación, las reacciones heterogéneas incluyen transferencia de masa de especies a lo largo de la fase límite, lo que usualmente, puede ser la etapa que determina la velocidad en una reacción química; si este paso en particular de la reacción puede acelerarse, entonces, se incrementa la velocidad de reacción. Las reacciones más importantes en los procesos hidrometalúrgicos de extracción del oro son los heterogéneos, los cuales incluyen la transferencia de metales y minerales entre las fases sólidas y líquidas (Marsden J.O, 2009, pág. 132).

La etapa 3 en la Figura 13, puede incluir dos tipos de reacciones: “(1) aquellas que involucran solo una reacción química (disolución de un óxido en un ácido) o (2) aquellas que son electroquímicas, es decir, una oxidación o reducción que incluye transferencia de electrones” (Marsden J.O, 2009). “

Según Uceda (2020) La etapa 3 frecuentemente incluye algunas de las siguientes sub-etapas:

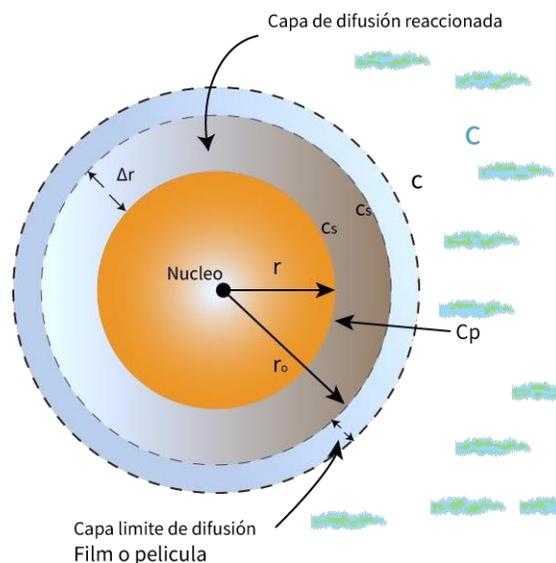
- ✓ Hidroxilación-hidratación de la superficie (en lugares favorables).
- ✓ Reacción de especies en la superficie (p.e. protonación).
- ✓ Adsorción de especies reactantes en la superficie sólida.
- ✓ Desorción de las especies del producto a partir de la superficie sólida.
- ✓ Reacción del producto en solución.

La etapa de reacción química raramente determina la velocidad en la mayoría de los procesos industriales de extracción del oro, los cuales están designados para proceder en velocidades suficientes que proporcionen un proceso económico; por lo tanto, la transferencia de masa frecuentemente limita la reacción. Sin embargo, hay excepciones que incluyen la oxidación a presión y la lixiviación intensiva con cianuro (Uceda H., 2020, pág. 132).

2.4.5 Cinética de Lixiviación en los Procesos de Extracción de Oro

De manera general, en un proceso de lixiviación se puede distinguir las siguientes etapas, como se muestra en la figura 14 y estas son:

1. Etapa de la difusión del lixivante a través de la capa limite hacia la superficie del sólido.
2. Etapa de la difusión del lixivante al interior de la partícula sólida a la zona de la reacción.
3. Etapa de la ocurrencia de la reacción química y la formación de los productos de la reacción.
4. Etapa de la difusión de los productos a través de la partícula hacia la superficie del sólido.
5. Etapa de la difusión de los productos solubles por la capa limite hacia el seno de la solución y formar la solución PLS.

Figura 14*Modelo de núcleo decreciente*

Nota. Adaptada de Levenspiel (1999).

Para la mayoría de los procesos hidrometalúrgicos, la cinética es controlada por las etapas 1, 2 y 3 esto por el hecho de que las etapas 4 y 5 suelen ocurrir muy rápido por lo que son despreciables su incidencia en la cinética.

Diversos autores coinciden en que la lixiviación de minerales metálicos, como el oro, puede estar controlada por mecanismos de difusión del agente lixivante hacia el interior de la partícula sólida. Levenspiel (1998) y Habashi (1999) destacan que, en sistemas porosos o parcialmente reaccionados, la etapa limitante suele ser la difusión a través de la capa de producto o la porosidad del mineral. Este modelo, conocido como núcleo en contracción, ha sido ampliamente utilizado para describir el comportamiento cinético de la lixiviación.

Por otra parte, es bien conocido que el modelo de la lixiviación de oro suele estar controlado por la velocidad con que el agente lixivante se difunde desde la superficie al interior de la partícula sólida. Por lo que será necesario utilizar la ley de Fick para modelar su comportamiento del

proceso. Para fines de modelar el proceso, “se considera la partícula de forma esférica que en su interior contiene la especie de interés a ser lixiviado. el análisis de modelo se realiza se desarrolla para cuantificar dos aspectos muy importantes” (Uceda H., 2020, pág. 138):

- ✓ Como varia el radio del núcleo sin reaccionar en función de la concentración.
- ✓ Como varia la concentración al transcurrir el tiempo del proceso.

“La velocidad de reacción del agente lixivante se puede plantear como la velocidad molar de difusión en la superficie genérica de la superficie y esto es” (Uceda H., 2020, pág. 138):

$$-\frac{dN_A}{dt} = 4\pi r^2 J_A \quad (14)$$

Donde:

N_A : número de moles de la especie A.

$\frac{dN_A}{dt}$: Tasa de cambio de la cantidad A con respecto al tiempo.

r : Radio de la superficie de difusión.

J_A : Flujo molar de la especie A (cantidad de sustancia transferida por unidad de area y tiempo).

Recurriendo a la ley de Fick para la difusión a través de un sólido, se tiene:

$$J_A = D_A \frac{\partial C_A}{\partial r} \quad (15)$$

Combinando la ecuación 14 y 15 e integrando se tiene:

$$-\frac{dN_A}{dt} \int_R^{r_c} \frac{\partial r}{r^2} = 4\pi D_A \int_{C_{AS}}^{C_{AC}} \partial C_A \quad (16)$$

Desarrollado integral, se obtiene la velocidad de consumo del agente lixivante y esto es:

$$-\frac{dN_A}{dt} = 4\pi D_A \frac{C_{AS1}}{\left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R}\right)} \quad (17)$$

Donde:

D_A : Es el coeficiente efectivo de difusión de A.

C_{AS} : Es la concentración de A en el seno del fluido.

$\frac{dN_A}{dt}$: Es la velocidad de difusión con que A penetra el sólido poroso B.

r_c, R : Es el radio crítico y el radio inicial de la partícula B.

Para seguir el modelado de la cinética, es necesario considerar la partícula de mineral lixiviado mediante la siguiente relación:

$$N_B = \rho_B V \quad (18)$$

Derivando y relacionando la estequiometria, es factible obtener la siguiente expresión:

$$-b \partial N_A = -4\pi \rho_B r_c^2 \partial r_c \quad (19)$$

sustituyendo en la ecuación 20 e integrando se obtiene:

$$\rho_B \int_{r=R}^{r_c} \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{r_c} \right) r_c^2 \partial r = D_{ACAS} \int_0^t \partial t \quad (20)$$

Desarrollando la integral se tiene:

$$t = \frac{\rho_B R^2}{6bD_{ACAS}} [1 - 3\left(\frac{r_c}{R}\right)^2 + 2\left(\frac{r_c}{R}\right)^3] \quad (21)$$

Donde la relación $\frac{r_c}{R}$ se puede relacionar con el grado de conversión de α_B , implica la fracción de

B que ha sido lixiviado, por cual el modelo es:

$$t = \frac{\rho_B R^2}{6bD_{ACAS}} [1 - 3(1 - \alpha_B)^2 + 2(1 - \alpha_B)^3] \quad (22)$$

Si se considera que τ es el tiempo necesario para lixiviar todo B presente, entonces finalmente el modelo queda de la siguiente manera:

$$t/\tau = [1 - 3(1 - \alpha_B)^{\frac{2}{3}} + 2(1 - \alpha_B)] \quad (23)$$

Figura 15

cinética de extracción de oro con el reactivo Gold Max



Nota. Obtenida de la tesis Quilichi (2019, pág. 18)

2.5 Extracción de Oro por Lixiviación

En el proceso de extracción del oro, la lixiviación es la disolución de un metal o un mineral en una solución acuosa. En la extracción de oro la reacción de interés es la disolución del oro presente en el mineral en una solución acuosa, las cuales requieren la presencia de un medio de acomplejante como un agente oxidante para alcanzar velocidades de disolución aceptable del metal oro. Solamente un cierto número limitado de ligandos forman complejos de estabilidad suficientemente estable para su uso en los procesos de extracción de oro. En el proceso de extracción de oro por lixiviación, el oxidante más comúnmente utilizado es el oxígeno, suministrado por el aire, el cual contribuye con el atractivo del proceso.

En la literatura existen diversos procesos desarrollados para la extracción de oro por lixiviación, siendo estas como la lixiviación agitada, lixiviación en pilas, lixiviación intensiva, etc.

“Los esquemas de lixiviación sin el uso del reactivo convencional de cianuro tienen las siguientes ventajas potenciales sobre el cianuro” (Marsden J.O, 2009, pág. 147):

- ✓ Las presiones ambientales, y en algunos casos las restricciones, pueden dificultar la aplicación del cianuro en ciertos lugares.
- ✓ Algunos tienen una cinética más rápida de lixiviación del oro.
- ✓ Algunos pueden aplicarse en medios ácidos, los cuales pueden ser más adecuados para el tratamiento de minerales refractarios.
- ✓ Algunos son más selectivos que el cianuro para el oro y plata, en lugar de otros metales (p.e. el cobre).
- ✓ Algunos son productos no regulados y ecológicos.

Sin embargo, pueden tener también algunas desventajas significativas, y ninguno parece ser muy aplicable, al menos sin que haya desarrollado estudios rigurosos y coherente a nivel de laboratorio.

Es de mencionar que la lixiviación del cloro/cloruro se aplicaba comercialmente en el siglo XIX, pero su uso disminuyó tras la introducción del proceso con cianuro en 1889. Las aplicaciones de las soluciones de tiosulfato, tiourea, tiocianato, amoníaco, sulfuro alcalino y otros halogenuros han sido investigados exhaustivamente en el laboratorio; varios procesos potenciales han sido desarrollados, pero ninguno ha sido aplicado comercialmente a gran escala. La química de dichos esquemas con reactivos alternativos es compleja por lo cual es necesario continuar con las investigaciones de extracción de oro, con productos alternativos al cianuro de sodio. (Marsden J.O, 2009, pág. 147)

2.5.1 Lixiviación

De manera general se puede definir cómo el tratamiento de un mineral, donde al hacer reaccionar con un disolvente bajo ciertas condiciones, se puede separar las partes solubles de las insolubles. Es decir, que el proceso de lixiviación consiste en la disolución selectiva de las especies de interés que están presentes en los minerales.

“La lixiviación consiste en la disolución del elemento de interés del mineral, por acción de un agente lixivante externo o suministrado directamente por el mineral en condiciones apropiadas” (Fabian C. F & Diaz, 2009, pág. 2). La lixiviación también se puede definir como un proceso de extraer un metal de interés a partir de un mineral, esta extracción se da por el uso de reactivos químicos que disuelven al metal de manera electiva, como por ejemplo el cianuro de sodio, sandios, Gold Max, NR Dezo, etc.

2.6 Métodos de lixiviación

2.6.1 Método de Lixiviación por Agitación

Este método es aplicado a un amplio rango de tipos de minerales con una máxima liberación de la especie valiosa, para obtener buena extracción de oro, ya que se aumenta el área de contacto entre la superficie y la solución lixivante, si el oro es más expuesto a las soluciones lixivante, mayor será su disolución del oro. La recuperación de oro de las soluciones PLS se realiza en dos formas. Una es la del Carbón activado (CIP) y la otra técnica es la de precipitar con polvos de zinc (Merril Crowe).

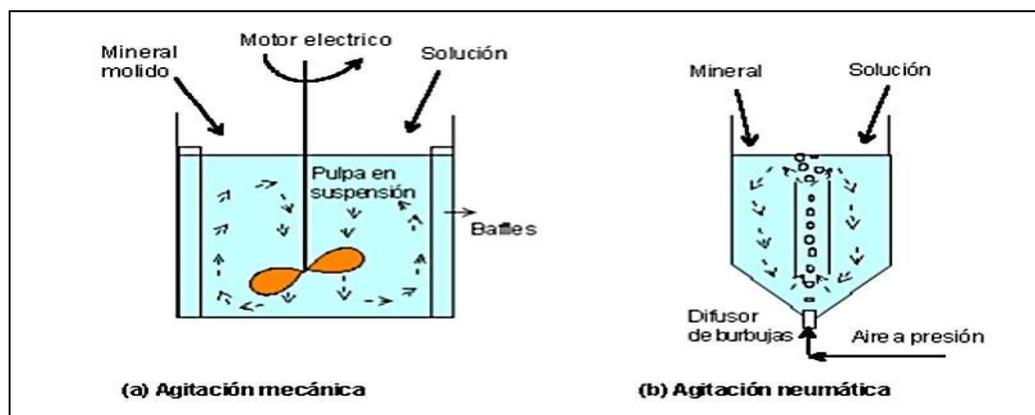
Este método, requiere la etapa de molienda, para que se dé mayor interacción entre la solución lixivante y la especie de interés, y obtener una velocidad de disolución mucho mayor, generalmente, este proceso, se aplica a minerales de alta ley.

2.6.1.1 Agitación Mecánica y Agitación Neumáticas

La lixiviación por agitación, se lleva a cabo en tanques agitados por alguna de las alternativas; ya sea por agitación neumática, agitación mecánica y/o agitación mixta (figura 16). La agitación neumática o por aire se emplean los denominados elevadores de aire, en cambio la agitación mecánica se realiza en tanques generalmente cilíndricos, el agitador puede tener diferentes formas (hélice o álabe) y esta geometría del agitador varía dependiendo de las características granulométricas del mineral y la viscosidad de la pulpa, generalmente en el fondo del tanque con un movimiento continuo. (Cristina R, 2013, pág. 143)

Figura 16

Equipos de lixiviación por agitación



Nota. Tomado de Cáceres A.(2007, pág. 64).

Ambos mecanismos de agitación mantienen el mineral en constante movimiento hasta lograr una buena disolución de oro, actualmente muchas industrias dedicadas a la extracción auríferas utilizan con mayor frecuencia los agitadores mecánicos con agitador tipo alabe.

2.6.1.2 Ventajas y Desventajas de Lixiviación por Agitación

El proceso de lixiviación por agitación, presenta ciertas ventajas y desventajas comparadas con otros métodos de lixiviación, siendo las siguientes:

Ventajas: “Alta extracción del elemento a recuperar, tiempos cortos de procesamiento (horas), proceso continuo que permite una gran automatización y facilidad para tratar menas alteradas o generadoras de finos” (Cáceres A., 2007, pág. 63).

Desventajas: “un mayor costo de inversión y operación y necesita una etapa de molienda y una etapa de separación sólido-líquido (espesamiento filtración)” (Cáceres A., 2007, pág. 63).

2.6.2 Efecto de Variables en la Lixiviación por Agitación

2.6.2.1 Efecto de Partícula

El tamaño de partícula es una de las variables muy importantes porque permite conocer el rango óptimo del mineral al que se va someter al proceso. “Generalmente cuando el oro es libre y grueso se aplican los métodos gravimétricos para su recuperación “De otro modo, estas partículas gruesas no podrían ser completamente disueltas en el tiempo adecuado para la cianuración” (Misari Ch., 2010, pág. 2).

El material a lixiviar se muele a un tamaño que optimiza los costos de conminución y recuperación de oro, típicamente entre 80% menor a 150 μm y 80% menor a 45 μm . En algunos casos, es posible que sea necesario reducir de tamaño el mineral hasta un 80 % <20 a 25 μm para un procesamiento óptimo, ya sea mediante pretratamiento oxidativo y/o lixiviación. Para tamaños mayores aproximadamente de 150 a 180 μm la lixiviación por agitación rara vez se aplica ya que es cada vez complicado mantener los sólidos gruesos en suspensión así mismo las tasas de abrasión aumentan. La lixiviación por agitación es cada vez más considerada para tratar materiales de molienda muy fina y, con los avances

en equipos de molienda, los concentrados se han molido al 80 % <7 a 10 μm para liberar el oro contenido en matrices minerales de sulfuro refractarias y semirrefractarias antes de su extracción, procesamiento por lixiviación por agitación y/o pretratamiento oxidativo. (Pari Z., 2022, pág. 32)

2.6.2.2 Efecto de Oxígeno

El oxígeno generalmente se introduce en los sistemas de lixiviación como aire comprimido, ya sea introducido en tanques como método principal de agitación o suministrado puramente para aireación. Por lo general, las concentraciones de oxígeno disuelto se pueden mantener en, o cerca de, los niveles de saturación calculados con aspersión de aire eficaz (es decir, 8,2 mg/L O₂ al nivel del mar a 25 °C). En algunos casos, particularmente cuando se tratan minerales que contienen minerales que consumen oxígeno, es posible usar oxígeno puro o peróxido de hidrógeno para aumentar las concentraciones de oxígeno disuelto por encima de las alcanzables con sistemas simples de aspersión de aire. (Pari Z., 2022, pág. 34)

Una de las reacciones descritas por Marsden, (2009) es la conocida como la reacción de Elsner, que representa la disolución del oro metálico en una solución de cianuro. Donde se puede observar la el efecto del oxígeno en proceso de lixiviación del oro.



2.6.2.3 Modificación de pH

“Los procesos de lixiviación de minerales auríferos, operan entre pH 10 y 12. La adición escalonada de álcali se puede requerir en todo el circuito para mantener el pH, particularmente cuando se tratan minerales que consumen álcali” (Uceda H., 2020, pág. 273).

