



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**Lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente
para recuperar oro de relave aurífero de amalgamación**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

AUTORES

Edwin Ronald MANRIQUE SÁNCHEZ

Donato Anselmo SÁNCHEZ CHOQUEHUANCA

ASESOR

Dr. Daniel Florentino LOVERA DÁVILA

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Manrique, E. & Sánchez, D. (2025). *Lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente para recuperar oro de relave aurífero de amalgamación*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Edwin Ronald Manrique Sánchez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10204784
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4943-2819
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Donato Anselmo Sánchez Choquehuanca
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08154589
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0002-7970-1805
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Daniel Florentino Lovera Dávila
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06450640
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2815-0716
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Luis Alfredo Orihuela Salazar
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08004136
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Manuel Prudencio Caballero Ríos

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09136425
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Luis Américo Rivera Del Valle
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10647742
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica
Grupo de investigación	Tecnologías Metalúrgicas Sostenibles TECMETS
Agencia de financiamiento	No aplica
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Escuela Profesional de Ingeniería metalúrgica Latitud: -12.060051 Longitud: -77.084699
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023 – 2025
URL de disciplinas OCDE	Minería, Procesamiento de minerales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05



«Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana»

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS MANCOMUNADA PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO**

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el miércoles 16, del mes de abril del 2025 siendo las 17:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Mg. LUIS ALFREDO, Orihuela Salazar	(PRESIDENTE)
Dr. LUIS AMÉRICO, Rivera del Valle	(MIEMBRO)
Ing. MANUEL PRUDENCIO, Caballero Rios	(MIEMBRO)

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS MANCOMUNADA Titulada: «**LIXIVIACIÓN OXIDATIVA CLORURANTE A TEMPERATURA AMBIENTE PARA RECUPERAR ORO DE RELAVE AURÍFERO DE AMALGAMACIÓN**» presentada por Don: EDWIN RONALD MANRIQUE SÁNCHEZ, Bachiller en Ingeniería Metalúrgica, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero: **METALÚRGICO**.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

.....**SATISFACCIÓN**.....

Concluida la Sustentación de Tesis Mancomunada, el Jurado procedió a evaluar y calificar según el reglamento vigente, cuyo resultado fue la nota de:

.....**QUINCE (15) APROBADO**.....

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis Mancomunada por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO**, a Don: **Edwin Ronald Manrique Sánchez**.

Siendo las **18:15** horas, se dió por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (5) Actas Originales de la Sustentación de Tesis Mancomunada.

Lima, 16 de abril de 2025

Mg. LUIS ALFREDO ORIHUELA SALAZAR
Presidente

Dr. LUIS AMÉRICO RIVERA DEL VALLE
Miembro

Ing. MANUEL PRUDENCIO CABALLERO RIOS
Miembro

Dr. DANIEL FLORENCIO LOVERA DÁVILA
ASESOR DE TESIS



UNMSM

Firmado digitalmente por VEGA
GUILLÉN Víctor Augusto FAU
20148092282 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.04.2025 12:13:53 -05:00

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú - Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

«Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana»

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS MANCOMUNADA PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO**

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el miércoles 16, del mes de abril del 2025 siendo las 17:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Mg. LUIS ALFREDO, Orihuela Salazar
Dr. LUIS AMÉRICO, Rivera del Valle
Ing. MANUEL PRUDENCIO, Caballero Rios

(PRESIDENTE)
(MIEMBRO)
(MIEMBRO)

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS MANCOMUNADA Titulada: «**LIXIVIACIÓN OXIDATIVA CLORURANTE A TEMPERATURA AMBIENTE PARA RECUPERAR ORO DE RELAVE AURÍFERO DE AMALGAMACIÓN**» presentada por Don: DONATO ANSELMO SÁNCHEZ CHOQUEHUANCA, Bachiller en Ingeniería Metalúrgica, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero: **METALÚRGICO**.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

.....**SATISFACCIÓN**.....

Concluida la Sustentación de Tesis Mancomunada, el Jurado procedió a evaluar y calificar según el reglamento vigente, cuyo resultado fue la nota de:

.....**QUINCE (15) APROBADO**.....

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis Mancomunada por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO**, a Don: **Donato Anselmo Sánchez Choquehuanca**.

Siendo las **18:15** horas, se dió por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (5) Actas Originales de la Sustentación de Tesis Mancomunada.

Lima, 16 de abril de 2025


Mg. LUIS ALFREDO ORIHUELA SALAZAR
Presidente


Dr. LUIS AMÉRICO RIVERA DEL VALLE
Miembro


Ing. MANUEL PRUDENCIO CABALLERO RIOS
Miembro


Dr. DANIEL FLORENCIO LOVERA DÁVILA
ASESOR DE TESIS



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo DANIEL FLORENCIO LOVERA DAVILA en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 001178-2023-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis mancomunada, cuyo título es “LIXIVIACIÓN OXIDATIVA CLORURANTE A TEMPERATURA AMBIENTE PARA RECUPERAR ORO DE RELAVE AURÍFERO DE AMALGAMACIÓN” presentado por el bachiller **EDWIN RONALD MANRIQUE SÁNCHEZ y DONATO ANSELMO SÁNCHEZ CHOQUEHUANCA** para optar el título profesional de Ingeniero Metalúrgico.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **13%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Lima, 23 de mayo de 2024

Firma del Asesor

Dr. DANIEL FLORENCIO LOVERA DÁVILA

DNI: 06450640

DEDICATORIA

Dedicatoria de Edwin:

Agradezco a Dios por permitirme culminar este trabajo de investigación, a mis padres Elina y Santiago por su apoyo incondicional, a mis hermanos, a mis tíos Nélide y Walter, a mis sobrinos Daniel y Belén y a mi querido tío Rafael.

DEDICATORIA

Dedicatoria de Anselmo:

Mi agradecimiento a Dios todo poderoso por guiarme por el camino de la sabiduría, que me imparte cada día. Con mucho cariño dedico esta investigación a mis padres quienes me apoyaron para seguir adelante en mi carrera profesional, a mis hermanas por su ayuda, comprensión y estímulo en mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO.

Por la presente, dejamos constancia del agradecimiento al Dr. Daniel Florencio Lovera Dávila profesor principal de la Escuela Ingeniería Metalúrgica de esta casa de estudios y asesor de esta tesis, por habernos dado la oportunidad de realizar este trabajo de investigación y que contribuyo con su experiencia y su invalorable apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

También expresamos nuestro agradecimiento a los ingenieros de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Metalúrgica que en diferente forma han contribuido con el presente trabajo de Investigación Metalúrgica.

CONTENIDO

CAPITULO I.....	3
1.0. INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. Planteamiento del Problema	4
1.2.1. Descripción de la Problemática.....	4
1.2.2. Formulación del problema.....	5
1.3. Objetivos de la Investigación	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos.....	5
1.4. Limitaciones de la Investigación	6
CAPÍTULO II.....	7
2.0. EL MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.2. Bases Teóricas	11
2.2.1. Relaves de amalgamación.....	11
2.2.2. Retorta	12
2.2.3. Oro (Au)	12
2.2.4. Lixiviación	12
2.2.5. Lixiviación de oro en diversos medios ácidos.	14
2.2.6. Tipo de oxidantes.....	14
2.2.7. Lixiviación del oro en medio acuoso	16
2.2.8. Lixiviación clorurante del Oro.....	17
2.2.9. Importancia del Estudio de la Cinética.....	21
2.2.10. Velocidad de Reacción.....	21
2.2.11. Cinética de Sistemas Hidrometalúrgicos.....	22
2.2.12. Clasificación de reacciones	23
2.2.13. Ley de Acción de Masas y ley de Velocidad.....	23

2.2.14.	Cinética Heterogénea	24
2.2.15.	Etapas elementales de la lixiviación heterogénea	24
2.2.16.	Efecto de la agitación	25
2.2.17.	Difusión de especies liquidas a través de un sólido poroso	25
2.2.18.	Ecuaciones Cinéticas. partícula esférica no porosa de sólido A.....	26
2.3.	Definición de Términos.....	28
CAPÍTULO III.....		30
3.0.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	30
3.1	Hipótesis.	30
3.2.	Las variables	30
3.3.	Operacionalización de variables	33
CAPÍTULO IV		34
4.0.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
4.1.	Área de estudio.....	34
4.1.1.	Accesibilidad	34
4.1.2.	Topografía y Fisiografía (geomorfología)	34
4.1.3.	Clima y Meteorología	35
4.1.4.	Geología	35
4.2.	Diseño de Investigación	38
4.3.	Población y Muestra.....	38
4.3.1.	Población de Estudio	38
4.3.2.	Tamaño de Muestra de Lote.....	38
4.4.	Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información...	38
4.4.1.	Características Metalúrgicas	38
4.4.2.	Procedimiento	39
4.4.3.	Porcentaje de Humedad (% H ₂ O)	41
4.4.4.	Pruebas de Moliendabilidad	43

4.4.5. Técnicas de recolección de la información.....	44
4.4.6. Instrumentos para la recolección de la información	45
4.5. Análisis Estadístico	45
4.5.1. Tamaño de muestra.....	45
4.5.2. Selección de muestra	46
4.5.3. Análisis e interpretación de la información	47
CAPÍTULO V	48
5.0. RESULTADOS.....	48
5.1 Comparación del tipo de solución oxidativa clorurante en la recuperación del oro a temperatura ambiente.....	48
5.2.1. Efecto del H_2O_2	57
5.2.2 Efecto del H_2O_2 y NaCl	59
5.2.3. Efecto del $NaNO_3$	61
5.2.4. Efecto del $NaNO_3$ y el NaCl	63
5.2.5. Efecto del H_2O_2 / $NaNO_3$ / NaCl	65
5.3. Influencia de los oxidantes en la cinética de lixiviación	77
5.3.1. Cálculo del modelo cinético del H_2O_2	78
5.3.2 Cálculo del modelo cinético del H_2O_2 / NaCl	83
5.3.3 Cálculo del modelo cinético del $NaNO_3$	88
5.3.4. Cálculo del modelo cinético del $NaNO_3$ / NaCl.....	94
5.3.5. Cálculo del modelo cinético del $NaNO_3$ / H_2O_2 / NaCl.....	99
5.4. Efecto de la Concentración de Cloruros en la Recuperación del Oro.....	113
5.5 Lixiviación con cianuro de sodio para recuperar el oro.....	123
CAPITULO VI.	126
6.0 DISCUSIONES	126
7.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
7.1. Conclusiones.....	129

7.2. Recomendaciones.....	130
CAPITULO VIII	131
8.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
9.0 ANEXOS	133
9.1. Matriz de Consistencia	135
9.2. Análisis de muestra líquida de la lixiviación por frxed.....	136
9.3. Arreglo experimental	136
9.4. Resultados cualitativos.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Procesos de Lixiviación.....	13
Tabla 2 Análisis químico del relave por ICP	42
Tabla 3 Análisis de oro por ensayo al fuego en el relave	43
Tabla 4 Moliendabilidad del relave malla # -200.....	43
Tabla 5 Condiciones generales de lixiviación	48
Tabla 6 Composición de las soluciones oxidativas clorurantes	49
Tabla 7 Recuperación en 1 Hora de Lixiviación Con diferentes Soluciones Oxidativas Clorurantes	51
Tabla 8 Análisis de la varianza con Diferentes Soluciones Oxidantes Clorurante en la recuperación en una hora	53
Tabla 9 Resumen prueba de Shapiro – Wilk.....	54
Tabla 10 Prueba de Barlett.....	55
Tabla 11 Prueba de Tukey.....	56
Tabla 12 Condiciones de lixiviación del H_2O_2	57
Tabla 13 Recuperación de oro en ppm con H_2O_2 en función del tiempo	58
Tabla 14 Condiciones de Lixiviación del H_2O_2 y el NaCl	59
Tabla 15 Recuperación de oro con H_2O_2 y NaCl	60
Tabla 16 Condiciones de lixiviación del $NaNO_3$	61
Tabla 17 Recuperación de oro con el $NaNO_3$	62
Tabla 18 Condiciones de lixiviación para conocer el efecto del $NaNO_3$ y el NaCl.....	63
Tabla 19 Recuperación de oro con $NaNO_3$ y NaCl.....	64
Tabla 20 Condiciones de lixiviación del H_2O_2 , $NaNO_3$ y NaCl	65
Tabla 21 Recuperación de oro con $NaNO_3$, H_2O_2 y NaCl	66
Tabla 22 Resumen del análisis de oro en soluciones lixiviadas(ppm) con diferentes oxidantes	68
Tabla 23 Porcentaje de oro en diferentes medios de lixiviación Vs tiempo	69
Tabla 24 Calculo para el análisis de varianza	72
Tabla 25 Análisis de la varianza para el efecto del tipo de oxidante en la recuperación	73
Tabla 26 Resumen estadístico del análisis de la varianza	74
Tabla 27 Errores de los valores reales menos los valores del modelo	74

Tabla 28 Resumen prueba de Shapiro-Wilk.....	75
Tabla 29 Prueba de Barlett.....	76
Tabla 30 Prueba de Tukey.....	77
Tabla 31 Cálculo del Modelo Cinético del H_2O_2 - Replica 1.....	78
Tabla 32 Cálculo del modelo Cinético del H_2O_2 - Replica 2.....	79
Tabla 33 α calculado del H_2O_2	81
Tabla 34 Cálculo del modelo Cinético del H_2O_2 / NaCl - Replica 1.....	84
Tabla 35 Cálculo del modelo Cinético del H_2O_2 / NaCl - Replica 2.....	85
Tabla 36 α calculado del H_2O_2 y NaCl	87
Tabla 37 Calculo del modelo Cinético del NaNO_3 - Replica 1.....	89
Tabla 38 Cálculo del modelo Cinético del NaNO_3 - Replica 2.....	90
Tabla 39 α calculado del NaNO_3	92
Tabla 40 Cálculo del modelo cinético del NaNO_3 / NaCl – Replica 1	94
Tabla 41 Cálculo del modelo cinético del NaNO_3 / NaCl - Replica 2.....	96
Tabla 42 α Calculado del NaNO_3 / NaCl	98
Tabla 43 Cálculo del modelo cinético del NaNO_3 / H_2O_2 / NaCl Replica 1	100
Tabla 44 Cálculo del modelo cinético del NaNO_3 / H_2O_2 / NaCl - Replica 2	101
Tabla 45 Cálculo del NaNO_3 / H_2O_2 / NaCl	103
Tabla 46 Resumen de constantes cinéticas de los diferentes oxidantes	105
Tabla 47 Anova: Análisis de la varianza para las constantes cinéticas	108
Tabla 48 Errores de los α	109
Tabla 49 Condiciones de lixiviación	114
Tabla 50 Recuperación de oro en ppm a diferentes concentraciones de cloruro	115
Tabla 51 Porcentaje de recuperación de oro a diferentes concentraciones de cloruros.....	116
Tabla 52 Influencia de la concentración de Cl^- en la recuperación de oro	118
Tabla 53 Análisis de la varianza para la recuperación del oro en función de la concentración de cloruro de sodio.....	120
Tabla 54 Análisis de Normalidad de residuos - prueba de Shapiro	121
Tabla 55 Prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas	121
Tabla 56 Prueba de Kruskal - Wallis	122
Tabla 57 Modelo metalúrgico de la Recuperación de oro en % Vs Concentración de Cloruros (M).....	123
Tabla 58 Recuperación de oro a diferentes concentraciones de NaCN	124

Índice de Figuras

Figura 1 % Recuperación vs Tiempo	9
Figura 2 % Recuperación vs Temperatura °C.....	10
Figura 3 % Recuperación - Medio lixivante	11
Figura 4 Diagrama Eh/pH para el oro y el agua a 25°C.....	17
Figura 5 Diagrama de Pourbaix para el sistema Au-Cl-H ₂ O a 25°C	19
Figura 6 Diagrama de predominancia de áreas de las especies.....	20
Figura 7 Velocidad de la reacción de A en B	21
Figura 8 Difusión a través de una capa de producto poroso	25
Figura 9 Cambio de tamaño de una partícula esférica por efecto de una reacción	26
Figura 10 Mapa de ubicación y límites provinciales.....	37
Figura 11 Muestreo del relave de amalgamación de río seco	39
Figura 12 Toma de incremento de 1 kg	40
Figura 13 Moliendabilidad a M -200	44
Figura 14 Recuperación de Au con diferentes medios de lixiviación en 1 hora.....	50
Figura 15 Gráfico de Barras de la Recuperación de oro en 1 Hora de Lixiviación con Diferentes Soluciones Oxidativas Clorurantes.....	52
Figura 16 Porcentaje de recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para el H ₂ O ₂	58
Figura 17 Porcentaje de recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para H ₂ O ₂ / NaCl....	60
Figura 18 Porcentaje de recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para NaNO ₃	62
Figura 19 Porcentaje de recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para el NaNO ₃ / NaCl	64
Figura 20 Porcentaje de recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para el NaNO ₃ / H ₂ O ₂ / NaCl	67
Figura 21 Efecto de la Recuperación de Oro con Diferentes Soluciones oxidativas Clorurantes	70
Figura 22 Recuperación Vs tipo de oxidantes.....	71
Figura 23 Ecuación cinética del H ₂ O ₂ - Replica 1	79
Figura 24 Ecuación cinética del H ₂ O ₂ - Replica 2	80
Figura 25 Representación del α calculado de la lixiviación con H ₂ O ₂ Vs tiempo	83
Figura 26 Representación Cinética del H ₂ O ₂	85
Figura 27 Ecuación cinética para la recuperación del oro empleando H ₂ O ₂ / NaCl	85
Figura 28 Ecuación cinética para el H ₂ O ₂ / NaCl - Replica 2.....	87

Figura 29 Representación del α calculado Vs tiempo del H_2O_2 / NaCl.....	88
Figura 30 Cinética del H_2O_2 / NaCl.....	89
Figura 31 Ecuación cinética para el NaNO_3 - Replica 1.....	90
Figura 32 Ecuación cinética para el NaNO_3 - Replica 2.....	92
Figura 33 Representación del α calculado Vs tiempo del NaNO_3	94
Figura 34 Cinética del NaNO_3	94
Figura 35 Modelo cinética para el NaNO_3 / NaCl - Replica 1.....	96
Figura 36 Modelo Cinético del NaNO_3 / NaCl - Replica 2.....	98
Figura 37 Representación del α calculado Vs tiempo del NaNO_3 / NaCl.....	99
Figura 38 Cinética del NaNO_3 / NaCl.....	100
Figura 39 Modelo cinético para el NaNO_3 / H_2O_2 / NaCl - Replica 1	101
Figura 40 Ecuación cinética para el NaNO_3 / H_2O_2 / NaCl - Replica 2	103
Figura 41 Representación del α calculado NaNO_3 / H_2O_2 / NaCl Vs tiempo	104
Figura 42 Cinética del NaNO_3 / H_2O_2 / NaCl	105
Figura 43 Agentes Oxidantes vs K	107
Figura 44 Agentes Oxidantes Vs R^2	108
Figura 45 Modelos Cinéticos de las soluciones Nitrato/ Peróxido/ cloruro.....	110
Figura 46 Diagrama de dispersión de los alfas calculados y reales para el Modelo seleccionado	11
Figura 47 Comportamiento Cinético con el alfa teórico y alfa real Vs tiempo.	112
Figura 48 Comparación de Modelos cinéticos para diferentes soluciones de lixiviación clorurante.....	113
Figura 49 Simulación del Modelo a diferentes constantes cineticas.....	114
Figura 50 Recuperación de oro Vs Concentración de cloruros.....	118
Figura 51 Influencia de la concentración de cloruros en la recuperación de oro en (%) ...	120
Figura 52 Pruebas de lixiviación de los relaves de amalgamación	125
Figura 53 Recuperación de Au en diferentes medios de Lixiviación en función del tiempo	126
Figura 54 Espectro de la muestra 1R - presencia de Zn, Pb, Fe, Mn, Au	138
Figura 55 Espectro de la muestra 2R - presencia de Zn, Pb, Fe, Mn, Au	138
Figura 56 Espectro de la muestra 3R - presencia de Zn, Pb, Fe, Cu, Au.....	139
Figura 57 Espectro de la muestra 4R - Zn, Pb, Fe, Cu, Ca, Au	139
Figura 58 Espectro de la muestra 5R - presencia de Zn, Pb, Fe, Cu, Ca, Cl, Au.....	140

Figura 59	Espectro de la muestra 6R - presencia de Zn, Pb, Fe, Cu, Au	140
Figura 60	Espectro de la muestra 7R - presencia de Au y Ar	141

RESUMEN:

La presente investigación estudia la naturaleza de la lixiviación oxidante clorurante a temperatura ambiente en la mejora de altas recuperaciones de oro en los relaves auríferos de amalgamación, brindando una alternativa tecnológica distinta al uso del cianuro en el beneficio de los relaves mineros.

Esta investigación cuantitativa experimental se realizó con una muestra de 265 kg de relave de la minería artesanal de Yangas, región Lima, se lixivió con diferentes soluciones oxidativas clorurantes. Se demuestran experimentalmente las hipótesis planteadas para el relave con leyes de oro 11.52 g/TM y mercurio con 500 g/TM, Las pruebas experimentales del proceso hidrometalúrgico realizadas a las condiciones generales de humedad del relave del 2%, dilución sólido/ líquido de 1/5, temperatura 20°C, tiempo 1 hora, siendo la solución que contenía 0.25 M de HCl, 0.0625 M de NaNO_3 , y 4M de NaCl, la que verifica una mayor recuperación de oro alrededor del 97.22%. Las pruebas estadísticas para la investigación arrojan buenos resultados para un p valor de 2.3×10^{-16} para un nivel de significancia de 0.05, demostrándose que la tecnología de procesos basada en el manejo de oxidantes y concentración de cloruros influyen ostensiblemente en la recuperación del oro en los pasivos ambientales.

Palabras claves:

Sales Oxidantes, Lixiviación Oxidativa - Clorurante, Relaves, Oro

SUMMARY:

This research studies the nature of oxidizing chloride leaching at room temperature to improve high gold recoveries in gold amalgamation tailings, providing a technological alternative to the use of cyanide in mine tailings beneficiation.

This quantitative experimental investigation was conducted with a 265 kg sample of tailings from artisanal mining in Yangas, Lima region, leached with different oxidizing chloride solutions. The proposed approaches were experimentally demonstrated for tailings with gold grades of 11.52 g/MT and mercury of 500 g/MT. Experimental testing of the hydrometallurgical process was carried out under general conditions of 2% tailings moisture content, a 1/5 solids/liquid dilution, a temperature of 20°C, and a time of 1 hour. The solution contained 0.25 M HCl, 0.0625 M NaNO₃, and 4 M NaCl, confirming a higher gold recovery of close to 97.22%. Statistical tests yielded good results, with a p-value of 2.3×10^{-16} for a significance level of 0.05, demonstrating that process technology based on oxidant management and chloride concentration significantly influences gold recovery from environmental liabilities.

Keywords:

Oxidizing Salts, Oxidative Leaching - Chlorinating, Tailings, Gold

CAPITULO I

1.0. INTRODUCCIÓN.

La Lixiviación Oxidativa Clorurante (LOC) es una alternativa a los procesos de cianuración y de amalgamación para recuperar oro de minerales auríferos, así como de relaves con contenido de oro y plata.

La Lixiviación Oxidativa Clorurante presenta varios retos como la selección del tipo de oxidante, la determinación de la concentración de cloruros más adecuada para recuperar cantidades apreciables de oro, así como también conocer las constantes cinéticas que nos permitan diseñar el proceso de lixiviación.

Esta tesis permite conocer el tipo de oxidante y la concentración de iones cloruros que ayude a alcanzar una alta recuperación de oro empleando LOC, así como también brindar un modelo matemático para conocer la recuperación del oro en función de la concentración de iones cloruros lixiviando a temperatura ambiente (20°C).

Se comparó la eficiencia en la recuperación de oro empleando diferentes tipos de oxidantes, además se determinó la influencia de estas soluciones en la velocidad de lixiviación del oro. Por último, se determinó la influencia de la concentración de iones cloruros en la recuperación del oro.

Se trabajo con un relave aurífero de amalgamación de la localidad de Yangas de la provincia de Canta- región Lima, con una ley de 11.52 g/t de oro y 500 g/t de mercurio, con presencia de óxidos y sulfuros (minerales mixtos).

Este trabajo es una investigación cuantitativa de tipo experimental, empleándose como método estadístico el análisis de la varianza y la correlación lineal.

1.2. Planteamiento del Problema

1.2.1. Descripción de la Problemática

La lixiviación clorurante se presenta como una alternativa para recuperar oro de los minerales que lo contienen. Se requiere temperaturas superiores a 80° C para alcanzar recuperaciones mayores a 90% así como el empleo de condiciones ácidas, iones cloruros y de agentes oxidantes para obtener las condiciones óptimas de lixiviación del oro presente en los minerales que los contienen. Estos desafíos merecen atención, ya que las condiciones varían dependiendo del mineral, así como un consumo de energía para calentar la pulpa requiriéndose equipos resistentes al calor y la corrosión.

En Nicaragua, se replicó a nivel laboratorio el método SEVERO que consiste en lixiviar oro con una solución de ácido sulfúrico, nitrato de sodio y cloruro de sodio. El mineral de veta aurífero (MVA) se encontraba en rocas andesíticas y salificadas. Se obtuvo una recuperación del 69.13% del oro, requiriéndose una lixiviación previa de 1 Kg de mineral con 200 ml de ácido sulfúrico al 98%. El tiempo total de lixiviación fue de 24 horas (Rodriguez & Reyes, 2008).

En el Perú, en un trabajo de tesis, se replicó el Método SEVERO, a un pre concentrado Falcón que contenía oro nativo, carbonatos, arsenopirita, pirita y galena, arcillas y carbones. Se lixivio por 8 horas obteniéndose una recuperación de solo 26.62% de oro (Condori, 2018).

En esta tesis, se analiza la influencia de la recuperación del oro en un relave aurífero de amalgamación (RAA) empleando Lixiviación Oxidativa Clorurante en medio ácido clorhídrico diluido, a temperatura ambiente.

1.2.2. Formulación del problema

Problema General

¿Como influye la lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente en la recuperación de oro actual en los relaves auríferos de amalgamación?

Problemas Específicos

¿Cuál es el efecto en la recuperación de oro de los relaves auríferos empleando diferentes soluciones oxidativas clorurantes a temperatura ambiente?

¿Cuál es la influencia del tipo de solución oxidativa clorurante en la velocidad de lixiviación del oro contenido en el relave aurífero de amalgamación?

¿Cuáles son las variables optimas que permiten una mejor tasa de recuperación del oro del relave aurífero de amalgamación?

1.3. Objetivos de la Investigación.

1.3.1. Objetivo General

Estudiar la lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente para la obtención de altas recuperaciones de oro en los relaves auríferos de amalgamación.

1.3.2. Objetivos Específicos

Comparar la eficiencia en la recuperación de oro de los relaves auríferos empleando diferentes soluciones oxidativas clorurantes a temperatura ambiente.

Conocer la influencia del tipo de solución oxidativa clorurante en la velocidad de lixiviación que mejora la recuperación del oro del relave aurífero de amalgamación.

Determinar las variables óptimas que permitan una mejor tasa de recuperación del oro del relave aurífero de amalgamación.

Importancia y alcance de la investigación

Justificación teórica: Esta tesis beneficiara a la comunidad científica porque permitirá entender la influencia del tipo de oxidante en la recuperación del oro empleando la LOC y aportara un modelo metalúrgico que relacionara la influencia de concentración de cloruros en la recuperación del oro mediante lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente.

Justificación práctica: Beneficiara a los pequeños mineros porque facilitara recuperar oro de relaves auríferos de amalgamación, remplazando al cianuro que es nocivo para la salud y el ambiente. Además, permitirá la obtención de oro metálico de alta ley en menor número de etapas (sin absorción ni desorción) mejorando los flujos de cajas de los procesadores auríferos.

1.4.Limitaciones de la Investigación

Se mantienen la granulometría del relave en estudio tal como procede de la minería artesanal. La velocidad de agitación es la misma para todas las pruebas, lixiviándose a temperatura ambiente

El relave aurífero de amalgamación está compuesto de un material (mixto), presenta niveles de oxidación (cuarzo-hematitas) y sulfuros (Polimetálicos) La mineralización consta de calcopirita, arsenopirita, pitita, galena, esfalerita covelita, bornita y otros minerales (Arcos et al., 2019).

CAPÍTULO II

2.0. EL MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En el artículo “Adición de cloruro de sodio en la lixiviación clorurante de minerales de oro de la minería artesanal de Indonesia”, se trató un mineral de oro y plata, además contenía sílice, óxido de hierro, pirita y trazas de carbón. El pretratamiento con tostación liberó el oro. Se estudió el efecto de la temperatura (75°C), la dilución de la pulpa (0.5), la concentración de cloruro de sodio (0.05 Molar), el tiempo de lixiviación (3 horas), concentración de ácido clorhídrico (HCl) 11.6 moles/litro y peróxido de hidrogeno (H₂O₂) 1% volumen. A esas condiciones se obtuvo el 78% de recuperación del oro (Harjanto et al., 2019).

En el artículo “Lixiviación del oro sin cianuro en excepcionalmente soluciones medias de cloruro”, Se lixivio un mineral aurífero, mineral rico en cuarzo y oro libre. La ocurrencia mineralógica del oro es principalmente oro de grano fino y aleado a plata, también se presenta como maldonita (Au₂Bi), silvanita (AuAgTe₄), petzita (Ag₃AuTe₂), kostovita (CuAuTe₄) y calavarita (AuTe₂). Además de arcillas (21.14%), Micas (15.57%), Feldespatos (4%), Sulfuros de fierro (0.70%), Calcopirita (0.066%), Esfalerita (0.004%) y otros. Se estudio el efecto de la dilución solido/líquido, temperatura, oxidante y concentración de cloruros. A 98°C, 4.2 Moles/Litro de Cl⁻ 0.2 M de Cu⁺², HCl 0.3 M, Tiempo de lixiviación 10 Horas y concentración de solidos de 360 g/L, se recupera el 92% del oro (Ahtiainen & Lundström, 2019).

En el artículo “Lixiviación de un mineral oxidado de oro con soluciones cloruro/hipoclorito”, el análisis mineralógico muestra ankerita Ca(Fe,Mg)(CO₃)₂, moscovita H₂KAl₃(SiO₄)₃ y cuarzo (SiO₂), en mayores cantidades, mientras que en pequeñas proporciones se encuentran albita (Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈, diáspora (Al₂O₃.H₂O) y clorita ((Mg,Fe)₅(Al,Si)₅O₁₀(OH)₈). Se estudió el

efecto de tres factores: concentración de OCl^- , Concentración de HCl y concentración de hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) vs hipoclorito de sodio (NaOCl) a temperatura ambiente. La solución lixivante conteniendo 9 g/l de HCl , ion cloruro (Cl^-) 61 g/l, ion hipoclorito (OCl^-) 10 g/l, recuperó el 67% del oro en 4 horas (Baghalha, 2007).

En el artículo “Lixiviación de mineral aurífero de vetas Santander, con sales oxidantes en medio ácido”, Se lixivió un mineral colombiano, la caracterización mineralógica resultó en cuarzo (26.13%), pirita (18.16%), jarosita (1.50%), moscovita (20.94%), ortoclasa (11.16%) y amorfos (22.14%). Se estudió el efecto en la recuperación del oro, con la temperatura, el tiempo de agitación, concentración de ácido sulfúrico, concentración de nitrato de sodio y cloruro de sodio, además del porcentaje de la pulpa. No existió un efecto sustancial del porcentaje de sólidos en la pulpa, mientras que la temperatura tiene un efecto inverso, siendo mayor la recuperación a 25°C, se disolvió solo el 20% de oro en un tiempo de 13 horas, además se concluye que la concentración de nitrato de sodio tiene mayor influencia que la concentración del cloruro de sodio y por último la concentración de ácido sulfúrico (Pardavé, 2007).

