



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LIXIVIACIÓN DE ORO EN
ENSAYOS A ESCALA LABORATORIO BAJO DIFERENTES
ESCENARIOS DE CONCENTRACIÓN DE GOLD DRESSING
AGENT (GDA) Y CIANURO DE SODIO REALIZADO EN EL
INSTITUTO DE MINERALES CIMEX Y LA ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

AUTOR:

FERNANDO JOSÉ JIMÉNEZ MORALES

Macas – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LIXIVIACIÓN DE ORO EN
ENSAYOS A ESCALA LABORATORIO BAJO DIFERENTES
ESCENARIOS DE CONCENTRACIÓN DE GOLD DRESSING
AGENT (GDA) Y CIANURO DE SODIO REALIZADO EN EL
INSTITUTO DE MINERALES CIMEX Y LA ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

AUTOR: FERNANDO JOSÉ JIMÉNEZ MORALES

DIRECTOR: ING. JOSUÉ DAVID GONZÁLEZ CORONEL, MSc.

Macas – Ecuador

2024

© 2024, Fernando José Jiménez Morales

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Yo, Fernando José Jiménez Morales, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.


Macas, 27 de mayo de 2024



Fernando José Jiménez Morales
145012479-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **ESTUDIO COMPARATIVO DE LIXIVIACIÓN DE ORO EN ENSAYOS A ESCALA LABORATORIO BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE CONCENTRACIÓN DE GOLD DRESSING AGENT (GDA) Y CIANURO DE SODIO REALIZADO EN EL INSTITUTO DE MINERALES CIMEX Y LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**, realizado por el señor: **FERNANDO JOSÉ JIMÉNEZ MORALES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. MSc. Marco Antonio Mejía Flores PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-05-27
Ing. MSc. Josué David González Coronel DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-27
Dr. Carlos Santiago Curay Yaulema ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-27

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi abuelo Fernando Alberto Jiménez Cuervo quien fue siempre un apoyo en mi carrera universitaria y a mis 6 gatos que siempre me dieron momentos de felicidad aun cuando las cosas eran complicadas.

Fernando

AGRADECIMIENTO

Expreso mis sinceros agradecimientos al Instituto de Minerales CIMEX, dirigido por el profesor Oswaldo Bustamante Rúa, por abrirme las puertas y permitirme ampliar mis conocimientos, los cuales me ayudaron a realizar este trabajo. Asimismo, agradezco al cuerpo técnico del instituto: Gali, Ever, Tania, Libertad y Julieth, quienes fueron un apoyo y mentores durante el trabajo. También quiero agradecer a tres grandes amigas: María Isabel Agudelo, con quien compartí la mayor parte de mi tiempo en el laboratorio durante mi estancia; a Yessica Botero, una persona muy inteligente que se convirtió en mi profesora de metalurgia en Colombia; y a una compatriota Gabriela Contreras, quien además de ser una gran profesional, demostró ser una gran amiga. Quiero expresar mi gratitud al proyecto de Investigación PBMINE y a su cuerpo de docentes por permitirme realizar este trabajo de tesis y proporcionarme los recursos y conocimientos necesarios para alcanzar los objetivos. Agradezco a María José Sánchez, una gran amiga que hice durante la carrera y que se convirtió en un apoyo fundamental para llegar hasta esta instancia, así como a María Emilia Torres, por acompañarme en la travesía de Colombia y a todos mis amigos con quienes compartí recuerdos inolvidables. Quiero agradecer especialmente a Juan Pablo Cedillo, quien fue un gran docente que me inculcó la pasión por la metalurgia y quien fue el puente para que yo realizara mis prácticas en Colombia y, simultáneamente, el trabajo de tesis. Finalmente, agradezco a una gran persona que, además de haber sido mi profesor, se convirtió en un gran amigo y siempre me mostró su apoyo incondicional. Sin su ayuda, no habría podido realizar este trabajo en primera instancia. A Christian Adrián Ordoñez Guaycha, gracias por estar siempre pendiente de mí.