2.6.2.4 Densidad de la Pulpa

La lixiviación generalmente se realiza a densidades de pulpa entre 25 % y 50 % de sólidos, según la gravedad específica de los sólidos, el tamaño de las partículas y la presencia de minerales que afectan la viscosidad de la pulpa (por ejemplo, arcillas). A densidades de pulpa bajo los fenómenos de transporte se ven favorecidos. Por lo contrario, a medida que aumenta la densidad el tiempo de retención de sólidos en un volumen fijo de equipo de lixiviación aumenta. Así mismo, aumentando la densidad de pulpa es posible minimizar el consumo de reactivos, ya que se pueden lograr concentraciones optimizadas con dosis más bajas. (Pari Z., 2022, pág. 32)

2.6.2.5 Tiempo de Residencia

Previa evaluación mediante la realización de pruebas, los requisitos de tiempo de residencia varían en la lixiviación de material tratado. Los tiempos de lixiviación que se aplican en la práctica varían desde unas pocas horas hasta varios días, pero por lo general son de 12 a 36 horas. La lixiviación generalmente se realiza en tres a seis etapas, y el volumen de la etapa individual y el número de etapas dependen del flujo de la pulpa, el tiempo de residencia requerido, la eficiencia del equipo de mezcla utilizado y el diseño de ingeniería. (Pari Z., 2022, pág. 34)

2.6.2.6 Efecto de la Concentración de Lixivante

La concentración del lixivante es uno de los variables que tiene influencias considerables, esto ya sea en su mayor o menor concentración, así se tiene: “a mayor concentración en los productos el equilibrio tiende a desplazarse hacia los reactivos para compensar la reacción (el equilibrio se va de derecha a hacia izquierda)” (Uceda H., 2020, pág. 274) “y a mayor

concentración en los reactivos, el equilibrio tiende a desplazarse hacia los productos (el equilibrio se va de izquierda hacia la derecha)” (Uceda H., 2020, pág. 274).

2.7 Lixiviación con el Reactivo Gold Max como Agente Lixivante

2.7.1 Historia

“En el año 2010, la Royal Chemical del Perú, patentó y fabrico industrialmente el reactivo Gold Max, como una alternativa en la lixiviación del oro y la plata, que reemplaza al cianuro por ser este un reactivo toxico y contaminante del medio ambiente” (Molina V., 2021, pág. 22).

Este lixivante representa un logro científico y tecnológico, que sale como agente después de muchos de investigación científica por expertos e instituciones.

Uno de los principales desafíos que enfrentan muchas empresas mineras dedicadas a la extracción de oro es operar de manera ambientalmente responsable, sin comprometer la productividad. En este contexto, como alternativa al uso tradicional del cianuro en los procesos de lixiviación, ha surgido Gold Max, un agente orgánico que se presenta como una opción más segura y menos perjudicial para el medio ambiente. Su implementación busca no solo reducir el impacto ecológico, sino también mantener e incluso mejorar la eficiencia del proceso extractivo

Definitivamente el Gold Max, representa una evolución para la minería aurífera, que por antecedentes logra reemplazar al cianuro en la lixiviación de minerales auríferos dando los mismos resultados en la eficiencia, pero resultan ser un agente que genera menor impacto ambiental. Este producto fue desarrollado, producido y comercializa por ROYAL CHEMICAL DEL PERU.

2.7.2 Gold Max

El Gold Max es un agente nuevo con una formulación patentada y se consideran la máxima innovación ya que se puede considerar sustituto del cianuro, los cuales son agentes de extracción de oro que pueden reemplazar el tradicional uso de cianuro que por lo general se

considera como agente lixivante de oro y plata. en los procesos de lixiviación de oro y plata se puede aplicarse desde la molienda de minerales. Es un lixivante eficaz y de bajo consumo que ofrece la recuperación oro de muy similar a la que se obtiene con el cianuro a un costo razonable para hacer viable a cualquiera operación basada en costo – beneficio. (CHEMICAL, 2010, pág. 1)

El agente es aplicable para procesar minerales auríferos ya sea de carácter óxidos, sulfuros, relaves y puede aplicarse en todas las modalidades de recuperación de oro y plata por lixiviación.

2.7.3 *Funcionamiento del Gold Max*

De acuerdo a la empresa proveedora, la lixiviación con Gold Max, se desarrolla en forma eficiente en pH =11-12 es muy estable y con una mayor tasa de lixiviación por unidad de tiempo, lo que proporciona rapidez en el tiempo de extracción, es decir estable en eficiencia y rendimiento.

Exhibiendo marcadas ventajas técnico-económicas, cuando se le compara con otros productos similares que se ofrecen en el mercado, ya que estos no actúan eficientemente con todo tipo de mineral, muy por el contrario, presentan consumos elevadísimos, reportándose en los estudios realizados hasta 7 a 12 veces consumos más altos, que cuando se usa Gold Max.

El Gold Max, se promociona como un producto muy superior, sumado a la seguridad, facilidad de uso y preservación del medio ambiente que ofrece su aplicación, en comparación con el cianuro. La información técnica que se tiene, indica como un producto que lixivia en forma selectiva discriminando Fe y Cu, lo cual no ocurre con cianuro y otros productos, además su costo es muy competitivo frente a otros reactivos, haciendo fácil tomar una decisión de rápido cambio de reactivo. (CHEMICAL, 2010, pág. 3)

2.7.4 Ventajas de Gold Max

- ✓ Ecológico y baja toxicidad.

Producto químico ordinario, no inflamable, no explosivo, no oxidante, no radiactivo, menos toxico, ecológico y seguro.

Según Royal Chemical Perú, el relave del proceso de lixiviación con Gold Max, contiene urea y fosfatos, elementos amigables con el medio ambiente.

- ✓ Amplia aplicabilidad.

Según Royal Chemical Perú, el Gold Max puede aplicarse a todo tipo de mineral sin distinción, ya sean óxidos, sulfuros y material mixto.

- ✓ Selectivo en la lixiviación (oro y plata).
- ✓ Rendimiento estable
- ✓ Alta tasa de lixiviación
- ✓ Menores tiempos de lixiviación

2.7.5 Características de Gold Max

El reactivo Gold Max es bastante estable que se puede almacenarse por largos periodos de tiempo a temperatura ambiente, sin embargo, es importante evitar el contacto con el agua o las lluvias ya que es un reactivo que pueda endurecerse, siempre se recomienda poner un techo en el lugar de almacenamiento.

La concentración del reactivo: A medida que varía el tiempo de proceso, la concentración del reactivo suele disminuir y eso se determina a través de la titulación con nitrato de plata.

El reactivo es una mezcla formada por las sustancias especificadas, se muestra a continuación ver tabla 3 (% en Peso).

Tabla 3*Componentes del reactivo Gold Max*

Componentes	CAS número	Aproximado (%) por peso
Óxido de sodio (Na₂O)	1313-59-3	35-50%
Nitrógeno (N)	7727-37-9	12-20%
Amonio (NH₄)	14798-03-9	7-12%
Humedad (H₂O)	7732-70-2	1-4%
Calcio (Ca)	7440-70-2	1-5%
Hierro (Fe)	7439-89-6	1-5%
Substancia insoluble en agua	-----	3-8%

Nota. Tomado de CHEMICAL, (2010, pág. 4).

El reactivo tiene las siguientes propiedades químicas y físicas como se observa en la tabla 4.

Tabla 4*Propiedades físicas y químicas del reactivo Gold Max*

Propiedad Física y Química	
Apariencia	Solida
Olor	Sin olor
pH	<10
Punto de ebullición	1496°C
Densidad	1.05
Densidad e Vapor	No aplicable
Solubilidad en el agua	100%
Temperatura de autoignición	No aplicable
Coefficientes partida en N-octanol	No aplicable

Nota. Tomado de CHEMICAL, (2010, pág. 4).

CAPITULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 *Hipótesis General*

Evaluando la concentración de Gold Max, el porcentaje de sólidos en pulpa y el tiempo de lixiviación en la extracción de oro con Gold Max por agitación de los minerales auríferos del yacimiento Chapiña, permite obtener porcentajes de extracción por encima del 90%.

3.1.2 *Hipótesis Específicas*

HE1: La concentración del reactivo Gold Max para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña, se encuentra en el rango de 0.04 a 0.08%

HE2: El porcentaje de sólidos en la pulpa para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña, está en el orden de 25 a 30%.

HE3: El tiempo de lixiviación para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña, está en el orden de 24 a 36 horas.

3.2 Variables

En el presente trabajo de investigación se han considerado las variables independientes y dependiente.

3.2.1 *Variables Independientes (X_i)*

1. **Concentración de reactivos Gold Max (X_1):** cantidad de reactivo de Gold Max por unidad de volumen de solución, para el proceso de lixiviación alcalina.
2. **Porcentaje de sólidos (X_2):** cantidad de mineral presente en la pulpa del proceso de lixiviación.

- 3. Tiempo de lixiviación (X3):** tiempo que demora el proceso de lixiviación con el reactivo Gold Max.

Para efectos de extracción de oro por el proceso de Gold Max a partir de los minerales del yacimiento Chapiña, los niveles de las variables independientes con incidencia baja y alta en el proceso son las que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Niveles de las variables independientes

Variables independientes	Nivel de las variables			Unidades
	Nivel bajo (-)	Punto medio	Nivel alto (+)	
X1: Concentración de reactivos Gold Max	0.04	0.06	0.08	%
X2: Porcentaje de sólidos	25	27.5	30	%
X3: Tiempo de lixiviación	24	30	36	h

Nota. Niveles bajos y altos para las pruebas experimentales, según el diseño.

3.2.2 Variable Dependiente (Y_i)

Porcentaje de extracción de oro (Y_1): es la cantidad de oro extraído desde el mineral, que está en función del oro que se encuentra en el mineral versus el oro disuelto con una solución de Gold Max.

3.2.3 Variables Intervinientes

- 1. Granulometría del mineral:** Es la distribución de tamaño de las partículas que compone un mineral.
- 2. pH:** Indica el grado de acidez y alcalinidad de un medio acuoso (pulpa de mineral).
- 3. Oxígeno disuelto:** Es el oxígeno molecular (O_2) que esta disuelto en una solución líquida.
- 4. Temperatura:** Medida de grado de calor que posee un medio acuoso.

3.3 Operacionalización de Variables

Tabla 6

Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR	DIMENSIÓN	UNIDAD	INSTRUMENTO
Porcentaje de extracción de oro (Y₁)	Dependiente	Es el porcentaje de oro extraído a partir del mineral, referente al 100% que contiene la cabeza.	Es la razón en el contenido metálico en la solución PLS y el contenido metálico en la cabeza, multiplicado por 100.	Presencia de Oro en la solución.	0 a 100	%	Análisis de laboratorio, ley de cabeza en reporte químico. Hoja de cálculo Excel para el balance.
Concentración de reactivos Gold Max (X₁)	Independiente	Cantidad de reactivo de Gold Max (soluto) que se encuentra disuelto en una cantidad de solución dada.	La concentración del reactivo Gold Max se mide mediante la titulación con Nitrato de Plata.	Presencia de Gold Max en la solución.	0.04 a 0.08	%	Titulación con nitrato de plata y yoduro de potasio.
Porcentaje de sólidos (X₂)	Independiente	Cantidad de mineral presente en la pulpa	La medición del porcentaje de sólidos se realiza utilizando la balanza Marcy.	Presencia de partículas de mineral en la pulpa.	25 a 30	%	Balanza Marcy. Densidad de la pulpa.
Tiempo de lixiviación (X₃)	Independiente	Duración de la interacción del mineral con la solución Gold Max para producir la disolución y extraer la especie de interés, proceso que va de sólido a líquido.	La medición del tiempo de lixiviación se controla con un cronometro en horas.	Cantidad de Oro extraído en función del tiempo.	24 a 36	h	Cronometro

Nota. Operacionalización de las variables dependientes e independientes.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

1.1 **Ámbito de estudio: Localización Política y Geográfica**

El trabajo de investigación, tomará como estudio el mineral procedente del yacimiento minero Chapiña, ubicado en el distrito de Colquemarca, provincia de Chumbivilcas, región Cusco, específicamente del anexo de Chacaray. Con coordenadas “ UTM WGS84, zona 18, E: 822743.48 y N: 8420365.09 que limita por el lado este con el distrito de Chamaca y por el lado norte con el distrito de Santo tomas”. (GEOCATMIN, 2025)

Figura 17

Ubicación de las labores mineras del yacimiento Chapiña



Nota: Labores mineras en el yacimiento chapiña

1.1.1 Ubicación del Yacimiento Chapiña

El yacimiento minero Chapina. se ubica al lado Este de la localidad de Colquemarca a 40 minutos hasta la ubicación de las labores mineras, se encuentra a una distancia de 7 km desde la localidad y 5 km del desvío de la carretera que sale hacia cusco, en la entrada principal se ubica

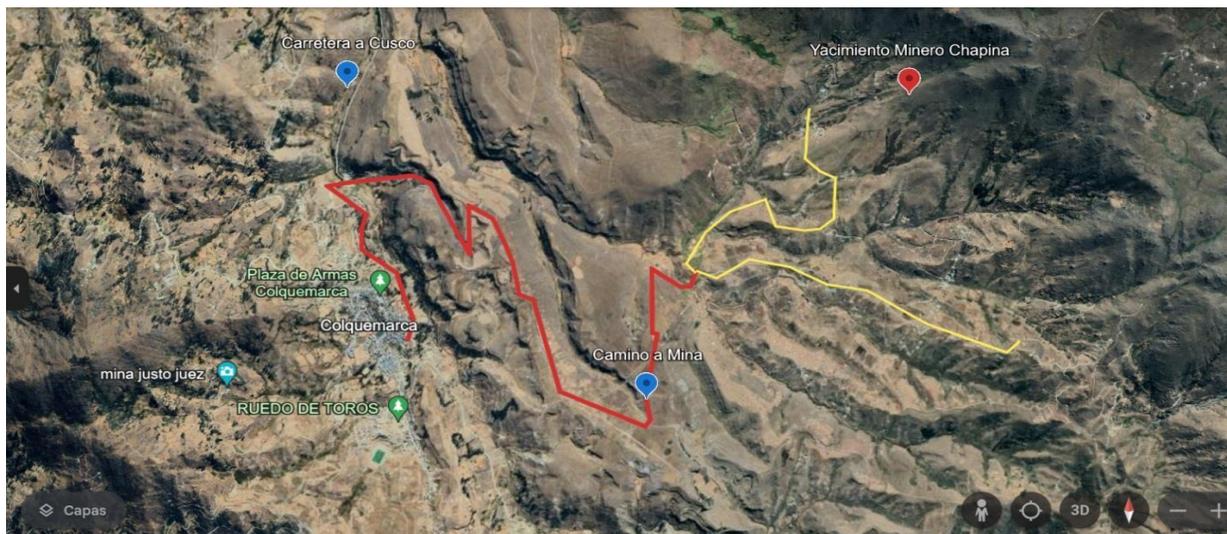
un letrero que indica que tiene dos accesos que va en dirección a lado Sur a las labores mineras y en dirección Este a la localidad de anexo Chacaray.

- ✓ **Ubicación:** Cusco, Chumbivilcas, Colquamarca
- ✓ **Latitud:** 14° 16' 10"
- ✓ **Longitud:** 72° 00' 31"
- ✓ **Altitud:** 3650 m.s.n.m.

(GEOCATMIN, 2025)

Figura 18

Ubicación en mapa del yacimiento minero Chapiña - Colquamarca



Nota. Adaptado de (GEOCATMIN, 2025)

1.1.2 Ubicación del Laboratorio de Procesamiento de Minerales de la UNSAAC

Ubicado en la Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, UNSAAC.

- ✓ **Ubicación:** Av. de la Cultura 773. Cusco, Cusco, Cusco.
- ✓ **Latitud y longitud:** -13.522306901690536, -71.9569079382793
- ✓ **Altitud:** 3400 m.s.n.m.

(GEOCATMIN, 2025)

1.2 Diseño de la investigación

1.2.1 Enfoque de la Investigación

La investigación se considera cuantitativo, ya que se manipularon variables como la concentración del reactivo Gold Max, el porcentaje de sólidos en la pulpa y el tiempo de proceso, mientras que otras variables, como la granulometría y el pH, se mantuvieron constantes como condiciones estándar. El resultado principal obtenido fue el porcentaje de extracción de oro, lo cual evidencia la existencia de una relación entre las variables estudiadas. Los datos recolectados fueron cuantificados y analizados estadísticamente, con el objetivo de predecir el comportamiento de la población bajo diferentes condiciones experimentales.

1.2.2 Nivel de la Investigación

La investigación es del tipo experimental que se ubica en el nivel explicativo, porque se manipulo las variables en condiciones controladas y se estableció relaciones de causa y efecto. Con ello se pudo determinar la influencia o grado de significancia que tiene cada una de las variables independientes en el porcentaje de extracción del oro.

1.2.3 Diseño Experimental de la Investigación

La investigación tiene un diseño experimental de tipo factorial 2^3 con dos replicas en el punto centrales haciendo un total de 10 pruebas experimentales. Donde las variables independientes se consideran las causas y la variable dependiente que es el porcentaje de extracción del oro es el efecto.

1.3 Población y Muestra de Estudio

1.3.1 Población

La población de estudio son los minerales auríferos provenientes de las labores mineras de mineros artesanos que trabajan en el yacimiento Minero Chapina del distrito de Colquemarka, provincia de Chumbivilcas, región Cusco.

1.3.2 Muestra

Para obtener la muestra se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia (62 kg de mineral aurífero). Los cuáles fueron trasladados al laboratorio metalúrgico de la Universidad Nacional de San Abad del Cusco (UNSAAC) para su respectiva preparación mecánica (chancado y molienda). Después de haber sometido la muestra (62 kg) a una etapa de chancado se tomó una muestra representativa de 10 Kg por el método de cono y cuarteo, los cuales fueron sometidos a una etapa de molienda para alcanzar una granulometría de 80% - 200 malla. Con toda esta muestra obtenida se realizó las pruebas experimentales de lixiviación, determinación de G.E. y también los análisis para determinar la ley de Au.

1.4 Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

Se utilizó las siguientes técnicas e instrumentos para la recolección de datos:

- ✓ Las técnicas utilizadas fueron la observación, la experimentación y el análisis de los resultados.
- ✓ Con la observación se logró caracterizar el tipo de mineral, los reactivos a utilizar y los fenómenos de las pruebas de lixiviación con Gold Max.
- ✓ Con la experimentación se recolectó datos para el análisis de la cinética de molienda, gravedad específica.

- ✓ Por el método de análisis químico por ensayo al fuego se determinó el contenido de oro en las muestras (mineral, solución PLS).
- ✓ También se utilizó la técnica del análisis documental para la obtención de resultados del contenido metálico en la cabeza, solución PLS y ripio.