En la tesis de maestría “Lixiviación en batch del oro en medio cloruro cúprico”, se estudió la lixiviación de 2 minerales diferentes, el contenido de oro del material 1 fue de 1.89 partes por millón (ppm) y del material 2 fue de 4.93 ppm. La mineralogía del material 1 consistía en cuarzo primario y feldespato (albita y anortita), en menor medida ilmenita, actinolita y biotita, también sulfuros como pirita, calcopirita, pirrotita, galena grafito, calcita, apatito y goethita, arsenopirita, y barita. El material 2 constaba principalmente de cuarzo, andalucita, caolinita, micas y feldespatos, sulfuros como pirita, calcopirita y pirrotita además se encontró telururos como telurobismutita, hesita, coloradoita, frobergita, y altaita. Se investigó los parámetros que afectan la disolución del oro como el tiempo de lixiviación, tamaño de partícula, concentración del ion cúprico, temperatura

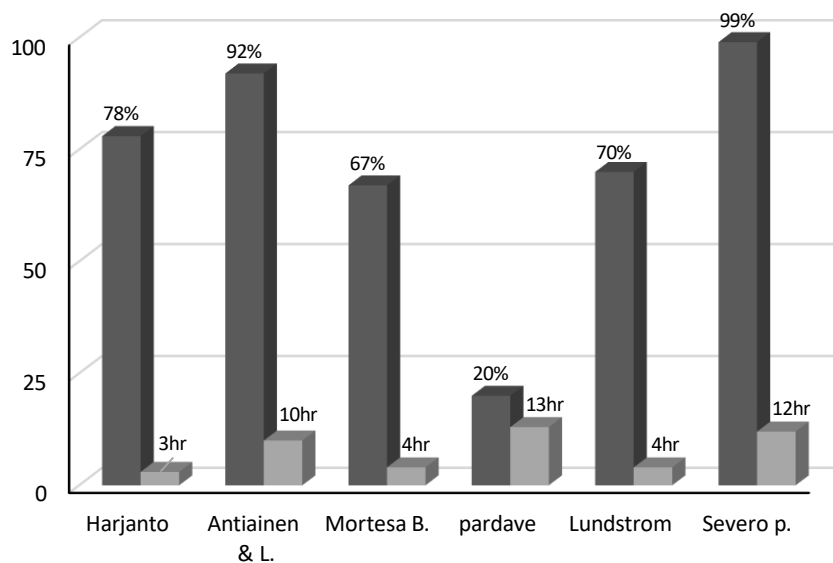
y concentración de ion cloruro. El aumento de temperatura de 65 a 95°C, no tiene un efecto claro. Para el material 1, se recupera el 75 % de oro a una concentración de ion cúprico de 0.5 M, 3 M cloruro de sodio, 4 horas de lixiviación y 95°C, mientras para el material 2 a las mismas condiciones, se recupera el 70% de oro (Lundström et al., 2018.).

En el artículo “Lixiviación de menas auríferas con sales oxidantes en medio ácido mediante el proceso severo”, se trató un mineral aurífero de la mina Huaracane, Moquegua. El mineral se molió con el fin de liberar el oro que se encontraba junto al óxido de hierro, la solución lixivante consistía en ácido sulfúrico (110-120 g/l), nitrato de sodio (24g/l) y cloruro de sodio (75 g/l), recuperando el 99.82% del oro en 12 horas y a temperatura ambiente (Palacios, 2002).

A continuación, en la Figura 1, se presenta las recuperaciones de oro obtenidas por los diferentes autores estudiados.

Figura 1

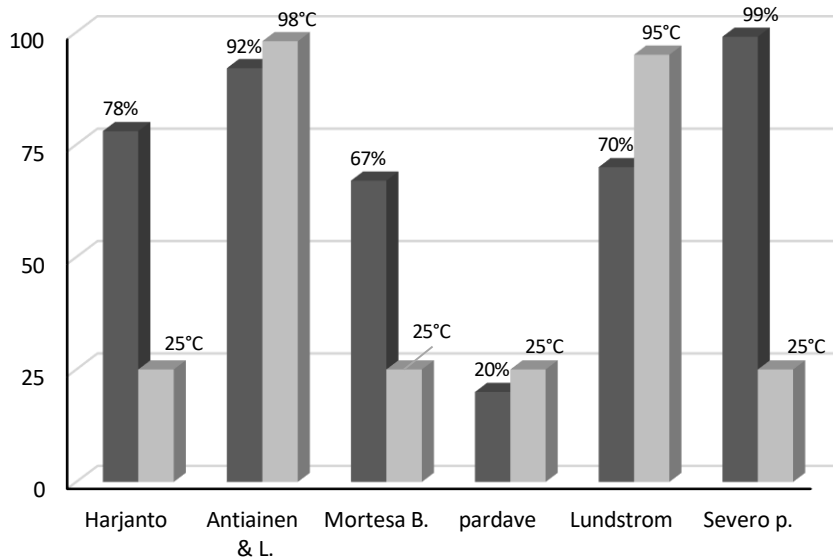
% Recuperación vs Tiempo



En la Figura 1, se presenta un resumen de los artículos citados comparando la recuperación de oro versus tiempo de lixiviación. Se observa que el proceso Severo obtuvo 99% en un tiempo de 12 horas, mientras que en el trabajo realizado por Pardavé obtuvo 20% de recuperación de oro en 13 horas. En la Figura 2, se presenta la recuperación de oro versus temperatura obtenidas por los autores estudiados.

Figura 2

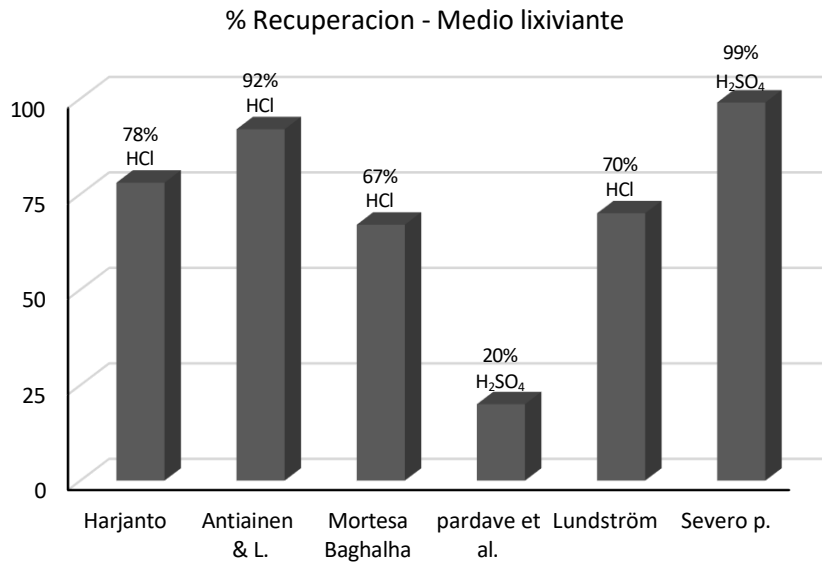
% Recuperación vs Temperatura °C



En la Figura 2, se observa la recuperación vs Temperatura, el proceso severo se obtiene 99% de recuperación a 25°C, mientras que Ahtiainen recupera un 92% calentando a 98°C. En la Figura 3, se compara la recuperación de oro en los diferentes medios lixiviantes.

Figura 3

% Recuperación - Medio lixivante



En la Figura 3, se presenta una comparación en la recuperación empleando diferentes tipos de ácidos, en el proceso Severo se obtiene 99% de recuperación usando H₂SO₄, mientras que Ahtiainen recupera un 92% empleando HCl.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Relaves de amalgamación:

Un relave de amalgamación es un material de desecho que contiene mercurio y se genera en la minería de oro y plata. La minería artesanal usa intensivamente el mercurio en procesos de amalgamación para recuperar metales preciosos, a pesar que está prohibido su uso para recuperar oro de los minerales que extrae. La eficiencia de esta técnica es bastante baja alcanzando valores de 30% de recuperación de oro aproximadamente (PNUMA, 2023).

2.2.2. Retorta.

El oro obtenido en el quimbaleta es una aleación oro-plata-mercurio (amalgama), eliminándose luego el mercurio calentando la amalgama dentro de un recipiente llamado retorta cuya función es captar el mercurio evaporado y dejando una aleación oro-plata (PNUMA, 2023).

2.2.3. Oro (Au).

Considerado metal precioso empleado en joyería, electrónica, activo refugio contra la inflación. Numero atómico 79, peso atómico 196.96, punto de fusión 1063°C, densidad 19.30 gr/cm³, de color amarillo dorado. Tiene 2 iones Au⁺¹ y Au⁺³, siendo bastante inestable el primero oxidándose al más estable Au⁺³. (Misari, 1993)

2.2.4. Lixiviación.

Proceso hidrometalúrgico mediante el cual una solución líquida con reactivos adecuados entra en contacto con un sólido conteniendo especies mineralógicas con el fin de disolver los valores metálicos ionizándolos para su posterior tratamiento de recuperación.

La lixiviación es la disolución selectiva de un metal de un mineral, la disolución se realiza por la presencia de un agente lixivante o también llamada especie química activa (Uceda, 2016).

En la tabla 1, se presentan diversos procesos de lixiviación en medio ácido y básico para diferentes metales.

Tabla 1*Procesos de Lixiviación*

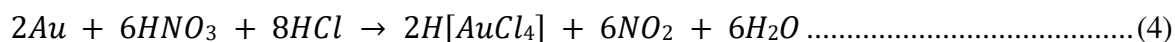
Alimentación	Lixivante	Oxidante	Temperatura	Presión	Equipo
Cu, óxidos	H ₂ SO ₄ diluido	Ninguno	Ambiente	Atmosférica	Pilas
Cu, sulfuros	H ₂ SO ₄ diluido	Férrico, bacteria	Ambiente	Atmosférica	Pilas
Cu, Ni, Co, Zn, Conc, matas	H ₂ SO ₄ diluido	Férrico, oxígeno	>100°C	1-10 bar	Tanques Autoclaves
Zn calcina	H ₂ SO ₄ diluido	Ninguno	40- 90°C	Atmosférica	Tanques
Ni mata	HCl diluido	Férrico, cúprico	<100°C	Atmosférica	Tanques
Ni Laterias	H ₂ SO ₄ diluido	Ninguno	250°C	50 bar	Autoclaves
Laterias reducidas	NH ₃ /CO ₂	Aire, Cu ⁺²	40-80°C	Atmosférica	Tanques
U, minerales	H ₂ SO ₄ diluido	Férrico + MnO ₂	40-50°C	Atmosférica	Tanques / In situ
Au, óxidos	NaCN	Aire	Ambiente	Atmosférica	Pilas Tanques
Au, refractario	H ₂ SO ₄ / NaCN	Férrico/aire	150-250°C Ambiente	30-40 bar/ Atmosférica	Autoclaves Tanques
Bauxita	NaOH	Ninguno	150-200°C	20-40 bar	Autoclaves
V, calcina	agua	Ninguno	50-90°C	Atmosférica	Tanques columna

Fuente. Hidrometalurgia Química e Ingeniería. (Uceda, 2016).

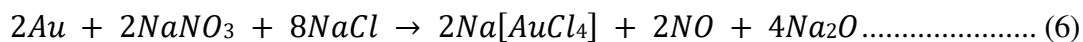
De la Tabla 1, se aprecia que para el oro refractario se han empleado como lixiviantes diferentes tipos de ácidos y como oxidante al ion férrico

Se observan procesos de lixiviación y el tipo de mineral tratado, así como el agente lixivante a condiciones de temperatura y presiones, así como el tipo de lixiviación usado.

2.2.5. Lixiviación de oro en diversos medios ácidos.



Las sales con el oro forman un complejo aniónico en medio ácido, siendo su mecanismo de reacción.



La reacción es muy rápida y se obtiene una recuperación del 98% de Oro. una ventaja de esta solución es que se puede volver a reciclar. En esta reacción no se produce el gas dióxido de nitrógeno, que es un gas venenoso y toxico (Palacios, 2002).

2.2.6. Tipo de oxidantes.

A). Los halógenos:

Se encuentran entre los oxidantes empleados en la lixiviación clorurante su gran afinidad por el oro los hacen ideales para su empleo en la lixiviación clorurante. Los halógenos yodo, bromo y en especial ion cloruro forma complejos con el Oro lo cual facilita su lixiviación.

B). Ácido Nítrico:

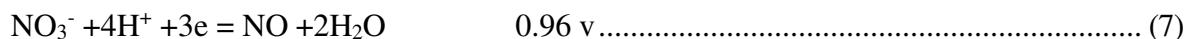
Es un fuerte oxidante empleándose en la refinación del oro con agua regia aportando iones nitrato.

C). Ácido Clorhídrico:

Este ácido se puede regenerar y es muy corrosivo, los equipos que están en contacto con este ácido deben de estar revestidos con un material específico como el caucho.

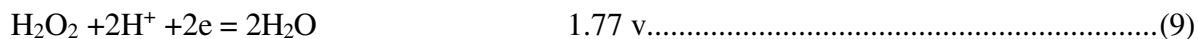
D). Nitrato de potasio o sodio:

Fuente de iones nitratos en reemplazo de ácido nítrico. Se emplea tanto para refinación como lixiviación del oro. Es importante mantener la relación molar de iones nitrato con la molaridad del ácido de 4 a 1 para evitar la formación de gases nitrosos, las semirreacciones se presentan a continuación:

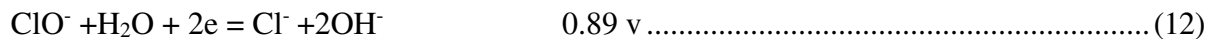
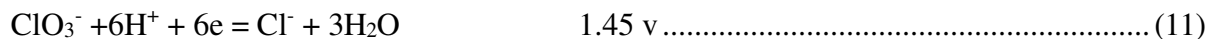
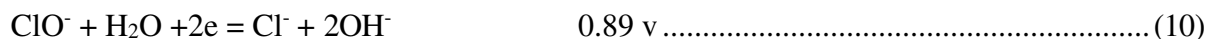


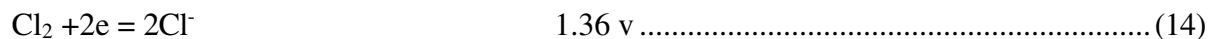
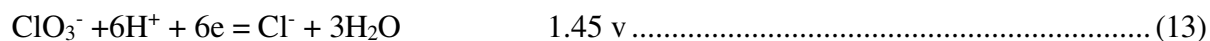
E). Peróxido de Hidrogeno

El peróxido de hidrogeno es un agente oxidante fuerte, puede actuar a la vez como un agente oxidante y un agente reductor libera dos electrones para formar oxígeno (Vogel, 1983).



También es adecuado el uso de iones cloratos aportados por el clorato de potasio, así como el empleo de hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio las reacciones se describen a continuación:





Una gran ventaja de emplear hipocloritos durante la refinación del oro y la lixiviación clorurante es la ausencia de iones nitratos, que si es que estos últimos no son neutralizados y la solución no se encuentra entre pH 0.5 y 1.5 es imposible la recuperación del oro mediante cementación o reducción ya que el oro precipitado se volvería a ionizar. esto no ocurre al emplear hipocloritos, cloratos o peróxido de hidrogeno. Sin embargo, a pesar de esta ventaja, durante la lixiviación con hipocloritos y cloratos emanan gas cloro que si bien es un poderoso acomplejante del oro algo de este cloro entra en contacto con el ambiente ocasionando irritación a las fosas nasales tal como sucedió durante las pruebas de laboratorio para la realización de esta tesis.

2.2.7. Lixiviación del oro en medio acuoso

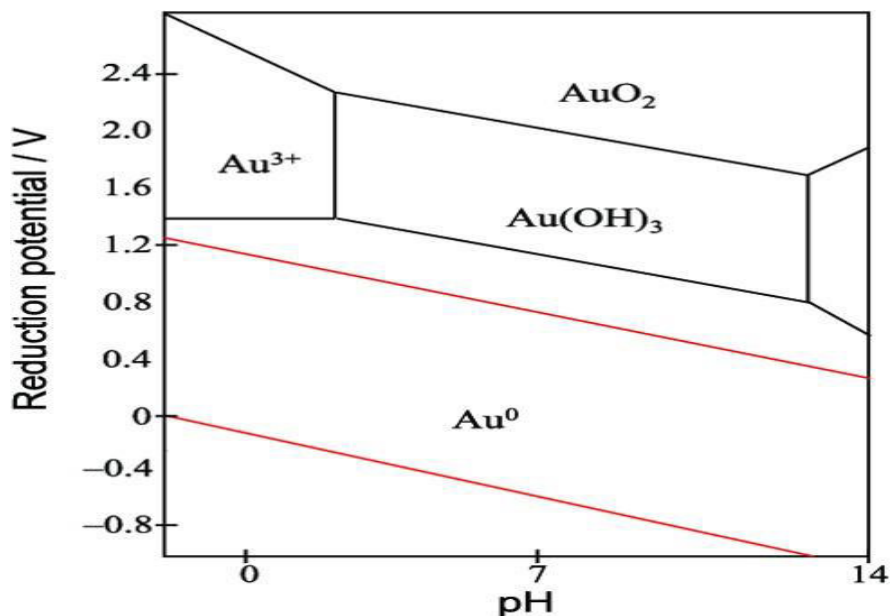
El oro presenta 2 estados de oxidación, siendo el Au^{+3} el más estable. Las semireacciones de oxidación del oro son:



El oro en medio acuoso requiere para su disolución condiciones de pH menores a 0.8 y potencial de oxidación mayor a 1.2 voltios aproximadamente tal como se observa en la Figura 4 del Diagrama de Pourbaix del oro en medio acuoso (Pourbaix, 1974).

Figura 4

Diagrama Eh/pH para el oro y el agua a 25°C

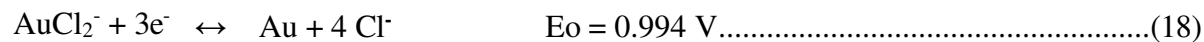
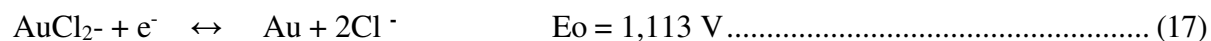


Fuente : Diagramas de Pourbaix. (Pourbaix, 1974).

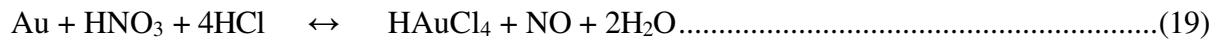
En la Figura 4, se observa la región de estabilidad del Au^{3+} estando por encima de la zona de estabilidad del agua en todo el rango de pH medible.

2.2.8. Lixiviación clorurante del Oro

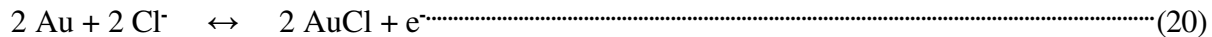
El oro se disuelve en disoluciones acuosas de cloruro para formar complejos clorurados de Au^{+1} y Au^{+3} (Aromaa et al., 2007.).



El ácido nítrico es un oxidante fuerte para disolver el oro en un medio cloruro, para la disolución de oro se emplea agua regia que es una combinación de ácido nítrico y ácido clorhídrico en relación de 1:3 respectivamente, según la ecuación.



La disolución puede llevarse a cabo en dos etapas con la formación de cloruro de oro (I) intermedio en la primera etapa.



La teoría utilizada para la segunda etapa sugiere que el AuCl_2^- se forma como un intermedio secundario que es oxidado a oro (III).



Se observa que la presencia del cloruro de sodio (3%) en la disolución de cloro, acelera considerablemente la reacción esto debido a los iones cloruro que retrasan la disolución del cloro.

Otro factor que puede afectar la disolución del oro, mediante disolución acuosa de cloro es la presencia de iones metálicos; como la plata y el plomo que reaccionan formando cloruros insolubles en las disoluciones cloro-cloruro.

Los cloruros insolubles pueden reducir la solubilidad del oro por la formación de una delgada capa de pasivación que reduce la recuperación del metal.

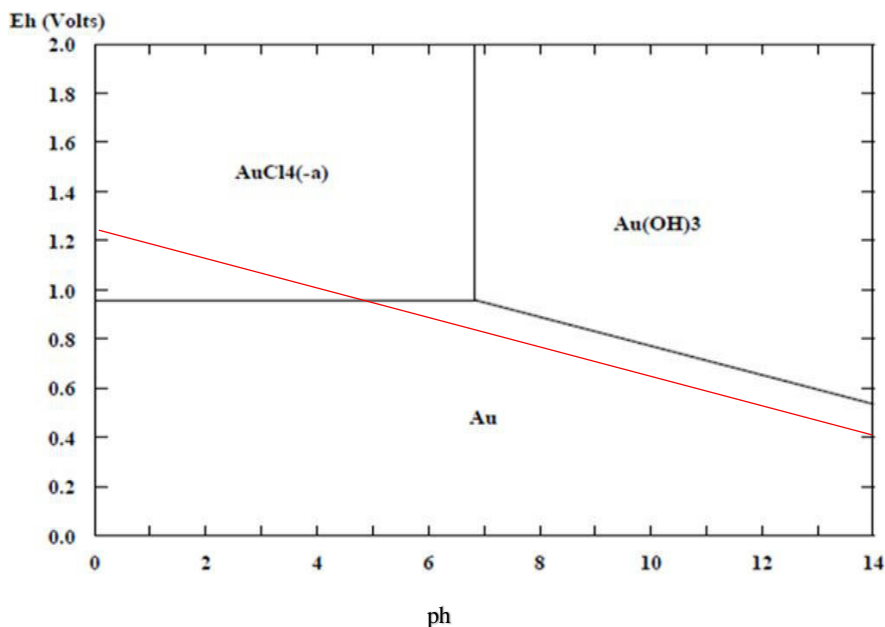
La mayoría de los metales de transición, así como el cobre y el zinc forman complejos con el cloruro que son relativamente inestables. De particular importancia son las grandes diferencias que existen entre las constantes de estabilidad de los complejos de cobre en cianuro o cloruro y los complejos de oro en ambos medios; así para una mena en particular, el cobre se disolverá mucho menos en medio cloruro que en medio cianuro lo que será una ventaja en el tratamiento de estas menas oro-cobre. De esta forma se puede conseguir la separación del oro de algunos de los metales

mediante lixiviación con cloro en vez de con cianuro, lo cual facilita tratamientos posteriores para la recuperación del metal precioso. (Dominic, 2001).

En la Figura 5, se observa la influencia de los iones cloruros en la formación de AuCl_4^- se presenta en el diagrama de Pourbaix. Se observa la estabilidad la predominancia del ion AuCl_4^- . A pH menor a 7.

Figura 5

Diagrama de Pourbaix para el sistema Au-Cl-H₂O a 25°C



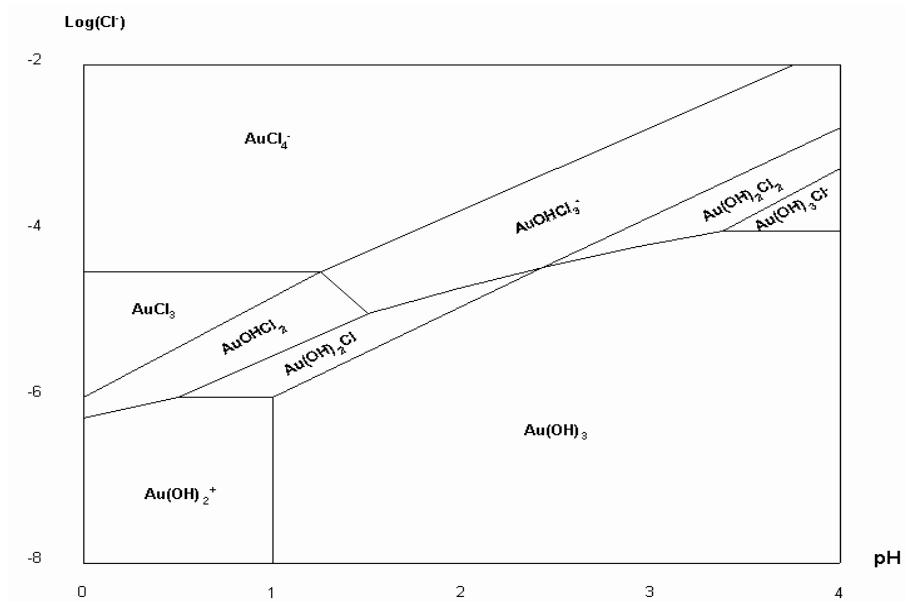
Fuente: Lixiviación en batch del oro en medio cloruro cúprico. (Lundström et al., 2018)

En la Figura 5 se observa el efecto de la adición de iones cloruro en la ampliación de la zona de estabilidad del complejo de cloruro de oro. A diferencia de la lixiviación del oro en medio acuoso, en este diagrama se aprecia que en la lixiviación clorurante el complejo de oro es estable hasta pH 7. La línea roja representa el límite superior de estabilidad del agua.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de predominancia de especies en función de la concentración de iones cloruro y el pH.

Figura 6

Diagrama de predominancia de áreas de las especies



Fuente. Tomado de Lixiviación de menas auríferas con sales oxidantes en medio ácido mediante el proceso Severo (Palacios,2002).

En la Figura 6. Diagrama de predominancia de Áreas de las especies Au (III)-OH-Cl Las líneas indican las condiciones bajo las cuales las especies adyacentes están en equilibrio termodinámico. Se observa que a medida que aumenta la concentración del ion cloruro desde 0.0001M ($\text{log(Cl}^-)=4$) se amplía la zona de estabilidad del complejo AuCl_4^- llegando a ser bastante estable en valores de pH menores de 3 aproximadamente para concentraciones de cloruro de 0.01M ($\text{log(Cl}^-)=2$)).

2.2.9. Importancia del Estudio de la Cinética.

La termodinámica nos indica si una reacción va a ser posible en una determinada dirección y nos suministra información del calor que necesita esa reacción o el calor generado por la misma. Sin embargo, no proporciona el tiempo en que ocurrirá esa reacción. Es aquí donde interviene la cinética química, donde se requiere experimentación para determinar la velocidad de formación de los productos con respecto al tiempo (Dominic, 2001).

2.2.10. Velocidad de Reacción.

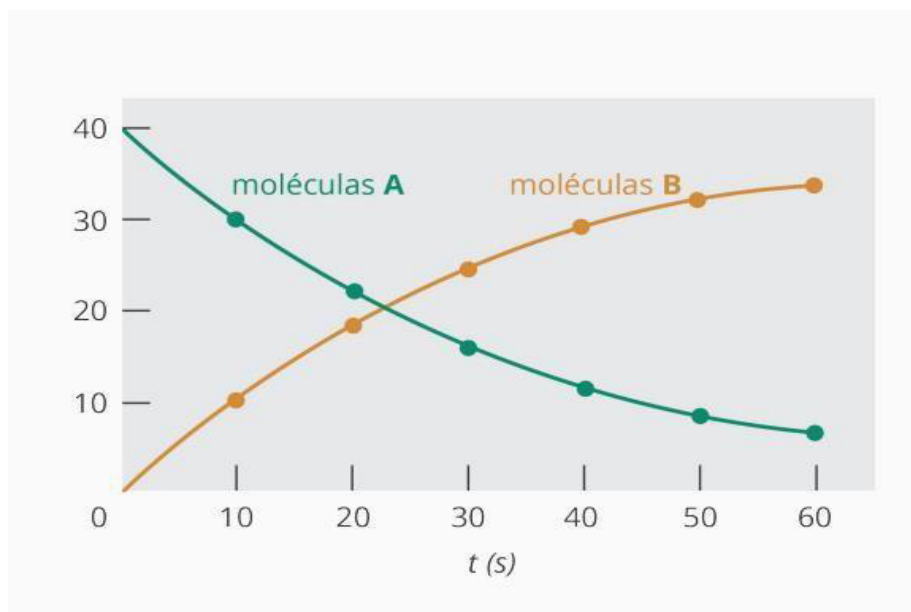
En una reacción a medida que se consume el reactivo A (reactantes), se va formando el producto B. La ecuación de velocidad que representa este cambio en función en un intervalo del tiempo se muestra a continuación, ver Figura 7.

A $\longrightarrow$ B, la velocidad como:

$$Velocidad = \frac{\Delta[A]}{\Delta t} \text{ o } Velocidad = \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

Figura 7

Velocidad de la reacción de A en B



Fuente. Química. (Raymond , 2002)

En la Figura 7, se observa que a medida que aumenta A disminuye B, la reacción se detiene hasta alcanzar el equilibrio

El consumo de reactivos o la formación de productos se determina experimentalmente en función del tiempo. De manera formal se puede definir la velocidad de reacción:

$$v = -\frac{dNr}{dt} = \frac{dNp}{dt}$$

el signo negativo indica el consumo de reactivos por un intervalo de tiempo mientras que la formación de 3 productos tiene un signo positivo.

2.2.11. Cinética de Sistemas Hidrometalúrgicos.

El estudio de la cinética determina el mecanismo de reacción de lixiviación, permite conocer la etapa controlante y los parámetros para el desarrollo de los equipos para la lixiviación.

2.2.12. Clasificación de reacciones

Las reacciones se clasifican en homogéneas y heterogéneas, y eso depende del tipo de fases presentes en la reacción. Si la reacción ocurre en una sola fase se clasifica como homogénea. En una reacción de tipo heterogénea están presentes al menos 2 fases y la reacción ocurre en la frontera de dos fases (interfase). En los procesos de lixiviación de minerales predomina la reacción de tipo heterogénea (Uceda, 2016).

Definición de Velocidad de Reacción.

Para una reacción homogénea, la ecuación de velocidad esta expresada como:

$$r_i = \frac{1}{V} \frac{dn_i}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde dn_i es el cambio de la cantidad de moles del componente “i” que se consumen o generan en un intervalo de tiempo, por unidad de volumen V.

La ecuación de velocidad para una reacción heterogénea es:

$$r_i = \frac{1}{S} \frac{dn_i}{dt} \dots\dots\dots (2.3)$$

La reacción ocurre solo en la interfase, dn_i es la variación de moles de i (aumento o disminución), dt unidad de tiempo y S unidad de área de la interfase.

Siendo “i” es un producto de la reacción, entonces la velocidad r_i será positiva y si es un reactivo, r_i será negativa.

2.2.13. Ley de Acción de Masas y ley de Velocidad.

La velocidad de una reacción química es directamente proporcional a la concentración de los reactivos.



la ecuación cinética se escribe como:

$$\frac{dC_A}{dt} = -K(C_A)^{n_A}(C_B)^{n_B} \dots\dots\dots(2.4)$$

Donde:

K = constante de velocidad específica

n_A, n_B = orden de la reacción con respecto a A y B respectivamente.

2.2.14. Cinética Heterogénea.

La disolución de minerales generalmente es de tipo heterogéneo, y estas ocurren en la interfase de reacción. Las partículas minerales son en su mayoría sólidas y mientras avanza la lixiviación esta ocurre en todas las direcciones reduciendo el tamaño de la partícula manteniendo la forma de la partícula (María & Ruiz, 2013).

2.2.15. Etapas elementales de la lixiviación heterogénea.

Para lo siguiente reacción solido-liquido



Existen 3 tipos de controles para este tipo de reacción:

- 1.- Transferencia de masa(difusión) de reactivos y productos entre el seno de la solución y la superficie externa de la partícula sólida.
- 2.- Difusión de reactivos y productos a través de un producto de reacción poroso (o residuo de reacción) cuyo espesor aumenta con el avance de la reacción.

3.- Reacción química entre el (los) reactivos en solución y el sólido en la superficie de reacción (María & Ruiz, 2013).

2.2.16. Efecto de la agitación.

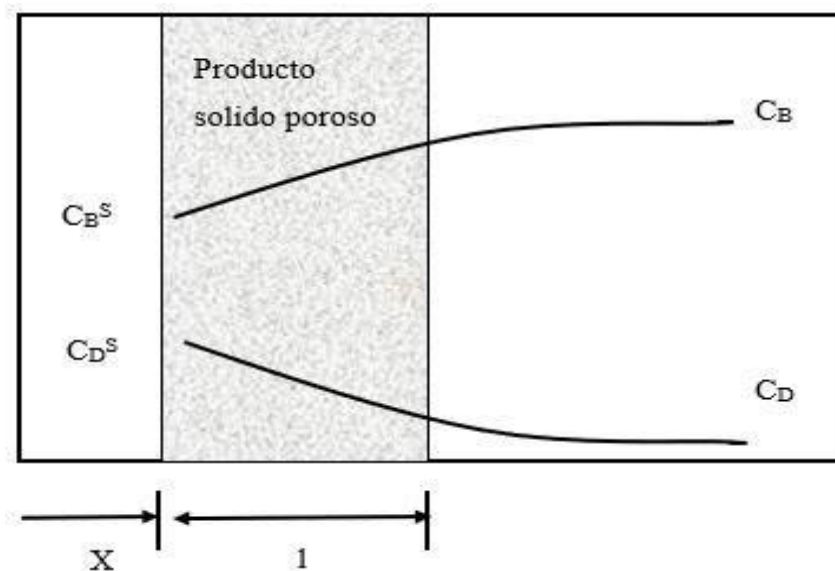
En la lixiviación de minerales controlada por la transferencia de masa, la constante cinética dependerá de la velocidad de agitación, esto no se cumple para velocidades demasiados altas. Cuando la difusión de reactivos es a través de un residuo sólido poroso o un producto sólido esta es la etapa controlante. Además, a medida que este sólido aumenta de espesor la cinética disminuye.