Fernando

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos	5
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	5
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	5
1.5 Generalidades	6
CAPÍTULO II	7
2 REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1 El proceso de lixiviación	7
2.2 Tipos de lixiviación.....	7
2.2.1 <i>Lixiviación según el método usado</i>	7
2.2.1.1 <i>Lixiviación En Lechos Fijos</i>	8
2.2.1.2 <i>Lixiviación De Pulpas</i>	9
2.3 Análisis breve de la cianuración	9

2.3.1	Historia del cianuro.	9
2.3.2	Cianuración convencional.	10
2.3.2.1	Control Del Cianuro.	11
2.3.2.1.1	Método De Valoración Química Para Cianuro Libre	11
2.3.3	Complejos del cianuro de sodio.	12
2.3.4	Comportamiento de los minerales en la cianuración.	12
2.4	Métodos alternativos a la cianuración.	15
2.4.1	Derivados del cianuro y familia de solventes sulfurados.	15
2.4.1.1	Cianato (OCN ⁻).	16
2.4.1.2	Tiosulfato (S ₂ O ₃ ²⁻).	16
2.4.1.3	Tiocianato (SCN ⁻).	17
2.4.1.4	Amoniaco (NH ₃).	17
2.4.1.5	Tiourea (CS(NH ₂) ₂).	18
2.4.2	Haluros.	18
2.4.2.1	Cloración.	18
2.4.2.2	Yodo y Bromo.	19
2.5	Gold Dressing Agent (GDA).	20
2.5.1	Impacto en el ambiente y la salud.	20
2.5.1.1	Información De Seguridad.	21
2.5.1.2	Información Toxicológica.	23
2.5.1.3	Mecanismo de Disolución.	23
2.5.1.4	Antecedentes del GDA a nivel Industrial para Un Proceso De Lixiviación Por Agitación.	24
2.6	Aplicaciones industriales del GDA	25
2.6.1	Condado de Bak-ou en Laos.	25
2.6.2	Empresa Minera “Hui Tonw Hongyuan Mining Limited Liabili Company”.	28
2.6.3	Empresa minera Comincobos S. A.	30
2.7	Modelo de investigación propuesto para la investigación de información.	31
2.7.1	Curva en S vigilancia tecnológica.	32
2.7.1.1	Etapas De La Curva En S	32

CAPITULO III..... 34

3	MARCO METODOLÓGICO.	34
3.1	Equipos utilizados.	34
3.2	Materiales usados.	37
3.3	Metodología de trabajo.	38
3.3.1	Estudio cuantitativo de la información acerca del GDA.	40
3.3.2	Caracterización de las muestras estudiadas.	41
3.3.2.1	Elemental.	41
3.3.2.2	Estimación de densidad de la roca.	42
3.3.2.3	Análisis químico.	43
3.3.3	Ensayo de lixiviación.	43
3.3.3.1	Parámetros operacionales para el proceso de lixiviación.	44
3.3.3.2	Caracterización de la pulpa mineral.	44
3.3.3.3	Balance Metalúrgico.	45
3.3.3.4	Parámetros operacionales.	46
3.3.3.5	Control de Reactivo libre.	46
3.3.3.5.1	Control de cianuro.	47
3.3.3.5.2	Control de GDA.	48

CAPITULO IV	51
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
4.1 Producción científica de las tecnologías del GDA	51
4.1.1 Estudio del GDA por fluorescencia de rayos X.....	53
4.1.1.1 Composición y mecanismo de lixiviación del GDA encontrados por VT	54
4.2 Caracterización mineral	54
4.2.1 Composición mineral y mineralógica de las muestras.....	54
4.2.2 Estimación de la densidad de las muestras.	63
4.2.3 Determinación de oro en las muestras.	64
4.3 Ensayos de lixiviación	64
4.3.1 Parámetros operativos.....	64
4.3.2 Resultados de las lixivaciones con GDA y NaCN.	65
4.3.2.1 Recuperación metalúrgica de oro.	65
4.3.2.2 Consumo total de reactivo.....	69
4.3.2.3 Replica de los mejores resultados obtenidos con las lixivaciones.	73
4.3.3 Cinética de extracción y consumo de reactivo en las lixivaciones con mejores recuperaciones auríferas.	75
4.3.4 Influencia de los cianicidas en el proceso de lixiviación.....	80
4.3.5 Costo de aplicación por tonelada de mineral.	81
CAPITULO V.....	84
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Métodos analíticos normalizados y métodos empleados en el análisis de las diferentes especies de compuestos cianurados	11
Tabla 2-2: Análisis Elemental de la Roca estudiada	26
Tabla 2-3: Resultados de las pruebas Comparativas	27
Tabla 2-4: Resultados de la solución rica y de los relaves de GDA	27
Tabla 2-5: Comparativa de Costos entre uso de GDA y NaCN	28
Tabla 2-6: Resultados del Primer grupo.....	29
Tabla 2-7: Resultados de las pruebas del segundo Grupo.....	29
Tabla 2-8: Resultados de las pruebas del tercer Grupo	29
Tabla 2-9: Resultados para el cuarto Grupo.....	29
Tabla 3-1: Materiales y reactivos de laboratorio usados.....	37
Tabla 3-2: Investigación del Lixivante de Oro mediante VT.....	40
Tabla 3-3: Fórmulas para la determinación de densidad por picnometría	42
Tabla 3-4: Fórmulas para la caracterización de la pulpa.....	45
Tabla 3-5: Ecuaciones para el balance metalúrgico	45
Tabla 3-6: Fórmulas para el control del reactivo en el proceso de lixiviación	47
Tabla 4-1: Resultado de FRX para el GDA	53
Tabla 4-2: Resultados de los elementos minerales estudiados de las muestras para los procesos de Fluorescencia de Rayos X.....	55
Tabla 4-3: Cuantificación Mineral CPE.....	58
Tabla 4-4: Cuantificación mineral CHN	59
Tabla 4-5: Cuantificación mineral NM OX	60
Tabla 4-6: Cuantificación Mineral NM Fr	61
Tabla 4-7: Resumen de las características geológicas de las muestras estudiadas	63
Tabla 4-8: Cálculo de la densidad de las muestras.....	63
Tabla 4-9: Leyes de oro de las muestras.	64
Tabla 4-10: Caracterización de la pulpa mineral	65
Tabla 4-11: Recuperaciones de Au obtenidas mediante lixiviación con NaCN.....	65
Tabla 4-12: Recuperaciones de Au en lixiviaciones con GDA.....	65
Tabla 4-13: Comparativa entre los mejores resultados obtenidos en las lixiviaciones	73
Tabla 4-14: Costos de Productos	82
Tabla 4-15: Parámetros variables obtenidos de las experimentaciones	82
Tabla 4-16: Cálculo de beneficio o pérdida del proceso	82