1.5 Materiales, Equipos, Reactivos

1.5.1 Materiales

- ✓ Pala.
- ✓ Sacos mineros.
- ✓ Bolsas herméticas.
- ✓ Botella rolada para las pruebas de agitación
- ✓ Botellas para las muestras PLS.
- ✓ Manta de geomembrana para realizar el muestreo
- ✓ Espátula
- ✓ brocha
- ✓ Papel PANPEHA
- ✓ Soporte universal
- ✓ Bagueta, bureta, piceta, pipeta, matraz.
- ✓ Papel filtro.
- ✓ Espátulas.
- ✓ Libros, artículos científicos y reactivos químicos.
- ✓ Otros.

1.5.2 Equipos

- ✓ Chancadora cónica: Es un equipo utilizado para la conminación de los minerales, para reducir el tamaño de mineral mediante un mecanismo de compresión.
- ✓ Molino de bolas a nivel de laboratorio: Son equipos que se utiliza para liberar las partículas valiosas del mineral mediante un mecanismo de abrasión e impacto.
- ✓ Pulverizador: Es un equipo que se usa para pulverizar muestras de mineral y dejarlas aptos para análisis químico.
- ✓ Cuarteador de reflex: Es un equipo que se utiliza para determinar una muestra en dos cantidades o porciones iguales.
- ✓ Balanza analítica: Es un equipo diseñado para medir pequeñas masas.
- ✓ Estufas: Son equipos que se utilizan para poder eliminar la humedad en una muestra.
- ✓ Balanza digital: Es un equipo que cuantifica el peso de una determinada sustancia.
- ✓ Balanza marcy: Es un equipo utilizado para la medición de gravedad específica, densidad de pulpa y porcentaje de sólidos.

1.5.3 Reactivos

- ✓ Nitrato de plata
- ✓ Yoduro de potasio (5%)
- ✓ Gold Max.
- ✓ Cal.
- ✓ Agua destilada.
- ✓ Otros.

1.6 Validez y Confiabilidad de Instrumentos.

Los materiales, instrumentos y equipos utilizados durante las pruebas experimentales a nivel de laboratorio son de la Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, laboratorio de concentración de minerales y laboratorio de hidrometalurgia.

1.7 Técnicas de Procesamiento de Datos y Plan de Análisis de Datos

Con los datos y resultados obtenidos en cada prueba de lixiviación, se realizó balances metalúrgicos para determinar el porcentaje de extracción, para lo cual se recurrió a la herramienta de Excel. También se aplicó estadística a fin de procesar y correlacionar los datos, lo que permitió obtener un modelo matemático y que nos permitió identificar las variables de mayor incidencia en la extracción de oro. Para tal fin, se aplicó el diseño de experimentos (Diseño Factorial 2^K), a fin de procesar e identificar la influencia de las en la extracción de oro.

Para el análisis de datos y resultados se utilizará el Software estadístico Minitab versión 19.1, a fin de analizar e interpretar:

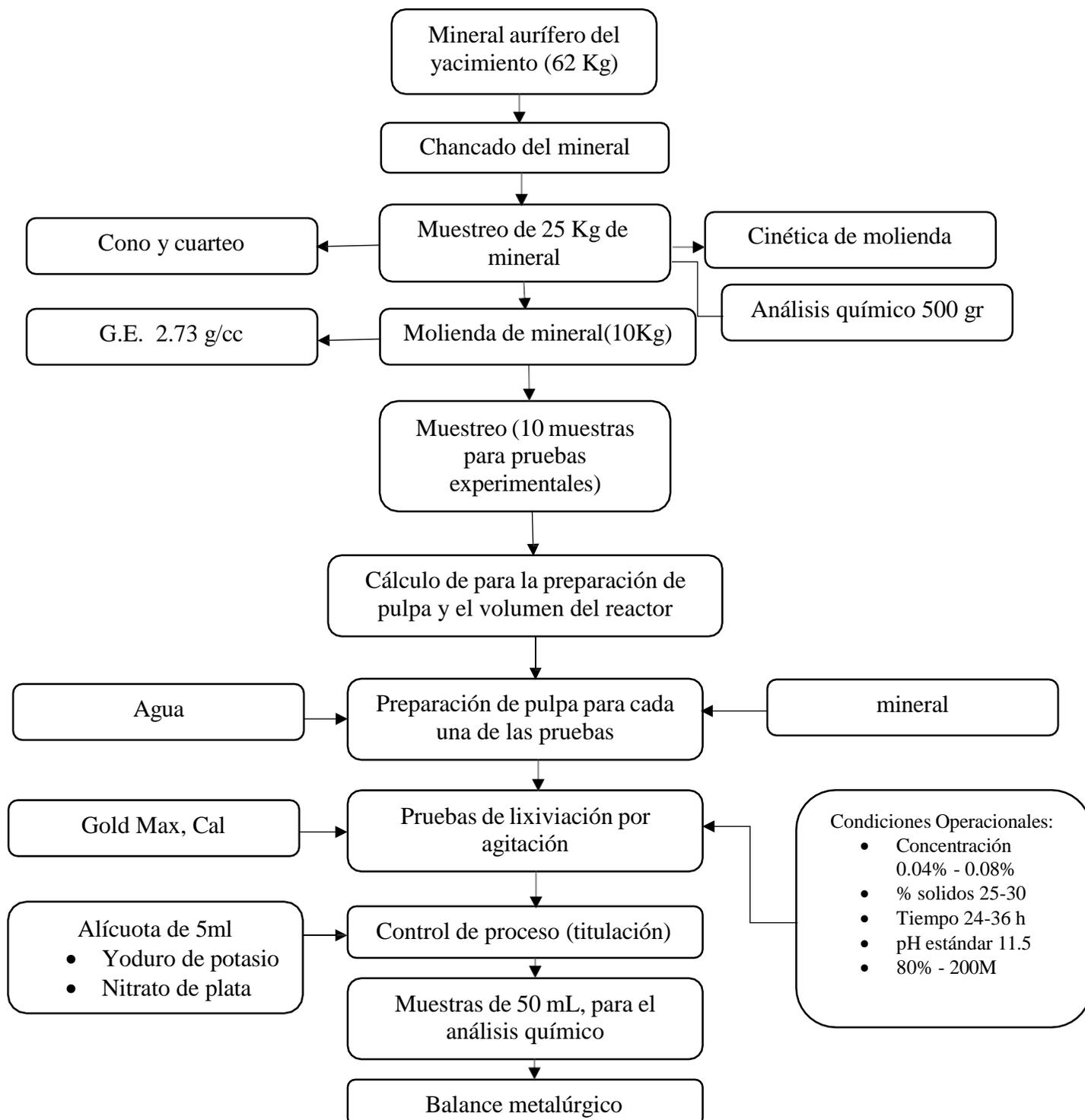
- ✓ Los efectos y la interacción de las variables.
- ✓ Análisis de varianza.
- ✓ Modelo matemático.
- ✓ Parámetros óptimos
- ✓ Análisis grafico
- ✓ Otros.

1.8 Metodología Seleccionada y Aplicada al Proyecto de Investigación

El procedimiento experimental con las muestras de mineral aurífero del yacimiento de Chapiña se desarrolló acorde al diagrama de flujo, que se muestra en la figura 19.

Figura 19

Diagrama de flujo del procedimiento experimental



Nota. Pasos para el procedimiento experimental del presente trabajo de investigación.

CAPITULO V

DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Descripción de la Preparación Mecánica del Mineral

1. Se trabajo con una muestra de mineral con un peso total de 62 kg extraído del yacimiento Chapiña, la muestra de mineral fue homogenizado y muestreado hasta obtener una muestra representativa de 25 Kg.
2. La muestra obtenida se trituro en una chancadora de quijada de 6'' (GY-ROLL CRUSHER), como resultado de esta etapa se obtuvo un producto de tamaño entre 3/4'' a 1/4'' el cual se muestreo hasta obtener 10 Kg de mineral.
3. La muestra obtenida de la etapa de chancado (10 Kg), se somete a una etapa de chancado secundario utilizando una chancadora cónica hasta obtener un tamaño de partícula 100% - 10 malla.
4. Se determino la cinética de molienda, para poder determinar el tiempo en el cual vamos a llegar a obtener un producto de molienda 80% -200 malla.
5. La molienda de mineral se realiza con una muestra de 1 Kg por cada sesión durante 10, 15, 20 y 25 minutos para obtener un producto de 80% -200 malla.
6. Finalmente se tiene una muestra representativa para las pruebas experimentales de 10 Kg al 80% -200 malla.

5.2 Característica Mineralógica

Mineralización: Oro, pirita, Cuarzo y Limonita.

Ensayo: 13.94 g/TM de Au

5.3 Determinación de la cinética de molienda

Para poder determinar la cinética de molienda o tiempo óptimo de molienda se realizó 4 pruebas hasta alcanzar un 80% -200 Malla. los resultados obtenidos se muestran en la tabla número 7, además en la figura 20 podemos observar la ecuación lineal con el cual se determinó el tiempo de molienda para obtener una granulometría del mineral del 65% -200 Malla.

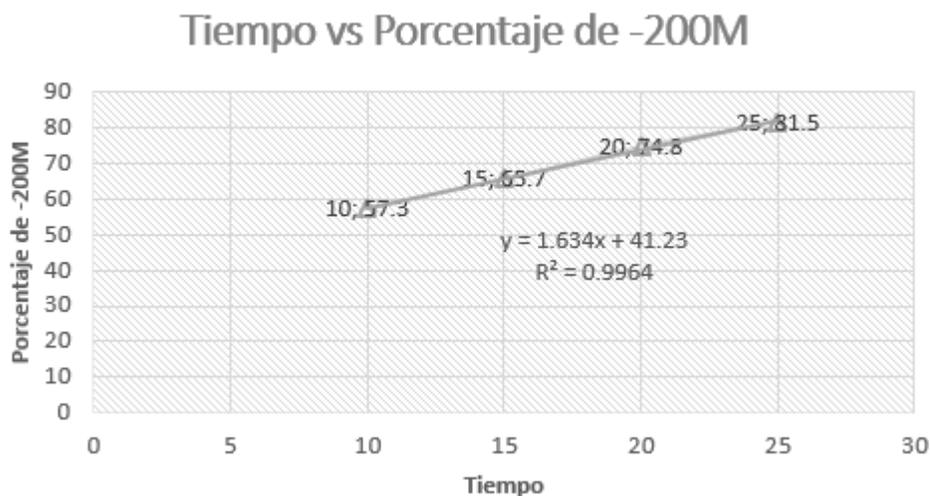
- ✓ Se peso 4 Kg de mineral para 4 pruebas de cinética de molienda.
- ✓ Cada prueba se realiza con 1 Kg de mineral
- ✓ Las pruebas se realizan para tiempos de 25, 20, 15 y 10 min.

Tabla 7

Cinética de molienda

N° prueba	Tiempo (minutos)	% (-200 Malla)
1	25	81.5
2	20	74.8
3	15	65.7
4	10	57.3

Nota. Resultados un determinado % de – 200 Malla con respecto a la granulometría del mineral para cada intervalo de tiempo de molienda.

Figura 20*Cinética de molienda*

Nota. tiempo de molienda versus el porcentaje de -200 Malla obtenido, además se puede observar el ajuste lineal para los datos obtenidos.

5.4 Determinación de la Gravedad específica

Para poder determinar la gravedad específica del mineral por el método de la fiola los cuales se muestran en la tabla 8. Se hace uso de la siguiente ecuación 13.

$$G. E. = \frac{P_{Mineral}}{P_{fiola+H2O} + P_{Mineral} - P_{fiola+H2O+Mineral}} \quad (25)$$

Donde:

$P_{Mineral}$: Peso del mineral

$P_{fiola+H2O}$: Peso de la fiola más agua.

$P_{fiola+H2O+Mineral}$: Peso del mineral mas agua y la fiola.

Tabla 8*Gravedad específica del mineral*

N° Prueba	P fiola (g)	P_{fiola+H2O} (g)	P Mineral (g)	P_{fiola+H2O+Mineral} (g)	G.E.
1	56.5	156	5	159.1	2.63
2	56.1	155.1	5	158.4	2.94
3	56.4	155.7	5	158.8	2.63
Promedio					2.73

Nota. Resultados y el promedio de la G.E. obtenidos por el método de la fiola.

La gravedad específica (G.E.) promedio con lo que se trabajó es 2.73 g/cm^3 .

5.5 Preparación y Caracterización de pulpa de mineral

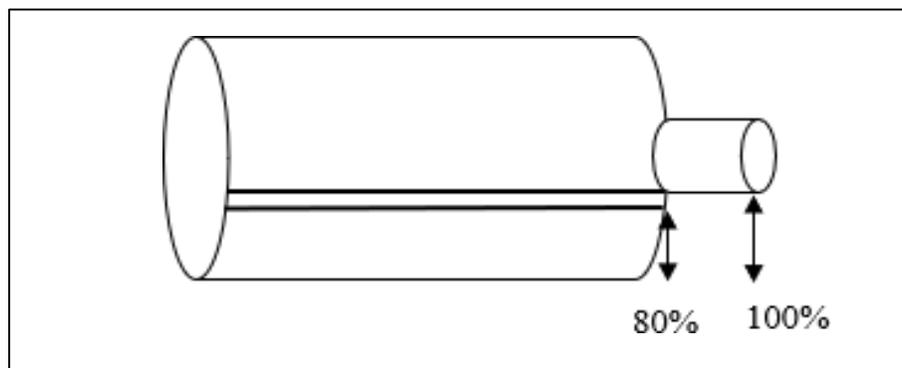
Para poder determinar las proporciones de agua y mineral (pulpa) que se necesita en cada una de las pruebas experimentales. Es necesario conocer el volumen útil del reactor, con este volumen se realiza el cálculo de las proporciones de agua, mineral para formar una pulpa con un determinado porcentaje de sólidos. Por otra parte, también es muy importante determinar la densidad de pulpa para un determinado porcentaje de sólidos el cual también nos ayuda a determinar las proporciones de agua y mineral.

Capacidad del reactor

Para determinar la capacidad de nuestro reactor, se llenó al 100% de su capacidad con agua para luego medir en una probeta. Pero para poder realizar nuestras pruebas experimentales y evitar posibles derrames o pérdidas de muestra se consideró el 80% de su capacidad. Como se podrá apreciar en la figura 21.

Figura 21

Representación del reactor para las pruebas de lixiviación por agitación



Nota. La figura nos muestra una ilustración del reactor, donde nos señala el volumen útil que es el 80%.

$$Volumen_{reactor\ util} = \frac{Volumen_{100\%} * 80\%}{100\%} \quad (26)$$

$$Volumen_{reactor\ util} = \frac{1250\ cm^3 * 80\%}{100\%}$$

$$Volumen_{reactor\ util} = 1000\ cm^3 = 1000\ ml$$

Cálculo de la densidad de pulpa para 25%

Para realizar los cálculos de la densidad de pulpa para un porcentaje de sólidos se usó la siguiente ecuación 15.

$$\%S = \frac{G.E. * (\rho_{pulpa} - \rho_{Agua}) * 100\%}{\rho_{pulpa} * (G.E. - \rho_{Agua})} \quad (27)$$

Donde:

G.E.: gravedad específica del mineral

ρ_{Agua} : densidad del agua

ρ_{pulpa} : densidad de la pulpa

$$\%25 = \frac{2.73 * (\rho_{pulpa} - 1) * 100\%}{\rho_{pulpa} * (2.73 - 1)}$$

$$\rho_{pulpa} * 0.25 * 1.73 = 2.73 * \rho_{pulpa} - 2.73$$

$$\rho_{pulpa} * 0.433 = 2.73 * \rho_{pulpa} - 2.73$$

$$\rho_{pulpa} = 1.188 \text{ g/cm}^3$$

La tabla 9 muestra el cálculo de las proporciones de agua y mineral para una pulpa de 1000 cm³ (volumen útil), con 25% de sólidos, 1.188 g/cm³ y G.E. 2.73 g/cm³

Tabla 9

Cálculo de proporciones de agua y mineral para una pulpa al 25 % de sólidos

Producto	Porcentaje (%)	Masa (g)	Volumen (cm ³)
Mineral	25	297	109
Agua	75	891	891
Pulpa	100	1188	1000

Nota. Proporciones de agua y mineral para una pulpa con un 25% de sólidos.

Cálculo de la densidad de pulpa para 30%

$$\%30 = \frac{2.73 * (\rho_{pulpa} - 1) * 100\%}{\rho_{pulpa} * (2.73 - 1)}$$

$$\rho_{pulpa} * 0.30 * 1.73 = 2.73 * \rho_{pulpa} - 2.73$$

$$\rho_{pulpa} * 0.51 = 2.73 * \rho_{pulpa} - 2.73$$

$$\rho_{pulpa} = 1.235 \text{ g/cm}^3$$

La tabla 10 muestra el cálculo de las proporciones de agua y mineral para una pulpa de 1000 cm³(volumen útil del reactor), con 30%, 1.235 g/cm³ y G.E. 2.73 g/cm³

Tabla 10

Cálculo de proporciones de agua y mineral para una pulpa al 30 % de solidos

Producto	Porcentaje (%)	Masa (g)	Volumen (cm ³)
Mineral	30	370.5	135.5
Agua	70	864.5	864.5
Pulpa	100	1235	1000

Nota. Proporciones de agua y mineral para una pulpa con 30% de sólidos.

Cálculo de la densidad de pulpa para 27.5%

$$\%27.5 = \frac{2.73 * (\rho_{pulpa} - 1) * 100\%}{\rho_{pulpa} * (2.73 - 1)}$$

$$\rho_{pulpa} * 0.275 * 1.73 = 2.73 * \rho_{pulpa} - 2.73$$

$$\rho_{pulpa} * 0.476 = 2.73 * \rho_{pulpa} - 2.73$$

$$\rho_{pulpa} = 1.211 \text{ g/cm}^3$$

La tabla 11 muestra el cálculo de las proporciones de agua y mineral para una pulpa de 1000 cm³(volumen útil del reactor), con 27.5 %, 1.211 g/cm³ y G.E. 2.73 g/cm³.

Tabla 11

Cálculo de proporciones de agua y mineral para una pulpa al 27.5 % de sólidos

Producto	Porcentaje (%)	Masa (g)	Volumen (cm³)
Mineral	27.5	333.03	121.98
Agua	72.5	877.97	877.97
Pulpa	100	1211	1000

Nota. Proporciones de agua y mineral para una pulpa con 27.5% de sólidos.