2.2.17. Difusión de especies líquidas a través de un sólido poroso.

Cuando en la reacción se deposita en la superficie un residuo sólido poroso, la difusión del reactivo puede ser la etapa controlante de la velocidad, cuando aumenta el espesor de la capa también aumenta la distancia de difusión, la velocidad de reacción se detiene y disminuye la cinética de lixiviación con el progreso de la reacción. esto se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Difusión a través de una capa de producto poroso

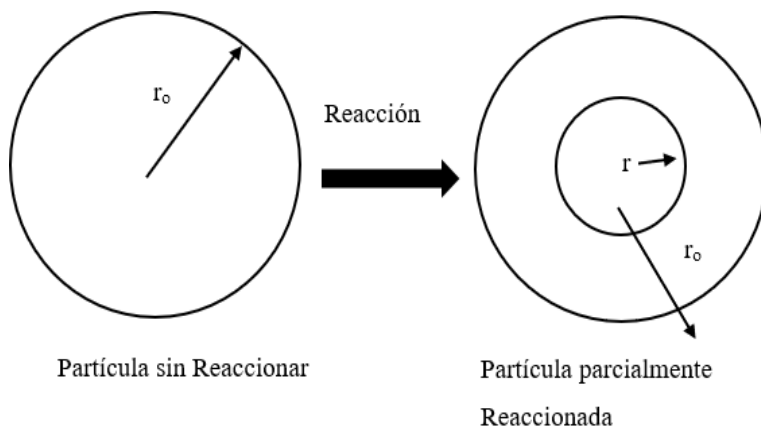


Fuente. Hidrometalurgia- UdeC (Ruíz, 2013)

La forma de la partícula es importante en su velocidad de reacción pues influyen en la variación de su área superficial, si las partículas son pequeñas las variaciones serán mínimas, si la partícula tiene sus tres dimensiones similares habrá mayor variación en su área, ver Figura 9.

Figura 9

Cambio de tamaño de una partícula esférica por efecto de una reacción

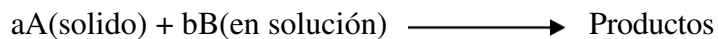


Fuente. Hidrometalurgia- UdeC (Ruíz, 2013)

2.2.18. Ecuaciones Cinéticas. partícula esférica no porosa de sólido A.

Caso I. Control por transferencia de masa hacia la superficie del sólido.

Las ecuaciones para partículas esféricas no porosas que mantienen su forma durante la lixiviación y no forman productos sólidos se muestra a continuación (María & Ruiz, 2013).



Ecuación diferencial:
$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{3k_l C_B (1-\alpha)^{2/3}}{r_o} \dots\dots\dots (25)$$

la constante cinética especificada de velocidad lineal, $K_l = \frac{V_A D}{\delta \Delta X} \dots\dots\dots(26)$

Ecuación integrada para el caso de C_B constante.

$$1 - (1-\alpha)^{\frac{1}{3}} = \frac{k_l C_B}{r_o} t$$

..... (27)

Caso II. Control químico, reacción de primer orden.

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{3k_l C_B (1-\alpha)^{2/3}}{r_o} \dots\dots\dots(28)$$

la constante cinética de velocidad lineal, $k_l = V_A k_o \dots\dots\dots(29)$

$$1 - (1-\alpha)^{\frac{2}{3}} = \frac{k_l C_B}{r_o} t$$

..... (30)

Caso III. Control por difusión a través de un sólido poroso (residuo o producto de reacción).

Ecuación diferencial:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{3K_p C_B (1-\alpha)^{1/3}}{r_o^2 1-(1-\alpha)^{1/3}} \dots\dots\dots(31)$$

la constante cinética de velocidad parabólica, $K_p = \frac{V_A D_E}{\delta} \dots\dots\dots(32)$

Ecuación integrada para C_B constante:

$$1 - \frac{2}{3} \alpha - (1-\alpha)^{\frac{2}{3}} = \frac{2k_p C_B}{r_o^2} t$$

..... (33)

2.3. Definición de Términos.

Lixiviación oxidativa clorurante (LOC) - Mezcla acuosa de pH regulado con contenido de oxidantes y iones cloruros.

Mineral aurífero de veta (MVA). - Es un relleno de minerales que contienen oro, diseminado dentro de las rocas.

Relave aurífero de amalgamación (RAA). - Es un material de desecho que contiene mercurio y se genera en la minería de oro y plata (PNUMA, 2023).

Sales oxidantes. - Compuestos inorgánicos conteniendo iones que produzcan un efecto en el potencial oxido – reducción (Dominic, 2001).

La investigación cuantitativa. - Es un método de recopilación y análisis de información. Este proceso se lleva a cabo con herramientas estadísticas y matemáticas para cuantificar el problema de investigación. (Neil & Cortez, 2018).

Los hipocloritos. - Son sales derivadas del ácido hipocloroso (HClO). Algunos ejemplos frecuentes de hipocloritos son hipoclorito de sodio (lejía, cloro o blanqueadores)

La cementación. - Es un proceso de precipitación química que permite retirar iones en solución agregando un reactivo precipitante. En el caso de iones metálicos disueltos la reacción se favorece agregando un metal más activo, según la serie electroquímica, como reactivo para formar un precipitado conocido como cemento. (Dominic, 2001).

Los agentes lixiviantes. - Son sustancias químicas que disuelven selectivamente uno o más elementos presentes en un líquido o un sólido (Dominic, 2001).

Los relaves. - Es un subproducto de un proceso de recuperación de metales de sus minerales. Es un sólido molido finamente que se desecha de las operaciones mineras. consta en un lodo líquido compuesto de agua y partículas de mineral.

CAPÍTULO III

3.0. HIPÓTESIS Y VARIABLES.

3.1 Hipótesis.

El estudio de la lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente permitiría altas recuperaciones de oro en los relaves auríferos de amalgamación.

Hipótesis específicas.

La comparación de la recuperación de oro de los relaves auríferos empleando diferentes soluciones oxidativas clorurantes mejorará la recuperación del oro del relave aurífero de amalgamación.

El conocimiento de la influencia del tipo de solución oxidativa clorurante mejorará la velocidad de lixiviación del oro contenido en el relave auríferos de amalgamación.

La determinación de las variables optimas permitirán una mejor tasa de recuperación de oro del relave aurífero de amalgamación.

3.2. Las variables.

1. Variables que se tomaran en cuenta para comparar la eficiencia de la recuperación del oro

A). X = Variable independiente:

- Tipo de solución oxidativa clorurante

B). Y = Variable dependiente:

- % Recuperación de oro

C). Variables intervinientes controladas:

- Tiempo
- Dilución Sólido/Líquido
- Granulometría
- Concentración de ácido

2. Variables tomadas en cuenta para la determinación de la velocidad de lixiviación.

A). X = Variable independiente

- Tipo de solución oxidativa clorurante

B). Y = Variables dependientes

- % Recuperación de oro
- Velocidad de lixiviación

C). Variables intervinientes controladas

- Tiempo
- Dilución Sólido/Líquido
- Concentración de ácido
- Granulometría
- Velocidad de agitación

3. Variables tomadas en cuenta para el efecto de la concentración de cloruros.

A). X = Variables independientes

- Concentración de cloruros

B). Y = Variables dependientes

- % recuperación de oro

C). Variables intervinientes controladas

- Tiempo
- Concentración de Oxidantes
- Concentración de ácidos Dilución
- Dilución
- Velocidad de agitación

3.3. Operacionalización de variables

Hipótesis	Variables Independiente	Variable Dependiente	Método de medición	Unidad de Medición
El estudio de la lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente permitiría altas recuperaciones de oro en los relaves auríferos de amalgamación.	Lixiviación oxidativa Clorurante	Recuperación de oro (%)	Análisis químico de Au y Ag por Ensayo al fuego / ICP / Adsorción atómica	g/t
La comparación de la recuperación de oro de los relaves auríferos empleando diferentes soluciones oxidativas clorurantes mejorará la recuperación del oro del relave aurífero de amalgamación.	Tiempo de lixiviación, Tipo de solución Oxidativa clorurante	Recuperación de oro (%)	Adsorción atómica por Au.	ppm Hr
El conocimiento de la influencia del tipo de solución oxidativa clorurante mejorará la velocidad de lixiviación del oro contenido en el relave auríferos de amalgamación.	Tipo de solución oxidativa clorurante, Tiempo de lixiviación.	Velocidad de lixiviación.	Adsorción atómica por Au. / ICP	ppm / concentración de cloruro / concentración de oxidantes/ concentración. de ácido
La determinación de las variables optimas permitirán una mejor tasa de recuperación de oro del relave aurífero de amalgamación.	Concentración de cloruro	Recuperación de oro (%)	Adsorción atómica por Au / ICP	ppm / concentración de cloruro / concentración de oxidantes

CAPÍTULO IV

4.0. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio.

4.1.1. Accesibilidad.

Por vía terrestre, se llega a la zona del presente estudio utilizando la carretera central Lima-Canta hasta el paraje Cassinelli, río Seco, Pucará km 31, y de estos puntos se acceden a las áreas de laboreo minero por una trocha carrozable o camino de herradura distante 40-48 km (campamento), continuando a pie entre 6 a 10 km. Ver figura 10 (Gallarday, 2009).

4.1.2. Topografía y Fisiografía (geomorfología).

El área tiene un relieve fisiográfico dendrítico, formado por los lechos sin agua de sus torrenteras, característicos de las formaciones rocosas volcánicas y graníticas, las quebradas han acumulado en cotas inferiores (Río Seco, quebrada Pucará) material morrénico de granulometría heterométrica, el conjunto integra los aventaderos o abanicos de deyección, que han sido recortados por las torrenteras recientes, ocurridas en épocas de lluvias, originando escarpas profundas, que dan relieve superficial irregular, de pendientes suaves a agrestes, van desde 1200 a 3286 msnm. Esta área se encuentra enmascarada parcialmente por vegetación gramínea (ichu), arbustiva (marañas), cactus y arbórea (paltos, molles, eucaliptos, entre otros). La acción antrópica está dada por un conjunto complejo de labores mecánicas pasadas y recientes, que permiten la presencia de terrenos para cultivo, viviendas, canales de regadío, cercas, carreteras, caminos de herradura y labores de explotación minera (Gallarday, 2009).

4.1.3. Clima y Meteorología.

Las condiciones climáticas o microclima, de acuerdo con el Mapa Ecológico del Perú elaborado por la ONERN (1995), en base al Diagrama Bioclimático de Holdridge, corresponde a la zona de vida con características de desierto peridariopremontano tropical (md-P). En este sector de vida se ha estimado que la biotemperatura media anual máxima es 32 °C y la media anual mínima es 13 °C, el promedio de precipitación pluvial máxima es 46 mm y el promedio mínimo de precipitación pluvial es 14 mm por año; la humedad relativa oscila de 30% - 89%

4.1.4. Geología.

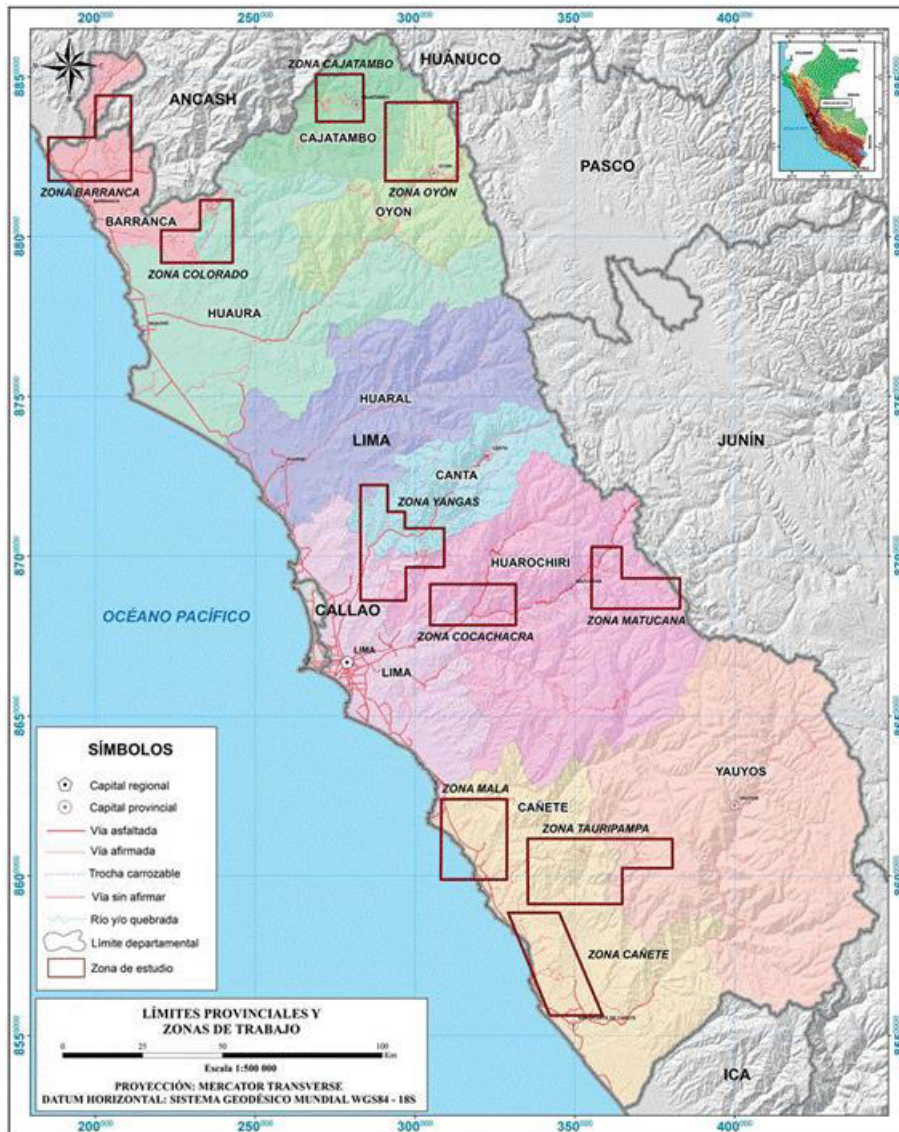
Las rocas que se presentan sin cobertura de suelo cuaternario o que afloran naturalmente son volcánicas tipo traquitas, dacíticas y andesitas, con estratificación de rumbo NNW a WNW (E-W), sus capas están distribuidas en horizontes, 8 paquetes o estratos de 5, 10, 15, 20 y 30 cm de espesor, éstos a su vez se encuentran disturbados por fracturas, diaclasas, fallas. Las unidades litológicas de las rocas volcánicas son de las formaciones Arahua, Yangas, Casma, Colqui, estas rocas volcano sedimentarias, estratigráficamente, se ubican en el Jurásico superior, Cretáceo inferior, Paleógeno, Neógeno, forman un remanente de un patrón de pliegues orientados N-S, dentro de rocas Mesozoicas Cenozoicas con alineamiento de efusiones volcánicas N-S, según el patrón trasandino conocido como el sector litológico estructural Yangas, Canta, Huaral, el que es evidenciado por el desplazamiento del litoral peruano y el alineamiento ENE. Este sector tiene un ancho de 30 a 40 km por 200 km de largo, en donde se ubican los derechos mineros. Dicho sector estructural se inicia en la falla Yangas y se extiende N 40° E, pasando por Canta, Huampar, Huanza; en esta área se presentan fallas transversales al rumbo andino, así como diferentes eventos magmáticos ocurridos y alineados en la misma dirección o con rumbo semejante. El sistema Cretáceo en los andes del Perú Central yace en discordancia sobre terrenos de diferentes está constituida por

plagioclasas, ferros magnesianos con un 10% de cuarzo y pirita, calcopirita - galena presentes en cristallitos diminutos diseminados dentro de una matriz silíceas, con contenido de soluciones sólidas auríferas (Gallarday, 2009).

En la Figura 10 se presenta la ubicación y límites provinciales de la zona de estudio.

Figura 10

Mapa de ubicación y límites provinciales



Fuente. Mapa de ubicación y límites provinciales (Geocatmin, 2017).

En la Figura 10 se presenta la ubicación de los derechos mineros en la zona minera de Yangas, ubicada en la zona norte de Lima. Por vía terrestre se llega a la zona de estudio por la carretera central Lima – Canta hasta el paraje conocido como Casinelli, Río Seco. De este punto se puede

acceder a las zonas de laboreo minero por un camino de trocha. Se aprecia la zona en estudio marcado en un círculo rojo, se observa que se encuentra al norte de lima metropolitana.

4.2. Diseño de Investigación

Esta es una investigación cuantitativa de tipo experimental, donde existe manipulación de variables independientes (X) con el fin de observar los efectos en la variable dependiente (Y).

El diseño de la investigación es la estrategia que desarrolla el investigador en la investigación experimental para poner a prueba las hipótesis formuladas. Con este plan, se podrá aceptar o rechazar las hipótesis (Hernández et al., 1991).

$$X \longrightarrow Y$$

4.3. Población y Muestra.

4.3.1. Población de Estudio

La población de estudio son los relaves resultados del tratamiento de minerales mixtos en la planta artesanal Río Seco en un determinado día.

4.3.2. Tamaño de Muestra de Lote

La muestra representativa equivalente a 265 Kg, la cual es extraída del material que se produce en la planta artesanal Río Seco

4.4. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información.

4.4.1. Características Metalúrgicas

Para la realización del proyecto se buscó una muestra de relave de amalgamación proveniente de Yangas. Para ello, se accedió al centro de minería artesanal con el fin de realizar un cuarteo

sistemático por cuadrículas en las canchas de relave, Se tomó una muestra aproximada de 265 kg y se llevó al laboratorio de Pirometalurgia de la Escuela de Metalurgia de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Ver Figura 11.

Figura 11

Muestreo del relave de amalgamación de rio seco



En la Figura 11, se observa la relavera de la zona en estudio y la toma de muestra respectivo.

4.4.2. Procedimiento.

El relave muestreado contenía 8.7% de humedad se dejó secar al aire libre por 15 días luego del cual alcanzó 2% de humedad. Se homogenizó la muestra 3 veces y se formó un cono donde se procedió a tomar pequeñas muestras que alcanzaron un peso considerable, se volvió a realizar el mismo procedimiento, se toman incremento hasta un kilogramo, ver Figura 12. Los cuales servirán

para las pruebas y para el análisis por ensayo al fuego. Con una granulometría del 63% - Malla #200

Se preparó 40 litros de solución 0.25 molar de ácido clorhídrico con 0.0625 molar de nitrato de sodio y otros 40 litros de solución de 0.25 molar de ácido clorhídrico con 0.125 molar de peróxido de hidrogeno. El cloruro de sodio se adicionó en la cantidad necesaria para cada prueba.

La dilución sólido-líquido fue de 1 a 5, procediéndose a lixiviar con la solución lixiviante tomándose muestras de 20 ml a diferentes tiempos, 10 ml fueron para análisis por oro en equipo de absorción atómica de la escuela de ingeniería metalúrgica y 2 muestras de 5 ml para calcular la molaridad del ácido por duplicado con solución hidróxido de sodio 0.25 molar. Se calcula el consumo de ácido y se compensa con una solución al 33% de ácido clorhídrico, la cantidad de nitrato que se compensa se calcula molarmente como la cuarta parte del consumo de ácido.

Figura 12

Toma de incremento de 1 kg



En la Figura 12, se homogeniza sobre una manta, se realiza el roleo por varios minutos, luego se procede al coneo (construcción de un cono), el cono se divide en cuatro partes, dos partes opuestas se retiran y se juntan las dos partes que quedan, se vuelve a construir de nuevo el cono, esto lo hacemos hasta obtener un tamaño adecuado, posteriormente este cono se aplasta asemejándolo a una torta circular, se dividen en cuadrículas y se procede a tomar incrementos hasta un kilogramo.

4.4.3. Porcentaje de Humedad (% H₂O).

Para esta prueba se dejó secando al aire libre el relave en estudio, se pesó y se comparó con su peso inicial para calcular aproximadamente la cantidad de agua presente, obteniendo así un 2.0% de H₂O. Se realizó el secado de la muestra a temperatura de ambiente, para así evitar la pérdida de Hg por volatilización y no tener errores de pasaje para la determinación del porcentaje de humedad. Posteriormente se realizaron las pesadas respectivas y envasados correspondientes para enviar las muestras a las caracterizaciones respectivas.

Análisis químico del relave.

A partir del muestreo se procede a ser el análisis por ICP. A excepción del oro que se determina por ensayo al fuego. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2*Análisis químico del relave por ICP.*

Elemento	Unidad	Cantidad
Plata	ppm	75.60
Arsénico	ppm	7412.00
Bario	ppm	205.00
Bismuto	ppm	16.00
Calcio	%	1.17
Cadmio	ppm	92.00
Cobre	ppm	1953.80
Fierro	%	9.23
Manganeso	ppm	684.00
Molibdeno	ppm	102.00
Plomo	ppm	>10000.00
Azufre	%	2.51
Antimonio	ppm	643.00
Estroncio	ppm	43.70
Vanadio	ppm	283.00
Tungsteno	ppm	133.00
Zinc	ppm	>10000.00

De acuerdo con la Tabla 2, se observa el análisis por ICP, el contenido de plata es 75.6 ppm, además de la presencia de cobre con 1953.8 ppm y contenidos de aproximadamente de >10000 ppm para el zinc y plomo.

El contenido de oro en el relave se determinó mediante el análisis por vía seca, la Tabla 3 muestra el resultado de dicho análisis.

Tabla 3

Análisis de oro por ensayo al fuego en el relave.

Elemento	g/t
Oro	11.52

El contenido de oro en el relave analizado por ensayo al fuego equivale a 11.52 gr/t.

4.4.4. Pruebas de Moliendabilidad.

Se analizó la granulometría del relave para diferentes tiempos a malla # -200, partiendo desde los cuatro minutos hasta los dieciséis minutos en intervalos de cuatro minutos. Esta prueba se realizó tres veces y se promediaron los valores obtenidos para darnos la granulometría final a cada tiempo. Ver Tabla 4.

Tabla 4

Moliendabilidad del relave malla # -200

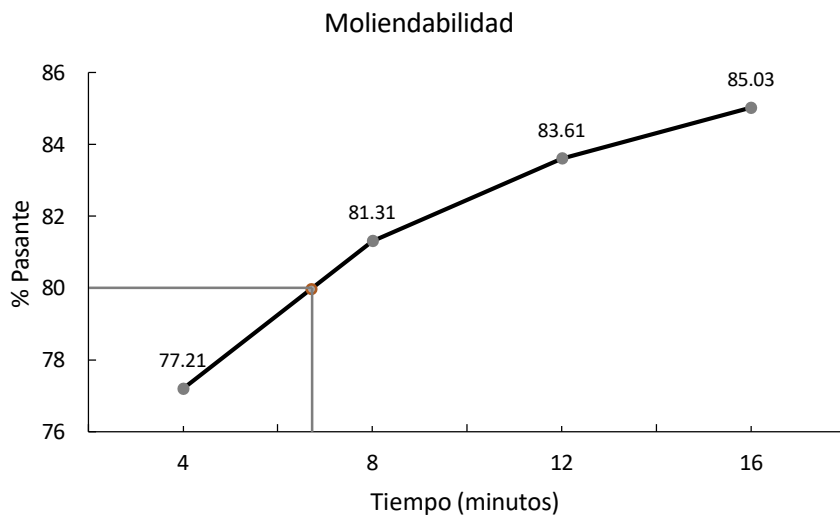
Minutos	% pasante
4	77.21
8	81.31
12	83.61
16	85.03

En la Tabla 4 se observa los datos obtenidos en la moliendabilidad del relave, donde se aprecia que en un tiempo de 8 minutos se obtiene el 81.31% de material pasante.

En la Figura 13 se presenta la curva de moliendabilidad.

Figura 13

Moliendabilidad a M -200



En la Figura 13. Para determinar las curvas de moliendabilidad se realizaron pruebas de molienda del relave. Se observa que un tiempo determinado de molienda se obtiene un % de material pasante a malla # -200. En el gráfico se calcula el P80 obteniendo un 80% del pasante en un tiempo de 6.74 minutos.

4.4.5. Técnicas de recolección de la información.

La observación y medición como técnicas usadas para verificar los efectos producidos en la variable independiente.

4.4.6. Instrumentos para la recolección de la información

Se usó la batería de agitadores que se encuentran en el laboratorio de pirometalurgia de la escuela de ingeniería metalúrgica de la UNMSM.

Para la medida de la acidez se empleó pH-metro digital marca Hanna calibrado con soluciones buffer marca Hanna pH4 y pH7.

Bureta graduada para la titulación del ácido clorhídrico.

Vasos precipitados de 100 ml.

Embudos y papel filtro.

Balanza digital calibrada

Potenciómetro marca Hanna

Tiras de pH 0-14 marca Pamphea.

Hoja de recolección de datos.

4.5. Análisis Estadístico

4.5.1. Tamaño de muestra.

Para la determinación del tamaño de muestra aplicaremos las siguientes formulas (Hernandez et al, 2006)

$$n' = \frac{s^2}{V^2} \dots\dots\dots a$$

Tamaño provisional de la muestra= varianza de la muestra/ varianza de la población.

S²: error estándar al cuadrado

$$n = \frac{n'}{1+n'/N} \dots\dots\dots b$$

Donde n: Tamaño de población

n': tamaño de muestra provisional

$$s^2 = (1 - p) \dots\dots\dots c$$

S²= varianza de la muestra

p= probabilidad de ocurrencia del fenómeno.

De acuerdo con la fórmula:

Para un error de 0.05

Probabilidad: 0.95

Tamaño de población N: 30000 Kg

Reemplazando tenemos: n=19 kg

4.5.2. Selección de muestra

Se emplea el muestreo aleatorio, tomándose compósitos de la cancha de relaves, se procede a formar cono y cuartear durante un ciclo de 4 veces. Se separan en bolsas de un kilo para los análisis respectivos y realizar las pruebas.

4.5.3. Análisis e interpretación de la información.

Se emplea el coeficiente de correlación de Pearson para encontrar la relación entre dos variables.

Empleo de la regresión lineal simple y múltiple. También se hace uso del análisis de la varianza factorial para la prueba de hipótesis,

Para los cálculos estadísticos se hace uso del Software R-Studio. Versión 4.0.2

CAPÍTULO V

5.0. RESULTADOS

5.1 Comparación del tipo de solución oxidativa clorurante en la recuperación del oro a temperatura ambiente.

El relave en estudio se lixivió con diferentes composiciones de soluciones oxidativas clorurantes, las condiciones generales de trabajo para todas las muestras se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Condiciones generales de lixiviación

Condiciones	Unidad	Indicador
Dilución	Kg/l	1/5
Peso	Kilogramo	0.300
Volumen	Litro	1.500
Temperatura	°C	20
Ley de oro	g/t	11.52
Tiempo	Minutos	120

Como se aprecia en la Tabla 5, la temperatura de lixiviación fue de 20°C y el tiempo de lixiviación fue de 120 minutos para todas las pruebas.

Al mantenerse esas condiciones para todas las pruebas lo que se varió fue la composición de cada solución oxidativa clorurante, además de realizarse por duplicado para cada condición específica. En la Tabla 6 se presentan las composiciones específicas de cada solución oxidativa clorurante empleada en esta investigación.

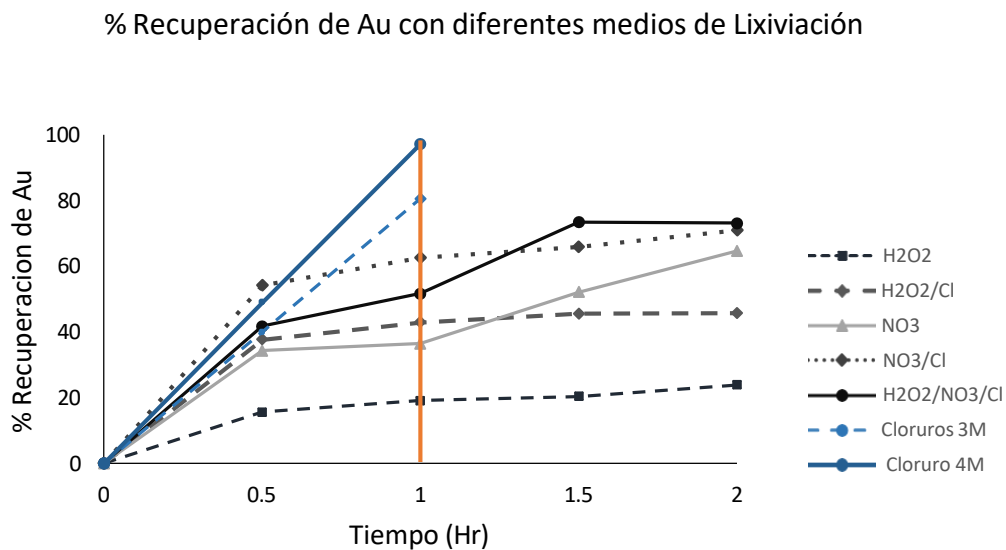
Tabla 6*Composición de las soluciones oxidativas clorurantes*

Tipo de oxidante	H ₂ O ₂ (molar)	NaNO ₃ (molar)	NaCl (molar)	HCl (molar)
H ₂ O ₂	0.125	-----	-----	0.25
H ₂ O ₂ - NaCl	0.125	-----	0.250	0.25
NaNO ₃	-----	0.0625	-----	0.25
NaNO ₃ - NaCl	-----	0.0625	0.250	0.25
NaNO ₃ -H ₂ O ₂ - NaCl	0.125	0.0625	0.250	0.25
Solución 3M	-----	-----	3	0.25
Solución 4M	-----	-----	4	0.25

En la Tabla 6 se aprecia que el contenido de NaNO₃ es la cuarta parte del ácido, así como el del H₂O₂ es la mitad de la molaridad del ácido. Las recuperaciones del oro lixiviando con las diferentes soluciones se muestran en la Figura 14.

Figura 14

% Recuperación de Au con diferentes medios de lixiviación en 1 hora.



En la Figura 14 se observa que la solución conteniendo solo H_2O_2 alcanzó la recuperación más baja siendo de 19.10 % mientras que la solución que contenía 4 moles de cloruro de sodio fue la que obtuvo la máxima recuperación de oro con 97.22% en 1 hora de lixiviación.

En la Tabla 7, se presentan los resultados de las pruebas de lixiviación con sus respectivas réplicas.

Tabla 7

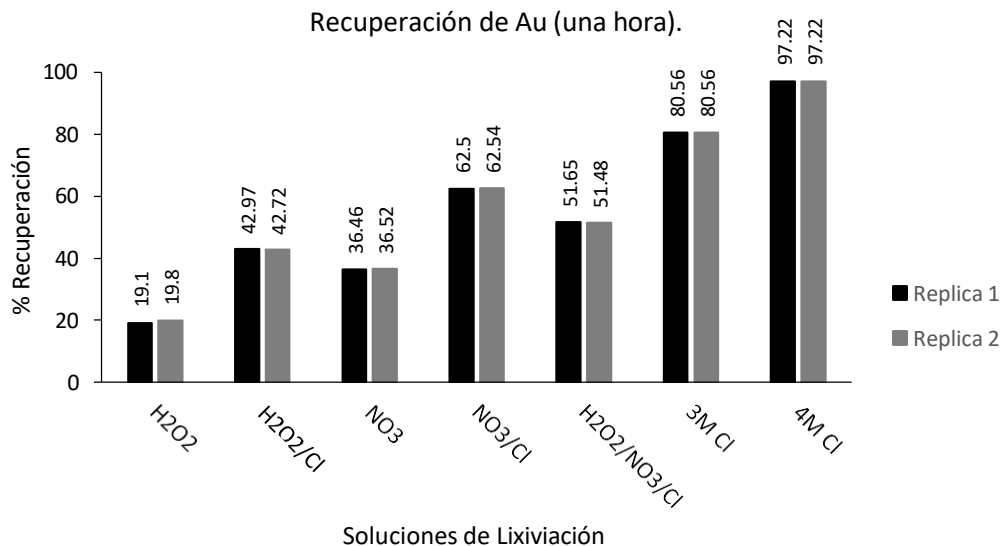
Recuperación en 1 Hora de Lixiviación Con diferentes Soluciones Oxidativas Clorurantes.

<u>Solución Oxidante Clorurante.</u>	<u>Replica 1 Au (%)</u>	<u>Replica 2 Au (%)</u>
H ₂ O ₂	19.10	19.80
H ₂ O ₂ /Cl	42.97	42.72
NO ₃	36.46	36.52
NO ₃ /Cl	62.50	62.54
H ₂ O ₂ /NO ₃ /Cl	51.65	51.48
3M Cl	80.56	80.56
4M Cl	97.22	97.22

En la Tabla 7 se aprecia que la solución 4M Cl alcanzó una recuperación de 97.22% siendo la más eficiente de todas las soluciones empleadas, Para mayor claridad se presentan los mismos resultados en un gráfico de barras. Ver Figura 15.

Figura15

Gráfico de Barras de la Recuperación de oro en 1 Hora de Lixiviación con Diferentes Soluciones Oxidativas Clorurantes.