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1:	Tanques de cianuración por (a) agitación mecánica y (b) agitación neumática	9
Gráfico 2-2:	Cianuración y métodos alternativos a su uso.....	15
Gráfico 2-3:	Caracterización por FRX de la muestra presentada en ppm.....	31
Gráfico 2-4:	Modelo de Difusión de las tecnologías, Curva en S.....	33
Gráfico 3-1:	Molino de Barras de instituto de minerales CIMEX	34
Gráfico 3-2:	Banco de Agitación de Instituto de Minerales CIMEX.....	34
Gráfico 3-3:	Equipo de Fluorescencia de Rayos X del instituto de minerales CIMEX	35
Gráfico 3-4:	Espectrofotómetro de absorción atómica del instituto de minerales CIMEX.....	36
Gráfico 3-5:	Propuesta metodológica de trabajo.....	38
Gráfico 3-6:	Modelo de investigación para identificar el estado actual de las tecnologías	41
Gráfico 3-7:	Procesamiento de muestras para análisis químico.....	43
Gráfico 3-8:	Flujograma para el proceso experimental de Lixiviación.....	44
Gráfico 3-9:	Cambio de coloración de la solución con tiocianato y Rodamina B	50
Gráfico 3-10:	Reacción de Valoración química a) antes de la reacción con el AgNO_3 b) después de la reacción.....	50
Gráfico 4-1:	Actualidad científica de las patentes registradas del GDA a) estado de patentes, b) evolución tecnológica.....	52
Gráfico 4-2:	Resultados del FRX para el GDA.....	53
Gráfico 4-3:	Espectro de FRX de la muestra D094-1: Camilo Ponce E.	56
Gráfico 4-4:	Espectro de FRX de la muestra D094-2: Chinapintza.....	56
Gráfico 4-5:	Espectro de FRX de la muestra D094-3: Nambija Oxidada.....	57
Gráfico 4-6:	Espectro de FRX de la muestra D094-4: Nambija Fresca.....	57
Gráfico 4-7:	Difractograma de la muestra D094-1: Camilo Ponce E	58
Gráfico 4-8:	Difractograma de la muestra D094-2: Chinapintza.....	59
Gráfico 4-9:	Difractograma de la muestra D094-3: Nambija Oxidada.....	60
Gráfico 4-10:	Difractograma de la muestra D094-4; Nambija Fresca	61
Gráfico 4-11:	Recuperaciones de Au en Lixivaciones a) NaCN b) GDA.....	67
Gráfico 4-12:	Mejores Recuperaciones con GDA y NaCN en diferentes escenarios de concentraciones.	68
Gráfico 4-13:	Cinética de Consumo de reactivo en la muestra de Camilo Ponce E a) NaCN b) GDA	69
Gráfico 4-14:	Cinética de Consumo de reactivo en la muestra de Chinapintza a) NaCN b) GDA	70
Gráfico 4-15:	Cinética de Consumo de reactivo en la muestra de Nambija Oxidada a) NaCN b) GDA	70
Gráfico 4-16:	Cinética de Consumo de reactivo en la muestra de Nambija Oxidada a) NaCN b) GDA	71
Gráfico 4-17:	Consumo final de reactivo después de las lixivaciones.....	72
Gráfico 4-18:	Comparativa de recuperaciones de Au obtenidos en lixivaciones CIMEX y ESPOCH.....	74
Gráfico 4-19:	Comparativa del reactivo total consumido en las lixivaciones.....	74
Gráfico 4-20:	Cinética de lixiviación y Consumo muestra Camilo Ponce E a) NaCN b) GDA ...	75
Gráfico 4-21:	Cinética de lixiviación y Consumo muestra Chinapintza a) NaCN b) GDA.....	76
Gráfico 4-22:	Cinética de lixiviación y Consumo muestra Nambija Oxidada a) NaCN b) GDA.	78
Gráfico 4-23:	Cinética de lixiviación y Consumo muestra Nambija Fresca a) NaCN b) GDA....	79
Gráfico 4-24:	Relación entre elementos cianicidas y tasa de lixiviación.....	80
Gráfico 4-25:	Resumen de beneficio de aplicación del producto	83