5.6 Cálculo de Consumo de Cal y su Reposición en el Proceso

- ✓ Para poder calcular la cantidad de cal inicial y tener una pulpa a un pH 11.5, se prepara una pulpa con 50 g de mineral.
- ✓ La pulpa se debe acondicionar durante 10 minutos, colocando los reactores en una banca de rodillos.
- ✓ Después de esta etapa se procede a medir el pH inicial que nos dio un valor de 7.8.
- ✓ Seguidamente se añadió cal poco a poco hasta llegar a un pH 11.5, en total la cal añadida fue de 1.94 g
- ✓ La cal inicial se calcula de la siguiente manera utilizando la siguiente ecuación.

$$Cal_{Inicial} = \frac{Cal_{Añadida} * Peso_{Mineral}}{Peso_{Mineral} \text{ para la prueba de pH}} \quad (28)$$

- ✓ A continuación, se realiza el cálculo de cal inicial para la prueba N° 1, de la misma manera se realiza para las demás pruebas experimentales.

$$Cal_{Inicial} = \frac{1.94 \text{ gr} * 50 \text{ gr}}{Peso_{Mineral} \text{ para la prueba de pH}} = 11.583 \text{ g de cal}$$

- ✓ Cálculo de reposición de cal en la prueba N°1, de igual forma para las demás pruebas experimentales.

$$Cal_{reposición} = \frac{Cal_{Inicial} * pH_{Lectura\ final}}{11.5} \quad (29)$$

5.7 Cálculo de Gold Max y su Reposición en el proceso

Para determinar la cantidad de Gold Max que se necesita al inicio de las pruebas de lixiviación se usa la siguiente relación matemática.

$$m_{GOLD\ MAX} = \frac{V_{Agua} * Concentración_{Gold\ Max}}{100} \quad (30)$$

Donde:

$m_{Gold\ Max}$: Peso de Gold Max (g).

V_{Agua} : Volumen de agua en cada prueba (cm³).

$Concentración_{Gold\ Max}$: Concentración de Gold Max en cada prueba experimental (% o ppm).

Para poder determinar la reposición de Gold Max en el proceso, debemos conocer la concentración final del reactivo Gold Max, el cual se calcula de la siguiente manera.

$$Concentración\ final_{GOLD\ MAX} = \frac{0.25 * Volumen\ gastado_{AgNO3}}{Volumen_{Muestra}} \quad (31)$$

5.8 Descripción del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max

- ✓ Como una primera etapa se prepara una pulpa de acuerdo al porcentaje de sólidos que se indica en cada una de las pruebas, como se indica en las tablas 9,10 y 11.
- ✓ Seguidamente se añade la cal de acuerdo a los cálculos realizados para llegar a un pH de 11.5.
- ✓ También se añade el reactivo Gold Max de acuerdo a la concentración necesaria para la prueba experimental. (0.04% y 0.08%).
- ✓ Se da inicio con las pruebas lixiviación por agitación en botellas.
- ✓ Se realiza controles periódicos de pH (medición de pH) y concentración del reactivo Gold Max (titulación) en los siguientes tiempos (1,2,4,8,16,24 y 36 horas).

- ✓ Se realizan adiciones de cal y Gold Max para mantener los valores iniciales de pH y concentración del reactivo Gold Max en cada prueba experimental.
- ✓ Al finalizar el proceso se obtienen soluciones cargadas de oro (solución PLS).

5.9 Pruebas de Lixiviación por Agitación con Gold Max

Para la realización de las pruebas experimentales se utilizó el diseño experimental 2^k , con 3 variables cada uno con un mínimo y máximo valor.

La tabla 12 y 13 se muestra el diseño experimental del tipo factorial con los valores codificados y valores a escala real.

Tabla 12

Diseño experimental para el desarrollo de las pruebas

N° Prueba	Concentración Gold Max	Porcentaje de Solidos	Tiempo de Lixiviación
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1
3	-1	1	-1
4	-1	1	1
5	1	-1	-1
6	1	-1	1
7	1	1	-1
8	1	1	1

Nota. Diseño factorial para el desarrollo experimental con los valores codificados.

Tabla 13*Diseño experimental con valores en escala natural y replicas centrales*

N° Prueba	Concentración Gold Max (%)	Porcentaje de Solidos (%)	Tiempo de Lixiviación (h)
1	0.04	25	24
2	0.04	25	36
3	0.04	30	24
4	0.04	30	36
5	0.08	25	24
6	0.08	25	36
7	0.08	30	24
8	0.08	30	36
9	0.06	27.5	30
10	0.06	27.5	30

Nota. Diseño experimental del tipo factorial.

5.9.1 Prueba N° 1 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max

Condiciones para la prueba de lixiviación y su respectivo control de proceso (ver tabla 14).

- Concentración de GOLD MAX :0.04%
- Porcentaje de solidos :25 %
- Tiempo de Lixiviación :24 h
- Volumen de pulpa :1000 cm³
- Densidad de pulpa :1.188 g/cm³
- Peso de mineral :297 g
- Volumen de agua :891 cm³

- pH :11.5
- Granulometría :80% - 200 malla

Tabla 14*Control del proceso prueba N° 1*

Prueba N° 1						
Tiempo (Horas)	pH	Reposición de Cal (g)	Peso		Reposición	Peso
			acumulado cal (g)	Gold Max (%)	Gold Max (g)	acumulado Gold Max (g)
0	11.5	11.58	11.58	0.04	0.35	0.35
1	11.5	0.10	11.68	0.04	0.27	0.63
2	11.5	0.12	11.80	0.04	0.22	0.85
4	11.5	0.16	11.96	0.04	0.13	0.99
8	11.5	0.17	12.13	0.04	0.14	1.13
16	11.5	0.20	12.33	0.04	0.14	1.27
24	11.5	---	---	0.04	---	---

Nota. Control de proceso en cada intervalo de tiempo.

5.9.2 Prueba N° 2 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max

Condiciones para la prueba de lixiviación y su respectivo control de proceso (ver tabla 15).

- Concentración de GOLD MAX :0.04%
- Porcentaje de solidos :25 %
- Tiempo de Lixiviación :36 h
- Volumen de pulpa :1000 cm³
- Densidad de pulpa :1.188 g/cm³
- Peso de mineral :297 g
- Volumen de agua :891 cm³

- pH :11.5
- Granulometría :80% - 200 malla

Tabla 15*Control del proceso prueba N° 2*

Prueba N° 2						
Tiempo (Horas)	pH	Reposición de Cal (g)	Peso acumulado cal (g)	Gold Max (%)	Reposición Gold Max (g)	Peso acumulado Gold Max (g)
0	11.5	11.58	11.58	0.04	0.35	0.35
1	11.5	0.10	11.68	0.04	0.26	0.61
2	11.5	0.11	11.79	0.04	0.22	0.83
4	11.5	0.14	11.93	0.04	0.18	1.01
8	11.5	0.16	12.09	0.04	0.17	1.18
16	11.5	0.20	12.29	0.04	0.12	1.30
24	11.5	0.27	12.56	0.04	0.11	1.41
36	11.5	---	---	0.04	---	---

Nota. Control de proceso en cada intervalo de tiempo.

5.9.3 Prueba N° 3 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max

Condiciones para la prueba de lixiviación y su respectivo control de proceso (ver tabla 16).

- Concentración de GOLD MAX :0.04%
- Porcentaje de solidos :30 %
- Tiempo de Lixiviación :24 h.
- Volumen de pulpa :1000 cm³
- Densidad de pulpa :1.235 g/cm³
- Peso de mineral :370.5 g

- Volumen de agua :864.5 cm³
- pH :11.5
- Granulometría :80% - 200 malla

Tabla 16*Control del proceso prueba N° 3*

Prueba N° 3						
Tiempo (Horas)	pH	Reposición de Cal (g)	Peso acumulado cal (g)	Gold Max (%)	Reposición Gold Max (g)	Peso acumulado Gold Max (g)
0	11.5	11.58	11.58	0.04	0.34	0.34
1	11.5	0.10	11.68	0.04	0.26	0.60
2	11.5	0.12	11.80	0.04	0.23	0.83
4	11.5	0.15	11.95	0.04	0.20	1.03
8	11.5	0.17	12.12	0.04	0.16	1.19
16	11.5	0.21	12.33	0.04	0.16	1.35
24	11.5	---	---	0.04	---	---

Nota. Control de proceso en cada intervalo de tiempo.

5.9.4 Prueba N° 4 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max

Condiciones para la prueba de lixiviación y su respectivo control de proceso (ver tabla 17).

- Concentración de GOLD MAX :0.04%
- Porcentaje de solidos :30 %
- Tiempo de Lixiviación :36 Hr
- Volumen de pulpa :1000 cm³
- Densidad de pulpa :1.235 g/cm³

- Peso de mineral :370.5 g
- Volumen de agua :864.5 cm³
- pH :11.5
- Granulometría :80% - 200 malla

Tabla 17*Control del proceso prueba N° 4*

Prueba N° 4						
Tiempo (Horas)	pH	Reposición de Cal (g)	Peso acumulado cal (g)	Gold Max (%)	Reposición Gold Max (g)	Peso acumulado Gold Max (g)
0	11.5	11.58	11.58	0.04	0.34	0.34
1	11.5	0.10	11.68	0.04	0.25	0.59
2	11.5	0.12	11.80	0.04	0.21	0.80
4	11.5	0.16	11.96	0.04	0.16	0.96
8	11.5	0.17	12.33	0.04	0.19	1.15
16	11.5	0.20	12.53	0.04	0.14	1.29
24	11.5	0.25	12.78	0.04	0.10	1.39
36	11.5	---	---	0.04	---	---

Nota. Control de proceso en cada intervalo de tiempo.

5.9.5 Prueba N° 5 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max

Condiciones para la prueba de lixiviación y su respectivo control de proceso (ver tabla 18).

- Concentración de GOLD MAX :0.08%
- Porcentaje de solidos :25 %
- Tiempo de Lixiviación :24 h.
- Volumen de pulpa :1000 cm³

- Densidad de pulpa :1.188 g/cm³
- Peso de mineral :297 g
- Volumen de agua :891 cm³
- pH :11.5
- Granulometría :80% - 200 malla

Tabla 18*Control del proceso prueba N°5*

Prueba N° 5						
Tiempo (Horas)	pH	Reposición de Cal (g)	Peso acumulado cal (g)	Gold Max (%)	Reposición Gold Max (g)	Peso acumulado Gold Max (g)
0	11.5	11.50	11.58	0.08	0.71	0.71
1	11.5	0.10	11.68	0.08	0.57	1.28
2	11.5	0.13	11.81	0.08	0.49	1.77
4	11.5	0.14	11.95	0.08	0.40	2.17
8	11.5	0.16	12.11	0.08	0.34	2.51
16	11.5	0.21	12.32	0.08	0.22	2.73
24	11.5	---	----	0.08	---	---

Nota. Control de proceso en cada intervalo de tiempo.

5.9.6 Prueba N° 6 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max

Condiciones para la prueba de lixiviación y su respectivo control de proceso (ver tabla 19).

- Concentración de GOLD MAX :0.08%
- Porcentaje de solidos :25 %
- Tiempo de Lixiviación :36 h.
- Volumen de pulpa :1000 cm³

- Densidad de pulpa :1.188 g/cm³
- Peso de mineral :297 g
- Volumen de agua :891 cm³
- pH :11.5
- Granulometría :80% - 200 malla

Tabla 19*Control del proceso prueba N° 6*

Prueba N° 6						
Tiempo (Horas)	pH	Reposición de Cal (g)	Peso acumulado cal (g)	Gold Max (%)	Reposición Gold Max (g)	Peso acumulado Gold Max (g)
0	11.5	11.58	11.58	0.08	0.71	0.71
1	11.5	0.10	11.68	0.08	0.55	1.26
2	11.5	0.11	11.79	0.08	0.47	1.73
4	11.5	0.14	11.93	0.08	0.41	2.14
8	11.5	0.16	12.09	0.08	0.35	2.49
16	11.5	0.19	12.28	0.08	0.25	2.74
24	11.5	0.23	12.51	0.08	0.21	2.95
36	11.5	---	---	0.08	---	---

Nota. Control de proceso en cada intervalo de tiempo.

5.9.7 Prueba N° 7 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max

Condiciones para la prueba de lixiviación y su respectivo control de proceso (ver tabla 20).

- Concentración de GOLD MAX :0.08%
- Porcentaje de solidos :30 %
- Tiempo de Lixiviación :24 h.

- Volumen de pulpa :1000 cm³
- Densidad de pulpa :1.235 g/cm³
- Peso de mineral :370.5 g
- Volumen de agua :864.5 cm³
- pH :11.5
- Granulometría :80% - 200 malla

Tabla 20*Control del proceso prueba N° 7*

Prueba N° 7						
Tiempo (Horas)	pH	Reposición de Cal (g)	Peso acumulado cal (g)	Gold Max (%)	Reposición Gold Max (g)	Peso acumulado Gold Max (g)
0	11.5	11.58	11.58	0.08	0.69	0.69
1	11.5	0.12	11.70	0.08	0.56	1.25
2	11.5	0.10	11.80	0.08	0.44	1.69
4	11.5	0.11	11.91	0.08	0.42	2.11
8	11.5	0.10	12.01	0.08	0.35	2.46
16	11.5	0.14	12.15	0.08	0.30	2.76
24	11.5	---	---	0.08	---	---

Nota. Control de proceso en cada intervalo de tiempo.

5.9.8 Prueba N° 8 del Proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max

Condiciones para la prueba de lixiviación y su respectivo control de proceso (ver tabla 21).

- Concentración de GOLD MAX :0.08%
- Porcentaje de solidos :30 %
- Tiempo de Lixiviación :36 h.

- Volumen de pulpa :1000 cm³
- Densidad de pulpa :1.235 g/cm³
- Peso de mineral :370.5 g
- Volumen de agua :864.5 cm³
- pH :11.5
- Granulometría :80% - 200 malla

Tabla 21*Control del proceso prueba N° 8*

Prueba N° 8						
Tiempo (Horas)	pH	Reposición de Cal (g)	Peso acumulado cal (g)	Gold Max (%)	Reposición Gold Max (g)	Peso acumulado Gold Max (g)
0	11.5	11.58	11.58	0.08	0.69	0.69
1	11.5	0.10	11.68	0.08	0.54	1.23
2	11.5	0.12	11.80	0.08	0.46	1.69
4	11.5	0.13	11.93	0.08	0.39	2.08
8	11.5	0.13	12.06	0.08	0.35	2.43
16	11.5	0.16	12.22	0.08	0.30	2.73
24	11.5	0.20	12.42	0.08	0.26	2.99
36	11.5	---	---	0.08	---	---

Nota. Control de proceso en cada intervalo de tiempo.

5.9.9 Prueba N° 9 del proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max (punto central)

Condiciones para la prueba de lixiviación y su respectivo control de proceso (ver tabla 22).

- Concentración de GOLD MAX :0.06%
- Porcentaje de solidos :27.5 %

- Tiempo de Lixiviación :30 h.
- Volumen de pulpa :1000 cm³
- Densidad de pulpa :1.211 g/cm³
- Peso de mineral :333.03 g
- Volumen de agua :877.97 cm³
- pH :11.5
- Granulometría :80% - 200 malla

Tabla 22*Control del proceso prueba N° 9*

Prueba en punto central						
Tiempo (Horas)	pH	Reposición de Cal (g)	Peso acumulado cal (g)	Gold Max (%)	Reposición Gold Max (g)	Peso acumulado Gold Max (g)
0	11.5	11.58	11.58	0.06	0.53	0.53
1	11.5	0.10	11.68	0.06	0.49	1.02
2	11.5	0.12	11.80	0.06	0.43	1.45
4	11.5	0.13	11.93	0.06	0.39	1.84
8	11.5	0.13	12.06	0.06	0.35	2.19
16	11.5	0.14	12.20	0.06	0.28	2.47
24	11.5	0.20	12.40	0.06	0.22	2.69
30	11.5	---	---	0.06	---	---

Nota. Control de proceso en cada intervalo de tiempo.

5.9.10 Prueba N° 10 del proceso de lixiviación por Agitación con Gold Max (punto central)

Condiciones para la prueba de lixiviación y su respectivo control de proceso (ver tabla 23).

- Concentración de GOLD MAX :0.06%

- Porcentaje de solidos :27.5 %
- Tiempo de Lixiviación :30 h.
- Volumen de pulpa :1000 cm³
- Densidad de pulpa :1.211 g/cm³
- Peso de mineral :333.03 g
- Volumen de agua :877.97 cm³
- pH :11.5
- Granulometría :80% - 200 malla

Tabla 23*Control del proceso prueba N° 10*

Prueba en punto central						
Tiempo (Horas)	pH	Reposición de Cal (g)	Peso acumulado cal (g)	Gold Max (%)	Reposición Gold Max (g)	Peso acumulado Gold Max (g)
0	11.5	11.58	11.58	0.06	0.53	0.53
1	11.5	0.10	11.68	0.06	0.48	1.01
2	11.5	0.11	11.79	0.06	0.44	1.45
4	11.5	0.13	11.92	0.06	0.40	1.85
8	11.5	0.14	12.06	0.06	0.35	2.20
16	11.5	0.14	12.20	0.06	0.27	2.47
24	11.5	0.20	12.40	0.06	0.17	2.64
30	11.5	---	---	0.06	---	---

Nota. Control de proceso en cada intervalo de tiempo.

CAPITULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Resultado del Análisis Químico de las Soluciones PLS

La siguiente tabla 24 nos muestra los resultados de cada uno de las muestras enviadas para el análisis químico, en total son 10 muestras de solución PLS que se enviaron para el análisis (8 pruebas experimentales de acuerdo al diseño experimental con 2 réplicas en el punto central).

Tabla 24

Análisis químico de soluciones PLS

N° Prueba	Volumen de Muestra (mL)	Oro diluido (mg/L)
1	50	3.17
2	50	3.50
3	50	4.20
4	50	5.09
5	50	3.90
6	50	4.24
7	50	5.05
8	50	5.75
9	50	4.40
10	50	4.35

Nota. Concentración de Oro diluido en la solución (mg/L) de cada muestra enviada para el análisis químico.