En el Gráfico comparativo de la Figura 15 se aprecia que las soluciones conteniendo 3M de NaCl y 4 M de NaCl alcanzan las mayores recuperaciones en 1 hora de lixiviación.

De acuerdo a los resultados se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H₀): no existen diferencias significativas entre las recuperaciones de oro empleando diferentes soluciones oxidativas clorurantes.

Hipótesis Alternativa (H_i) al menos una diferencia en la recuperación de oro empleando diferentes soluciones oxidativas clorurantes.

El análisis de varianza se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8

Análisis de la varianza con Diferentes Soluciones Oxidantes Clorurante en la recuperación en una hora.

	Grado de Libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadros	Valor de F	Pr(>F)
Solución	6	8553	1426	193754	2.3×10^{-16}
Residual	7	0	0		

De la Tabla 8 se observa que el valor de p es de 2.3×10^{-16}

De acuerdo con la Tabla 8 del análisis de la varianza se observa que el valor P es menor que 0.05, lo que permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa que indica que el tipo de solución oxidativa clorurante si influye en la mejora de la recuperación del oro.

Se realiza la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, un p-valor mayor de 0.05 indica que los datos o residuos proceden de una distribución normal. (Gutierrez Pulido & Fe la Vara Salazar, 2008). Se plantean la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. Ver Tabla 9 para el resumen de la prueba Shapiro-Wilk.

Se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula H_0 = los datos proceden de una distribución normal, p-valor > 0.05

Hipótesis Alternativa H_1 = los datos no proceden de una distribución normal, p-valor < 0.05

Tabla 9*Resumen prueba de Shapiro – Wilk.*

Shapiro Wilk – Test de Normalidad	
W	0.96673
P valor	0.83010

Se observa que el p-valor es 0.83010 por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula. Los datos proceden de una distribución normal.

Otra prueba es el de la homogeneidad de las varianzas, para esto se aplica la prueba de Bartlett.

Las hipótesis de homogeneidad de la varianza son las siguientes:

Hipótesis nula

H_0 = las varianzas son iguales

Hipótesis alternativa

H_1 = al menos una varianza es diferente

En la Tabla 10 se presentan los cálculos de la prueba de Barlett.

Tabla 10*Prueba de Barlett*

Prueba de Barlett de homogeneidad de varianza
--

Df = 6.0000
p- valor = 0.8062

El valor de p es de $0.8062 > 0.05$, no se rechaza hipótesis nula. Las varianzas son homogéneas.

Para determinar si existen diferencias en la recuperación entre las soluciones empleadas en esta investigación es necesario comparar cada solución con las otras y calcular si las medias son estadísticamente iguales o diferentes, para ello se emplea la prueba de Tukey (Gutierrez pulido & Fe la Vara Salazar, 2008). y se calcula el p-valor de cada diferencia. Ver Tabla 11.

Las hipótesis planteadas son:

H_0 = no existe diferencias entre las medias de los tratamientos

H_1 = existe diferencias entre las medias de los tratamientos

Tabla 11*Prueba de Tukey*

	Solución	Media	Valor bajo	Valor alto	p valor
1	4M Cl - 3M Cl	16.660	16.320006	16.999994	0.000
2	H ₂ O ₂ - 3M Cl	-61.420	-61.759994	-61.080006	0.000
3	H ₂ O ₂ / Cl - 3M Cl	-37.715	-38.054994	-37.375006	0.000
4	H ₂ O ₂ / NO ₃ / Cl - 3M Cl	-28.995	-29.334994	-28.655006	0.000
5	NO ⁻³ - 3M - Cl	-44.070	-44.409994	-43.730006	0.000
6	NO ⁻³ / Cl - 3M Cl	-18.040	-18.379994	-17.700006	0.000
7	H ₂ O ₂ - 4M Cl	-78.080	-78.419994	-77.740006	0.000
8	H ₂ O ₂ / Cl - 4M Cl	-54.375	-54.714994	-54.035006	0.000
9	H ₂ O ₂ / NO ₃ / Cl - 4M Cl	-45.655	-45.994994	-45.315006	0.000
10	NO ₃ - 4M Cl	-60.730	-61.069994	-60.390006	0.000
11	NO ₃ / Cl - 4M Cl	-34.700	-35.039994	-34.360006	0.000
12	H ₂ O ₂ / Cl - H ₂ O ₂	23.705	23.365006	24.044994	0.000
13	H ₂ O ₂ / NO ₃ / Cl- H ₂ O ₂	32.425	32.085006	32.764994	0.000
14	NO ₃ - H ₂ O ₂	17.350	17.010006	17.689994	0.000
15	NO ₃ /Cl - H ₂ O ₂	43.380	43.040006	43.719994	0.000
16	H ₂ O ₂ / NO ₃ / Cl - H ₂ O ₂ / Cl	8.720	8.380006	9.059994	0.000
17	NO ₃ -H ₂ O ₂ / Cl	-6.355	-6.694994	-6.015006	0.000
18	NO ₃ / Cl - H ₂ O ₂ /Cl	19.675	19.335006	20.014994	0.000
19	NO ₃ - H ₂ O ₂ / NO ₃ /Cl	-15.075	-15.414994	-14.735006	0.000
20	NO ₃ / Cl - H ₂ O ₂ / NO ₃ / Cl	10.955	10.615006	11.294994	0.000
21	NO ₃ / Cl - NO ₃	26.030	25.690006	26.369994	0.000

En la Tabla 11 se aprecia que existen diferencias significativas en la recuperación de oro empleando las diferentes soluciones oxidantes clorurante siendo la que mejor recuperación alcanza en un tiempo de 1 horas la solución compuesta por NO₃ / H₂O₂ / 4M Cl.

5.2. Efecto del tipo de Solución Oxidativa Clorurante en la Recuperación del Oro.

Se realizan pruebas por duplicado para conocer el efecto en la recuperación del oro empleando diferentes tipos de oxidantes.

5.2.1. Efecto del H₂O₂

Se estudia las condiciones de lixiviación para conocer el efecto del peróxido de hidrogeno en la recuperación de oro en la lixiviación. Se presentada en la Tabla 12 las condiciones de trabajo.

Tabla 12

Condiciones de lixiviación del H₂O₂

Condiciones	Unidad	Indicador
Dilución	Kg/L	1/5
Peso	Kilogramo	0.300
Volumen	Litro	1.500
Temperatura	°C	20
Ley de oro	g/t	11.52
Tiempo	min	120
Ácido Clorhídrico	molar	0.250
Concentración de H ₂ O ₂	molar	0.125

La concentración del peróxido de hidrogeno es el 50% de la concentración del ácido clorhídrico.

En la Tabla 13, se presentan los resultados del análisis de la solución rica.

Tabla 13

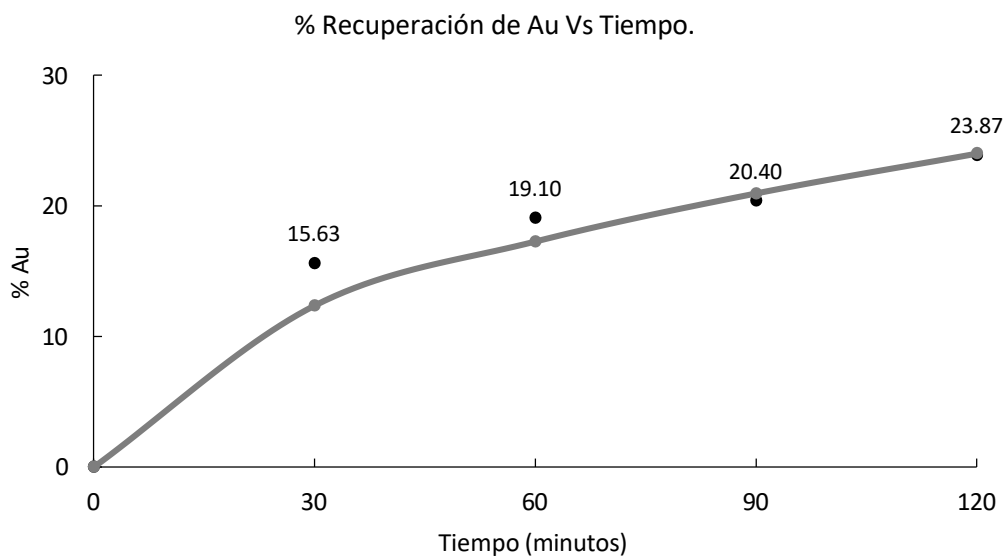
Recuperación de oro en ppm con H_2O_2 en función del tiempo

Tiempo (minutos)	(1) Au (g/t)	(2) Au (g/t)
0	0.000	0.000
30	0.360	0.353
60	0.440	0.442
90	0.470	0.469
120	0.550	0.548

En la Tabla 13 se observa que, a un tiempo de lixiviación de 120 minutos, se alcanzó una recuperación de oro de 0.550 ppm para la solución que usó como oxidante el peróxido de hidrogeno. Con estos datos obtenidos en la Tabla 13, se calcula el porcentaje de oro en la solución clorurante en función del tiempo y se gráfica los resultados. Ver Figura 16.

Figura 16

% recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para el H_2O_2



En la Figura 16 se observa el porcentaje de recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para el peróxido de hidrógeno, el contenido de oro en la solución rica alcanza 23.870% para un tiempo de 120 min de lixiviación.

5.2.2 Efecto del H_2O_2 y NaCl

Se estudia las condiciones de lixiviación para conocer el efecto combinado del Peróxido de hidrógeno y Cloruro de Sodio en la recuperación del oro. La Tabla 14, presenta las condiciones de trabajo.

Tabla 14

Condiciones de Lixiviación del H_2O_2 y el NaCl

Condiciones	Unidad	Indicador
Dilución	Kg/L	1/5
Peso	Kg	0.300
Volumen	Litros	1.500
Temperatura	°C	20
Ley de oro	g/t	11.52
Tiempo	minutos	120
Ácido Clorhídrico	molar	0.250
Concentración de H_2O_2	molar	0.125
Concentración de NaCl	molar	0.250

Los resultados del análisis por oro de la solución rica a diferentes tiempos se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Recuperación de oro con H_2O_2 y $NaCl$

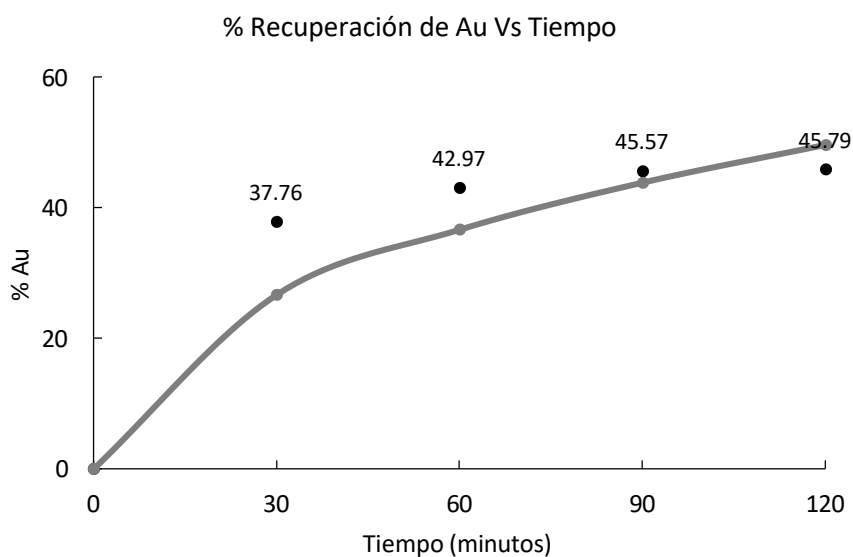
Tiempo (minutos)	(1) Au (g/t)	(2) Au (g/t)
0	0.000	0.000
30	0.870	0.871
60	0.990	0.984
90	1.050	1.051
120	1.055	1.055

En la Tabla 15 se observa que para un tiempo de 120 minutos la recuperación de oro alcanzó 1.055 ppm. Para la solución que uso peróxido de hidrogeno y cloruro de sodio.

El contenido de oro en la solución rica como porcentaje versus tiempo se presenta en la Figura 17.

Figura 17

Porcentaje de recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para H_2O_2 / $NaCl$



En la Figura 17 se observa que el contenido de oro en la solución alcanza una recuperación del 45.790 % para un tiempo de 120 minutos de la lixiviación.

5.2.3. Efecto del NaNO_3

Se estudia las condiciones de lixiviación para conocer el efecto del nitrato de sodio en la lixiviación clorurante. Se presenta en la siguiente Tabla 16.

Tabla 16

Condiciones de lixiviación del NaNO_3

Condiciones	Unidad	Indicador
Dilución	Kg/L	1/5
Peso	Kg	0.3000
Volumen	Litros	1.5000
Temperatura	°C	20
Ley de oro	g/t	11.52
Tiempo	minutos	120
Ácido clorhídrico	molar	0.2500
Concentración de NaNO_3	molar	0.0625

El análisis de oro en la solución rica en ppm se presenta en la Tabla 17.

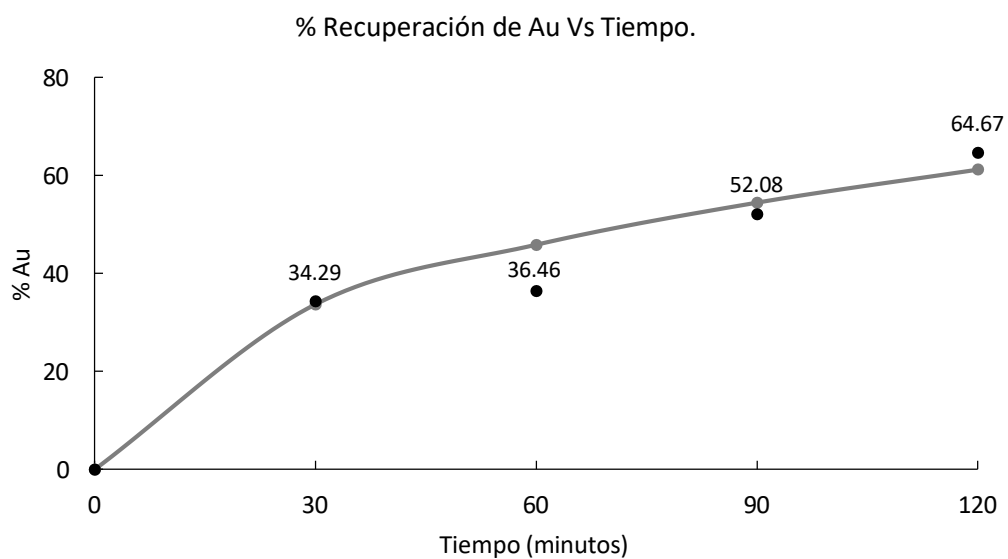
Tabla 17*Recuperación de oro con el NaNO_3*

Tiempo (minutos)	(1) Au (g/t)	(1) Au (g/t)
0	0.000	0.000
30	0.790	0.788
60	0.840	0.841
90	1.200	1.196
120	1.490	1.482

En la Tabla 17 se observa que, a un tiempo de 120 minutos, se obtiene una recuperación de oro de 1.490 ppm. Para la solución que uso como agente lixiviante el nitrato de sodio.

Con estos datos se calcula y se gráfica el contenido de oro en la solución rica en función del tiempo.

Ver Figura 18.

Figura 18*Porcentaje de recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para NaNO_3* 

En la Figura 18 se observa el contenido de oro en la solución alcanza un 64.67 % para un tiempo de 120 minutos de lixiviación.

5.2.4. Efecto del NaNO_3 y el NaCl

Se estudia las condiciones de lixiviación para conocer el efecto combinado del nitrato de sodio y el cloruro de sodio en la lixiviación clorurante se observa en la Tabla 18.

Tabla 18

Condiciones de lixiviación para conocer el efecto del NaNO_3 y el NaCl

Condiciones	Unidad	Indicador
Dilución	kg	1/5
Peso	kg	0.300
Volumen	litros	1.500
Temperatura	°C	20
Ley de oro	g/t	11.52
Tiempo	minutos	120
Ácido Clorhídrico	polar	0.250
Concentración de NaNO_3	molar	0.0625
Concentración del NaCl	molar	0.250

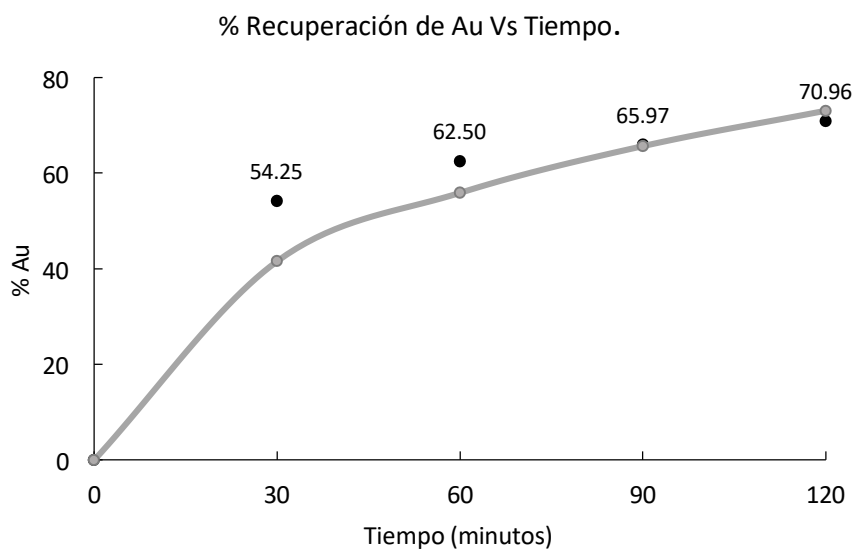
En la Tabla 19 se presentan los análisis del contenido de oro en la solución rica vs tiempo.

Tabla 19*Recuperación de oro con NaNO_3 y NaCl*

Tiempo (min)	(1) Au (g/t)	(2) Au (g/t)
0	0.000	0.000
30	1.250	1.248
60	1.440	1.441
90	1.520	1.519
120	1.635	1.634

En la Tabla 19 se observa que a un tiempo de 120 minutos se alcanzó una recuperación de oro de 1.635 ppm para la solución que uso como oxidante el nitrato de sodio y el cloruro de sodio.

En la Figura 19 se observa la recuperación de oro en porcentajes con el tiempo de lixiviación para el nitrato de sodio y el cloruro de sodio.

Figura 19*Porcentaje de recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para el NaNO_3 / NaCl* 

En la Figura 19 se observa que el contenido de oro en la solución rica alcanza una recuperación de 70.960 % en 120 minutos de lixiviación.

5.2.5. Efecto del H_2O_2 / $NaNO_3$ / $NaCl$

Las condiciones de lixiviación para conocer el efecto del peróxido de hidrogeno, del nitrato de sodio y del cloruro de sodio, se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20

Condiciones de lixiviación del H_2O_2 , $NaNO_3$ y $NaCl$

Condiciones	Unidad	Indicador
Dilución	kg/l	1/5
Peso	kg	0.300
Volumen	litros	1.500
Temperatura	°C	20
Ley de oro	g/t	11.52
Tiempo	min	120
Ácido clorhídrico	molar	0.250
Concentración de H_2O_2	molar	0.125
Concentración del $NaNO_3$	molar	0.0625
Concentración del $NaCl$	molar	0.250

El contenido de oro en la solución rica fue analizado y los resultados se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21*Recuperación de oro con NaNO_3 , H_2O_2 y NaCl*

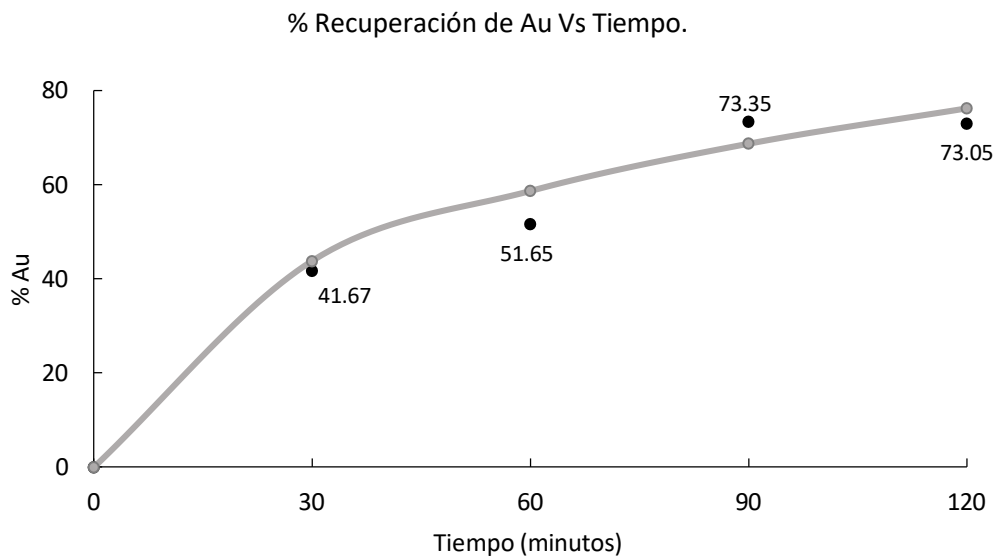
<u>Tiempo (minutos)</u>	(1) Au (g/t)	(2) Au (g/t)
0	0.000	0.000
30	0.960	0.966
60	1.190	1.186
90	1.690	1.694
120	1.683	1.684

En la Tabla 21 se observa que a un tiempo de 120 minutos de lixiviación se alcanzó una recuperación de oro de 1.683 ppm para la solución que uso como oxidante el peróxido de hidrogeno, nitrato de sodio y el cloruro de sodio.

Con los datos obtenidos de la Tabla 21, se calcula el porcentaje de oro en la solución clorurante, lo cual se presenta en la Figura 20.

Figura 20

Porcentaje de recuperación de oro Vs tiempo de lixiviación para el $\text{NaNO}_3 / \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaCl}$



En la Figura 20 se observa que el contenido de oro en la solución rica alcanzó una recuperación del 73.35 % en un tiempo de 90 minutos de lixiviación y a temperatura ambiente.

En la Tabla 22, se presentan el resumen de las recuperaciones del oro en ppm empleando las diferentes soluciones lixiviantes.

Tabla 22

Resumen del análisis de oro en soluciones lixiviadas(ppm) con diferentes oxidantes

Tiempo (minutos)	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ /Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ /Cl ⁻	H ₂ O ₂ /NO ₃ ⁻ /Cl ⁻
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.360	0.870	0.790	1.250	0.960
60	0.440	0.990	0.840	1.440	1.190
90	0.470	1.050	1.200	1.520	1.690
120	0.550	1.055	1.490	1.635	1.683

El análisis de oro en los diferentes medios de lixiviación en 120 minutos, de acuerdo con lo que se observa en la Tabla 22, a un tiempo de lixiviación de 120 minutos, se alcanzó una recuperación de oro de 0.550 ppm para la solución que usó como oxidante el peróxido de hidrógeno, 1.055 ppm para la mezcla de oxidantes peróxido-iones cloruro, 1.490 ppm para el oxidante ion nitrato, 1.635 ppm para la mezcla ion nitrato-ion cloruro y 1.683 ppm para la mezcla de los tres oxidantes juntos peróxido de hidrogeno-iones nitrato y iones cloruro. En la Tabla 23 se presenta la recuperación de oro en porcentaje.

Tabla 23

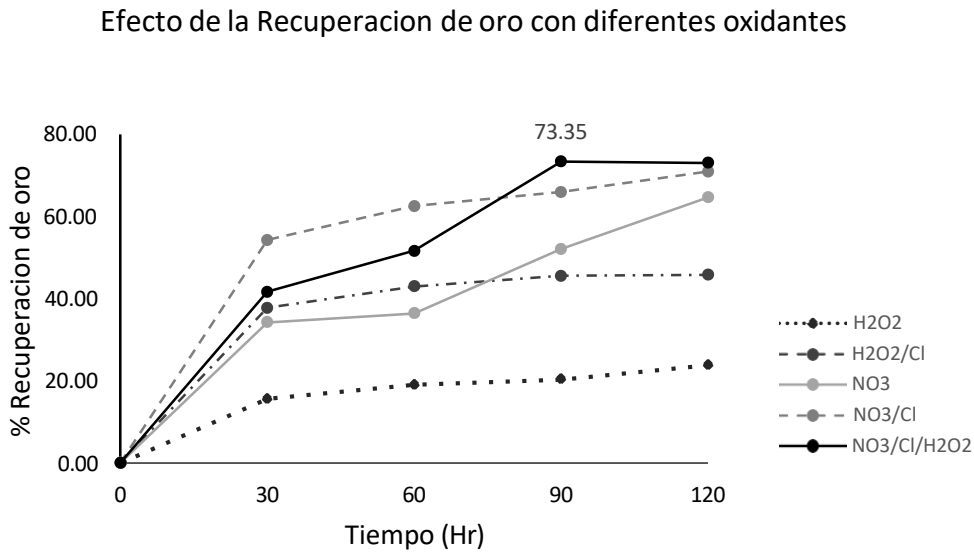
Porcentaje de oro en diferentes medios de lixiviación Vs tiempo.

Tiempo	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ /Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ /Cl ⁻	H ₂ O ₂ /NO ₃ ⁻ /Cl ⁻
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	15.63	37.76	34.29	54.25	41.67
60	19.10	42.97	36.46	62.50	51.65
90	20.40	45.57	52.08	65.97	73.35
120	23.87	45.79	64.67	70.96	73.05

En el balance metalúrgico en porcentaje de recuperación de oro para los diversos oxidantes a diferentes tiempos mostrados en la Tabla 23 se alcanzó en un tiempo de 90 minutos una recuperación de 73.35% empleando la mezcla donde se adicionó los tres oxidantes (peróxido de hidrogeno-nitrato-cloruro). En la Figura 21 se presentan las recuperaciones obtenidas por las diferentes soluciones oxidativas clorurantes versus tiempo.

Figura 21

Efecto de la Recuperación de Oro con Diferentes Soluciones oxidativas Clorurantes

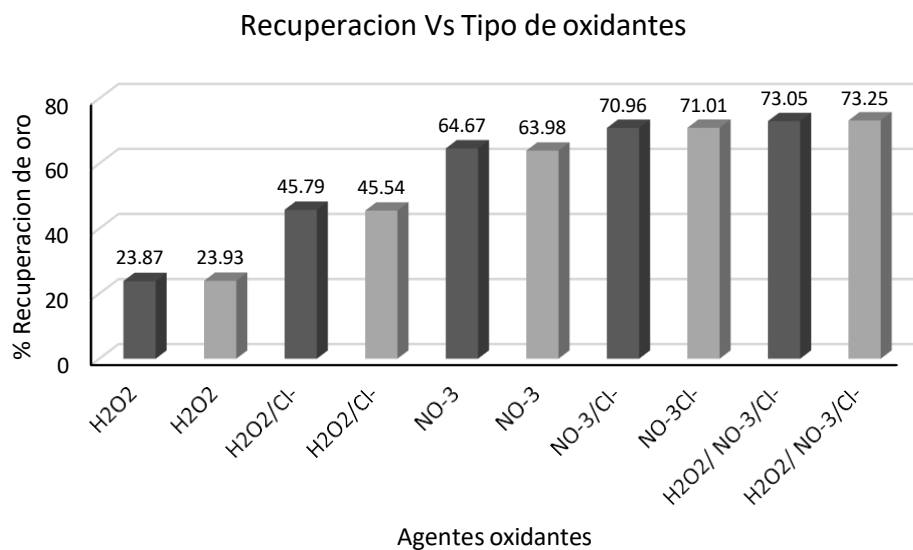


En la Figura 21 se apreció el efecto del tipo de oxidante en la recuperación del oro, se obtuvo una recuperación máxima del 73.35% con 90 minutos de lixiviación a temperatura ambiente, con la mezcla del peróxido de hidrogeno, el nitrato de sodio y el cloruro de sodio.

En la Figura 22, se compara en gráficos de barras las recuperaciones de oro con las diferentes soluciones oxidativas clorurantes.

Figura 22

Recuperación Vs tipo de oxidantes



En la Figura 22 se observa con más claridad como influye las diferentes condiciones oxidante y clorurantes en la recuperación del oro.

Análisis de la varianza

Se realiza el análisis de la varianza de los resultados obtenidos para determinar si existe diferencias entre los distintos tipos de oxidantes en la recuperación del oro.

Hipótesis nula: no existe diferencia en la recuperación del oro cuando se emplea LOC con diferentes oxidantes

$$H_0: t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5$$

Hipótesis alternativa: al menos existe una diferencia en la recuperación del oro cuando se emplea LOC con diferentes oxidantes

$$H_1: t_1 \neq t_2 = t_3 = t_4 = t_5$$

Se acepta la H_0 si el valor p calculado en el análisis de la varianza es mayor que $\alpha = 0.05$, si el valor p es menor que $\alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Con las recuperaciones obtenidas, se realizan los cálculos previos para el análisis de la varianza, tal como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24

Calculo para el análisis de varianza

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
H ₂ O ₂	2	47.65	23.825	0.00405
H ₂ O ₂ /Cl ⁻	2	91.6	45.8	0.00020
NO ₃ ⁻	2	128.99	64.495	0.06125
NO ₃ ⁻ /Cl ⁻	2	141.88	70.94	0.00080
H ₂ O ₂ /NO ₃ ⁻ /Cl ⁻	2	146.15	73.075	0.00125

Con estos valores se procede a elaborar el análisis de la varianza para calcular si el tipo de solución oxidante influye en la recuperación del oro. En la Tabla 25 se presenta el análisis de la varianza.

Tabla 25

Análisis de la varianza para el efecto del tipo de oxidante en la recuperación

	Grado de Libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadros	Valor de F	Pr(>F)
Solución	4	3449	862.2	14746	2.31×10^{-10}
Residual	5	0	0.1		

De la Tabla 25 se observa que el valor de p es de 2.3×10^{-10}

De acuerdo con la Tabla 25 del análisis de la varianza se observa que el valor P es menor que 0.05, lo que permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa que indica que el tipo de oxidante si influye en la recuperación del oro empleando lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente. A continuación, se presenta el resumen estadístico. Ver Tabla 26.

Tabla 26*Resumen estadístico del análisis de la varianza*

Error estándar residual	0.2418 en 5 grados de libertad
R cuadrado múltiple	0.9999
R cuadrado ajustado	0.9998
F - estadístico	1.475×10^4 en 5 Grados de Libertad
P valor	2.315×10^{-10}

De acuerdo con la Tabla 26 el valor de F es 1.475×10^4 y el valor de p es 2.315×10^{-10} a continuación, se presenta el resumen de los errores de la Tabla 27.

Tabla 27*Errores de los valores reales menos los valores del modelo*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-0.030	0.030	0.125	-0.125	0.345	-0.345	-0.025	0.025	-0.100	0.100

En la Tabla 27 se aprecia los valores de los residuos. Están comprendidos entre -0.345 y 0.345 siendo el modelo el promedio de cada tratamiento

Se realiza la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, un p-valor mayor de 0.05 indica que los datos o residuos proceden de una distribución normal. (Gutierrez pulido & Fe la Vara Salazar, 2008). Se

plantean la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. Ver Tabla 28 para el resumen de la prueba Shapiro-Wilk. Las hipótesis planteadas son:

H_0 = los datos proceden de una distribución normal, $p\text{-valor} > 0.05$

H_1 = los datos no proceden de una distribución normal, $p\text{-valor} < 0.05$

Tabla 28

Resumen prueba de Shapiro-Wilk

Shapiro Wilk – Test de Normalidad	
W	0.9620
P valor	0.8095

Se observa que el p-valor es 0.8095 por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula. Los datos proceden de una distribución normal.

Otra prueba es el de la homogeneidad de las varianzas, para esto se aplica la prueba de Bartlett.

Las hipótesis de homogeneidad y varianza son las siguientes:

Hipótesis nula

H_0 = las varianzas son iguales $p > 0.05$

Hipótesis alternativa

H_1 = al menos una varianza es diferente $p < 0.05$

En la Tabla 29 se presentan los cálculos de la prueba de Barlett

Tabla 29

Prueba de Barlett

Prueba de Barlett de homogeneidad de varianza
K- cuadrado = 5.4439
Df = 4.0000
p- valor = 0.2447

El valor de p es de $0.2447 > 0.05$, no se rechaza hipótesis nula. Las varianzas son homogéneas.

Para determinar si existen diferencias en la recuperación entre las soluciones empleadas en esta investigación es necesario comparar cada solución con las otras y calcular si las medias son estadísticamente iguales o diferentes, para ello se emplea la prueba de Tukey (Gutierrez pulido & Fe la Vara Salazar, 2008). y se calcula el p-valor de cada diferencia. Ver Tabla 30.

Las hipótesis planteadas son:

Hipótesis nula:

H_0 = no existe diferencias entre las medias de los tratamientos

Hipótesis alternativa:

H_1 = existe diferencias entre las medias de los tratamientos

Tabla 30*Prueba de Tukey*

	Solución	Media	Valor bajo	Valor alto	p valor
1	H ₂ O ₂ / Cl ⁻ - H ₂ O ₂	21.765	20.794995	22.735005	0.0000005
2	H ₂ O ₂ / NO ⁻³ / Cl ⁻ - H ₂ O ₂	49.250	48.279995	50.220005	0.0000005
3	NO ⁻³ / H ₂ O ₂	40.425	39.454995	41.395005	0.0000005
4	NO ⁻³ / Cl ⁻ - H ₂ O ₂	47.085	46.114995	48.055005	0.0000005
5	H ₂ O ₂ / NO ⁻³ / Cl ⁻ - H ₂ O ₂ / Cl ⁻	27.485	26.514995	28.455005	0.0000005
6	NO ⁻³ - H ₂ O ₂ / Cl ⁻	18.660	17.689995	19.630005	0.0000005
7	NO ⁻³ / Cl ⁻ - H ₂ O ₂ / Cl ⁻	25.320	24.349995	26.290005	0.0000005
8	NO ⁻³ - H ₂ O ₂ / NO ⁻³ / Cl ⁻	-8.825	-9.795005	-7.854995	0.0000028
9	NO ⁻³ / Cl ⁻ - H ₂ O ₂ / NO ⁻³ - Cl ⁻	-2.165	-3.135005	-1.194995	0.0015692
10	NO ⁻³ / Cl ⁻ - NO ⁻³	6.660	5.689995	7.630005	0.0000107

En la Tabla 30 se aprecia que existen diferencias significativas en la recuperación de oro empleando las diferentes soluciones oxidantes clorurante siendo la que mejor recuperación alcanza en un tiempo de 2 horas la solución compuesta por NO⁻³/Cl⁻/H₂O₂

5.3. Influencia de los oxidantes en la cinética de lixiviación

La influencia del tipo de oxidante en la constante cinética de lixiviación se determina empleando la Tabla 23 del balance metalúrgico para los distintos tipos de oxidantes. El modelo cinético representado en cada Tabla es el que mejor R² se obtiene.

5.3.1. Cálculo del modelo cinético del H₂O₂

El cálculo del modelo cinético que mejor representa el comportamiento del oxidante peróxido de hidrógeno para la primera replica se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31

Cálculo del Modelo Cinético del H₂O₂ - Replica 1

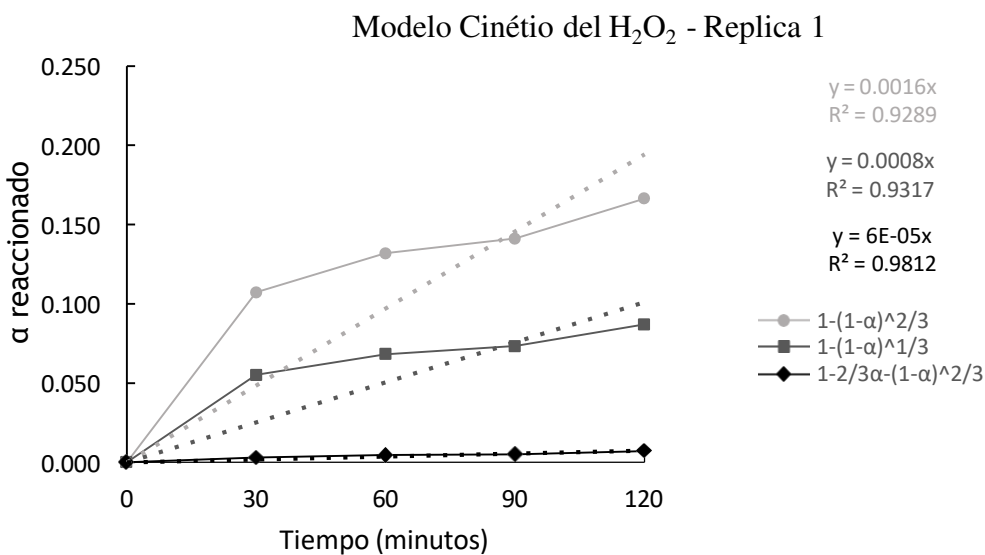
Tiempo minutos	Au	β	α	$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	$1 - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	15.63	0.8438	0.1563	0.0029	0.0551	0.1071
60	19.10	0.8090	0.1910	0.0044	0.0682	0.1318
90	20.40	0.7960	0.2040	0.0051	0.0732	0.1411
120	23.87	0.7613	0.2387	0.0071	0.0869	0.1663

En la Tabla 31 se aprecia el cálculo de los valores de los 3 diferentes modelos cinéticos empleando los valores de oro en porcentajes y calculando los valores de β y α , posteriormente, se gráfica los valores obtenidos para cada modelo cinético vs tiempo.

En la Figura 23 se representa el modelo cinético del peróxido de hidrogeno con diferentes modelos cinéticos, donde la mejor ecuación cinética es la de control por difusión a través de un sólido poroso $1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$ y por tener un R² de 0.9812, la pendiente es de 0.00006 min⁻¹ cual es la constante cinética global.

Figura 23

Ecuación cinética del H₂O₂ - Replica 1



En la Figura 23 se observó los diferentes R^2 , escogiéndose el modelo que tiene un R^2 igual a 0.9812.

De la misma manera se procede a calcular para la réplica 2. La Tabla 32 muestran los cálculos realizados.

Tabla 32

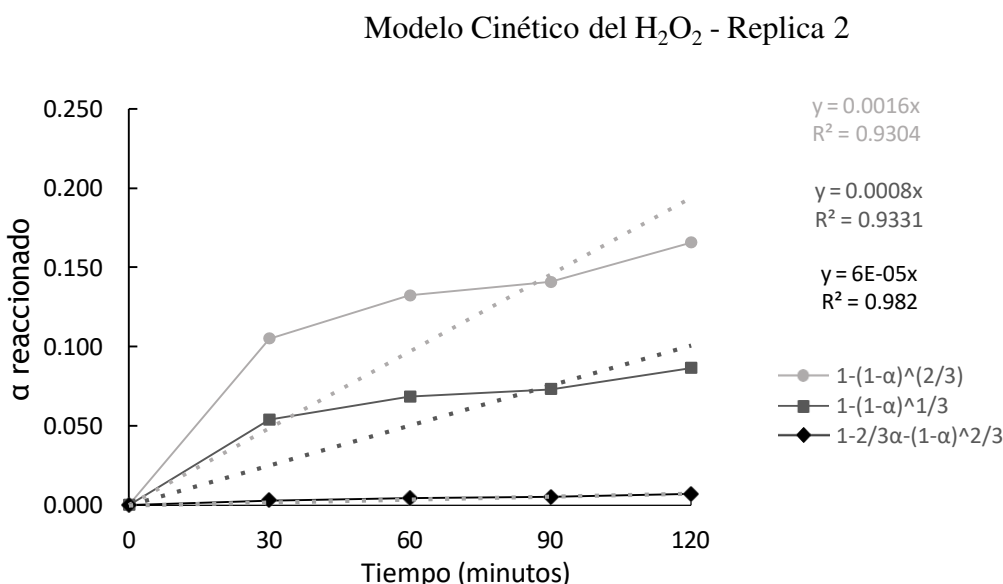
Cálculo del modelo Cinético del H₂O₂ - Replica 2

Tiempo minutos	%	β	α	$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	$1 - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.00	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	15.34	0.8466	0.1534	0.0028	0.0540	0.1051
60	19.18	0.8082	0.1918	0.0045	0.0685	0.1323
90	20.36	0.7964	0.2036	0.0051	0.0731	0.1408
120	23.78	0.7622	0.2378	0.0071	0.0865	0.1656

En la Tabla 32 se aprecia los cálculos realizados para los 3 modelos cinéticos. Además, en la Figura 24 se presenta la gráfica para los 3 modelos cinéticos versus tiempo con el fin de calcular cual es el modelo con mayor R^2 .

Figura 24

Ecuación cinética del H_2O_2 - Replica 2



En la Figura 24 se representa el modelo cinético del peróxido de hidrogeno con diferentes modelos cinéticos teóricos, donde el modelo que mejor representa el fenómeno es el de control por difusión a través de un sólido poroso $1- 2/3\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$

En la representación gráfica del modelo, las ecuaciones de regresión y el valor del R^2 se muestran en las Figuras 23 y 24. Se observó que la ecuación de regresión donde la pendiente representa la constante cinética global y el R^2 tiene un valor de 0.9812 y 0.9820 respectivamente, siendo un valor alto para el R^2 .

Con el modelo seleccionado se procede a obtener el valor del α calculado empleando métodos numéricos y calcular el error con el valor del α real. Además, de calcular el modelo con el α calculado. Ver Tabla 33.

Tabla 33

α calculado del H_2O_2

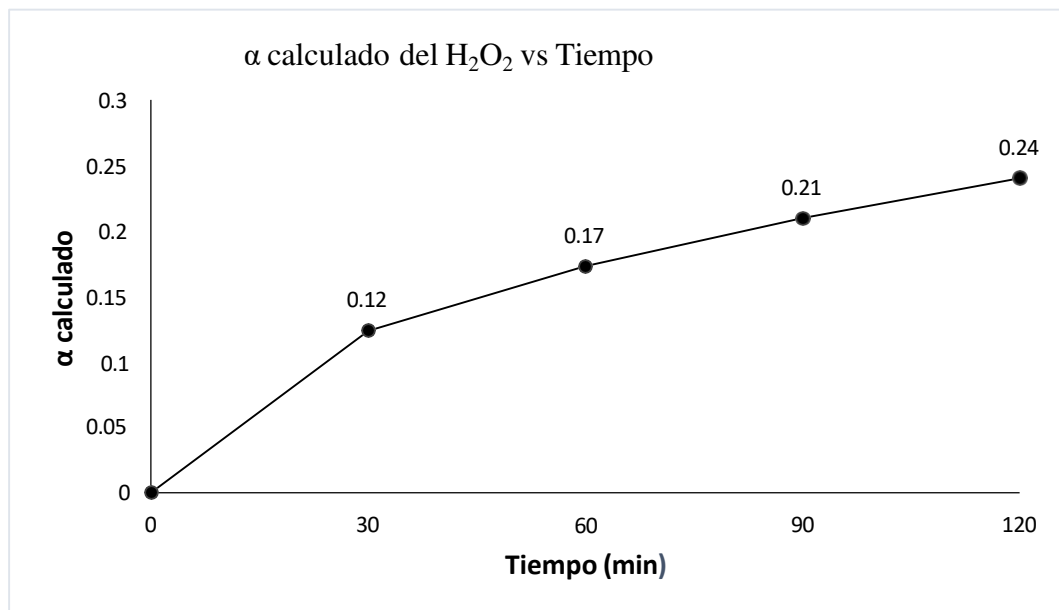
Tiempo (minutos)	α Calculado	α Real	Error	$1 - \frac{2}{3} \alpha - (1 - \alpha)^{2/3}$
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
30	0.1237	0.1563	-0.0326	0.0018
60	0.1727	0.1909	-0.0182	0.0036
90	0.2096	0.2040	0.0056	0.0054
120	0.2401	0.2387	0.0013	0.0072

En la Tabla 33 se aprecia que el error entre el α calculado y el α real oscila entre -0.0326 y 0.0056.

Con los datos del α calculado se grafica en función del tiempo, como se aprecia en la Figura 25.

Figura 25

Representación del α calculado de la lixiviación con H_2O_2 Vs tiempo

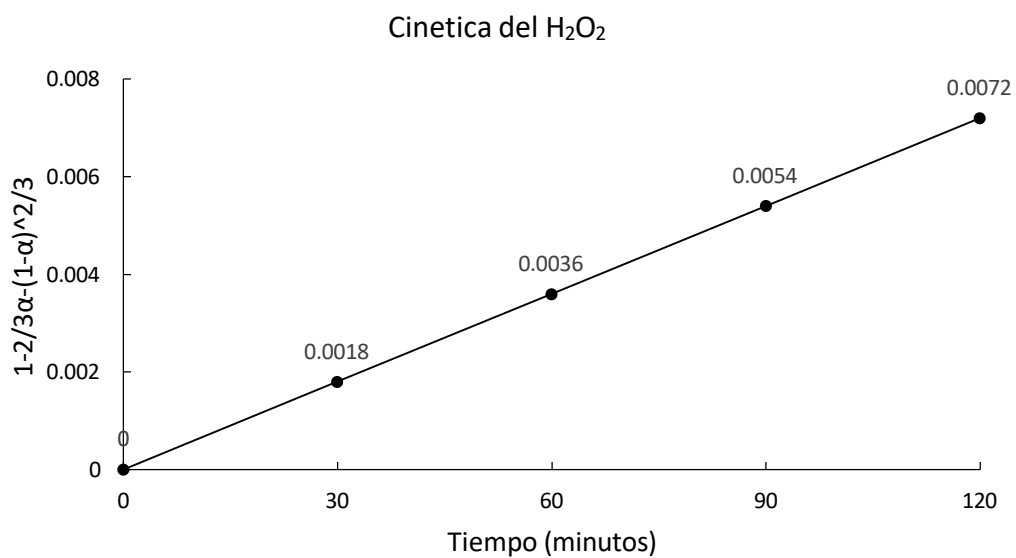


Se aprecia que los valores graficados se asemejan a una parábola, teniendo su punto máximo un valor de 0.2401 a un tiempo de 120 min.

Con estos valores de α calculado se calcula el modelo cinético calculado y se grafica en función del tiempo. Ver Figura 26.

Figura 26

Representación Cinética del H_2O_2



En la Figura 26 se aprecia que los puntos están muy cerca de una línea recta.

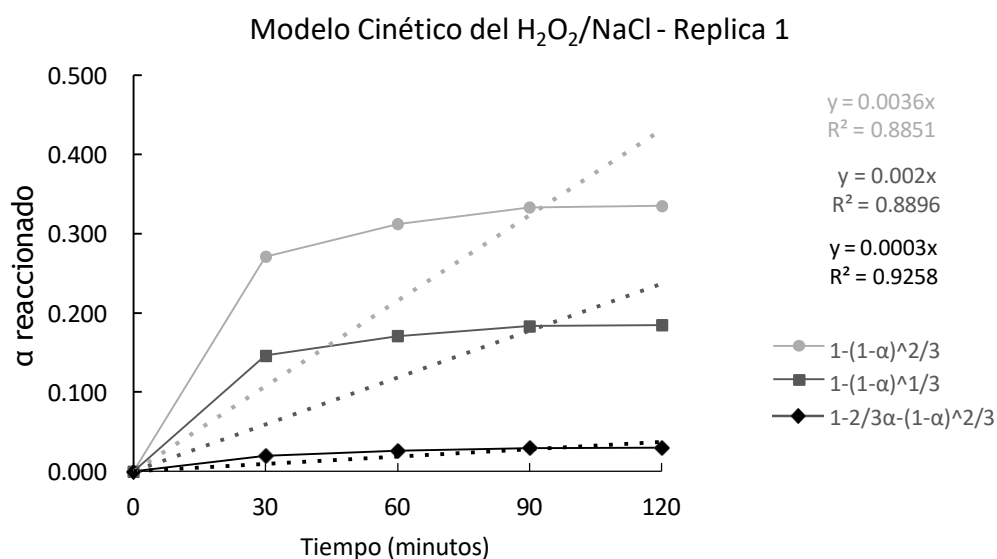
5.3.2 Cálculo del modelo cinético del H_2O_2 / NaCl

El cálculo del modelo cinético que mejor representa el comportamiento del oxidante peróxido de hidrógeno-cloruro de sodio, se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34*Cálculo del modelo Cinético del H_2O_2 / NaCl - Replica 1*

Tiempo minutos	%	β	α	$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	$1 - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.00	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	37.76	0.6224	0.3776	0.0193	0.1462	0.2710
60	42.97	0.5703	0.4297	0.0258	0.1707	0.3123
90	45.57	0.5443	0.4557	0.0296	0.1835	0.3334
120	45.79	0.5421	0.4579	0.0299	0.1846	0.3352

Se aprecia el cálculo de los valores para los 3 modelos cinéticos calculados a partir del contenido de oro en porcentaje. Posteriormente se grafican estos valores en función del tiempo para calcular el R^2 . Ver Figura 27.

Figura 27*Ecuación cinética para la recuperación del oro empleando H_2O_2 / NaCl*

De la Figura 27 se observa que el modelo que mejor representa el fenómeno es el control por difusión a través de un sólido poroso con un R^2 de 0.9258. Además, la constante cinética global representada en la pendiente es de 0.0003 min^{-1} . De la misma manera se procede en los cálculos para la réplica 2. Ver Tabla 35.

Tabla 35

Cálculo del modelo Cinético del H_2O_2 / NaCl - Replica 2

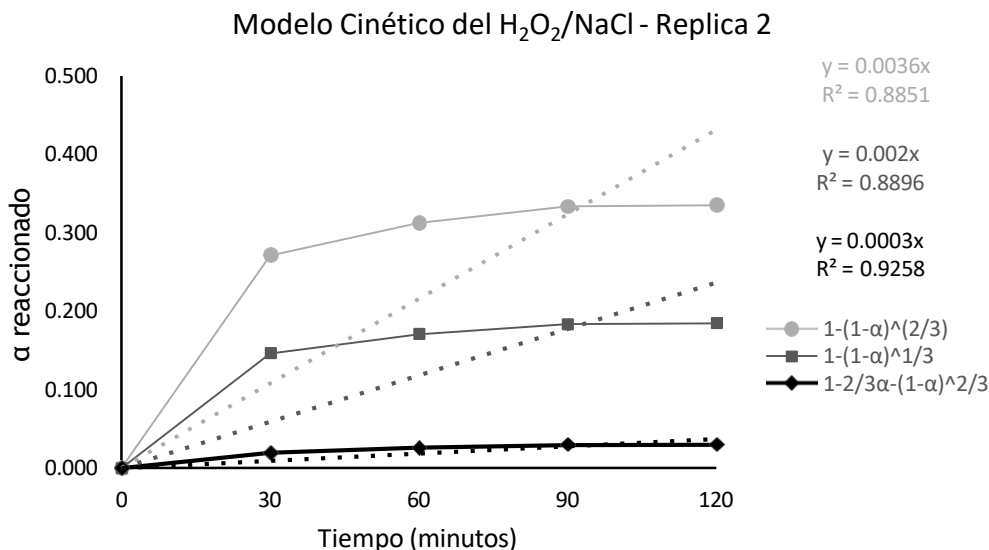
Tiempo minutos	H_2O_2/Cl^-	β	α	$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	$1 - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.00	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	37.81	0.6224	0.3781	0.0193	0.1464	0.2714
60	42.72	0.5728	0.4272	0.0255	0.1695	0.3103
90	45.63	0.5437	0.4563	0.0296	0.1838	0.3338
120	45.81	0.5419	0.4581	0.0299	0.1847	0.3353

En la Tabla 35 se muestran los cálculos para determinar el modelo cinético que mejor represente a la réplica 2.

En la Figura 28 se representa el modelo cinético del peróxido de hidrógeno y cloruro de sodio con diferentes modelos cinéticos, donde la mejor ecuación cinética es la de control por difusión a través de un sólido poroso $1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$ al tener un R^2 de 0.9258.

Figura 28

Ecuación cinética para el H_2O_2 / NaCl - Replica 2



En la Figura 28 se observa que el valor de la pendiente es de 0.0003 min^{-1} , que es la constante cinética global.

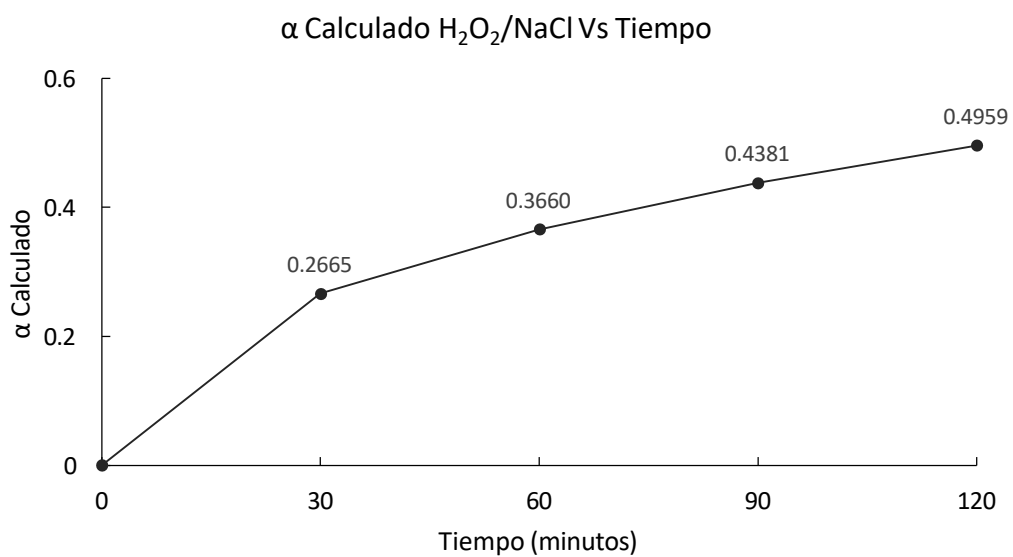
En la representación gráfica del modelo para la réplica 1 y 2, las ecuaciones de regresión y el valor del R^2 se muestran en las Figuras 27 y 28. Se observó que la ecuación de regresión donde la pendiente representa la constante cinética global y el R^2 tiene un valor de 0.9258 y 0.9258 respectivamente, siendo un valor alto para el R^2 . La pendiente 0.0003 min^{-1} que viene a ser la constante cinética global.

En la Tabla 36 se presenta el α calculado mediante métodos numéricos y el error con respecto al α real. Además, se reemplaza los valores del α calculado en el modelo cinético predominante. El cálculo realizado se realiza para una sola replica ya que ambas se comportan de la misma manera.

Tabla 36 *α calculado del H_2O_2 y $NaCl$*

Tiempo (minutos)	α Calculado	α Real	Error	$1 - \frac{2}{3} \alpha - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
30	0.2664	0.3776	-0.1111	0.009
60	0.3660	0.4296	-0.0636	0.018
90	0.4381	0.4557	0.0176	0.027
120	0.4958	0.4578	-0.0379	0.036

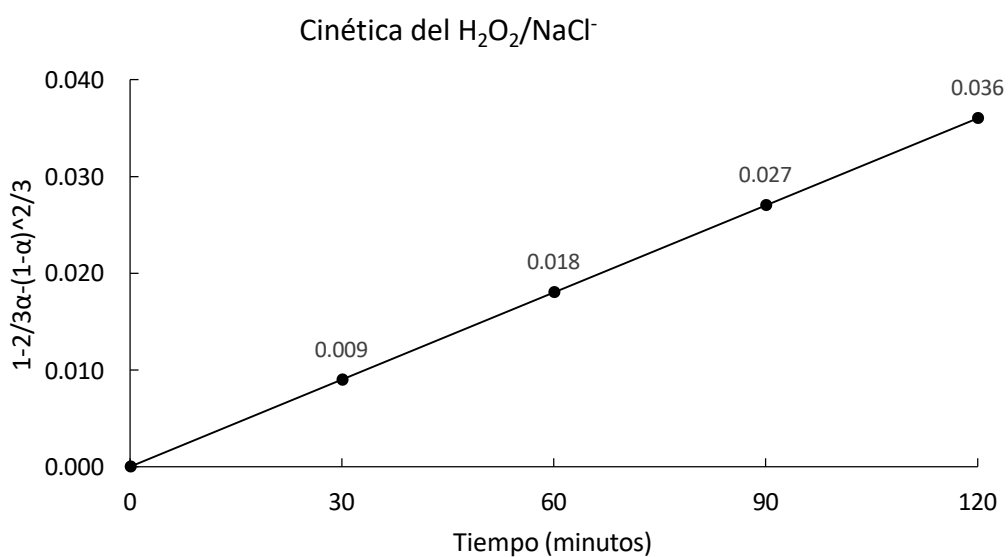
En la Tabla 36 se aprecia que el error está comprendido entre -0.1111 y 0.0176. En la Figura 29 se presenta el α calculado vs tiempo.

Figura 29*Representación del calculado vs tiempo del $H_2O_2/NaCl$* 

Al observar la Figura 29 se aprecia que la gráfica se asemeja a una parábola, donde el máximo α es de 0.4959 para un tiempo de 120 min. La gráfica del modelo cinético vs tiempo se presenta en la Figura 30.

Figura 30

Cinética del $H_2O_2 / NaCl$



Se aprecia que los datos se ubican muy cerca de una línea recta, lo que indica su altísima correlación lineal.

5.3.3 Cálculo del modelo cinético del $NaNO_3$

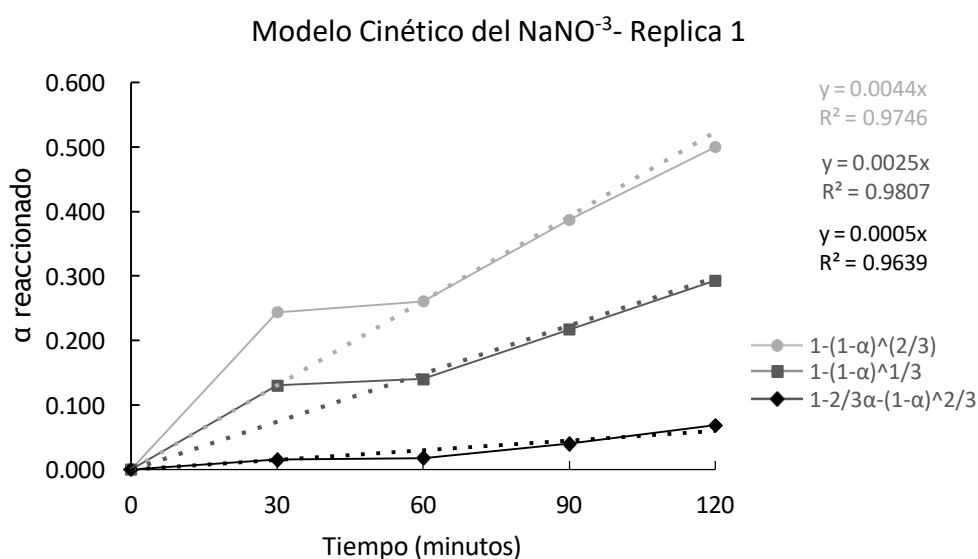
Para los cálculos de este modelo cinético se procede de la misma manera que el anterior y para cada réplica.

El cálculo del modelo cinético que mejor representa el comportamiento del oxidante nitrato de sodio se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37*Calculo del modelo Cinético del NaNO₃ - Replica 1*

Tiempo minutos	NO ⁻³	β	α	$1 - \frac{2}{3} \alpha - (1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	$1 - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.00	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	34.29	0.6571	0.3429	0.0156	0.1306	0.2442
60	36.46	0.6354	0.3646	0.0178	0.1403	0.2609
90	52.08	0.4792	0.5208	0.0404	0.2175	0.3877
120	64.67	0.3533	0.6467	0.0691	0.2931	0.5002

En la Tabla 37 se muestran los cálculos para los diferentes modelos cinéticos para diferentes tiempos. Con estos resultados se grafican para calcular el R² y determinar el modelo más adecuado. Ver Figura 31.

Figura 31*Ecuación cinética para el NaNO₃ - Replica 1*

En la Figura 31 se representa el modelo cinético del Nitrato de sodio con diferentes modelos cinéticos, donde la mejor ecuación cinética $1 - (1-\alpha)^{1/3}$ al tener un R^2 igual a 0.9807 y una constante cinética global de 0.0025. Sin embargo, al observar detenidamente solo tres puntos se ubican cerca de la línea recta mientras que uno de ellos se encuentra bastante alejado. Mientras el modelo $1 - 2/3\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$ tiene todos los puntos bastantes cercanos a la línea recta eligiéndose este modelo como el más representativo pese a tener un R^2 igual a 0.9639, ligeramente menor al anterior, pero de valor bastante alto. Por lo tanto, el valor de la constante cinética será de 0.0005 min^{-1} .

Siguiendo el mismo análisis, se procede a realizar los cálculos para la réplica 2, procediendo al cálculo del α y reemplazándolo en los modelos cinéticos correspondientes. Ver Tabla 38.

Tabla 38

Cálculo del modelo Cinético del NaNO_3 - Replica 2

<u>Tiempo minutos</u>	NO^{-3}	β	α	$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	$1 - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.00	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	34.21	0.6579	0.3421	0.0155	0.1303	0.2436
60	36.52	0.6348	0.3652	0.0179	0.1406	0.2614
90	51.90	0.4810	0.5190	0.0401	0.2165	0.3861
120	64.32	0.3568	0.6432	0.0681	0.2907	0.4969

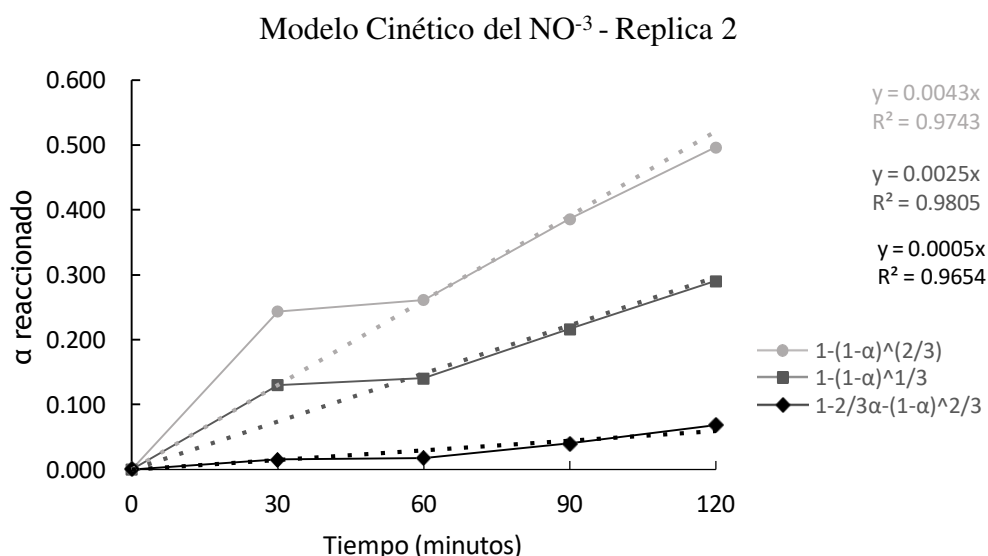
En la Tabla 38 se aprecia el cálculo de α para los diferentes tiempos. Además, se muestran los cálculos para los diferentes modelos cinéticos.

Al igual que en la réplica 1, se grafica los valores de los diferentes modelos versus tiempo con el fin de obtener el valor del R^2 y elegir el modelo con mayor correlación lineal y con el modelo seleccionado obtener el valor de la pendiente.

En la Figura 32 se representan estos modelos con sus respectivas ecuaciones y R^2 y pendientes correspondientes.

Figura 32

Ecuación cinética para el NaNO_3 - Replica 2



En la Figura 32 se representa el modelo cinético del Nitrato de sodio con los diferentes modelos cinéticos, donde la mejor ecuación cinética es $1-(1-\alpha)^{1/3}$ con un R^2 igual a 0.9805 y una pendiente de 0.0025 igual al de la réplica 1. Sin embargo, se toma la misma decisión que en la réplica 1 por lo antes explicado, eligiéndose el modelo $1-2/3\alpha-(1-\alpha)^{2/3}$ que tiene un R^2 igual a 0.9654 y una constante cinética igual a 0.0005 min^{-1} .

Mediante métodos numéricos se halla el α calculado posteriormente se encuentra el error entre el α calculado y el α real, además de recalcular el modelo seleccionado con el α calculado a diferentes tiempos. Al igual que en los anteriores casos, solo se realizan los cálculos con la réplica 1 debido a que los valores con la réplica 2 son muy similares o iguales. Ver Tabla 39.