6.2 Balance Metalúrgico de las Pruebas de Lixiviación Au por Agitación

6.2.1 Balance metalúrgico de la prueba N° 1

- a. Cálculo del contenido metálico para la prueba N° 1 (ver tabla 25).

$$\text{Cont. Metálico Cabeza} = 297 \text{ g} * 13.94 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.140 \text{ mg}$$

$$\text{Cont. Metalico PLS} = 891 \text{ mL} * 3.166 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 2.821 \text{ mg}$$

b. Cálculo del porcentaje de extracción para prueba N° 1. (ver tabla 25).

$$\%E = \frac{2.821 \text{ mg}}{4.140 \text{ mg}} * 100\% = 68.140 \%$$

Tabla 25

Balance metalúrgico prueba N° 1

Producto	Peso (g)	Vol. (ml)	Ley		Contenido	(%)
			g/TM	mg/L	Metálico (mg)	Extracción
Cabeza	297		13.94		4.140	100
PLS		891		3.17	2.821	68.140
Relave	297		4.441		1.319	31.860

Nota. Balance metalúrgico, donde nos indica el % de extracción de Au.

6.2.2 Balance metalúrgico de la prueba N° 2

a. Cálculo del contenido metálico para la prueba N° 2 (ver tabla 26).

$$\text{Cont. Metálico Cabeza} = 297 \text{ g} * 13.94 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.140 \text{ mg}$$

$$\text{Cont. Metalico PLS} = 891 \text{ mL} * 3.50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 3.119 \text{ mg}$$

b. Cálculo del porcentaje de extracción para prueba N° 2 (ver tabla 26).

$$\%E = \frac{3.119 \text{ mg}}{4.140 \text{ mg}} * 100\% = 75.338 \%$$

Tabla 26*Balance metalúrgico prueba N° 2*

Producto	Peso (g)	Vol. (ml)	Ley		Contenido Metálico (mg)	(%) Extracción
			g/TM	mg/L		
Cabeza	297		13.94		4.140	100
PLS		891		3.50	3.119	75.338
Relave	297		3.438		1.021	24.662

Nota. Balance metalúrgico, donde nos indica el % de extracción de Au.

6.2.3 Balance metalúrgico de la prueba N° 3

- a. Cálculo del contenido metálico para la prueba N° 3 (ver tabla 27).

$$\text{Cont. Metálico Cabeza} = 370.5 \text{ g} * 13.94 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 5.165 \text{ mg}$$

$$\text{Cont. Metalico PLS} = 864 \text{ mL} * 4.196 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 3.626 \text{ mg}$$

- b. Cálculo del porcentaje de extracción para prueba N° 3 (ver tabla 27).

$$\%E = \frac{3.626 \text{ mg}}{5.165 \text{ mg}} * 100\% = 70.194 \%$$

Tabla 27*Balance metalúrgico prueba N° 3*

Producto	Peso (g)	Vol. (ml)	Ley		Contenido Metálico (mg)	(%) Extracción
			g/TM	mg/L		
Cabeza	370.5		13.94		5.165	100
PLS		864.5		4.20	3.626	70.194
Relave	370.5		4.155		1.539	29.806

Nota. Balance metalúrgico, donde nos indica el % de extracción de Au.

6.2.4 Balance metalúrgico de la prueba N° 4

- a. Cálculo del contenido metálico para la prueba N° 4 (ver tabla 28).

$$\text{Cont. Metálico Cabeza} = 370.5 \text{ g} * 13.94 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 5.165 \text{ mg}$$

$$\text{Cont. Metalico PLS} = 864 \text{ mL} * 5.09 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 4.398 \text{ mg}$$

- b. Cálculo del porcentaje de extracción para prueba N° 4 (ver tabla 28).

$$\%E = \frac{4.398 \text{ mg}}{5.165 \text{ mg}} * 100\% = 85.15 \%$$

Tabla 28

Balance metalúrgico prueba N° 4

Producto	Peso (g)	Vol. (ml)	Ley		Contenido	(%)
			g/TM	mg/L	Metálico (mg)	Extracción
Cabeza	370.5		13.94		5.165	100
PLS		864.5		5.09	4.398	85.15
Relave	370.5		2.07		0.767	14.85

Nota. Balance metalúrgico, donde nos indica el % de extracción de Au.

6.2.5 Balance metalúrgico de la prueba N° 5

- a. Cálculo del contenido metálico para la prueba N° 5 (ver tabla 29).

$$\text{Cont. Metálico Cabeza} = 297 \text{ g} * 13.94 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.140 \text{ mg}$$

$$\text{Cont. Metalico PLS} = 891 \text{ mL} * 3.90 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 3.475 \text{ mg}$$

- b. Cálculo del porcentaje de extracción para prueba N° 5 (ver tabla 29).

$$\%E = \frac{3.475 \text{ mg}}{4.140 \text{ mg}} * 100\% = 83.937 \%$$

Tabla 29*Balance metalúrgico prueba N° 5*

Producto	Peso (g)	Vol. (ml)	Ley		Contenido Metálico (mg)	(%) Extracción
			g/TM	mg/L		
Cabeza	297		13.94		4.140	100
PLS		891		3.90	3.475	83.937
Relave	297		2.239		0.665	16.063

Nota. Balance metalúrgico, donde nos indica el % de extracción de Au.

6.2.6 Balance metalúrgico de la prueba N° 6

- a. Cálculo del contenido metálico para la prueba N° 6 (ver tabla 30).

$$\text{Cont. Metálico Cabeza} = 297 \text{ g} * 13.94 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.140 \text{ mg}$$

$$\text{Cont. Metalico PLS} = 891 \text{ mL} * 4.24 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 3.778 \text{ mg}$$

- b. Cálculo del porcentaje de extracción para prueba N° 6 (ver tabla 30).

$$\%E = \frac{3.778 \text{ mg}}{4.140 \text{ mg}} * 100\% = 91.256 \%$$

Tabla 30*Balance metalúrgico prueba N° 6*

Producto	Peso (g)	Vol. (ml)	Ley		Contenido Metálico (mg)	(%) Extracción
			g/TM	mg/L		
Cabeza	297		13.94		4.140	100
PLS		891		4.24	3.778	91.256
Relave	297		1.219		0.362	8.744

Nota. Balance metalúrgico, donde nos indica el % de extracción de Au.

6.2.7 Balance metalúrgico de la prueba N° 7

a. Cálculo del contenido metálico para la prueba N° 7 (ver tabla 31).

$$\text{Cont. Metálico Cabeza} = 370.5 \text{ g} * 13.94 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 5.165 \text{ mg}$$

$$\text{Cont. Metalico PLS} = 864.5 \text{ mL} * 5.05 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 4.366 \text{ mg}$$

b. Cálculo del porcentaje de extracción para prueba N° 7 (ver tabla 31).

$$\%E = \frac{4.366 \text{ mg}}{5.165 \text{ mg}} * 100\% = 84.53 \%$$

Tabla 31

Balance metalúrgico prueba N° 7

Producto	Peso (g)	Vol. (ml)	Ley		Contenido	(%)
			g/TM	mg/L	Metálico (mg)	Extracción
Cabeza	370.5		13.94		5.165	100
PLS		864.5		5.05	4.366	84.53
Relave	370.5		2.157		0.799	15.47

Nota. Balance metalúrgico, donde nos indica el % de extracción de Au.

6.2.8 Balance metalúrgico de la prueba N° 8

a. Cálculo del contenido metálico para la prueba N° 8 (ver tabla 32).

$$\text{Cont. Metálico Cabeza} = 370.5 \text{ g} * 13.94 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 5.165 \text{ mg}$$

$$\text{Cont. Metalico PLS} = 864.5 \text{ mL} * 5.75 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 4.971 \text{ mg}$$

b. Cálculo del porcentaje de extracción para prueba N° 8 (ver tabla 32).

$$\%E = \frac{4.971 \text{ mg}}{5.165 \text{ mg}} * 100\% = 96.244 \%$$

Tabla 32*Balance metalúrgico prueba N° 8*

Producto	Peso (g)	Vol. (ml)	Ley		Contenido Metálico (mg)	Extracción (%)
			g/TM	mg/L		
Cabeza	370.5		13.94		5.165	100
PLS		864.5		5.75	4.971	96.244
Relave	370.5		0.524		0.194	3.756

Nota. Balance metalúrgico, donde nos indica el % de extracción de Au.

6.2.9 Balance metalúrgico de la prueba N° 9 (punto central)

- a. Cálculo del contenido metálico para la prueba N° 9 (ver tabla 33).

$$\text{Cont. Metálico Cabeza} = 333.03 \text{ g} * 13.94 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.642 \text{ mg}$$

$$\text{Cont. Metalico PLS} = 877.97 \text{ mL} * 4.40 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 3.863 \text{ mg}$$

- b. Cálculo del porcentaje de extracción para prueba N° 9 (ver tabla 33).

$$\%E = \frac{3.863 \text{ mg}}{4.642 \text{ mg}} * 100\% = 83.218 \%$$

Tabla 33*Balance metalúrgico prueba N° 9*

Producto	Peso (g)	Vol. (ml)	Ley		Contenido Metálico (mg)	Extracción (%)
			g/TM	mg/L		
Cabeza	333.03		13.94		4.642	100
PLS		877.97		4.40	3.863	83.218
Relave	333.03		2.339		0.779	16.782

Nota. Balance metalúrgico, donde nos indica el % de extracción de Au.

6.2.10 Balance metalúrgico de la prueba N° 10 (punto central)

- a. Cálculo del contenido metálico para la prueba N° 10 (ver tabla 34)

$$\text{Cont. Metálico Cabeza} = 333.03 \text{ g} * 13.94 \frac{\text{g}}{\text{TM}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.642 \text{ mg}$$

$$\text{Cont. Metalico PLS} = 877.97 \text{ mL} * 4.35 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 3.819 \text{ mg}$$

- b. Cálculo del porcentaje de extracción para prueba N° 10 (ver tabla 34).

$$\%E = \frac{3.819 \text{ mg}}{4.642 \text{ mg}} * 100\% = 82.271 \%$$

Tabla 34

Balance metalúrgico prueba N° 10

Producto	Peso (g)	Vol. (ml)	Ley		Contenido	(%)
			g/TM	mg/L	Metálico (mg)	Extracción
Cabeza	333.03		13.94		4.642	100
PLS		877.97		4.35	3.819	82.271
Relave	333.03		2.471		0.823	17.729

Nota. Balance metalúrgico, donde nos indica el % de extracción de Au.

6.3 Resumen de Porcentaje de Extracción del Oro en Cada una de las Pruebas.

La tabla 35 nos muestra los diferentes resultados (porcentajes de extracción) bajo ciertos parámetros operativos, que fueron considerados en el diseño experimental.

Tabla 35

Porcentajes de extracción para las pruebas experimentales realizadas

N° Prueba	Cabeza g/TM	PLS mg/L	Concentración GOLDMAX (%)	Solido %	Tiempo Lix. (h)	Extracción %
1	13.94	2.50	0.04	25	24	68.134
2	13.94	3.50	0.08	25	24	75.338
3	13.94	2.62	0.04	30	24	70.194
4	13.94	5.09	0.08	30	24	85.15
5	13.94	3.90	0.04	25	36	83.937
6	13.94	4.24	0.08	25	36	91.256
7	13.94	5.05	0.04	30	36	84.53
8	13.94	5.75	0.08	30	36	96.244
9	13.94	4.40	0.06	27.5	30	83.218
10	13.94	4.35	0.06	27.5	30	82.271

Nota. Porcentajes de extracción de Oro, obtenidos en cada prueba experimental.

6.4 Análisis del Diseño experimental de las Pruebas experimentales de Lixiviación por agitación con Gold Max.

Para poder realizar nuestras pruebas experimentales se usó un diseño factorial 2^K , donde se tiene 3 factores, 2 niveles y con 2 réplicas en el punto central, el número de pruebas experimentales que se realizó son 10. Todo esto se puede apreciar con más detalle en las tablas 36

y 37. Por otra parte este diseño factorial nos permite estimar los efectos de nuestras variables y la interacción entre estos, para ello se hizo el uso del software Minitab 19.

Tabla 36

Valores mínimos y máximos de las variables independientes

Niveles	Variables		
	Concentración (%)	Solido (%)	Tiempo (Hr)
	A	B	C
+1	0.08	30	36
-1	0.04	25	24

Nota. Valores mínimos y máximos para el diseño factorial.

Tabla 37

Diseño factorial en la escalada codificada, natural y el % de extracción

Prueba	Escala codificada			Escala natural			% extracción
	A	B	C	Concentración %	% solidos	Tiempo h	
1	-1	-1	-1	0.04	25.0	24	68.134
2	1	-1	-1	0.08	25.0	24	75.338
3	-1	1	-1	0.04	30.0	24	70.194
4	1	1	-1	0.08	30.0	24	85.150
5	-1	-1	1	0.04	25.0	36	83.937
6	1	-1	1	0.08	25.0	36	91.256
7	-1	1	1	0.04	30.0	36	84.530
8	1	1	1	0.08	30.0	36	96.244
9	0	0	0	0.06	27.5	30	83.218
10	0	0	0	0.06	27.5	30	82.271

Nota. La tabla nos muestra los porcentajes de extracción de Oro para cada una de las pruebas experimentales.

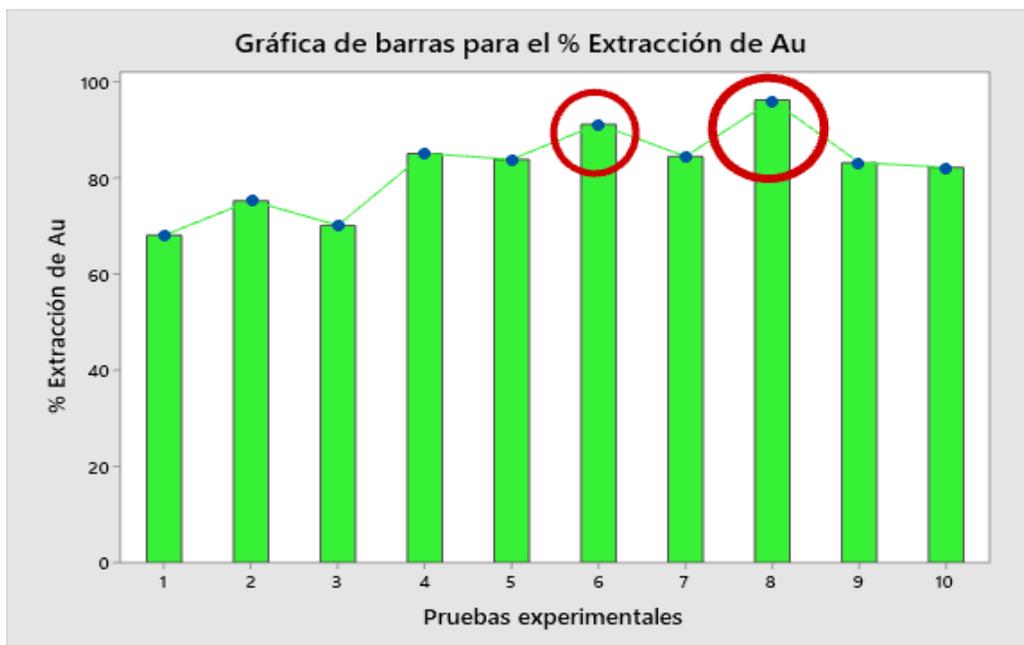
En la tabla 37, nos muestra los porcentajes de extracción para cada prueba y a la vez también nos indica las condiciones con las que se corrió cada una de las pruebas. Se puede observar que a las condiciones mostradas en la prueba 8 se obtiene el máximo porcentaje de extracción de Au con 96.244%. Por otra parte, como una alternativa se tiene la prueba 6, donde se llegó a obtener un 91.256% de extracción del Oro.

Las condiciones a las que se realizó la prueba N° 8 donde se obtuvo el máximo porcentaje de extracción de Oro fueron las siguientes; se consideró una concentración de 0.08% de Gold Max, un porcentaje de sólidos igual a 30% y un tiempo de lixiviación por agitación de 36 horas.

Como se observa en la figura 22. según al diagrama barras la prueba 8 es el que tiene mayor altura con respecto a los demás, Siendo esta prueba donde se logra la máxima extracción.

Figura 22

Porcentaje de extracción para cada prueba experimental



Nota. Diagrama de barras que nos muestra de forma gráfica los porcentajes de extracción de Au.

6.4.1 Coeficientes Codificados y Análisis de la varianza

Tabla 38

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		81.848	0.237	345.71	0.002	
Concentración de Gold Max	10.298	5.149	0.237	21.75	0.029	1.00
% de solidos	4.363	2.182	0.237	9.21	0.069	1.00
Tiempo	14.288	7.144	0.237	30.17	0.021	1.00
Concentración de Gold Max*% de solidos	3.037	1.518	0.237	6.41	0.098	1.00
Concentración de Gold Max*Tiempo	-0.782	-0.391	0.237	-1.65	0.347	1.00
% de solidos*Tiempo	-1.573	-0.786	0.237	-3.32	0.186	1.00
Concentración de Gold Max*% de solidos*Tiempo	-0.839	-0.420	0.237	-1.77	0.327	1.00
Pt Ctral		0.897	0.529	1.69	0.340	1.00

Nota. En la tabla se tiene los resultados del análisis estadístico de los efectos de cada una de las variables y sus interacciones. Obtenido del software Minitab.

Tabla 39

Análisis de la varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	685.771	85.721	191.17	0.056
Lineal	3	658.463	219.488	489.49	0.033
Concentración de Gold Max	1	212.108	212.108	473.03	0.029
% de solidos	1	38.076	38.076	84.91	0.069
Tiempo	1	408.280	408.280	910.52	0.021
Interacciones de 2 términos	3	24.613	8.204	18.30	0.170
Concentración de Gold Max*% de solidos	1	18.444	18.444	41.13	0.098
Concentración de Gold Max*Tiempo	1	1.222	1.222	2.73	0.347
% de solidos*Tiempo	1	4.947	4.947	11.03	0.186
Interacciones de 3 términos	1	1.409	1.409	3.14	0.327
Concentración de Gold Max*% de solidos*Tiempo	1	1.409	1.409	3.14	0.327
Curvatura	1	1.286	1.286	2.87	0.340
Error	1	0.448	0.448		
Total	9	686.220			

Nota. La tabla muestra el análisis estadístico de varianza obtenido con Minitab.

Para que una variable y/o sus interacciones se consideren significativas el valor de P debe ser menor a 0.05. Como podemos observar en las tablas 38 y 39, el análisis del valor P para las variables de concentración de Gold Max (%) y tiempo de lixiviación (h) son inferiores a 0.05. con ello podemos afirmar que estas variables son estadísticamente significativas para un nivel de confianza al 95%. Por otra parte, también tenemos la variable de porcentaje de sólidos (%) y las interacciones de las variables (2 y 3 términos) los cuales presentan un valor P mayor a 0.05, este análisis nos da a entender que no son significativos en el proceso.