Tabla 39

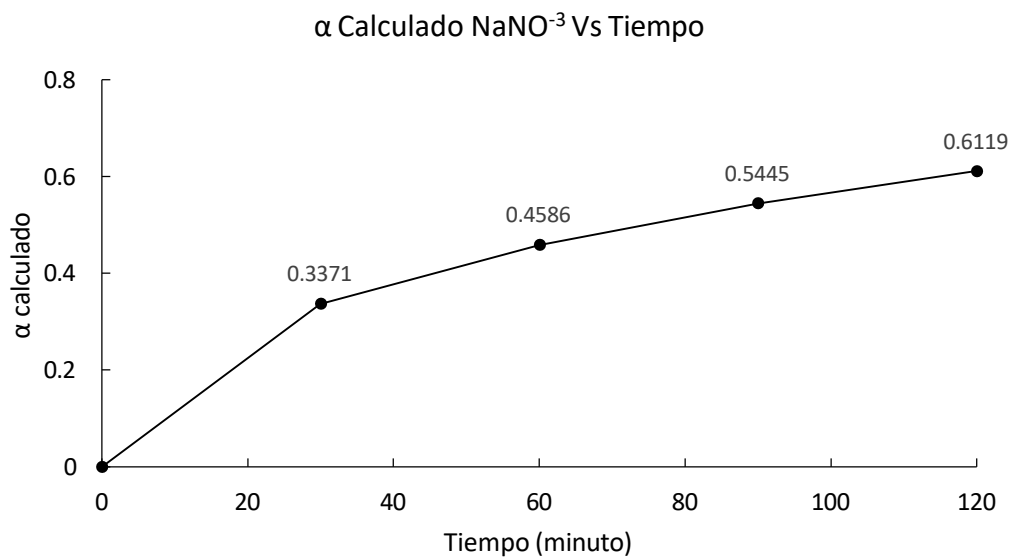
α calculado del NaNO_3

Tiempo (minutos)	α Calculado	α Real	Error	$1 - \frac{2}{3} \alpha - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
30	0.3370	0.3428	0.0057	0.015
60	0.4586	0.3645	-0.0940	0.030
90	0.5445	0.5208	-0.0236	0.045
120	0.6118	0.6467	0.0348	0.060

De la Tabla 39 se observa que el error se encuentra comprendido entre -0.094 y 0.0348. Se procede a graficar los valores del modelo obtenido de reemplazar el α calculado versus tiempo. Ver Figura 33.

Figura 33

Representación del α calculado Vs tiempo del NaNO_3

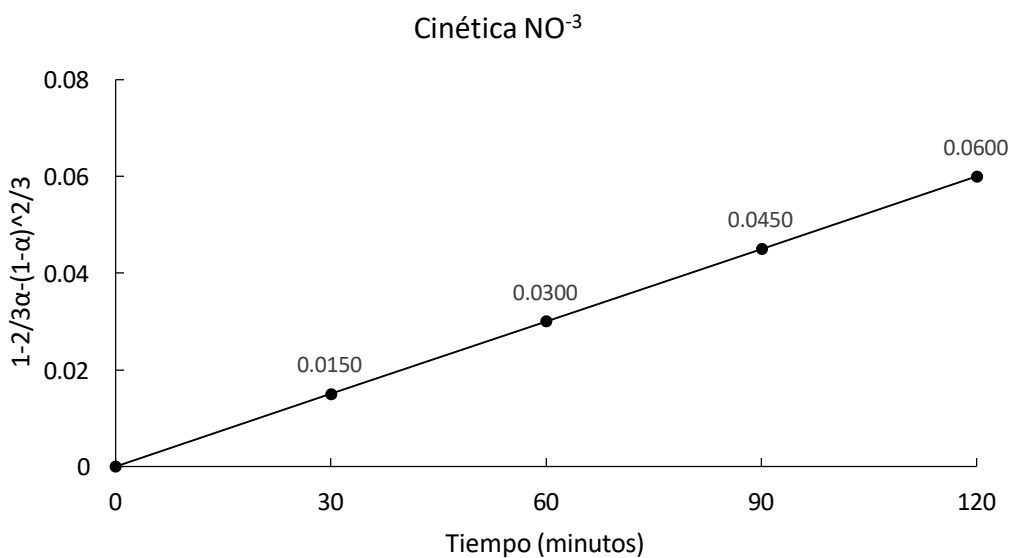


En la Figura 33 se observa que el valor máximo del α calculado fue de 0.6119 para un tiempo de 120 min. A continuación, se grafican los valores obtenidos del modelo cinético versus tiempo.

Ver Figura 34.

Figura 34

Cinética del NaNO_3



En la Figura 34 se observa que todos los puntos calculados se ubican sobre una línea recta, lo que demuestra muy alta correlación.

5.3.4. Cálculo del modelo cinético del $\text{NaNO}_3 / \text{NaCl}$

Al igual que los casos anteriores, en este caso también se trabajó con 2 réplicas, el cálculo modelo cinético que mejor representa el comportamiento del nitrato de sodio y el cloruro de sodio para la réplica 1 se muestra en la Tabla 40.

Tabla 40

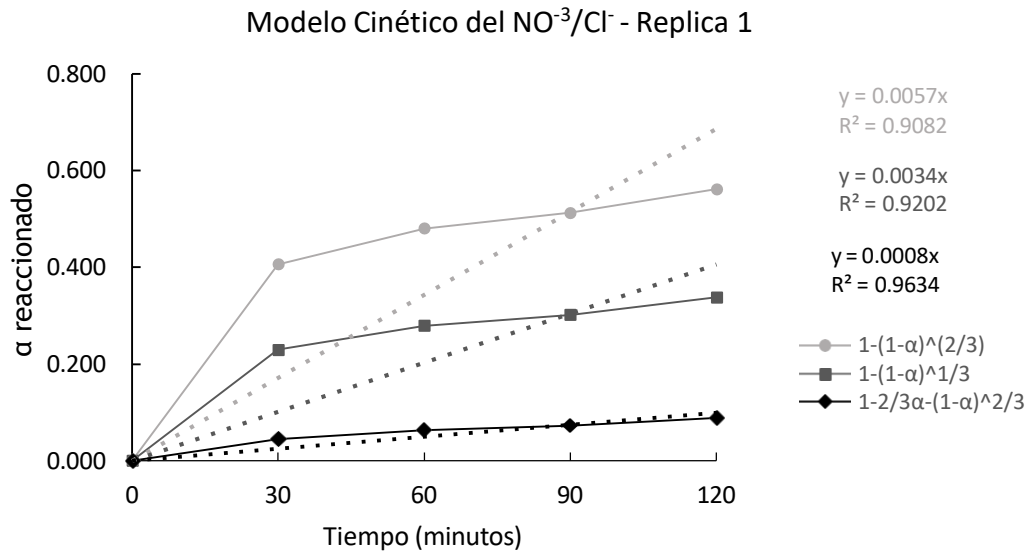
Cálculo del modelo cinético del $\text{NaNO}_3 / \text{NaCl}$ – Replica 1

Tiempo minutos	$\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$	β	α	$1 - \frac{2}{3} \alpha - (1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	$1 - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.00	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	54.25	0.4575	0.5425	0.0446	0.2295	0.4063
60	65.50	0.3750	0.6250	0.0633	0.2789	0.4800
90	65.97	0.3403	0.6597	0.0728	0.3019	0.5126
120	70.96	0.2904	0.7096	0.0884	0.3378	0.5615

En la Tabla 40 se observa que el valor de α es de 0.7096 para un tiempo de 120 min. Con los valores obtenidos para cada modelo cinético se grafica los 3 modelos en función del tiempo como se observa en la Figura 35.

Figura 35

Modelo cinética para el $\text{NaNO}_3 / \text{NaCl}$ - Replica 1



En la gráfica 35 se representó el modelo cinético del nitrato de sodio y el cloruro de sodio a diferentes modelos cinéticos, donde la mejor ecuación cinética es la de control por difusión a través de un sólido poroso $1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$.

Los cálculos para la réplica 2 siguen los mismos procedimientos como en los casos anteriores, para la réplica 2 se presentan en la Tabla 41.

Tabla 41*Cálculo del modelo cinético del $\text{NaNO}_3 / \text{NaCl}$ - Replica 2.*

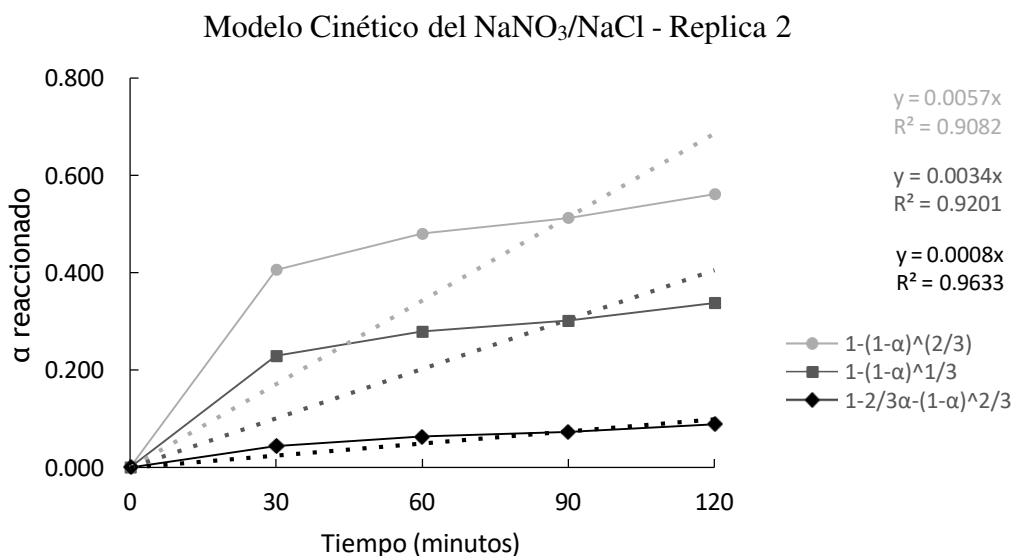
Tiempo minutos	$\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$	β	α	$1 - \frac{2}{3} \alpha - (1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	$1 - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.00	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	54.18	0.4582	0.5418	0.0445	0.2291	0.4057
60	62.54	0.3746	0.6254	0.0634	0.2791	0.4803
90	65.92	0.3408	0.6592	0.0726	0.3015	0.5121
120	70.92	0.2908	0.7092	0.0883	0.3375	0.5611

Se aprecia que los valores obtenidos son iguales a los de la réplica 1, a medida que prosigue la lixiviación el porcentaje de oro aumenta hasta alcanzar un máximo de 70.92% para un tiempo de 120 min y a temperatura de 20°C.

Con los datos obtenidos para cada modelo cinético se grafica cada uno de ellos en función del tiempo, y calcular el R^2 respectiva. En la Figura 36 se presentan estas graficas.

Figura 36

Modelo Cinético del $\text{NaNO}_3 / \text{NaCl}$ - Replica 2



En la Figura 36 se representaron los diferentes modelos cinéticos del nitrato de sodio y el cloruro de sodio, donde el modelo cinético que mejor representa el fenómeno es la de control por difusión a través de un sólido poroso $1-2/3\alpha-(1-\alpha)^{2/3}$, debido a que presenta un valor para el R^2 de 0.9633 siendo mayor que el resto y un valor de la pendiente de 0.0008 min^{-1} que representa la constante cinética global, valor idéntico al de la réplica 1.

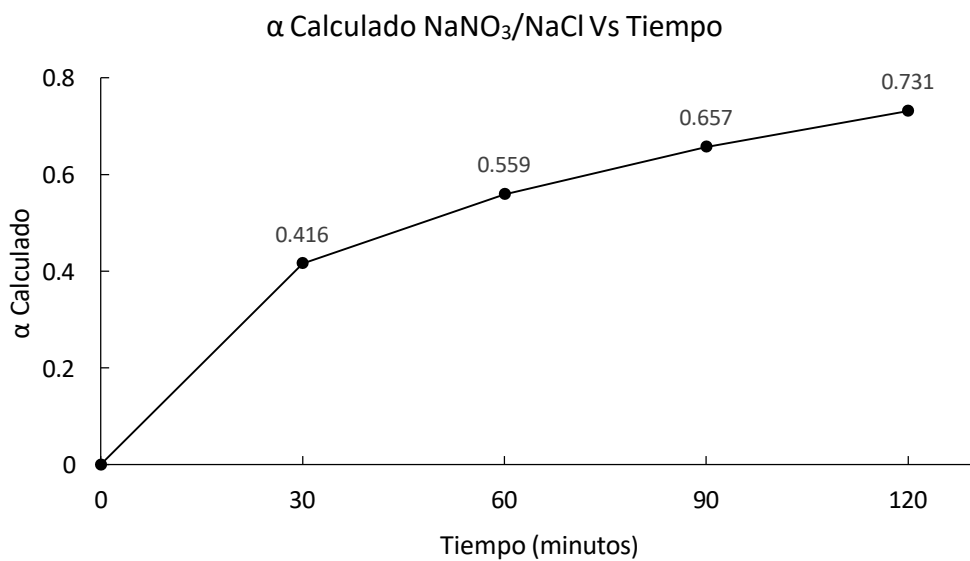
Siguiendo la misma lógica de a lo largo de este trabajo, se procede a calcular por métodos numéricos el valor del α calculado.

Los valores de los α calculados para cada tiempo y los errores con respecto a los valores de los α reales se presentan en la Tabla 42.

Tabla 42 *α Calculado del $\text{NaNO}_3 / \text{NaCl}$*

Tiempo (minutos)	α Calculado	α Real	Error	$1 - \frac{2}{3} \alpha - (1 - \alpha)^{2/3}$
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
30	0.41606	0.5425	0.1264	0.024
60	0.5591	0.6250	0.0658	0.048
90	0.6570	0.6597	0.0027	0.072
120	0.7311	0.7096	-0.0214	0.096

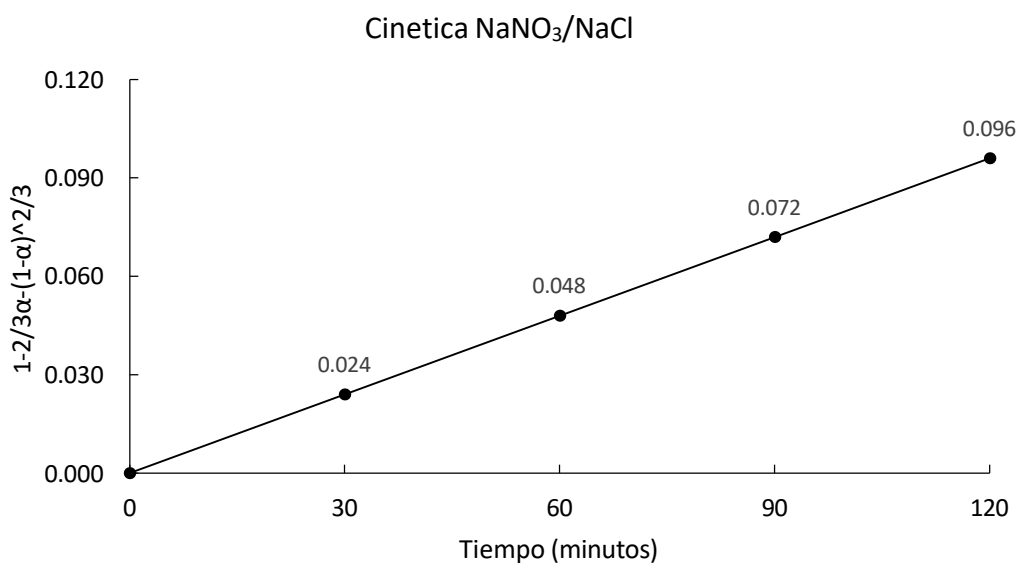
De la Tabla 42 se observó que el error entre los α calculado y real fue de 0.1264 para un tiempo de 30 min y de -0.0214 para un tiempo de 120 min. En la Figura 37 se presenta la gráfica entre el α calculado versus tiempo.

Figura 37*Representación del α calculado Vs tiempo del $\text{NaNO}_3 / \text{NaCl}$* 

De la Figura 37 se observó que el valor máximo del α calculado es de 0.731 para un tiempo de 120 min. Se prosigue con la gráfica del modelo cinético obtenido con el α calculado versus tiempo, como se aprecia en la Figura 38.

Figura 38

Cinética del NaNO_3 / NaCl



En la Figura 38 se aprecia que los puntos se encuentran sobre una línea recta, lo que es indicativo de una gran correlación.

5.3.5. Cálculo del modelo cinético del NaNO_3 / H_2O_2 / NaCl

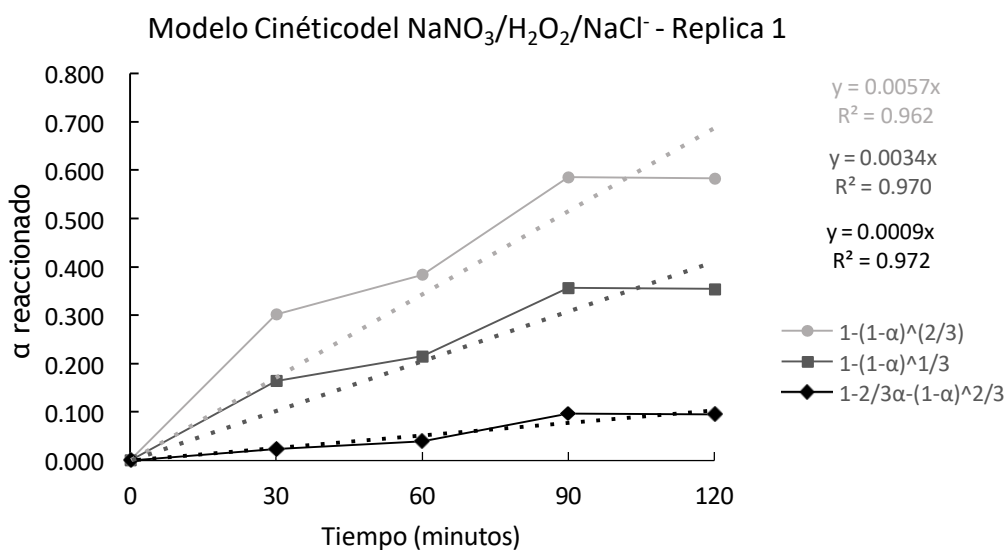
El cálculo del modelo cinético que mejor representa el comportamiento del nitrato de sodio, peróxido de hidrógeno y del cloruro de sodio para la réplica 1 se muestra en la Tabla 43.

Tabla 43*Cálculo del modelo cinético del $\text{NaNO}_3 / \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaCl}$ Replica 1*

Tiempo minutos	$\text{NO}_3^-/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Cl}^-$	β	α	$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	$1 - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.00	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	41.66	0.5833	0.4167	0.0241	0.1645	0.3019
60	51.64	0.4835	0.5165	0.0396	0.2151	0.3840
90	73.35	0.2665	0.7335	0.0969	0.3565	0.5859
120	73.05	0.2695	0.7305	0.0958	0.3540	0.5827

En la Tabla 43 se observó que la máxima recuperación fue de 73.35% a un tiempo de 90 minutos.

La Figura 39 se muestra las gráficas de los diferentes modelos cinéticos.

Figura 39*Modelo cinético para el $\text{NaNO}_3 / \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaCl}$ - Replica 1*

El mejor modelo cinético que representa el fenómeno en estudio es $1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$ con R^2 de 0.972 y una pendiente de 0.0009 min^{-1} .

En la Tabla 44 se presentan los cálculos para la réplica 2 del α y de los 3 modelos cinéticos a diferentes tiempos.

Tabla 44

Cálculo del modelo cinético del $\text{NaNO}_3 / \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaCl}$ - Replica 2

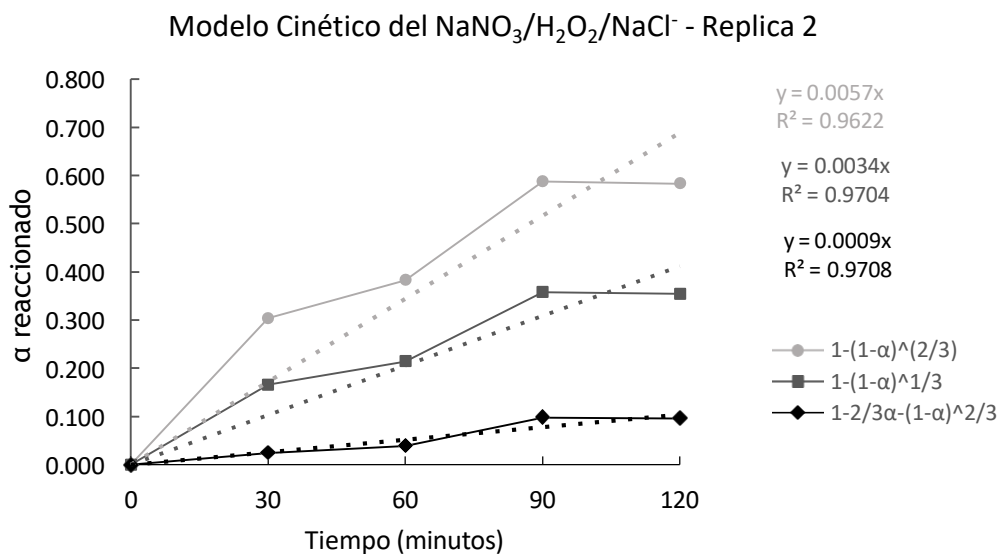
Tiempo minutos	$\text{NO}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Cl}^-$	β	α	$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	$1 - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.00	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	41.92	0.5808	0.4192	0.0244	0.1657	0.3039
60	51.48	0.4852	0.5148	0.0393	0.2142	0.3825
90	73.52	0.2648	0.7352	0.0975	0.3578	0.5876
120	73.10	0.2690	0.7310	0.0960	0.3545	0.5833

En la Tabla 44 se observó que los valores de α fue de 0.7310 para un tiempo de 120 min y los valores de los modelos cinéticos para dicho tiempo fueron de 0.0960, 0.3545 y 0.5833 respectivamente.

Con los valores obtenidos para los diferentes modelos a diferentes tiempos, se procede a graficar con el fin de obtener el R^2 de cada recta y elegir el modelo cinético más representativo, así como también conocer la pendiente, tal como se aprecia en la Figura 40.

Figura 40

Ecuación cinética para el $\text{NaNO}_3 / \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaCl}$ - Replica 2



En la Figura 40 se representa el modelo cinético del Nitrato de sodio, peróxido de hidrógeno y cloruro de sodio con diferentes modelos cinéticos, donde el modelo de control por difusión a través de un sólido poroso $1 - 2/3\alpha - (1 - \alpha)^{2/3}$ es el más representativo al tener un R^2 igual a 0.9708 y una pendiente igual a 0.0009 min^{-1} igual al de la réplica 1.

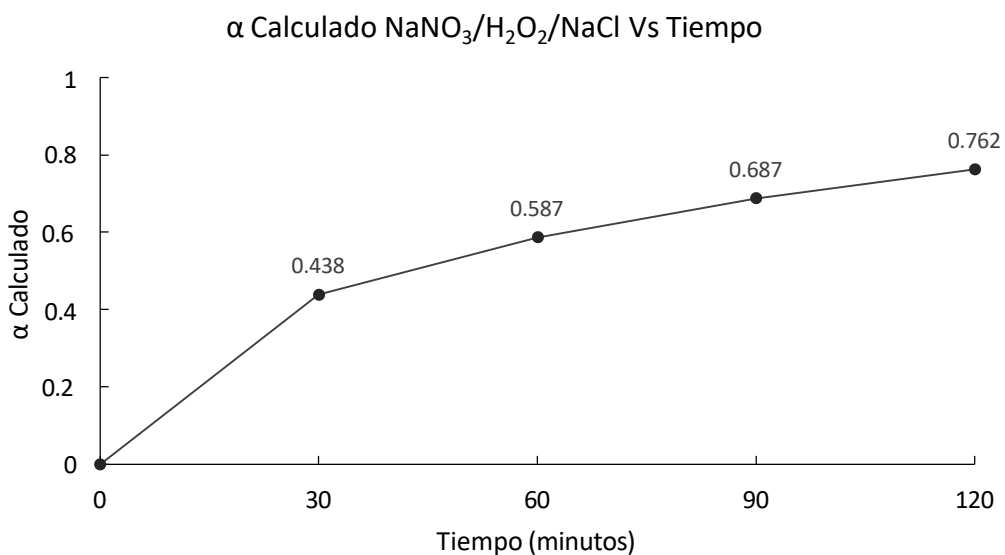
En la Tabla 45 se presentan los valores del α calculado, del error y del modelo a partir de los valores del α calculado. Solo se realiza el cálculo para la réplica 1 debido a que los valores son similares al de la réplica 2.

Tabla 45*Cálculo del $\text{NaNO}_3 / \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaCl}$*

Tiempo (minutos)	α Calculado	α Real	Error	$1 - \frac{2}{3} \alpha - (1-\alpha)^{2/3}$
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
30	0.4381	0.4166	-0.0214	0.027
60	0.5866	0.5164	-0.0701	0.054
90	0.6869	0.7335	0.0465	0.081
120	0.7621	0.7304	-0.0316	0.108

En la Tabla 45 se aprecia que el error entre el α calculado y el α real se encuentra comprendido entre -0.0316 y 0.0465.

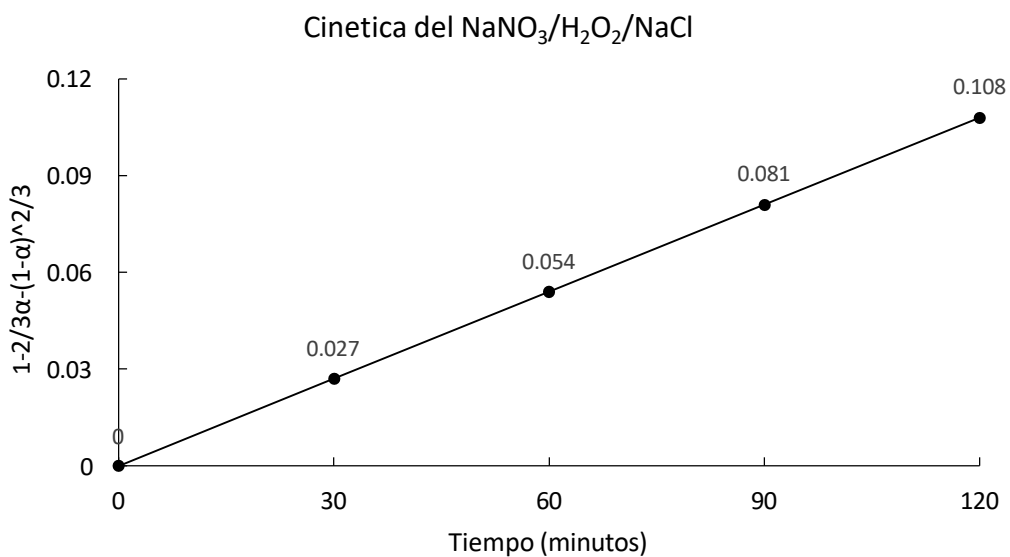
Con los valores encontrados para el modelo en función del α calculado, se gráfica este modelo versus tiempo, tal como se observa en la Figura 41.

Figura 41Representación del α calculado $\text{NaNO}_3 / \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaCl}$ Vs tiempo

Como se ha observado antes, la Figura 41 tiene forma parabólica semejante a la de los casos anteriores. En la Figura 42 se presenta la gráfica de los valores que toma el modelo seleccionado con el α calculado.

Figura 42

Cinética del $\text{NaNO}_3 / \text{H}_2\text{O}_2 / \text{NaCl}$



En la Figura 42 se aprecia que los datos se encuentran perfectamente sobre una línea recta.

A continuación, se presenta un resumen de las constantes cinéticas encontradas para los diferentes tipos de oxidantes, los valores de dichas constantes para ambas réplicas son las mismas, y varía de acuerdo con el tipo de oxidante. Ver Tabla 46.

Tabla 46*Resumen de constantes cinéticas de los diferentes oxidantes*

Método	K	R ²
H ₂ O ₂	0.00006	0.981
H ₂ O ₂ / Cl ⁻	0.0003	0.926
NO ₃ ⁻	0.0005	0.965
NO ₃ ⁻ /Cl ⁻	0.0008	0.963
H ₂ O ₂ / Cl ⁻ / NO ₃ ⁻	0.0009	0.972

Como se observó en la Tabla 46, el H₂O₂ presenta los valores más bajos de la constante de velocidad igual a 0.00006 min⁻¹ mientras que la solución H₂O₂/Cl⁻/NO₃⁻ fue 16 veces aproximadamente más rápido con un valor igual a 0.0009 min⁻¹ siendo a su vez la mezcla con la más alta cinética.

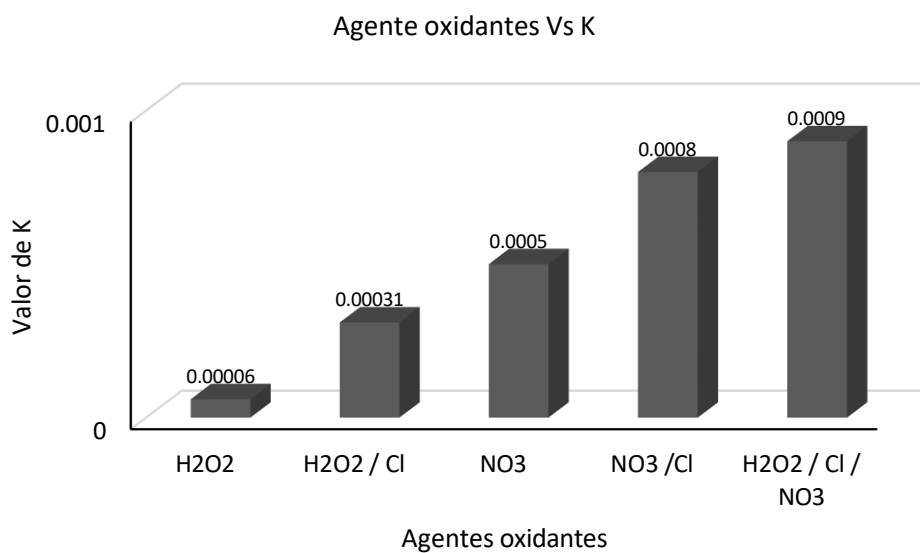
También se observó, el efecto positivo de la adición de iones cloruro como parte de la composición de los oxidantes, como se apreció para el oxidante peróxido de hidrógeno se obtuvo una constante cinética de lixiviación de 0.00006 min⁻¹, mientras la adición de 0.25 M ion cloruro aumentó el valor de la constante cinética cinco veces más, alcanzando 0.0003 min⁻¹.

La adición de cloruro de sodio a la solución conteniendo iones nitrato aumenta 1.6 veces el valor de la constante cinética si es que no se adicionara iones cloruro.

El valor de la constante de velocidad dependió del tipo de oxidante empleado siendo el ion nitrato más influyente que el peróxido de hidrogeno, alcanzando el primero una cinética hasta 8.3 veces más rápido. Para más claridad ver el gráfico de barras de la Figura 43.

Figura 43

Agentes Oxidantes vs K

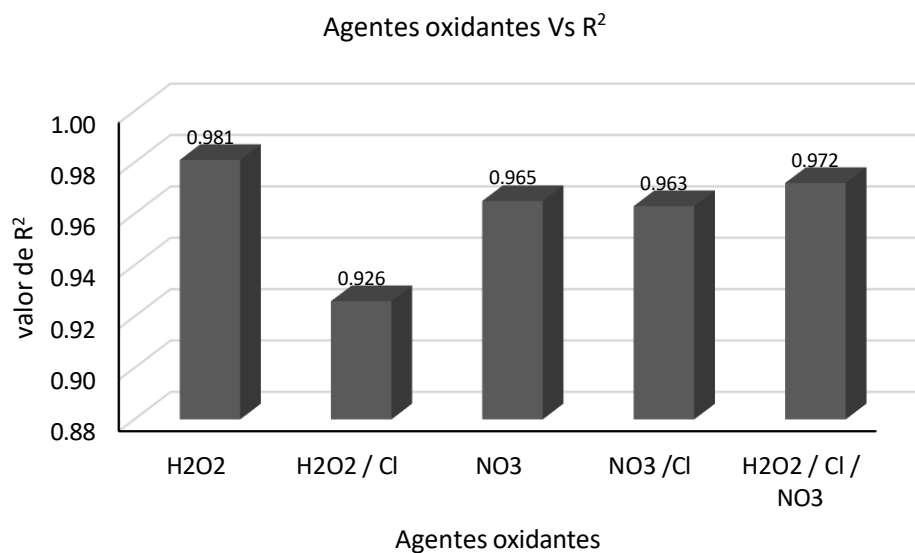


En la Figura 43 se aprecia que las soluciones $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ y $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ tienen constantes de velocidad 0.0008 y 0.0009 min^{-1} respectivamente. También se aprecia de manera más clara el efecto del ion cloruro en cada solución lixiviante en la velocidad de reacción.

A continuación, se muestra en la Figura 44 el valor del R^2 de los modelos elegidos representados en un gráfico de barras.

Figura 44

Agentes Oxidantes Vs R^2



En la Figura 44 se observa que los valores del R^2 para todas las soluciones de lixiviación están comprendidas entre 0.981 y 0.972 y esto representa una alta correlación lineal de los modelos propuestos.

Análisis de la varianza

Se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula: no existe diferencias significativas entre las constantes cinéticas de las diferentes soluciones de lixiviación oxidativa clorurante.

$$H_0 = K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = K_5$$

Hipótesis alternativa: existe diferencias significativas entre las constantes cinéticas de las diferentes soluciones de lixiviación oxidativa clorurante.

$$H_1 = K_1 \neq K_2 \neq K_3 \neq K_4 \neq K_5$$

Los cálculos para análisis de la varianza se presentan a continuación. Ver Tabla 47.