En la tabla 40 se presenta un resumen del modelo, donde se evalúa la calidad de ajuste del modelo estadístico a los datos obtenidos a partir de las pruebas experimentales.

Tabla 40

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.669630	99.93%	99.41%	*

Nota. Resumen del modelo estadístico obtenido en función del coeficiente de determinación y/o correlación y también la desviación estándar. Obtenido con Minitab.

Un R-cuadrado de 99.93% y R-cuadrado (ajustado) 99.41%, nos indica que el modelo estadístico se ajusta muy bien a los datos obtenidos a partir de las pruebas experimentales realizadas bajo los parámetros establecidos para cada variable (tabla 36). Por otra parte, se puede apreciar la ausencia de R-cuadrado de predicción lo cual nos indica la necesidad de evaluar la calidad de ajuste del modelo estadístico para generalizar fuera del conjunto de datos considerado para el análisis.

Adicionalmente, el análisis de significancia estadística de las variables y sus interacciones basado en los valores de P que fueron analizados con antelación, nos indica que nuestro modelo podría estar considerando factores que no son estadísticamente significativos. Es por esta razón

que es necesario revisar el modelo para eliminar los elementos que no tienen mucha relevancia en el proceso, optimizando su estructura y con ello asegurando su robustez y la capacidad predictiva del modelo estadístico para el proceso de lixiviación con Gold Max.

6.4.2 *Nuevo Análisis de Resultados Previo a una Corrección en el Modelo*

Como se puede apreciar en la tabla 40, es necesario realizar un ajuste para optimizar el modelo estadístico. Se puede identificar que la interacción de las variables de concentración de Gold Max y Tiempo de lixiviación tiene un impacto mínimo en el proceso de lixiviación de los minerales aurífero del yacimiento Chapiña con Gold Max, es por ello que se excluye del análisis para mejorar la precisión del modelo estadístico.

6.4.3 *Coefficientes Codificados*

Tabla 41

Coefficientes Codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		82.027	0.314	261.27	0.000	
Concentración de Gold Max	10.298	5.149	0.351	14.67	0.001	1.00
% de solidos	4.363	2.182	0.351	6.22	0.008	1.00
Tiempo	14.288	7.144	0.351	20.35	0.000	1.00
Concentración de Gold Max*% de solidos	3.037	1.518	0.351	4.33	0.023	1.00
% de solidos*Tiempo	-1.573	-0.786	0.351	-2.24	0.111	1.00
Concentración de Gold Max*% de solidos*Tiempo	-0.839	-0.420	0.351	-1.20	0.318	1.00

Nota. Coeficientes codificados del modelo estadístico corregido obtenido con Minitab.

6.4.4 *Análisis de Varianza*

Tabla 42

Análisis de varianza ajustada

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
---------------	-----------	------------------	------------------	----------------	----------------

Modelo	6	683.263	113.877	115.53	0.001
Lineal	3	658.463	219.488	222.68	0.001
Concentración de Gold Max	1	212.108	212.108	215.19	0.001
% de solidos	1	38.076	38.076	38.63	0.008
Tiempo	1	408.280	408.280	414.22	0.000
Interacciones de 2 términos	2	23.391	11.695	11.87	0.038
Concentración de Gold Max*% de solidos	1	18.444	18.444	18.71	0.023
% de solidos*Tiempo	1	4.947	4.947	5.02	0.111
Interacciones de 3 términos	1	1.409	1.409	1.43	0.318
Concentración de Gold Max*% de solidos*Tiempo	1	1.409	1.409	1.43	0.318
Error	3	2.957	0.986		
Curvatura	1	1.286	1.286	1.54	0.340
Falta de ajuste	1	1.222	1.222	2.73	0.347
Error puro	1	0.448	0.448		
Total	9	686.220			

Nota. Resultados del análisis estadístico corregido de la varianza obtenido con Minitab.

La tabla 42 nos da a conocer que el modelo general es estadísticamente significativo (valor de $P = 0.001$). Es decir que las variables independientes y sus combinaciones de segundo y tercer orden considerados para el nuevo análisis explican de manera óptima la variación del porcentaje de extracción en el proceso de lixiviación del oro con el reactivo Gold Max. Entre las variables que tienen una alta significancia en el proceso se tiene; la concentración de Gold Max y el tiempo de lixiviación teniendo como valores $P=0.001$ y $P=0.000$ respectivamente. Además, la variable de porcentaje de solidos también es significativo, pero tiene un impacto limitado.

En cuanto a las interacciones de segundo y tercer orden no resultan ser significativos para el proceso ya que presentan valores de P mayores a 0.05. a excepción de la interacción entre la concentración del reactivo Gold Max y el porcentaje de solidos que tiene un valor de $P = 0.023$ lo cual indica que es significativo, pero tiene un impacto limitado en el proceso.

Para poder validar todo el análisis realizado después del ajuste, se tiene un resumen del modelo estadístico en función de S y R . como se aprecia en la tabla 43.

Tabla 43

Resumen del modelo ajustado en función a S y R .

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.992802	99.57%	98.71%	90.15%

Nota. Resumen del modelo ajustado obtenido con el software Minitab.

De acuerdo a la tabla 43 la desviación estándar (S) presenta un valor de 0.99282, lo cual refleja la variabilidad de los datos alrededor de los valores ajustados por el modelo.

El coeficiente de determinación (R-cuadrado) presenta un valor de 99.57 %, lo cual indica que el modelo explica el 98.33% de la variabilidad en la extracción de oro por lixiviación con Gold Max.

Se tiene un alto ajuste del modelo para el conjunto de datos experimentales.

El R-cuadrado ajustado tiene un valor de 98.71%, este valor ajusta el R-cuadrado al número de variables en el modelo, discriminando factores que no son estadísticamente significativos para el proceso. Como se aprecia este valor sigue siendo alto, lo que nos indica que los factores incluidos en el modelo estadístico son relevantes para explicar la variabilidad del porcentaje de extracción.

El R-cuadrado pronosticado tiene un valor de 90.15%, lo cual indica que el modelo tiene la capacidad de predecir nuevos datos, es decir el modelo es confiable para realizar predicciones con valores fuera del conjunto de datos utilizados para el ajuste.

6.4.5 Modelo de Correlación Para la Optimización del Proceso.

El proceso de lixiviación con Gold Max para la extracción de oro puede optimizarse con el siguiente modelo estadístico en unidades codificadas.

$$\begin{aligned}
 \% \text{ de extracción} &= 82.027 + 5.149 \text{ Concentración de Gold Max} + 2.182 \% \text{ de solidos} \\
 &+ 7.144 \text{ Tiempo} + 1.518 \text{ Concentración de Gold Max} * \% \text{ de solidos} \\
 &- 0.786 \% \text{ de solidos} * \text{Tiempo} \\
 &- 0.420 \text{ Concentración de Gold Max} * \% \text{ de solidos} * \text{Tiempo}
 \end{aligned}$$

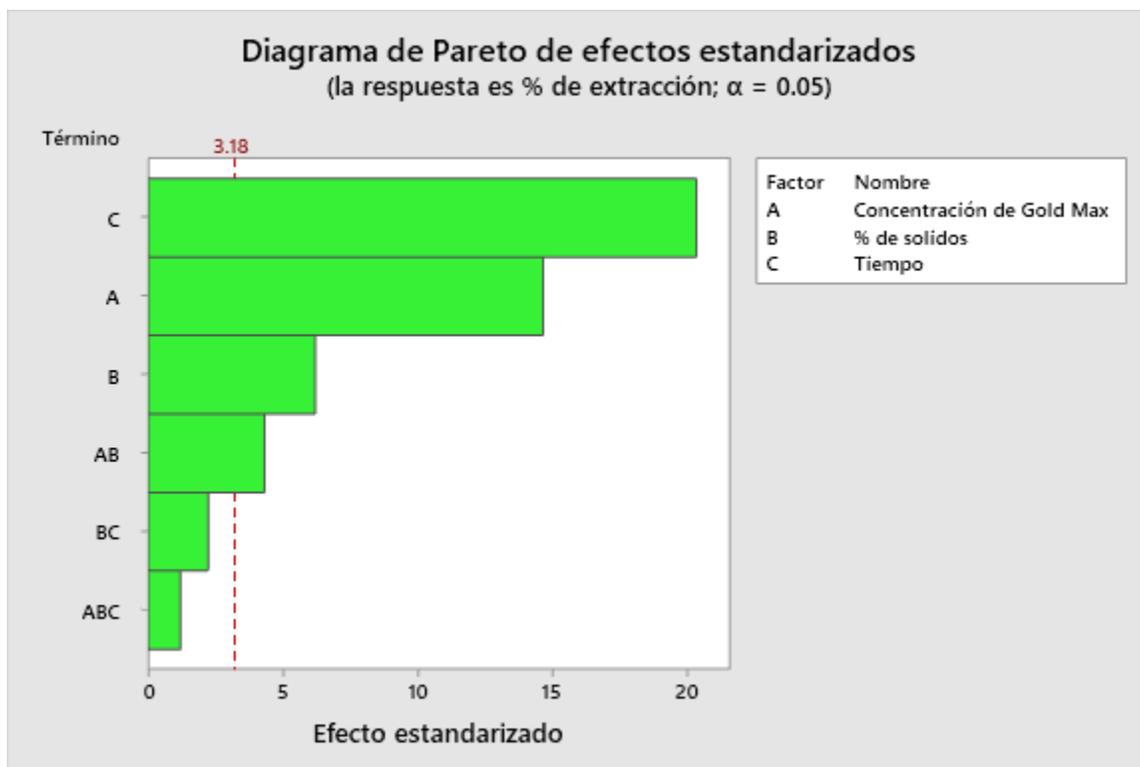
La ecuación representa de una forma más clara la influencia de las variables independientes y sus interacciones de segundo, tercer orden en el porcentaje de extracción. Con este modelo

estadístico podremos determinar los parámetros más óptimos para lograr un alto porcentaje de extracción del oro.

6.4.6 Diagrama de Pareto

Figura 23

Diagrama de Pareto para efectos estandarizados



Nota. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados obtenido con el software minitab.

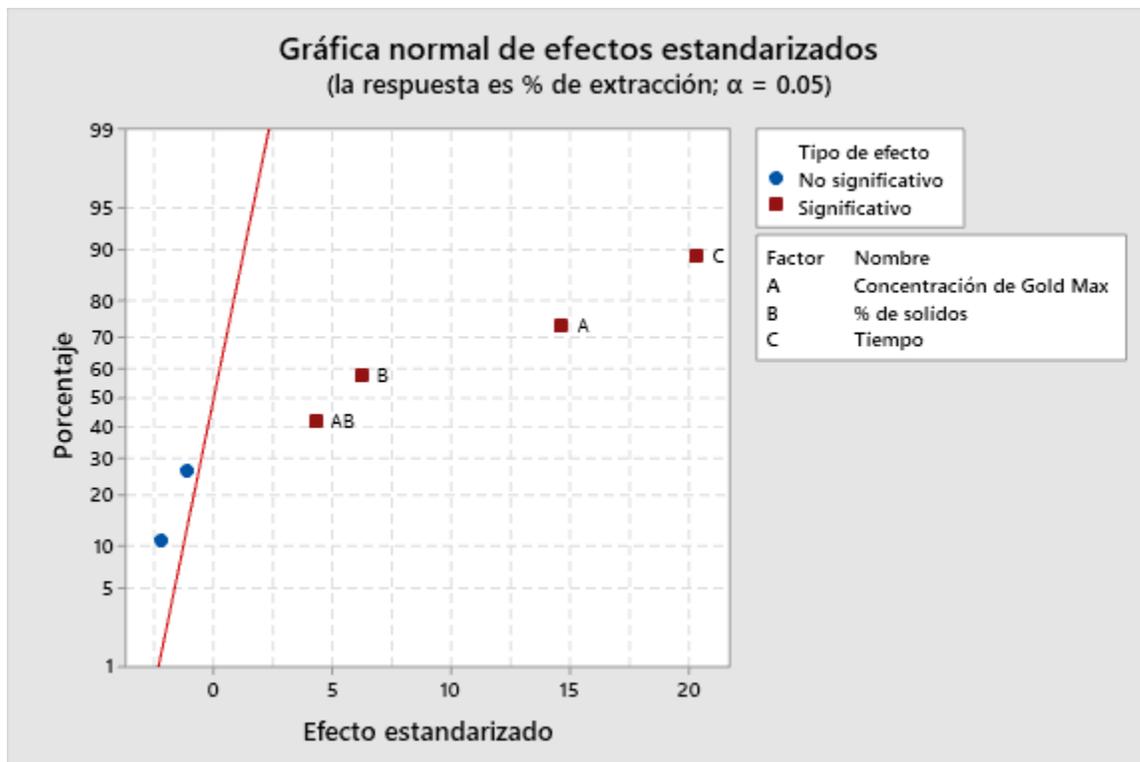
El diagrama de Pareto nos permite analizar el efecto de los términos (variables independientes y sus interacciones). Como se puede apreciar en figura 23, se muestran valores absolutos de los efectos estandarizados de manera jerárquica de mayor a menor. En el diagrama también se muestra una línea que hace referencia o hace una delimitación de los efectos que son estadísticamente significativos. Las barras que traspasan la línea son; el tiempo (C), concentración de Gold Max (A) de los cuales podemos afirmar que una influencia estadísticamente significativa.

Por otra parte, tenemos el porcentaje de solidos (B) y las interacciones AB los cuales presentan un efecto menor, lo que sugiere que su contribución al proceso es limitada.

6.4.7 Gráfica normal de efectos estandarizados

Figura 24

Gráfica normal de efectos estandarizados



Nota. Efectos estandarizados con respecto al porcentaje de extracción obtenido con el software Minitab.

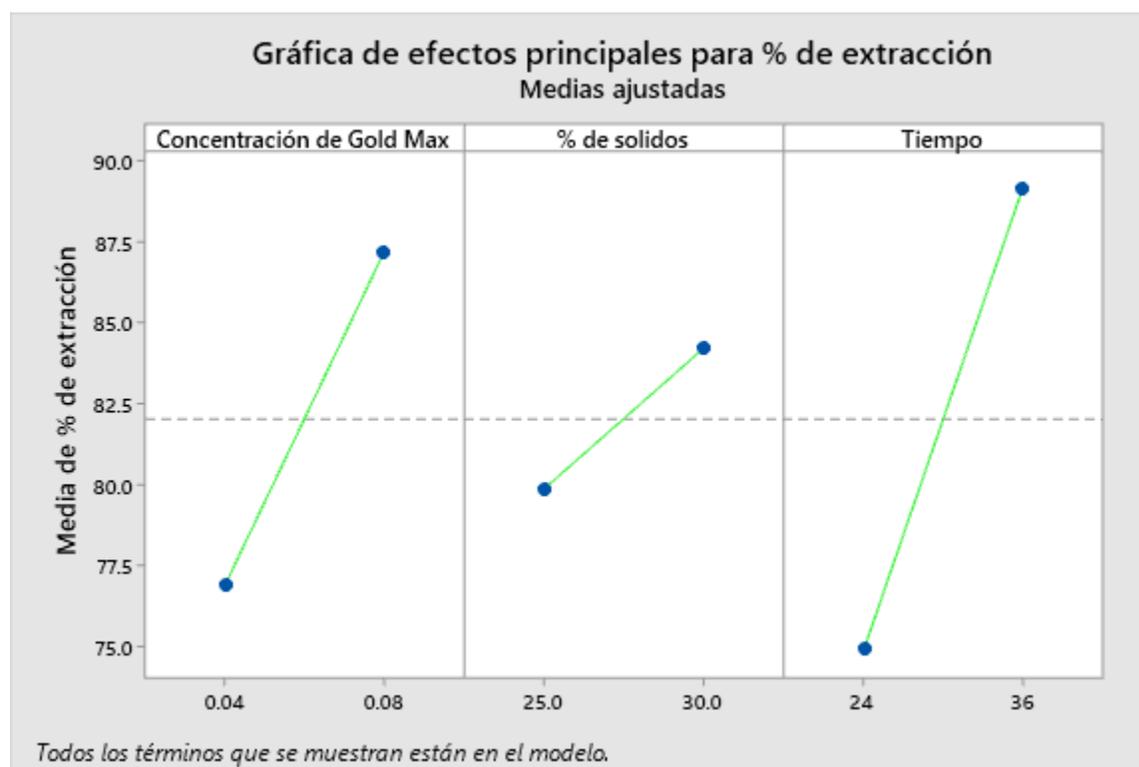
La grafica normal de efectos estandarizados, al igual que el diagrama de Pareto nos muestra los efectos de cada termino, pero con la diferencia que esta grafica también nos indica la dirección, la magnitud y su importancia de cada una de las variables independientes y sus interacciones. Como podemos apreciar en la figura 24, los efectos de las variables y sus respectivas interacciones que están más alejada del cero (A, C) se consideran factores estadísticamente significativos. Además, podemos ver la dirección del efecto. En el caso de las variables tiempo y concentración

de Gold Max (C y A) tienen un efecto estandarizado positivo. Esto nos indica que cuando el valor de una variable cambia de un nivel bajo a un nivel alto el porcentaje de extracción aumenta de la misma forma para los factores B y AB.

6.4.8 Gráfica de efectos principales para el % de extracción

Figura 25

Gráfica de efectos principales para % de extracción



Nota. Efecto de las variables independientes con respecto al porcentaje de extracción obtenido con el software Minitab.

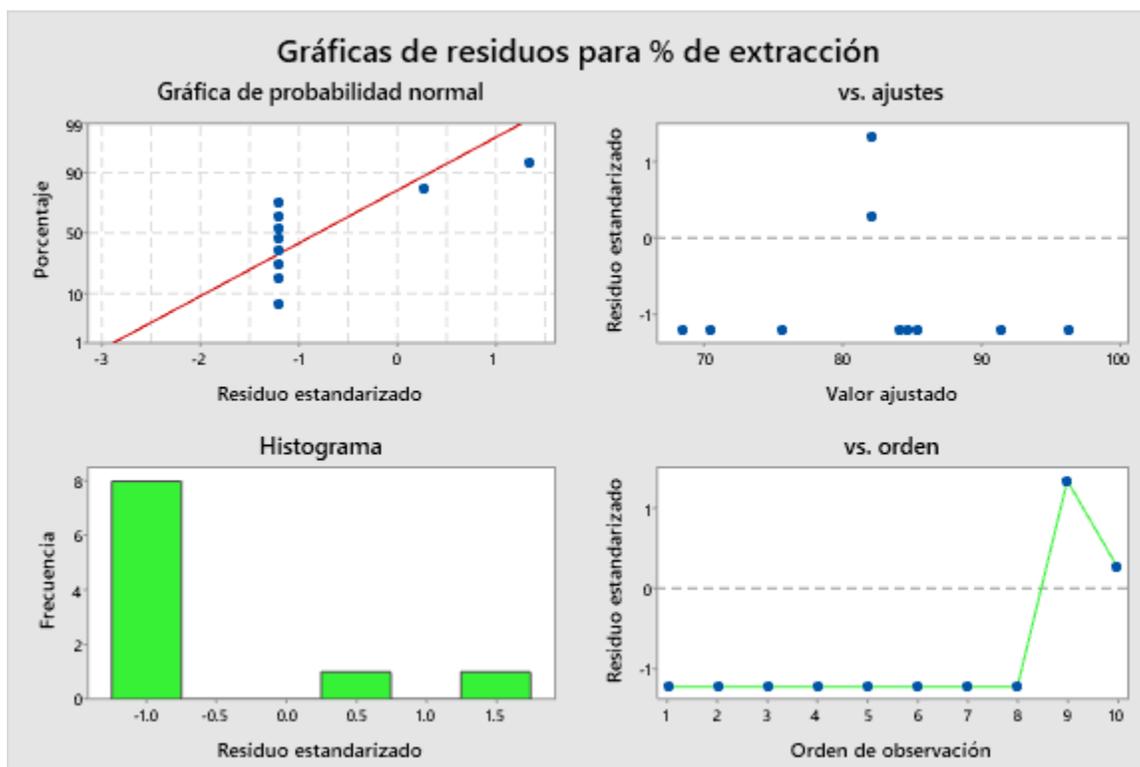
La figura 25 nos muestra los efectos de cada una de las variables independientes. Como se puede apreciar para el caso de las variables de concentración de Gold Max (A) y tiempo (C), a medida que aumenta los valores para estos términos el porcentaje de extracción para el oro aumenta de manera notable, además se aprecia que presenta una pendiente más pronunciada por ello se considera que son factores estadísticamente significativos. Por otro lado, la variable de

porcentaje de solidos (B) a medida que aumenta su valor de 25% a 30%, el porcentaje de extracción aumenta, pero se observa un efecto más limitado, además presenta una pendiente baja con respecto al tiempo y concentración lo cual indica que tiene un efecto estadístico limitado.

6.4.9 Gráfica de dispersión

Figura 26

Gráfica de dispersión del % de extracción

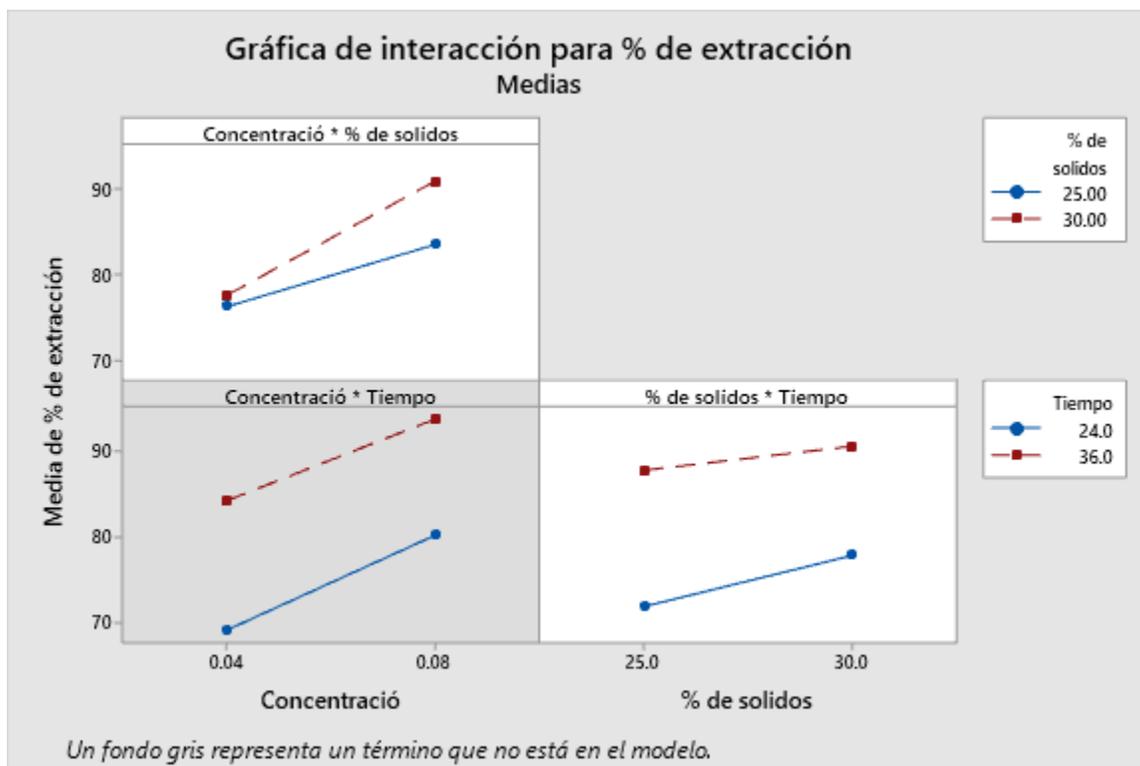


Nota. Grafica de residuos obtenido con el software Minitab.

6.4.10 Gráfica de interacción

Figura 27

Gráfica de interacción para el porcentaje extracción



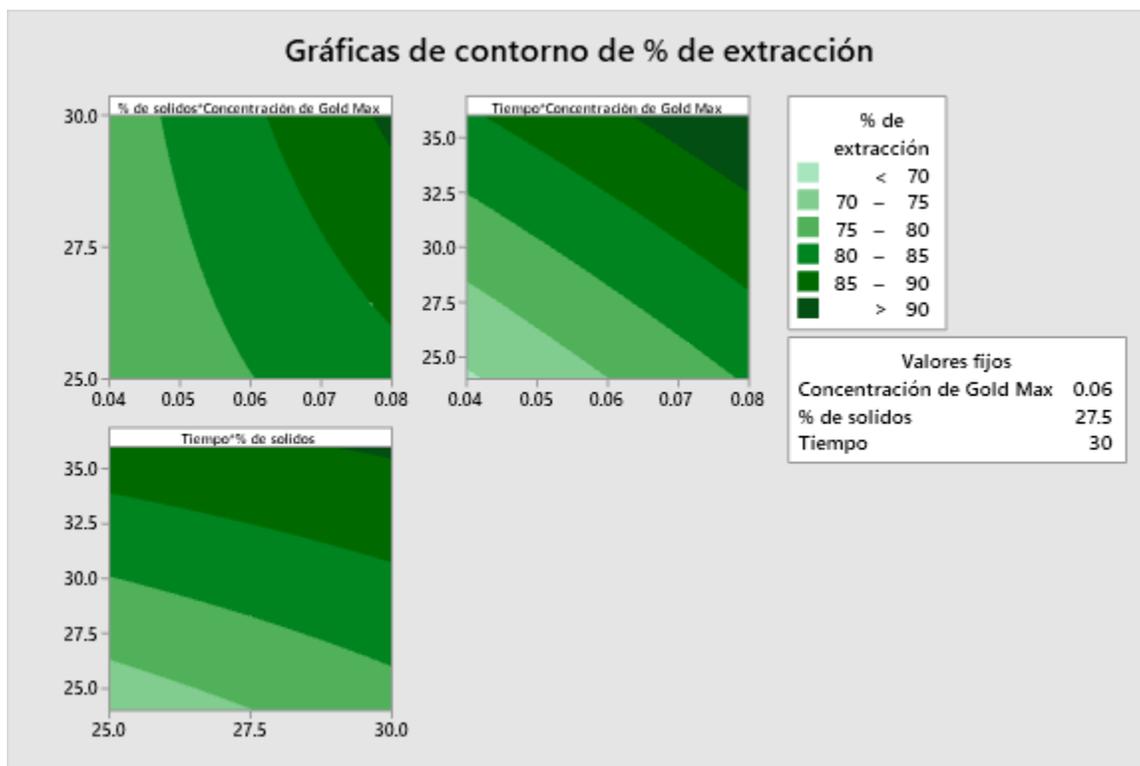
Nota. Interacción de variables obtenido con el software Minitab.

La figura 27 muestra los efectos principales de las interacciones de los factores de segundo orden; Concentración de Gold Max con porcentaje de sólidos, concentración de Gold Max con el tiempo de lixiviación y por último porcentaje de sólidos con el tiempo de lixiviación.

6.4.11 Gráfica de contornos

Figura 28

Gráfica de contornos para el % extracción en función al Tiempo, concentración y % solidos.



Nota. Gráfico de contornos obtenido con el software Minitab.

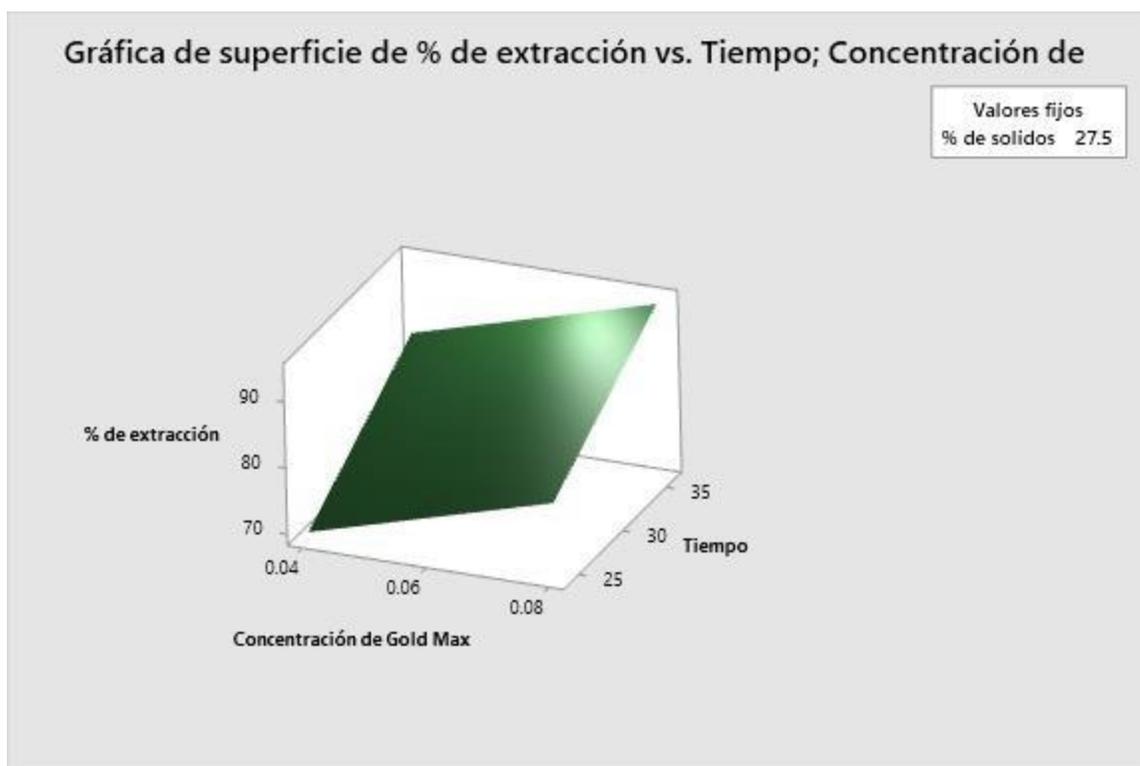
En la figura 28, tomando en cuenta los variables con efectos estadísticos más significantes en el diagrama de Pareto y de acuerdo a las áreas sombreadas podemos deducir que a mayor tiempo de lixiviación y concentración del reactivo Gold Max podemos alcanzar una extracción de oro mayores al 90%. según al análisis del gráfico, la parte de color verde oscuro que tienen un valor más alto en cuanto al porcentaje de extracción a comparación de otras áreas sombreadas.

6.4.12 Superficies de respuesta

El pico de la gráfica corresponde a un porcentaje de extracción más altas se da aproximadamente en un Tiempo de 36 horas y una concentración de Gold Max = 0.08%. como se aprecia en la figura 29.

Figura 29

Gráfica de superficie para el porcentaje de extracción



Nota. Superficie de respuesta para el porcentaje de extracción.

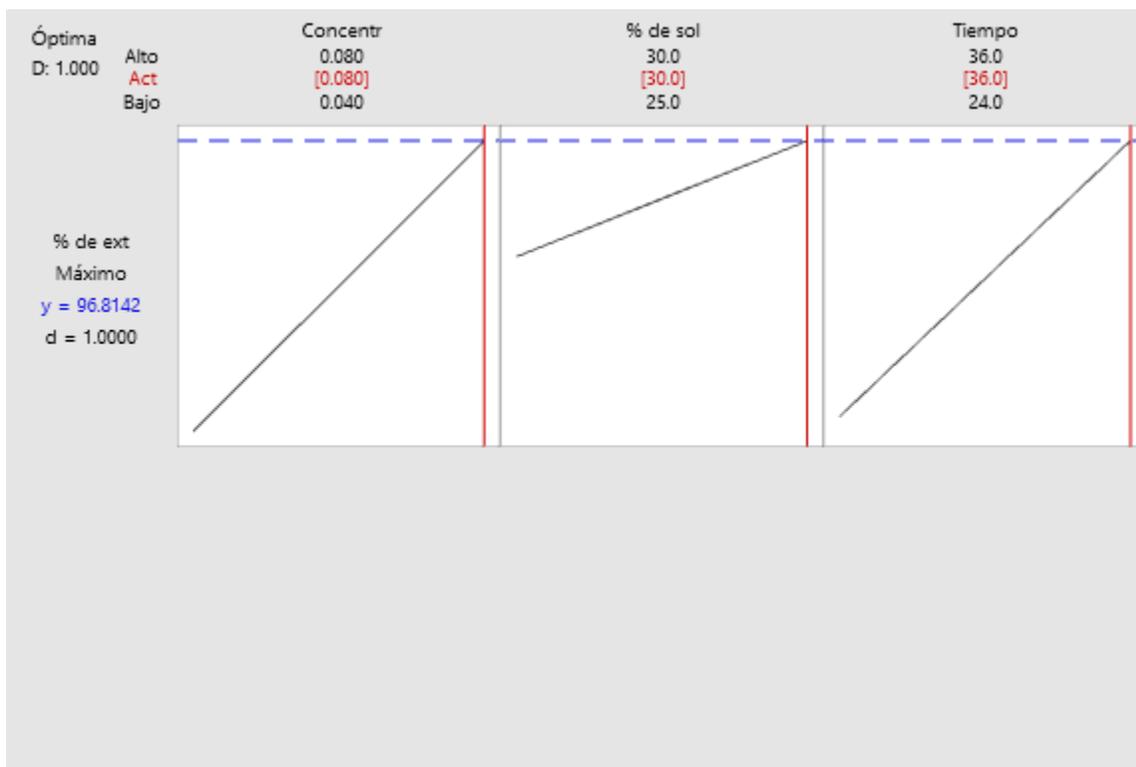
6.4.13 Optimización de porcentaje de extracción.

A partir del modelo estadístico obtenido, se realiza una simulación con el objetivo de establecer los parámetros más óptimos para poder tener una máxima extracción de oro. Los resultados obtenidos se ilustran en la figura 30. Donde se puede observar que los parámetros a considerar para poder optimizar la extracción del oro al 96.8142% se deben ajustar a los parámetros

siguientes; concentración de Gold Max (0.08%), Porcentaje de sólidos en pulpa (30%) y tiempo de lixiviación (36 horas).

Figura 30

Gráfica de la optimización



Nota. Optimización del proceso de extracción del oro.

6.4.14 Análisis de la hipótesis

Para realizar el análisis de la hipótesis, es necesario plantear una hipótesis nula (H_0) y otra hipótesis alternativa (H_A).

Hipótesis nula (H_0): Evaluando la concentración de Gold Max, el porcentaje de sólidos en pulpa y el tiempo de lixiviación en la extracción de oro con Gold Max por agitación de los minerales auríferos del yacimiento Chapiña, no permitirá obtener porcentajes de extracción por encima del 90%.

Hipótesis alternativa (H_A): Evaluando la concentración de Gold Max, el porcentaje de sólidos en pulpa y el tiempo de lixiviación en la extracción de oro con Gold Max por agitación de los minerales auríferos del yacimiento Chapiña, permitirá obtener porcentajes de extracción por encima del 90%.

De acuerdo a los análisis anteriores el valor de $P = 0.01$ es menor que el nivel de significancia establecido (0.05), Lo cual nos indica que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_A). Esto confirma que la concentración de Gold Max, el porcentaje de sólidos y el tiempo de lixiviación tienen un impacto significativo en la extracción de oro por agitación en los minerales auríferos del yacimiento Chapiña y con ello también se logra un alto porcentaje de extracción.

6.5 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que el proceso de lixiviación por agitación utilizando el reactivo Gold Max permite alcanzar niveles óptimos de recuperación de oro a partir de minerales del yacimiento Chapiña. Bajo condiciones operativas de 0.08% de concentración del reactivo, 30% de sólidos en pulpa y un tiempo de contacto de 36 horas, se logró una recuperación de oro de 96.244%. Este valor no solo evidencia una eficiencia metalúrgica sobresaliente, sino que también posiciona al reactivo Gold Max como una alternativa técnicamente viable y ambientalmente sostenible frente al uso tradicional del cianuro.

Comparando estos resultados con estudios previos, se observa una tendencia coincidente. Orcoapaza y Taype (2019), por ejemplo, reportaron una recuperación de 96.16% en condiciones similares, destacando la eficacia del reactivo Gold Max cuando se optimizan parámetros como la concentración del reactivo (0.025%), el tiempo de lixiviación (40 horas) y la granulometría del mineral (83.1% -200 malla). Asimismo, el estudio de Delgado (2023) obtuvo una recuperación del

92.37% sobre relaves de concentración gravimétrica, demostrando que el reactivo mantiene su efectividad incluso en residuos post-proceso, aunque con una ligera disminución atribuida a la baja ley residual y posible pasivación de las partículas metálicas.