Tabla 47

Anova: Análisis de la varianza para las constantes cinéticas

	Df	Sum C.	Media C	valor	Pr(>F)
Solución	4	7.27 x10 ⁻⁶	1.817x10 ⁻⁶	6.376x10 ³¹	2x10 ⁻¹⁶
Residual	5	0.0000	0.000		

De la Tabla 47 se aprecia que el valor de $p = 2 \times 10^{-16}$ menor de significancia de 0.005 por lo tanto se rechaza la Hipótesis nula, aceptándose la hipótesis alternativa que nos indican que existen diferencias significativas entre las constantes cinéticas de las soluciones empleadas.

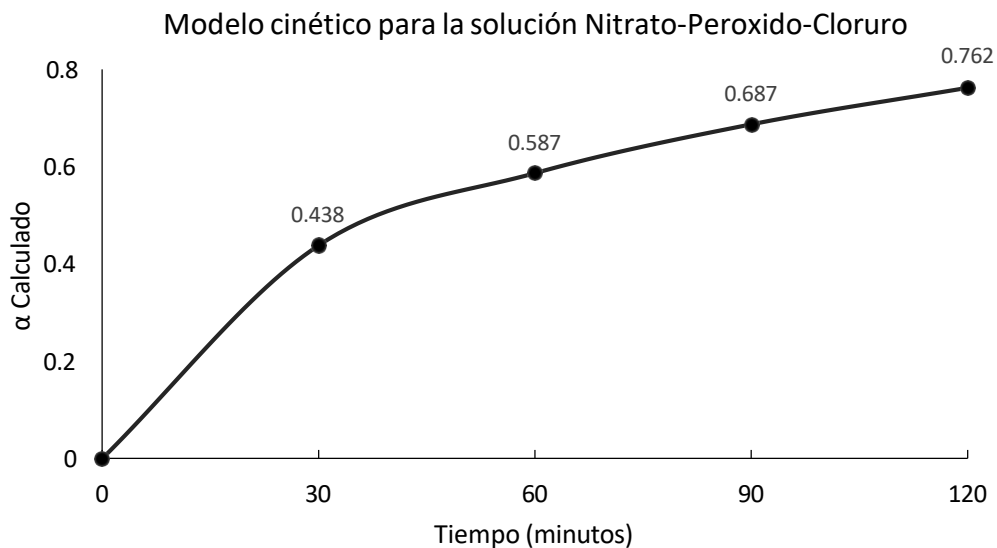
Modelo Cinético calculado para la solución de Nitrato/Peróxido/Cloruro

De los resultados obtenidos de la solución que contiene Nitratos/ Peróxido/ cloruro. Se presenta la constante cinética más alta con un valor de 0.0009 min⁻¹ por lo tanto el modelo cinético obtenido es: $1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3} = 0.0009 t$. Mediante el método numérico de Newton Raphson se obtienen las raíces del modelo, ver Tabla 48 y la gráfica del modelo se observa en la Figura 45.

Tabla 48*Errores de los α .*

Tiempo	α real	α calculado	Error
0	0.0000	0.0000	0.0000
30	0.4166	0.4381	-0.0214
60	0.5164	0.5866	-0.0701
90	0.7335	0.6869	0.0465
120	0.7304	0.7621	-0.0316

En la Tabla 48 se calculan los errores de los α reales y calculados para cada tiempo. Encontrándose entre -0.0701 y 0.0465. En la Figura 45 se representa el modelo cinético con alfa calculado para esta solución lixivante.

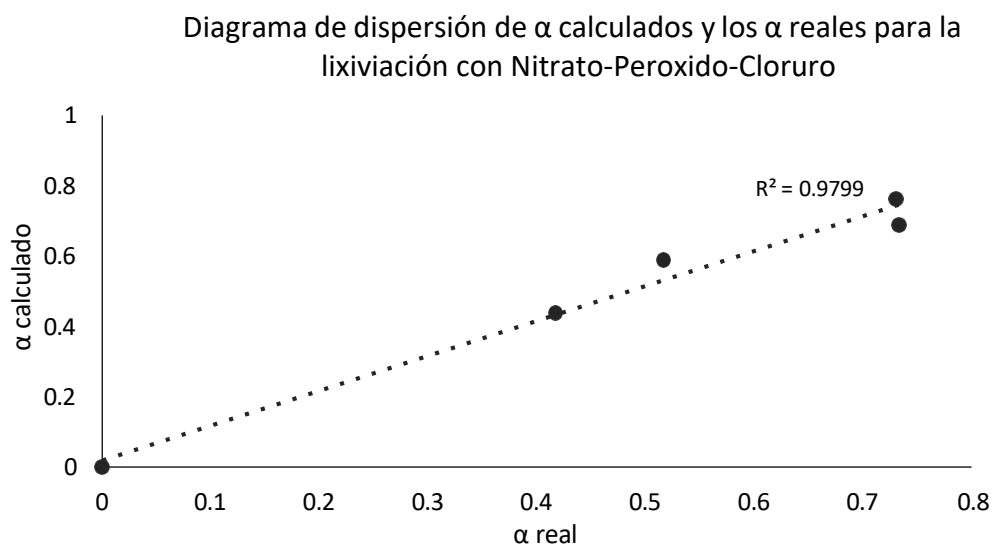
Figura 45*Modelos Cinéticos de las soluciones Nitrato/ Peróxido/ cloruro*

En la Figura 45 se observó el modelo cinético del alfa calculo vs tiempo

A continuación, se presenta el diagrama de dispersión de los α calculados y los α reales para el modelo seleccionado. Ver Figura 46.

Figura 46

Diagrama de dispersión de los alfas calculados y reales para el Modelo seleccionado

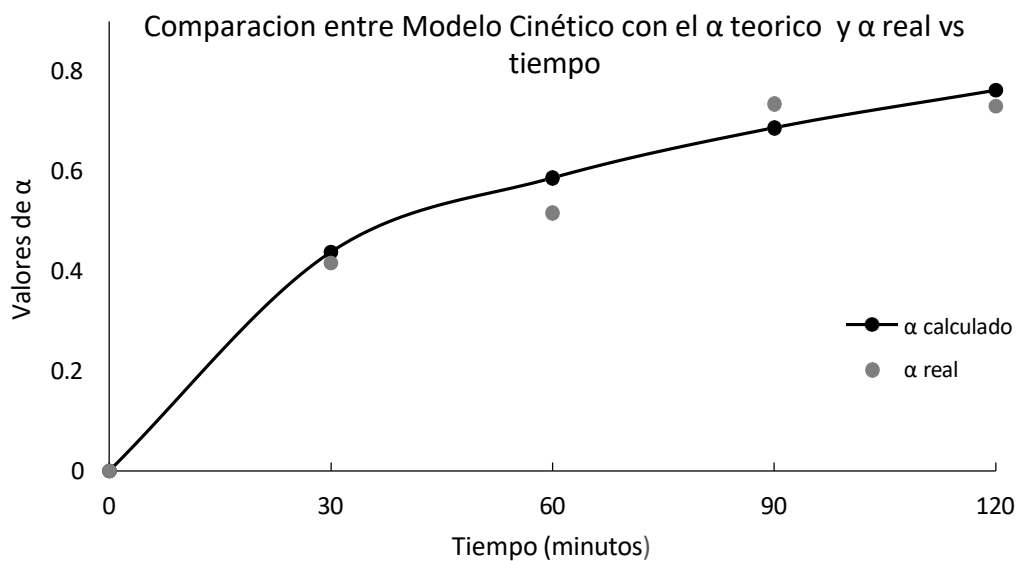


En la Figura 46 se aprecia que el R^2 es 0.9799 siendo una alta correlación entre el alfa calculado y el alfa real.

En la Figura 47 se observa el comportamiento del modelo con los α calculados y los α reales.

Figura 47

Comportamiento Cinético con el α teórico y α real Vs tiempo.



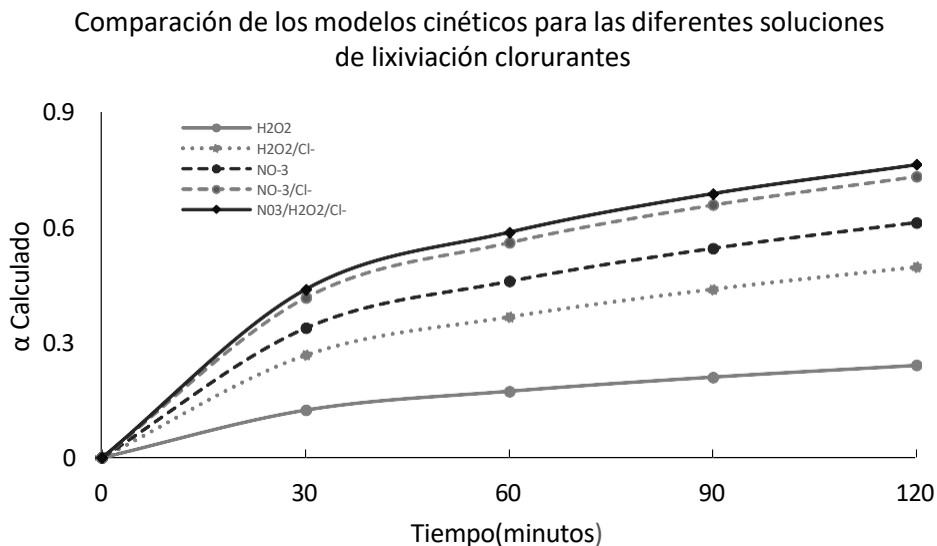
Como se observa en la Figura 47 los α reales se encuentran bastante cercanos al comportamiento del modelo teórico.

Comparación de los diferentes Modelos cinéticos obtenido para cada solución lixivante

En la Figura 48 se observa el comportamiento del Modelo para las diferentes constantes cinéticas obtenidas en cada tipo de solución clorurante empleada.

Figura 48

Comparación de Modelos Cinéticos para diferentes soluciones de lixiviación clorurante.



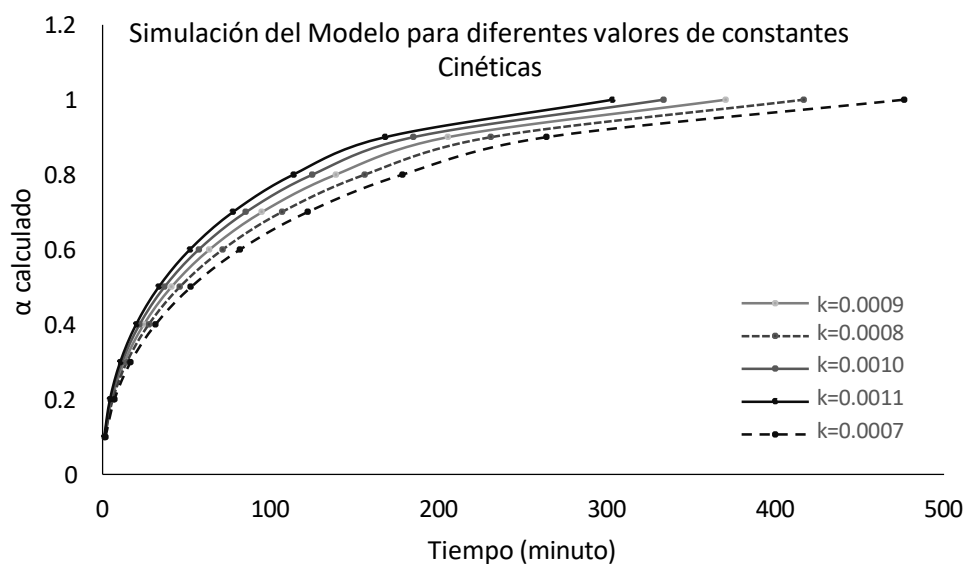
Se comprueba que el modelo Nitrato/ Peróxido/ Cloruro, presenta la mejor cinética con respecto a las demás soluciones Clorurantes.

Simulación del modelo nitrato/ peróxido/ cloruro con diferentes constantes cinéticas.

Para observar el comportamiento del modelo obtenido a diferentes constantes cinéticas: ver Figura 49.

Figura 49

Simulación del Modelo a diferentes constantes cinéticas



En la Figura 49 se observa que al aumentar la constante cinética el tiempo de lixiviación se acorta. Aun tiempo igual la recuperación es mayor a mayor constante cinética. Para alcanzar un 95% de recuperación se requeriría 330 minutos para un K igual a 0.0007, para un K de 0.0008 demoraría 280 minutos, para K de 0.0009 el tiempo sería de 250 minutos, para un K de 0.0010 demoraría 331 minutos y para un K de 0.0011 se alcanzaría en 210 minutos. Las pruebas con cianuración se obtuvieron 88.39% de oro en 72 horas mientras que con la solución conteniendo los tres oxidantes y un K de 0.0009 min^{-1} demoraría aproximadamente 192 minutos.

5.4. Efecto de la Concentración de Cloruros en la Recuperación del Oro.

Para analizar el efecto de la concentración de cloruros en la recuperación de oro, se lixivió 1 kilo de mineral, manteniendo constante la dilución, la concentración de ácido, el tiempo de 1 hora de

lixiviación, oxidante nitrato y diferentes concentraciones de cloruro de sodio, 1 mol de cloruro de sodio aporta 1 mol de ion cloruro. Las condiciones de lixiviación se presentan en la Tabla 49.

Tabla 49

Condiciones de lixiviación

Condiciones	Unidad	Indicador
Dilución	kg/l	1/3.2
Peso	kg	1.000
Volumen	litros	3.200
Temperatura	°C	20
Ley de oro	g/t	11.52
Ácido clorhídrico	molar	0.25
Concentración De Cloruros	molar	0.25 – 4.00
Tiempo	minutos	60
Concentración de Nitrato	molar	0.0625

En la Tabla 49, se presentó las condiciones de lixiviación, se empleó como oxidante nitrato de sodio. Finalizado la prueba en 1 hora, se analizó la concentración de oro en las soluciones ricas para cada concentración de cloruro. En la Tabla 50 se muestran los resultados de los análisis.

Tabla 50

Recuperación de oro en ppm a diferentes concentraciones de cloruro

Moles Cl ⁻	Oro (g/t)	Oro (g/t)
	Réplica 1	Réplica 2
0	0.41	0.41
0.25	0.65	0.65
0.5	0.90	0.80
1	1.40	1.40
2	2.20	2.30
3	2.90	2.90
4	3.50	3.50

En la Tabla 50 se observó los g/t de oro en las 2 réplicas y el promedio de ambas, la máxima recuperación del oro fue de 3.50 g/t y se alcanzó empleando 4 moles de cloruro, lixiviando a temperatura ambiente. Se aprecia también que los valores de ambas réplicas son muy similares o iguales en algunos casos.

Los porcentajes de recuperación de oro a diferentes concentraciones de cloruros, son mostrados en la Tabla 51.

Tabla 51*Porcentaje de recuperación de oro a diferentes concentraciones de cloruros*

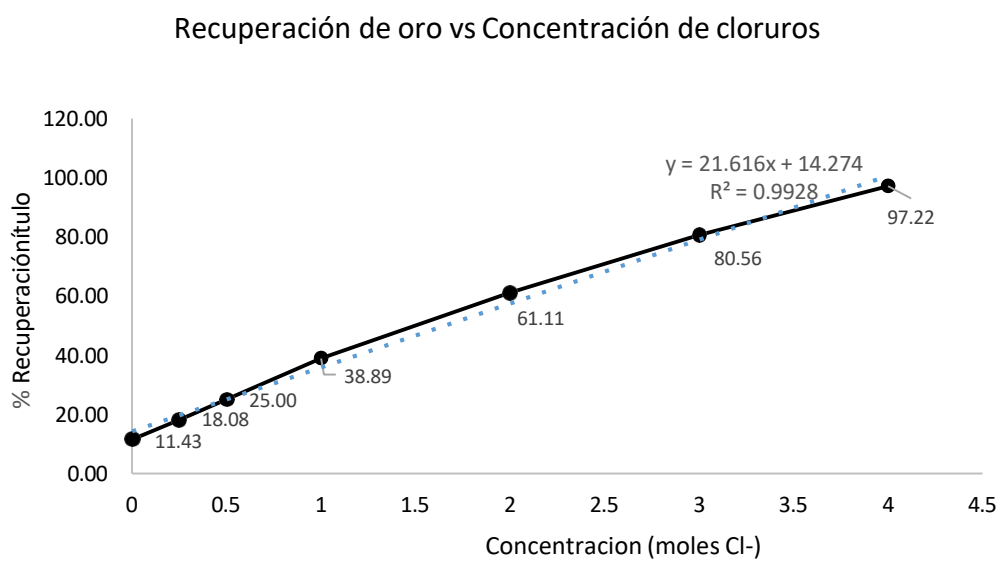
Moles de NaCl	%Au Replica 1	%Au Replica 2
0	11.43	11.44
0.25	18.08	18.07
0.5	25.00	22.22
1	38.89	38.89
2	61.11	63.89
3	80.56	80.56
4	97.22	97.22

Se aprecia que la máxima recuperación fue de 97.22% de oro a una concentración de cloruros de 4 molar.

Además, se observó la influencia positiva del aumento de la concentración de iones cloruro hasta 4 molar en la recuperación del oro lixiviando a temperatura ambiente. Con estos valores encontrados se procede a graficar la recuperación de oro versus la concentración de cloruros y calcular el R^2 , para simplificar el proceso de cálculo se realizan empleando los datos de una sola réplica. Ver Figura 50.

Figura 50

Recuperación de oro Vs Concentración de cloruros



En la Figura 50 se observó que la recuperación del oro aumentó en función de la concentración de cloruro alcanzando una recuperación máxima de 97.22% y el R^2 fue de 0.9928, valor bastante alto.

En la Tabla 52 se presentan el resumen de los resultados de las pruebas realizadas.

Tabla 52*Influencia de la concentración de Cl⁻ en la recuperación de oro*

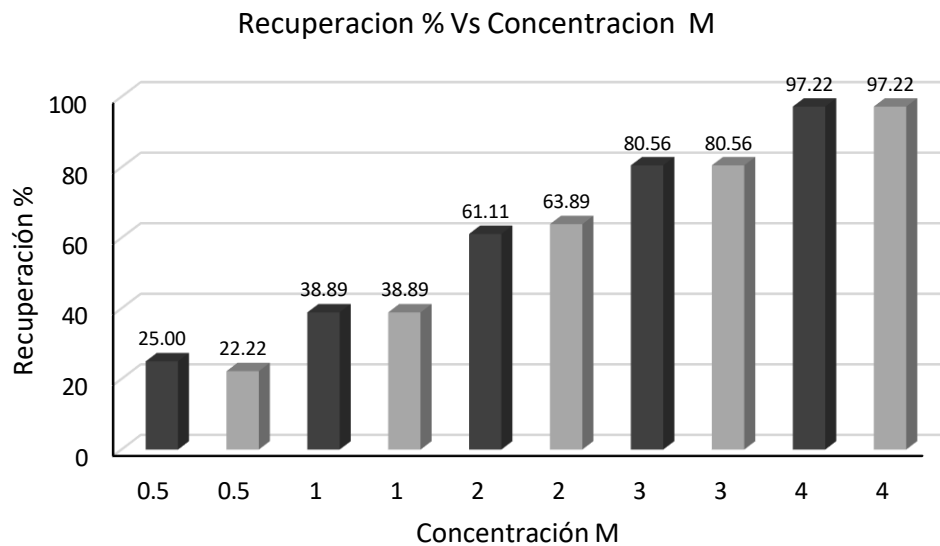
Moles Cl ⁻	Recuperación de oro (%)
0.0	11.43
0.25	18.08
0.50	25.00
0.50	22.22
1.00	38.89
1.00	38.89
2.00	61.11
2.00	63.89
3.00	80.56
3.00	80.56
4.00	97.22
4.00	97.22

En la Tabla 52 se observa que la máxima recuperación de oro fue 97.22 % a 4 moles a un tiempo 1 hora. Verificándose que a medida que aumenta la concentración de iones cloruros a un máximo de 4 M también se aumenta recuperación de oro.

A continuación, se presenta gráficos de barras con las recuperaciones de oro en función de la concentración de cloruro de sodio. Ver Figura 51.

Figura 51

Influencia de la concentración de cloruros en la recuperación de oro en (%)



En la Figura 51 se observa que para una concentración de 4 molar de cloruro de sodio se alcanza 97.22% de recuperación de oro en 1 hora de lixiviación.

Análisis de Varianza:

Se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0): No existen diferencias entre las medias de las recuperaciones de oro para las diferentes concentraciones de cloruro de sodio.

Hipótesis alternativa (H_1): existen diferencias entre las medias de las recuperaciones de oro para las diferentes concentraciones de cloruro de sodio.

Con los datos obtenidos se procede a realizar el cálculo del análisis de la varianza.

Ver Tabla 53.

Tabla 53

Análisis de la varianza para la recuperación del oro en función de la concentración de cloruro de sodio

	Df	Suma C	Media C.	F valor	Pr>(F)
Moles Cl	1	7083	7083	632.8	6.67e-09
residual	8	90	11		

De la Tabla 53 se observó que el valor de p es de $6.67 \times 10^{-9} < 0.05$, por lo tanto, se decide rechazar la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alternativa, existiendo diferencias de recuperación para diferentes concentraciones de cloruro de sodio con un máximo de 4 molar.

Prueba de Normalidad Shapiro Wilk.

Se plantea las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula H_0 : los residuos provienen de una distribución normal

Hipótesis alternativa H_1 : los residuos no provienen de una distribución normal

Los resultados se muestran en la Tabla 54.

Tabla 54*Análisis de Normalidad de residuos - prueba de Shapiro*

Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk	
Datos	Residual (modelo-cloruro)
W	0.9344
P-valor	0.4826

De la Tabla 54 se observó que el valor de p es mayor a 0.05, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa que los residuos no provienen de una distribución normal.

Análisis de Homogeneidad de las varianzas - Prueba de Bartlett. planteándose las siguientes hipótesis:

H₀: las varianzas de los tratamientos son iguales ($p > 0.05$)

H₁: las varianzas de los tratamientos son diferentes ($p < 0.05$)

En la Tabla 55 se presentan los resultados de la Prueba de Bartlett

Tabla 55*Prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas*

Prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas	
Datos	Rec-Au-Cl by Moles-Cl
df	4
P-valor	$< 2.2e^{-16}$

De acuerdo con la Tabla 55 se observó que el valor p fue $2.2 \times 10^{-16} < 0.05$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, los datos presentan varianzas no homogéneas. Se emplea la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para verificar la existencia de diferencia entre las medianas de las poblaciones de las diferentes concentraciones de cloruros (Gutierrez pulido & Fe la Vara Salazar, 2008). Se plantean las siguientes hipótesis:

H₀: las medianas de la población son iguales.

H₁: las medianas de la población no son iguales.

A continuación, se presentan en la Tabla 56 los resultados de la Prueba de Kruskal – Wallis.

Tabla 56

Prueba de Kruskal - Wallis

Pruebas de suma de rangos de Kruskal-Wallis	
Datos	Rec-Au-Cl by Moles-Cl
Chi-cuadrado	8.8889
df	4
P-valor	0.006394

De la Tabla 56 se observó que el valor de p es 0.00639 el cual es menor a 0.05, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa concluyéndose que las medianas de la población no son iguales. De esta manera se determina estadísticamente que al aumentar la concentración de cloruros se aumentara la recuperación de oro.

A continuación, se presentan los valores calculados para el modelo metalúrgico de la recuperación de oro vs la concentración de cloruros. Ver Tabla 57.

Tabla 57

Modelo metalúrgico de la Recuperación de oro en % Vs Concentración de Cloruros (M)

Coeficientes	
Intercepto	14.27
Moles-Cl	21.62

De los datos de la Tabla 50 se obtiene el siguiente modelo metalúrgico:

$$\% \text{Au} = 21.62 \times [\text{Cl}^{-1}] + 14.27$$

Del modelo se aprecia el valor positivo de la pendiente, lo que indica que al aumentar la concentración de iones cloruro hasta un máximo de 4 M también aumenta la recuperación del oro.

5.5 Lixiviación con cianuro de sodio para recuperar el oro

Realizar pruebas experimentales para conocer las condiciones óptimas de lixiviación con cianuro.

Se tomó una muestra del relave procedente de Yangas de 1,5 Kg con un volumen de 2,5 L, manteniendo una relación sólido-líquido de 1/1,7.

Se trabajó con pH de 10,58, con una concentración de NaCN de 0,1 % y 0,2%, dándole un tiempo de lixiviación de 72 horas a cada una de las pruebas, tomando controles puntuales en 0,2,4,6,24,48,72 horas para determinar el comportamiento de la cinética de extracción de Au en el relave. Se trabajo en un banco de celdas, Ver Figura 52

Figura 52

Pruebas de lixiviación de los relaves de amalgamación



Estas muestras tomadas en los tiempos mencionados se mandaron a análisis, el cual brindó los resultados para determinar la influencia de las distintas concentraciones de NaCN para obtener su máxima extracción de Au.

Las pruebas desarrolladas nos llevan a recuperaciones aceptables de oro en solución, que mostramos en la Tabla 58.

Tabla 58

Recuperación de oro a diferentes concentraciones de NaCN

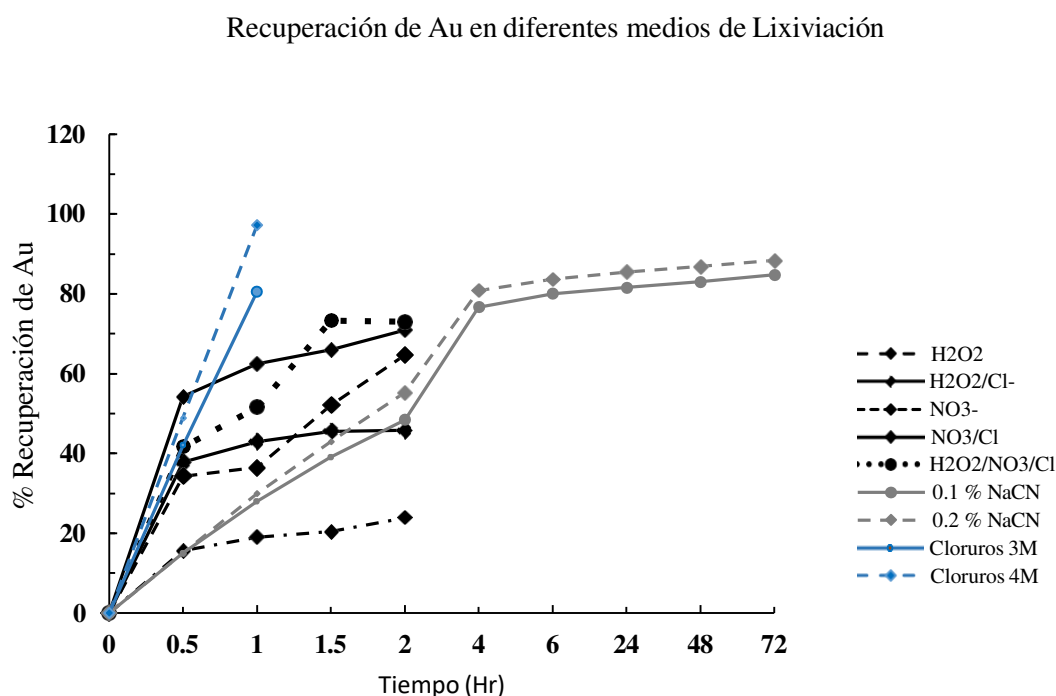
Test	NaCN	Ley Cabeza Au (ppm)	Extracción Au (%)
C1	0.10	11.52	84.77
C2	0.20	11.52	88.39

La recuperación máxima empleando la Cianuración fue 88.39% empleando en un tiempo de 72 horas.

En la Figura 53 se comparan las recuperaciones de oro alcanzadas por diferentes soluciones oxidativas clorurantes empleadas en esta tesis y las obtenidas por cianuración.

Figura 53

Recuperación de Au en diferentes medios de Lixiviación en función del tiempo.



Se aprecia claramente que la cinética de la cianuración es muy lenta comparado a las soluciones oxidativas clorurantes. Se observa claramente que la solución Cloruros 4M, es la de mejor comportamiento alcanzando recuperaciones de oro del 97.22% en 1 hora de lixiviación

CAPITULO VI.

6.0 DISCUSIONES

De los hallazgos encontrados, probamos la hipótesis general donde la influencia de la Lixiviación Oxidativa Clorurante a temperatura ambiente mejora la recuperación de oro en los Relaves Auríferos de Amalgamación. Al compararse la eficiencia de las diferentes soluciones oxidativas clorurantes en un tiempo de 1 hora de lixiviación se alcanzó 97.22% de recuperación de oro con la solución que contenía 0.25 M de HCl, 0.0625 M de nitrato de sodio y 4 M de NaCl. En el análisis de la varianza el valor de p fue de 2×10^{-16} , al emplear el test de Shapiro Wilk, se comprueba que los datos proceden de una distribución normal teniendo un p valor de 0.8310, y en la prueba de Tukey se encontró que esta solución fue la que alcanzo la mayor recuperación obteniéndose un p valor de 0.000. En cuanto a la recuperación de oro este trabajo concuerda con lo obtenido por el Método Severo con 99.82% de recuperación. Sin embargo, la concentración de la acidez y el tipo de ácido difiere ya que Severo emplea entre 110 a 120 g/l de ácido sulfúrico mientras que en esta investigación se empleó ácido clorhídrico diluido de 0.25 M. Mientras que el tiempo de lixiviación en el trabajo de Severo Palacio fue de 12 horas mientras que con la solución oxidativa clorurante con 4M de NaCl se demoró 1 hora para alcanzar una recuperación similar. En el trabajo desarrollado por Ahtiainen y Lundstron (2019) obtuvieron una recuperación de oro del 92% empleando como oxidante 0.2 M Cu^{+2} , 4.2 M Cl^- cantidad similar al de esta investigación, pero lixiviaron a 98°C.

Se obtuvo una recuperación máxima del 73.35 % con una concentración de cloruros de 0.250 molar y con adición de tres tipos de oxidantes a temperatura ambiente. El estudio de los siguientes artículos guarda relación con recuperación del oro y con la temperatura de lixiviación así se tiene el artículo de la Universidad de Indonesia, con sus autores Harjanto et al. (2019) realizaron la

lixiviación a temperatura ambiente, con una concentración de 11.6 molar de HCl obteniendo una recuperación del 78%. En el artículo lixiviación de menas auríferas con sales oxidantes en medio ácido trabajo realizado por Palacio S, 2002, quien tuvo una recuperación de oro del 99.82% de oro a temperatura ambiente.

La velocidad de lixiviación del oro empleando LOC alcanzó una cinética muy rápida obteniendo una recuperación del 73.35% en un tiempo de 90 minutos. De acuerdo al análisis de la varianza el valor de p fue de 2.31×10^{-10} de acuerdo al test de Shapiro-Will los datos proceden de una distribución normal al tener un p valor de 0.8095, además la prueba de Tukey se determinó que la solución que la solución $\text{NO}_3/\text{Cl}^-/\text{H}_2\text{O}_2$ es la que alcanza mayor recuperación de oro en un tiempo de 90 minutos. El modelo cinético es $1 - \frac{2}{3}\alpha - (1-\alpha)^{2/3} = 0.0009$ t. El análisis de la varianza para las constantes cinéticas demostró que hay diferencias significativas entre las diferentes constantes obtenidas para cada tipo de solución con un p valor de 2×10^{-16} . Estos resultados tienen una relación con lo que sostiene el artículo “Adición de cloruro de sodio en la lixiviación clorurante de minerales de oro de la mina artesanal de Indonesia” de los autores Harjanto et al, (2019) quienes señalan tener una recuperación del 78% en un tiempo de lixiviación de 3 horas. El mineral fue tratado con HCl y agentes oxidantes NaCl y H_2O_2 . Y en el artículo “lixiviación de un mineral oxidado de oro con soluciones cloruro/hipoclorito”, de Baghalha (2007) empleó una solución lixivante de HCl y $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ y NaOCl. teniendo una recuperación del 67% de oro en un tiempo de 4 horas. Este estudio no concuerda con los siguientes artículos “Lixiviación de menas auríferas con sales oxidantes en medio ácido” del autor Palacios Severo donde trata un mineral con H_2SO_4 a (110-120 g/l) y con sales oxidantes NaNO_3 y NaCl, menciona una recuperación del 98.82% con un tiempo de lixiviación de 12 horas. Y el artículo “Lixiviación de mineral aurífero de vetas Santander” de

Pardavé (2007) se trabajó un mineral con H_2SO_4 y sales oxidantes: NaNO_3 y NaCl teniendo una recuperación del 20% a un tiempo de lixiviación de 13 horas.

En cuanto a la influencia de los moles cloruros en la mejora de la recuperación del oro se aprecia el efecto positivo hasta un máximo de 4 moles de cloruro de sodio debido a que facilita la formación de complejos clorurados de oro los cuales son altamente solubles. El modelo obtenido tiene un R^2 de 0.9928% para un máximo de 4 moles de cloruro. En la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se obtuvo un valor de p igual a 0.006394 que permite inferir que al aumentar la concentración de cloruros a 4M aumenta la recuperación de oro alcanzando un 97.22% de eficiencia. Concuerda con lo obtenido por Ahtiainen y Lundstron (2019) quien recupero 92% de oro adicionando 4.2 moles de iones cloruro.

CAPITULO VII

7.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Al compararse las diferentes soluciones oxidativas clorurantes, la solución conteniendo 0.25 M de HCl, 0.0625 M de nitrato de sodio y 4 M de NaCl fue la que alcanzó la máxima eficiencia con 97.22% de recuperación de oro.

La lixiviación oxidativa clorurante si mejora la cinética de lixiviación del relave auríferos de amalgamación, Se observó una reacción rápida del relave aurífero con la solución clorurante cuando se empleó la mezcla de los tres agentes oxidantes $\text{NO}_3/\text{Cl}/\text{H}_2\text{O}_2$ llegando a un 73.35% en un tiempo de 90 minutos, la constante cinética de lixiviación fue de 0.0009 min^{-1} y el modelo cinético fue el de control por difusión a través de un sólido poroso.

El valor de las variables optimas que permitan una mejor tasa de recuperación del oro del relave aurífero de amalgamación se encuentra en un máximo de 4 moles de iones cloruros a una concentración de ácido de 25 molar, la dilución solida liquido es de 1:3.2, con una temperatura de 20°C, tiempo de lixiviación de una hora, alcanzándose una recuperación de 97.22% Con una concentración del NO_3 de 0.0625 molar.

7.2. Recomendaciones

Emplear la lixiviación clorurante en minerales auríferos sulfurados de cabeza.

Realizar pruebas a nivel pilotaje y hacer uso del agua de mar como un insumo de iones cloruro.

Se sugiere trabajar con diferentes tipos de oxidantes a los empleados en esta investigación, ya que la combinación de esta mejora la cinética de la lixiviación, así como la recuperación del oro del relave aurífero de amalgamación.

Evitar exceder la relación 4 a 1 de Acido/Nitrato de sodio. ya que un exceso de esta sal formaría el gas de dióxido de nitrógeno (NO_2) de un color rojo anaranjado que es un gas toxico, usar materiales resistentes al ion cloruro como los plásticos y resinas antiácidas.

CAPITULO VIII

8.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ahtiainen, R., & Lundström, M. (2019). Cyanide-free gold leaching in exceptionally mild chloride solutions. *Journal of Cleaner Production*, 234, 9–17.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.197>
- Arcos, F., César, A., Cossio, C., Minera, A., En La, A., & Lima, R. (2019). *Dirección de Recursos Minerales y Energéticos Equipo de Investigación*.
- Aromaa, J., Forsén, O., & Barker, M. H. (2007.). *Rate of gold dissolution in concentrated cupric chloride solutions. Cu2007 Volume IV: The John Dutrizac International Symposium on Copper*. <https://www.researchgate.net/publication/312230500>
- Baghalha, M. (2007). Leaching of an oxide gold ore with chloride/hypochlorite solutions. *International Journal of Mineral Processing*, 82(4).
<https://doi.org/10.1016/j.minpro.2006.09.001>
- Dominic, E. (2001). Hidrometalurgia fundamentos, procesos y aplicaciones (Vol. 1). Santiago-Chile
- Field, A., & Miles, J. (2012). *Discovering Statis Usingr*. Los Angeles: SAGE Publications
- Gallarday-Bocanegra, T. E. (2009). Propuesta para tratamiento de residuos solidos en el distrito de Santa Rosa de Quives, prov. de Canta depto. de Lima. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 12(23), 27-41.
- Gutierrez pulido, H., & Fe la Vara Salazar, R. (2008). *Analisis y diseño de experimentos*. Mexico: Mc Graw Hill segunda edicion
- Harjanto, S., Pratama, F. W., Lazuardiyani, A., Taris, M., & Salam, M. Y. (2019). Additional of NaCl on Chloride Leaching of Gold Ore from Indonesian Artisanal

- Mining. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 515(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/515/1/012032>
- Hernández Sampieri, Roberto., Fernández Collado, Carlos., & Baptista Lucio, Pilar. (1991). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Lundström, M., Aromaa, J., Sc, M., & Seisko, S. (2018.). *School of Chemical Engineering Department of Chemical and Metallurgical Engineering Tero Tapani Mikonpoika Junnila BATCH LEACHING OF GOLD IN CUPRIC CHLORIDE MEDIA*.
www.aalto.fi
- María, D., & Ruiz, C. (2013). *HIDROMETALURGIA*. U de Concepción. Chile
- Palacio C. S. (2002). Lixiviación de menas auríferas con sales oxidantes en medio ácido mediante el proceso severo- Severo. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 5.
- Pardavé, W., Metalúrgico, I., Profesor, M., Titular, C., & Beltrán Aguilar, A. (2007). Septiembre de. *Scientia et Technica Año XIII*, 36.
- PNUMA. (2023). Reducción del uso de mercurio en la minería de oro artesanal.
www.artisanalgoldcouncil.org
- Pourbaix, M. (1974). *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*. Houston, Texas, USA: NACE International Cebelcor.
- Raymond Chang, W. C. (2002). *Química*. Colombia: McGraw Hill Interamericana Editores.
- Uceda Herrera, D. (2016). Hidrometalurgia Química e Ingeniería. (C. E. EIRL., Ed.)
Lima-Perú: 1ª Edición
- Vogel Fric, A. I. (1983). *Química Analítica Cualitativa* (Sexta edición ed.). Londres: Kapelusz

9.0 ANEXOS

9.1. Matriz de Consistencia

Título de la Tesis: Lixiviación Oxidativa Clorurante a Temperatura Ambiente para Recuperar Oro de Relave Aurífero de Amalgamación.				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS		
		HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	
			IDENTIFICACIÓN	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN
¿Como influye la lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente en la baja recuperación de oro en los relaves auríferos de amalgamación?	Estudiar la lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente para la obtención de altas recuperaciones de oro en los relaves auríferos de amalgamación.	El estudio de la lixiviación oxidativa clorurante a temperatura ambiente permitiría altas recuperaciones de oro en los relaves auríferos de amalgamación.	Tasa de recuperacion de oro	Analisis Quimico ICP, Ensayo al fuego
				Absorción atomica.
			Tipo de solución oxidativa clorurante.	Titulación volumetrica, Medición de pH y Fluorescencia de rayos x.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES DE LAS HIPÓTESIS ESPECIFICAS	
Problema Específico N° 1	Objetivo Específico N° 1	Hipótesis Específica N° 1	NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN
¿Cuál es el efecto en la recuperación de oro de los relaves auríferos empleando diferentes soluciones oxidativas clorurantes a temperatura ambiente.	Comparar la eficiencia en la recuperación de oro de los relaves auríferos empleando diferentes soluciones oxidativas clorurantes. a temperatura ambiente.	La comparación de la recuperación de oro de los relaves auríferos empleando diferentes soluciones oxidativas clorurantes mejorará la recuperación del oro del relave aurífero de amalgamación.	ley de oro.	Analisis Quimico ICP, Ensayo al fuego por Au, Absorción atómica, Titulación volumetrica
			Tiempo de lixiviación.	
			Tipo de Oxidante, concentración de cloruros.	
Problema Específico N° 2	Objetivo Específico N° 2	Hipótesis Específica N° 2	NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN
¿Cuál es la influencia del tipo de solución oxidativa clorurante en la velocidad de lixiviación del oro contenido en el relave aurífero de amalgamación?	Conocer la influencia del tipo de solución oxidativa clorurante en la velocidad de lixiviación que mejora la recuperación del oro del relave aurífero de amalgamación.	El conocimiento de la influencia del tipo de solución oxidativa clorurante mejorará la velocidad de lixiviación del oro contenido en el relave auríferos de amalgamación.	Recuperación del oro, Tipo de solución oxidativa clorurante.	Titulación volumetrica, Análisis Químico ICP, Ensayo al fuego al oro, Absorción atómica.
			Velocidad de lixiviación.	Titulación volumétrica, Medición de pH.
Problema Específico N° 3	Objetivo Específico N° 3	Hipótesis Específica N° 3	NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN
¿Cuáles son las variables optimas que permiten una mejor tasa de recuperación de oro del relave aurífero de amalgamación?	Determinar las variables optimas que permitan una mejor tasa de recuperación del oro del relave aurífero de amalgamación.	La determinación de las variables optimas permitirán una mejor tasa de recuperación de oro del relave aurífero de amalgamación.	Concentración de cloruros	Analisis Químico ICP.
			Tipo de Oxidante.	Analisis químico, Rayos X.

9.2. Análisis de muestra líquida de la lixiviación por FRXED.

Se analizaron por fluorescencia de rayos-X en energía dispersiva (FRXED) seis muestras líquidas proporcionadas por el Laboratorio de Pirometalurgia. Las muestras fueron codificadas de acuerdo a la información proporcionada.

9.3. Arreglo experimental

Se utilizó un espectrómetro de FRXED marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y corriente de 15 A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°. La tasa de conteo, la cual depende de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor 2500 cts/s. Esta técnica permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 eV a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXED poseen tres componentes principales: un componente continuo que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X del componente continuo de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra.

9.4. Resultados cualitativos

Las gráficas muestran los espectros de FRX de cada una de las muestras entregadas, catalogadas como 1R, 2R, 3R, 4R, 5R, 6R. Merece mencionar que todos los espectros

muestran la presencia de argón que es un gas inerte que constituye el 1,2 % del aire que respiramos, y los rayos x dispersados de oro. De manera que los rayos-X primarios y secundarios al atravesar el aire en la vecindad del detector ionizan átomos de argón en el aire, lo cual da lugar a la emisión de sus rayos-X característicos. Así también, se presenta un espectro de agua destilada que muestra, además de los picos de argón y oro, pequeños picos de rayos x característicos de los elementos que contiene los colimadores del equipo (Fe, Cu). Ver Figuras N° 54,55,56,57,58,59 y 60

Figura 54

Espectro de la muestra 1R - presencia de Zn, Pb, Fe, Mn, Au

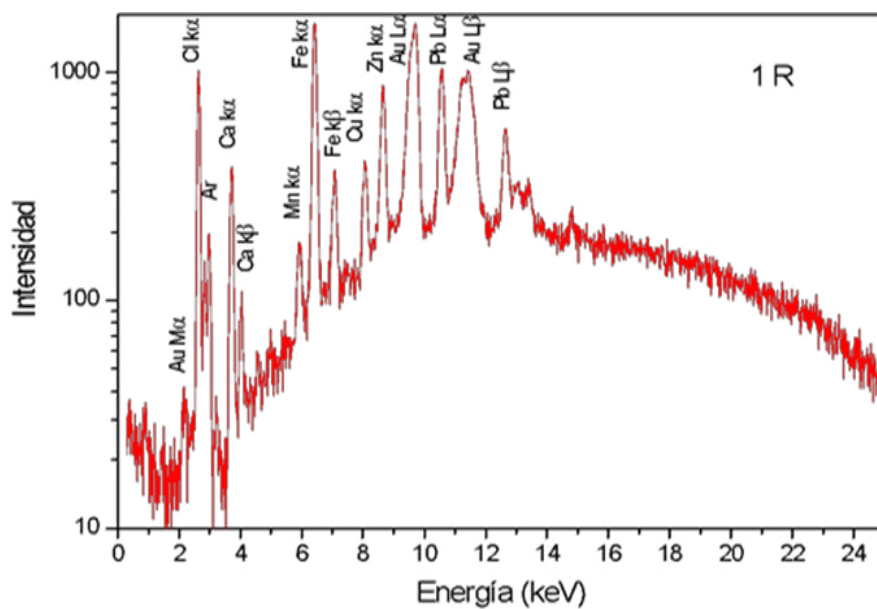


Figura 55

Espectro de la muestra 2R - presencia de Zn, Pb, Fe, Mn, Au

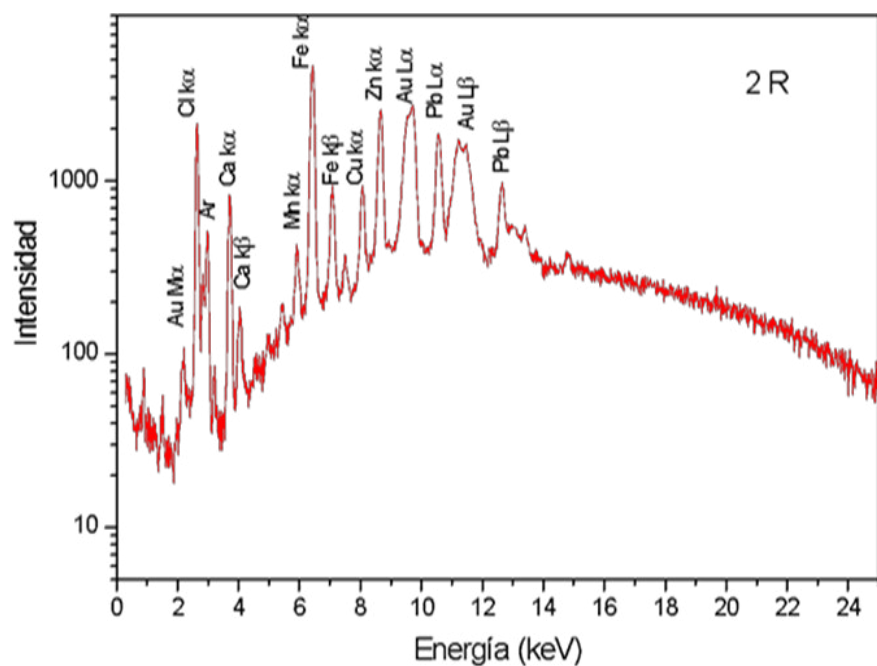


Figura 56

Espectro de la muestra 3R - presencia de Zn, Pb, Fe, Cu, Au.

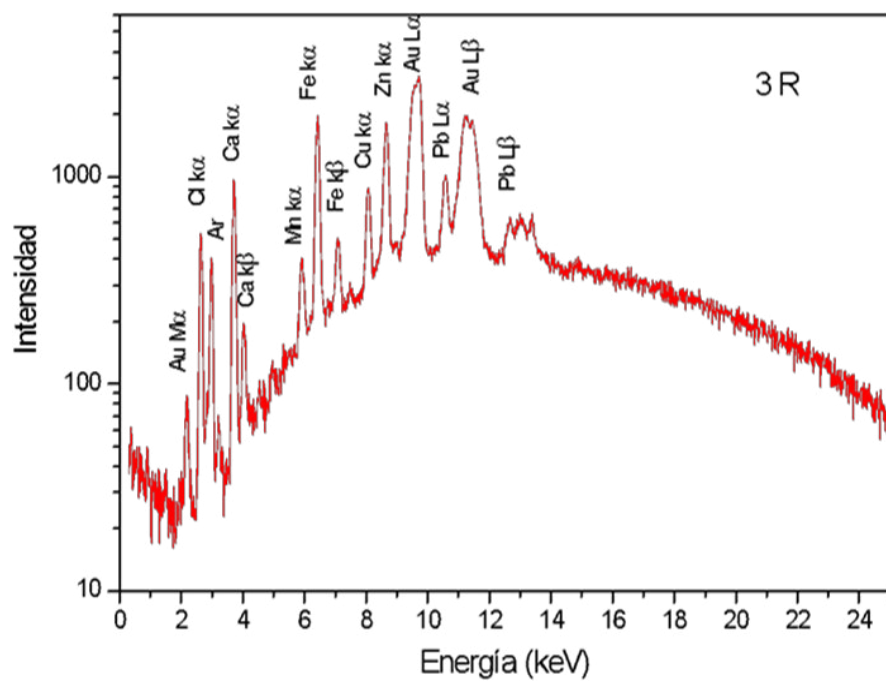


Figura 57

Espectro de la muestra 4R - Zn, Pb, Fe, Cu, Ca, Au

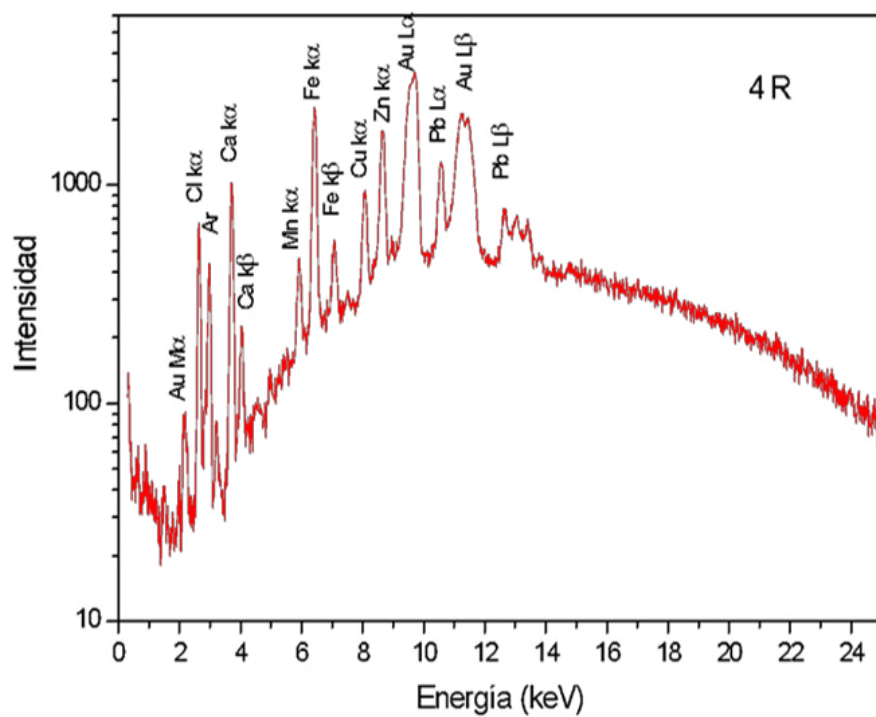


Figura 58

Espectro de la muestra 5R - presencia de Zn, Pb, Fe, Cu, Ca, Cl, Au

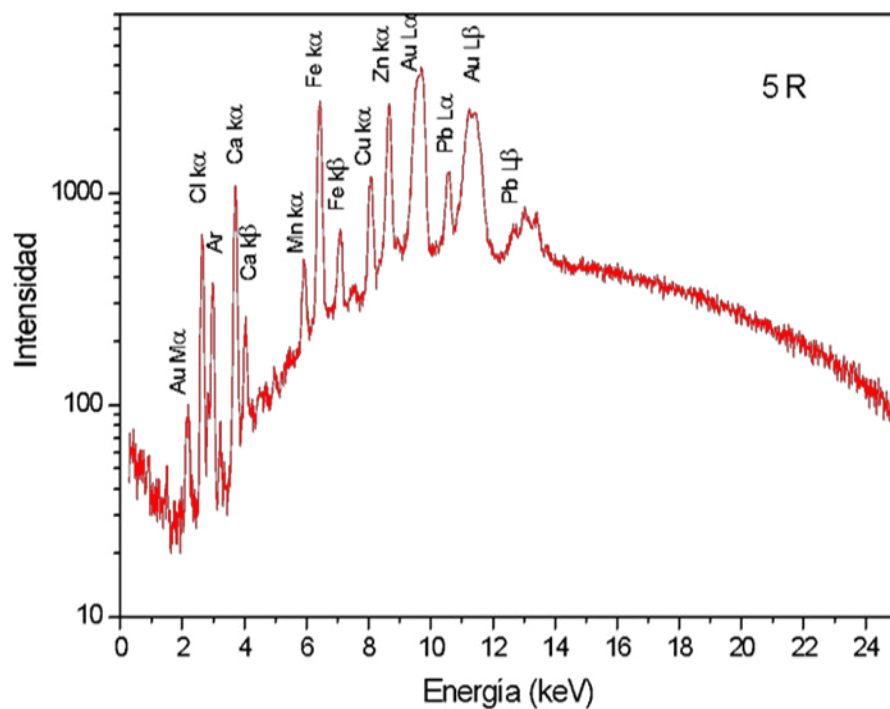


Figura 59

Espectro de la muestra 6R - presencia de Zn, Pb, Fe, Cu, Au

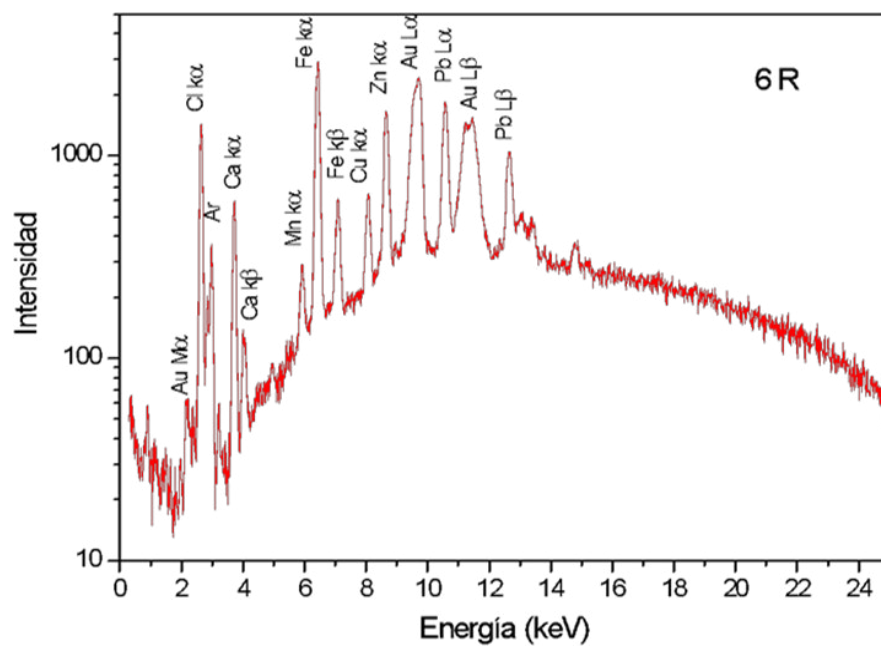
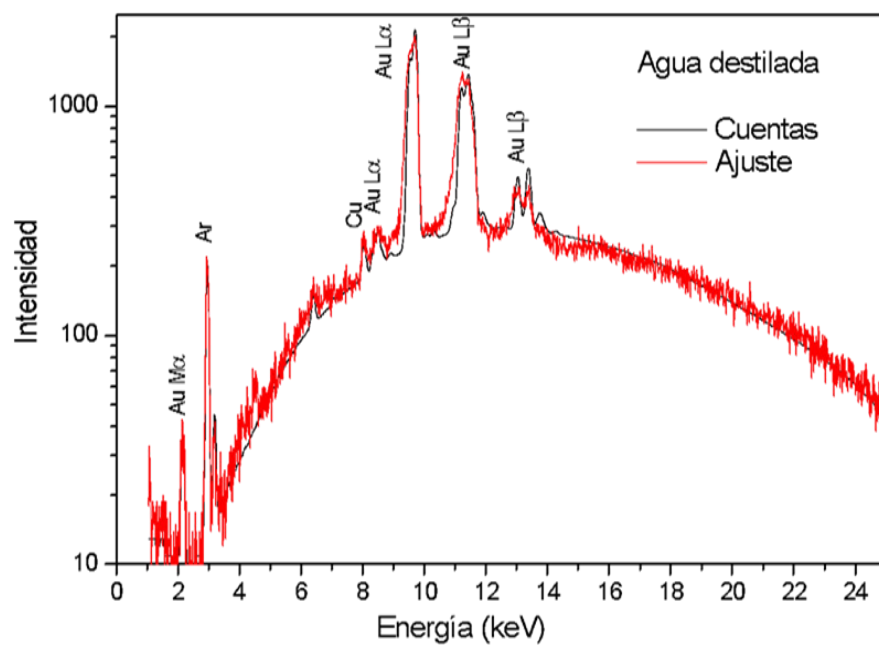


Figura 60

Espectro de la muestra 7R - presencia de Au y Ar





LABORATORIOS S.A.C
DESDE 1999

Análisis químico de minerales, concentrados,
aleaciones, agua, aire.
Control ambiental
Fabricación y venta de reactivos químicos

REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO

Solicitante : UNMSM
Tipo de Muestra : Muestras en solución
Procedencia :
Fecha de Recepción : 13 de Setiembre del 2017
Referencia : H&F 2426-2433/2017

Denominación de muestra:	RESULTADOS DE ANÁLISIS
	Hg ppm
1109-01-A	5.95
1109-02-B	4.91
1109-03-C	2.62
1109-04-D	5.28
1109-05-E	6.62
1209-01-A	3.63
1209-02-B	3.26
1209-04-D	6.65

Lima, 22 de Setiembre del 2017



LABORATORIOS S.A.C
DESDE 1999

Análisis químico de minerales, concentrados,
aleaciones, agua, aire.
Control ambiental
Fabricación y venta de reactivos químicos

REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO

Solicitante : UNMSM
Tipo de Muestra : Muestras líquidas de amalgamación
Procedencia :
Fecha de Recepción : 24 de Agosto del 2017
Referencia : H&F 2186-2191/2017

Denominación de muestra:	RESULTADOS DE ANÁLISIS
	Hg ppm
MUESTRA 1	8
MUESTRA 2	9
MUESTRA 3	11
MUESTRA 4	10
MUESTRA 5	11
MUESTRA 6	11

Lima, 04 de Setiembre del 2017

REPORTE 2017 - 2108

Símbolo de Analito	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi
Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
Símbolo de Unidad	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite Detección	0.2	0.01	3	1	0.5	5
M2 200g	75.6	0.47	7412	205	< 0.5	16

Símbolo de Analito	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
Símbolo de Unidad	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Límite Detección	0.01	1	1	1	0.5	0.01
M2 200g	1.17	92	19	8	1953.8	9.23

Símbolo de Analito	Ga	Hg	K	La	Mg	Mn
Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
Símbolo de Unidad	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm
Límite Detección	10	1	0.01	0.5	0.01	2
M2 200g	< 10	528	0.14	7.4	0.21	684

Símbolo de Analito	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb
Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
Símbolo de Unidad	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm
Límite Detección	1	0.01	1	1	0.01	2
M2 200g	102	0.07	12	9	0.07	> 10000

Símbolo de Analito	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr
Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
Símbolo de Unidad	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite Detección	0.01	5	0.5	10	10	0.5
M2 200g	2.51	643	2.2	< 10	< 10	43.7

REPORTE 2017 - 2108

Símbolo de Analito	Te	Ti	Ti	V	W	Y
Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
Símbolo de Unidad	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite Detección	10	0.01	2	2	10	0.5
M2 200g	< 10	< 0.01	< 2	283	133	12.9

Símbolo de Analito	Zn	Zr
Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
Símbolo de Unidad	ppm	ppm
Límite Detección	0.5	0.5
M2 200g	> 10000.0	< 0.5

H&F LABORATORIOS S.A.C.
SERVICIOS ANALITICOS

ALBINO HUAYTALLA H.
DIRECTOR

INFORME DE ENSAYO

N° 2175-2179/ LAB-17

Cliente : Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Tipo de material : Solución
Cantidad de muestra recibida : 60 ml
Envase : Frasco sellado
Condiciones de la muestra : Buena
Tipo de análisis : Lote
Fecha de recepción : 29/12/2017
Inicio de análisis : 29/12/2017
Termino análisis : 30/12/2017
Orden de Análisis : 2175-2179

RESULTADOS DE LABORATORIO

O/A	Identificación indicada por el cliente	Au
		gr/M3
2175	Muestra 1	0.550
2176	Muestra 2	1.055
2177	Muestra 3	1.490
2178	Muestra 4	1.635
2179	Muestra 5	1.683

MÉTODOS UTILIZADOS

Au, por AA

LIMA 30 DICIEMBRE 2017
Departamento de Calidad
AURICA SAC

Calle Pablo de Olavide 340 Urb. Industrial Pan. Norte - Independencia - Lima 28 - Perú
Teléfono (51-1)522-5690 / 486-8788 E-mail: auricalab@gmail.com

- El resultado de los ensayos corresponden estrictamente a la cantidad de muestra recibida.
- En el caso de cualquier reclamo respecto al presente informe, el cliente deberá comunicarlo dentro de los 30 días después de haberlo recibido.
- Este informe no podrá ser reproducido sin la autorización de AURICA SAC.

INFORME DE ENSAYO

N° 2175-2179/ LAB-17

Cliente : Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Tipo de material : Solución
Cantidad de muestra recibida : 60 ml
Envase : Frasco sellado
Condiciones de la muestra : Buena
Tipo de análisis : Lote
Fecha de recepción : 29/12/2017
Inicio de análisis : 29/12/2017
Termino análisis : 30/12/2017
Orden de Análisis : 2175-2179

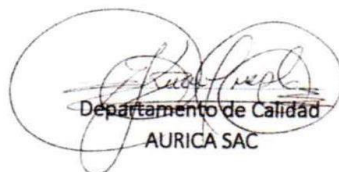
RESULTADOS DE LABORATORIO

O/A	Identificación indicada por el cliente	Au
		gr/M3
2180	Muestra 6	0.470
2181	Muestra 7	1.050
2182	Muestra 8	1.200
2183	Muestra 9	1.520
2184	Muestra 10	1.690

MÉTODOS UTILIZADOS

Au, por AA

LIMA 30 DICIEMBRE 2017



Departamento de Calidad
AURICA SAC

Calle Pablo de Olavide 340 Urb. Industrial Pan. Norte - Independencia - Lima 28 - Perú
Teléfono (51-1)522-5690 / 486-8788 E-mail: auricalab@gmail.com

- El resultado de los ensayos corresponden estrictamente a la cantidad de muestra recibida.
- En el caso de cualquier reclamo respecto al presente informe, el cliente deberá comunicarlo dentro de los 30 días después de haberlo recibido.
- Este informe no podrá ser reproducido sin la autorización de AURICA SAC.

INFORME DE ENSAYO

N° 2175-2179/ LAB-17

Cliente : Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Tipo de material : Solución
Cantidad de muestra recibida : 60 ml
Envase : Frasco sellado
Condiciones de la muestra : Buena
Tipo de análisis : Lote
Fecha de recepción : 29/12/2017
Inicio de análisis : 29/12/2017
Termino análisis : 30/12/2017
Orden de Análisis : 2175-2179

RESULTADOS DE LABORATORIO

O/A	Identificación indicada por el cliente	Au
		gr/M3
2185	Muestra 11	0.440
2186	Muestra 12	0.990
2187	Muestra 13	0.840
2188	Muestra 14	1.440
2189	Muestra 15	1.190

MÉTODOS UTILIZADOS

Au, por AA

LIMA 30 DICIEMBRE 2017
Departamento de Calidad
AURICA SAC

Calle Pablo de Olavide 340 Urb. Industrial Pan. Norte - Independencia - Lima 28 - Perú
Teléfono (51-1)522-5690 / 486-8788 E-mail: auricalab@gmail.com

- El resultado de los ensayos corresponden estrictamente a la cantidad de muestra recibida.
- En el caso de cualquier reclamo respecto al presente informe, el cliente deberá comunicarlo dentro de los 30 días después de haberlo recibido.
- Este informe no podrá ser reproducido sin la autorización de AURICA SAC.

INFORME DE ENSAYO

N° 2175-2179/ LAB-17

Ciente : Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Tipo de material : Solución
Cantidad de muestra recibida : 60 ml
Envase : Frasco sellado
Condiciones de la muestra : Buena
Tipo de análisis : Lote
Fecha de recepción : 29/12/2017
Inicio de análisis : 29/12/2017
Termino análisis : 30/12/2017
Orden de Análisis : 2175-2179

RESULTADOS DE LABORATORIO

O/A	Identificación indicada por el cliente	Au
		gr/M3
2190	Muestra 16	0.360
2191	Muestra 17	0.870
2192	Muestra 18	0.790
2193	Muestra 19	1.250
2194	Muestra 20	0.960

MÉTODOS UTILIZADOS

Au, por AA

LIMA 30 DICIEMBRE 2017
Departamento de Calidad
AURICA SAC

Calle Pablo de Olavide 340 Urb. Industrial Pan. Norte - Independencia - Lima 28 - Perú
Teléfono (51-1)522-5690 / 486-8788 E-mail: auricalab@gmail.com

- El resultado de los ensayos corresponden estrictamente a la cantidad de muestra recibida.
- En el caso de cualquier reclamo respecto al presente informe, el cliente deberá comunicarlo dentro de los 30 días después de haberlo recibido.
- Este informe no podrá ser reproducido sin la autorización de AURICA SAC.