Molina (2022), en su estudio en la zona minera de Rinconada, alcanzó un 95.5% de recuperación, aunque con un tiempo de contacto más prolongado (48 horas) y una mayor concentración de reactivo (0.5 g/L). Esto evidencia que, en el caso del yacimiento Chapiña, el mineral responde con mayor eficiencia al proceso de lixiviación, posiblemente por su mineralogía más favorable o por una mejor liberación del oro tras la molienda. Además, la concentración del reactivo Gold Max (0.08%) y el tiempo (36 horas) de proceso para la lixiviación en nuestra investigación son menores a comparación del estudio que realizó Molina (2022).

A nivel internacional, los resultados muestran mayor dispersión. En México, Valadez (2021) reportó una recuperación de solo 71% utilizando Gold Max sobre relaves de cobre, siendo superado por el reactivo NRW Dezo. Esta diferencia puede deberse a la matriz mineral compleja del relave sulfurado, que podría requerir reactivos con mayor poder oxidante o condiciones más agresivas. En Ecuador, Abad (2020) alcanzó un 87.5% con Gold Max, empleando los mismos parámetros que para el cianuro, lo que evidencia que aún es posible mejorar la eficiencia del reactivo mediante la optimización de las variables operativas específicas para cada tipo de mineral.

Los resultados del presente trabajo no solo validan la aplicación del reactivo Gold Max en el tratamiento de los minerales del yacimiento Chapiña, sino que permiten establecer condiciones operativas eficientes que podrían ser escaladas a nivel piloto o semi-industrial. La combinación de alta recuperación, tiempos de proceso razonables y un reactivo de menor impacto ambiental representa una oportunidad concreta para el desarrollo de una minería más responsable y técnicamente sólida.

Asimismo, se identificó una brecha tecnológica importante en el conocimiento de los mineros locales sobre el uso de reactivos alternativos. La transferencia de los conocimientos obtenidos mediante esta investigación podría contribuir significativamente a mejorar los procesos metalúrgicos locales, optimizando la recuperación de oro y reduciendo los riesgos ambientales asociados a técnicas tradicionales.

CONCLUSIONES

1. Al evaluar las variables en la lixiviación por agitación de los minerales del Yacimiento Chapiña, utilizando el agente lixivante Gold Max. Se logró alcanzar una alta extracción de oro, llegando a obtenerse un 96.244% en la prueba N° 8. Las condiciones que se consideró para esta prueba fueron; 0.08 % de Gold Max, 30% de sólidos en pulpa y con un tiempo de lixiviación por 36 horas. Con esto podemos afirmar que el Gold Max es una alternativa para el tratamiento de los minerales del yacimiento en estudio.
2. La concentración adecuada del reactivo Gold Max para lograr una alta extracción de oro es de 0.08%. Esta es la segunda variable que tiene mayor significancia en el proceso según al análisis estadístico.
3. El porcentaje de sólidos en pulpa adecuado para lograr una alta extracción de oro es de 30%. Pero es importante considerar, que de acuerdo al análisis estadístico tiene una significancia limitada en el proceso.
4. El tiempo del proceso de lixiviación por agitación que permite lograr una alta extracción de oro es de 36 horas, siendo una de las variables que tiene una mayor o significancia estadística dentro del proceso.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que las nuevas investigaciones o futuros tesisistas realicen un estudio comparativo con otros reactivos lixiviantes en el porcentaje de extracción del oro de los minerales del Yacimiento Chapiña.
2. Se recomienda que se realicen pruebas experimentales teniendo en cuenta como variables independientes el pH y granulometría para poder evaluar su influencia en el proceso.
3. Se recomienda para futuras investigaciones de esta índole tener en cuenta que el porcentaje de sólidos es una variable que tiene una significancia limitada en el proceso.
4. Se recomienda hacer una evaluación económica para determinar la rentabilidad de uso del reactivo Gold Max en la industria minera para la extracción de oro.

Matriz de Consistencia

“EVALUACIÓN DE VARIABLES EN LA EXTRACCIÓN DE ORO CON GOLD MAX POR AGITACIÓN DE LOS MINERALES AURÍFEROS DEL YACIMIENTO CHAPIÑA-COLQUEMARCA-CHUMBIVILCAS-CUSCO”				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	METODOLOGIA
¿Será posible evaluar las variables en la extracción de oro con Gold Max por agitación de los minerales auríferos del yacimiento minero Chapiña, para lograr un alto porcentaje de extracción de oro?	Evaluar la concentración de Gold Max, el porcentaje de sólidos en pulpa y el tiempo de lixiviación en la extracción de oro con Gold Max por agitación de los minerales auríferos del yacimiento Chapiña.	Evalutando la concentración de Gold Max, el porcentaje de sólidos en pulpa y el tiempo de lixiviación en la extracción de oro con Gold Max por agitación de los minerales auríferos del yacimiento Chapiña, permite obtener porcentajes de extracción por encima del 90%.	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de extracción • Indicador: Presencia de Au en la solución PLS. 	<p>ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN Cuantitativo</p> <p>NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN Explicativo</p>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTE	METODOLOGIA
<p>PE1: ¿Cuál será la concentración adecuada del reactivo Gold Max para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña?</p> <p>PE 2: ¿Cuál será el porcentaje de sólidos adecuado en la pulpa para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña?</p> <p>PE 3: ¿Cuál será el tiempo del proceso para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña?</p>	<p>OE 1: Determinar la concentración del reactivo Gold Max para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña.</p> <p>OE 2: Determinar el porcentaje de sólidos adecuado en la pulpa para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña.</p> <p>OE 3: Determinar el tiempo del proceso para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña.</p>	<p>HE1: La concentración del reactivo Gold Max para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña, se encuentra en el rango de (0.04 a 0.08 %).</p> <p>HE2: El porcentaje de sólidos adecuado en la pulpa para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña, está en el orden de 25 a 30%.</p> <p>HE3: El tiempo del proceso para lograr una alta extracción de oro a partir de los minerales del yacimiento Chapiña, está en el orden de 24 a 36 horas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de Gold Max. • Porcentaje de sólidos en pulpa. • Tiempo de Proceso <p style="text-align: center;">VARIABLES INTERVINIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura. • pH • Granulometría. • Oxígeno disuelto. 	<p>DISEÑO Diseño factorial 2^K.</p> <p>POBLACIÓN Mineral del yacimiento Chapiña.</p> <p>MUESTRA: 62 Kg</p> <p>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observación. • Ensayos de laboratorio. • Diseño factorial, Excel. • Software Minitab 19.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad Lerma, R. J. (2020). *Evaluacion de dos procesos de extraccion de oro diferentes al cianuro que cumplan las normativas ambientales establecidas en Ecuador*. Machala: Universidad Tecnica de Machala. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15483>
- AngloAmerican. (2025). *AngloAmerican*. Obtenido de <https://peru.angloamerican.com/moquegua/impulso-minero/mineria-una-actividad-que-aporta-significativamente-a-la-economia-peruana.aspx>
- Bustanza Rivera, V. V. (2019). *Estudio de nitrato de plomo para optimizar la recuperacion de oro en el proceso de cianuracion*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustin. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/6de1fa10-4d00-4a9b-887f-1f8c4a6fa1f5/content>
- Cáceres A., G. (2007). *Introducción a la Hidrometalurgia*. Atacama, Chile: Universidad de Atacama.
- Ccari Sirena, N. N. (2018). *lixiviación de minerales de oro con reactivo sanddios en la empresa minera colibrí s.a.c.* universidad nacional del altiplano-puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/7868>
- CCOLQUEMIN. (2023). I CONVENCION DE MINERIA ARTESANAL DE LA MACRO REGION SUR. Colquemarca-Cusco.
- CHEMICAL, R. (2010). *ROYAL CHEMICAL*. Obtenido de ROYAL CHEMICAL: <https://royalchemical.com.pe/>

- Chuquilín Quiliche Cintia Jackeline, Rengifo Martos Eduar Dani. (2019). *Influencia del Cianuro de Sodio, Gold Max y Sandioss en la recuperacion de oro por lixiviacion de un mineral oxidado de Sayapullo - La Libertad*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23019>
- Cristina R, M. (2013). *Hidrometalurgia*. Chile: Universidad de Concepcion.
- Delgado Frafan Gerson, Cancha Guerra Jhon. (2023). *Lixiviacion con Gold Max del oro de los relaves de la concentracion gravimetrica del yacimiento La Cumbre de la Compañia minera Galvin*. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/7187>
- Domic, M. (2001). *Hidrometalurgia fundamentos aplicaciones*. Chile, Santiago: Andros Impresores Ltda.
- Fabian C. F & Diaz. (2009). *Lixiviacion de minerales mediante pilas y bateas*. Santiago: Universidad de Chile.
- GEOCATMIN. (2025). *Instituto Geológico, minero y metalurgico*. Obtenido de <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/main>
- Lara Velazquez, M. (2016). *Empleo del sulfuro de sodio e hidroxido de sodio para la disinucion de la concentracion de antimonio de un mineral refractario de oro y plata como pretratamiento del proceso de lixiviacion*. Junin: Universidad Nacional del Centro del Peru. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3754>
- Levenspiel, O. (1999). *Ingenieria de las reacciones químicas*. Mexico: Limusa s.a.
- Linares G., N. (2010). *Aspectos generales del procesamiento de oro*. Tacna, Perú: UNJBG.
- Mamani Q, E. D. (2015). *Estudio de Investigacion para el procesamiento de minerales auriferos de la franja minera aurifera Nazca*. Arequipa: Univerisidad Nacional de San Agustin.
<https://repositorio.unsa.edu.pe/items/9686a3f5-89f5-4e25-b70d-f0301a21b8f8>

- Marsden J.O, I. C. (2009). *The Chemistry of Gold Ectraton*. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- MINEM. (20 de octubre de 2023). *MINEM*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2023/Energia/files/ppt_extraordinarias/1era._s.e._minem_ministro_de_energ%C3%8Da_y_minas.pdf
- Misari Ch., F. S. (2010). *Metalurgia del Oro*. Lima: Centro de Estudios de Promocion en Ciencias de la Tierra.
- Molina V., A. M. (2021). *Uso de Gold Max en la lixiviación de oro y plata en la zona minera de Rinconada-puno*. Universidad Nacional de San Luis Gonzaga de Ica. <https://repositorio.unica.edu.pe/items/e1f5bf52-d1fb-4312-a577-34f2a318d3e1>
- Orcoapaza Loaiza Karen Majhumi, Taype Ccoto Reyna . (2019). *Evaluacion de variables en la lixiviacion por agitacion con Gold Max para la extraccion de oro del yacimiento de Ayahuay - Apurimac*. Cusco. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4110>
- Pari Z., W. A. (2022). *Evaluación Metalúrgica de la Recuperación de Oro a Novel Laboratorio Usando Cianuro de Sodio Como Lixivante*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/b7574d6b-b081-4187-b1b3-2b2e7d591364>
- Pino Mamani, J. (2014). *Estudio de la Cianuracion en tanques de la Minería Anatapite* . Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín . <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/8410e66f-79e1-4ed3-824c-f302bf9e0595>

- Quilichi, Jackeleni Cintia Chuquilin. (2019). *Influencia del cianuro de sodio, sandios y goldmax en la recuperación de oro por lixiviación de un mineral oxidado de Sayapullo, la libertad*. Cajamarca. Universidad Privada del Norte.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23019>
- Smith, J. (1991). *Ingeniería de la Cinética Química*. Mexico: McGRAW-HILL.
- TECSUP. (2009). *Procesamiento de minerales II*. Lima.
- Uceda H., D. A. (2020). *Hidrometalurgía química e ingeniería de la extracción del oro*. Lima: Fondo Editorial de la UNAM.
- Valadez Aguilar, C. (2021). *Extracción de oro por lixiviación de los relaves de un mineral de cobre de la región de Tiquicheo, Michoacán*. Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

ANEXOS

Figura 31

Mineral extraído de las labores del yacimiento chapiña



Nota. lote de mineral extraído de las labores mineras del yacimiento chapiña

Figura 32

Chancado de mineral



Nota. Mineral como producto de la etapa de chancado, tamaño de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{4}$ ".

Figura 33

Pesado de mineral para la etapa de molienda



Nota. Pesado de 1 kg de mineral para la etapa de molienda.

Figura 34

Molienda de mineral



Nota. Molino de bolas donde se realizó la molienda de la muestra.

Figura 35

Control de granulometría del mineral para determinar la cinética de molienda



Nota. Lavado del mineral en una malla-200 para calcular el porcentaje pasante.

Figura 36

Mineral producto de la etapa de molienda 65% -200M



Nota. Muestra de mineral a una granulometría de 80% -200 malla.

Figura 37

Determinación de la gravedad específica del mineral



Nota. Pruebas realizadas de la gravedad específica del mineral por el método de la fiola.

Figura 38

Mineral, reactivo y cal antes del proceso



Nota. Proporciones de mineral, agua, reactivo y cal antes del proceso.

Figura 39

Lixiviación con Gold Max



Nota. Las pruebas de lixiviación por agitación con Gold Max.

Figura 40

Sedimentación para la toma de muestra (solución PLS)



Nota. Sedimentación de ripios para poder tomar una muestra (solución PLS).

Figura 41

Muestra de solución PLS para análisis químico



Nota. Muestras de solución PLS de cada prueba experimental para el análisis químico.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : C90947ED

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-24-13529

Fecha de emisión: 25/9/2024

Página 1 de 1

Señores: GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI
Dirección: COM. INGATA CHAMACA CHUMVICILCAS CUSCO
Atención: GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI
Recepción: 24/9/2024
Realización: 24/9/2024
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

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

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*552	
				Au	
				g/TM	oz/TC
MN24024165	TESIS UNSAAC	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	13,94	0,4068

----- Fin del informe -----

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

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

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

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

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

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

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : EC3895E0

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-24-00411

Fecha de emisión: 6/9/2024

Página 1 de 1

Señores: TAYLOR KID VIZARRETA CORREA
Dirección: AREQUIPA
Atención: TAYLOR KID VIZARRETA CORREA
Recepción: 5/9/2024
Realización: 5/9/2024
Observación El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

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

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*968
				Au ppm
SS24001688	PRUEBA N° 2	No proporcionado por el cliente.	Solución de Golmax	3,50
SS24001690	PRUEBA N° 4	No proporcionado por el cliente.	Solución de Golmax	5,09
SS24001691	PRUEBA N° 5	No proporcionado por el cliente.	Solución de Golmax	3,90
SS24001692	PRUEBA N° 6	No proporcionado por el cliente.	Solución de Golmax	4,24
SS24001693	PRUEBA N° 7	No proporcionado por el cliente.	Solución de Golmax	5,05
SS24001694	PRUEBA N° 8	No proporcionado por el cliente.	Solución de Golmax	5,75

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA, P.E. 6/9/2024 18:57:44

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

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

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

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

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió



Validar el informe
Vía Web

INFORME DE ENSAYO**COLQUEMARCA 24-00667-11**

A SOLICITUD DE: **MOLINA HUAYLLANI GUIMO HILARIO**
Colquamarca
Colquamarca

POR CUENTA DE: **MOLINA HUAYLLANI GUIMO HILARIO**
Chamaca
Chamaca

ASUNTO: Análisis químico - Ley de Au Molina

CONTACTO: Huayllani Guimo Hilario

TIPO DE MUESTRA(S): Solución lixiviada con Gold Max

CANTIDAD DE MUESTRAS: 02

CONDICIONES DE RECEPCIÓN: En botella de 250ml

FECHA DE RECEPCIÓN: 04-11-2024

FECHA DE REPORTE: 04-11-2024

INSTRUCCIONES DE ENSAYO: ley de Au en las soluciones

RESULTADOS

Innovative Technologies

Código interno	ITEM	Símbolo de Analito Código de Análisis Símbolo de Unidad Limite Detección	Au mg/L ppm
000441	1	REPLICA M-1	3.166
000442	2	REPLICA M-3	4.196

**Ing. Ingrid Landeo Garay****CIP 94034**

Nota: La Empresa no se responsabiliza por los datos que proporciona el cliente, ni de la toma de muestra que se realizó.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 115D015E

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-24-00452

Fecha de emisión: 28/09/2024

Página 1 de 1

Señores: GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI
Dirección: COM. INGATA CHAMACA CHUMVICILCAS CUSCO
Atención: GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI
Recepción: 24/09/2024
Realización: 24/09/2024
Observación El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

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

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*968
				Au ppm
SS24001804	PRUEBA N° 9	No proporcionado por el cliente.	Solución de Golmax	4,40

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA, P.E. 28/09/2024 10:51:04

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

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

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

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

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

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : FF536072

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-24-00450

Fecha de emisión: 28/09/2024

Página 1 de 1

Señores: GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI
Dirección: COM. INGATA CHAMACA CHUMVICILCAS CUSCO
Atención: GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI
Recepción: 24/09/2024
Realización: 24/09/2024
Observación El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

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

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*968
				Au ppm
SS24001802	PRUEBA N° 10	No proporcionado por el cliente.	Solución de Golmax	4,35

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA, P.E. 28/09/2024 10:50:51

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

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

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

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

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

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : CA08C6E9

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-24-00474

Fecha de emisión: 14/10/2024

Página 1 de 1

Señores: GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI
Dirección: COM. INGATA CHAMACA CHUMVICILCAS CUSCO
Atención: GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI
Recepción: 12/10/2024
Realización: 12/10/2024
Observación El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

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

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*968
				Au ppm
SS24001926	REPLICA N° 6	No proporcionado por el cliente.	Solución de Golmax	4,43

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA, P.E. 14/10/2024 15:25:09

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

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

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

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

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

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 67985BFF

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-24-00553

Fecha de emisión: 28/09/2024

Página 1 de 1

Señores: GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI
Dirección: COM. INGATA CHAMACA CHUMVICILCAS CUSCO
Atención: GUIMO HILARIO MOLINA HUAYLLANI
Recepción: 24/09/2024
Realización: 24/09/2024
Observación El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

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

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*968
				Au
				ppm
SS24001805	REPLICA PRUEBA N° 8	No proporcionado por el cliente.	Solución de Golmax	5,80

----- Fin del informe -----

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

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

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

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

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

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió



Validar el informe
vía web