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** RESULTADOS DE LECTURAS DE ABSORCIÓN ATÓMICA ALBEXXUS
- ANEXO B:** EVIDENCIAS DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE LABORATORIO.
- ANEXO C** BALANCES METALÚRGICOS DE LAS LIXIVIACIONES
- ANEXO D** CONTROLES DE REACTIVO
- ANEXO E** RECONSTRUCCIÓN DE LA CINÉTICA DE EXTRACCIÓN DE LAS LIXIVIACIONES CON MEJORES RESULTADOS.
- ANEXO F** LECTURAS DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DEL INSTITUTO DE MINERALES CIMEX

RESUMEN

El incremento de las operaciones metalúrgicas en la industria aurífera ha convertido el uso del cianuro en una opción de extracción poco sostenible a largo plazo debido a sus problemáticas ambientales. El objetivo de esta investigación fue comparar el Cianuro de Sodio (NaCN) con un nuevo agente lixivante, “*Gold Dressing Agent*” (GDA), evaluando sus ventajas y desventajas como posible sustituto de la cianuración tradicional. La metodología se desarrolló utilizando un enfoque cualitativo y experimental, en donde se analizó la información disponible sobre el GDA, además se realizó la caracterización de las muestras con las que se trabajó, ensayos de lixiviación a escala laboratorio y un estudio económico comparando costos de ambos reactivos. Se determinó que el GDA carece de información precisa sobre su aplicación en lixiviación aurífera y que las muestras analizadas, debido a su alta cantidad de minerales cianicidas, no son aptas para cianuración. Los ensayos mostraron que el cianuro logra tasas de recuperación de hasta el 70% con concentraciones inferiores a 2000 ppm y bajo consumo de reactivo, mientras que el GDA alcanzó hasta el 80% de lixiviación a 5000 ppm con un consumo de reactivo mayor. Se concluyó que el GDA es más seguro de trabajar en lixivaciones que el Cianuro además de poder llegar a obtener tasas de recuperaciones auríferas más altas que el cianuro aumentando las concentraciones del sistema a pesar de consumir en mayor proporción el reactivo, finalmente la comparativa económica demostró que el GDA puede demostrar mayor beneficio económico que el cianuro sumado a sus ventajas ambientales y de seguridad para el personal.

Palabras clave: <GOLD DRESSING AGENT >, <CIANURACIÓN AURÍFERA >, <LIXIVIACIÓN ALCALINA>, < HIDROMETALURGIA DE ORO>, <LIXIVIACIÓN AURÍFERA>

0912-DBRA-UPT-2024

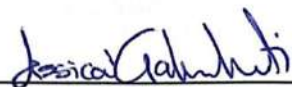


ABSTRACT

The increase of metallurgical operations in the gold industry has made the use of cyanide an unsustainable extraction option in the long term due to the environmental problems. This research aimed to compare sodium cyanide (NaCN) with a new leaching agent, *Gold Dressing Agent* (GDA), evaluating its advantages and disadvantages as a possible substitute for traditional cyanidation. It was applied a qualitative and experimental approach; the available information on GDA was analyzed, in addition to the characterization of the samples used, leaching tests at laboratory scale and an economic study comparing the costs of both reagents. It was determined that GDA lacks precise information on its application in gold leaching and that the samples analyzed, due to their high amount of cyanide minerals, are not suitable for cyanidation. The tests showed that cyanide achieves recovery rates of up to 70% with concentrations below 2000 ppm and low reagent consumption, while GDA achieved up to 80% leaching at 5000 ppm with higher reagent consumption.

In conclusion It was determined that GDA is safer to work with in leaching than cyanide, and also to being able to obtain higher gold recovery rates than cyanide by increasing the concentrations of the system despite consuming a higher proportion of the reagent. Finally, the economic comparison showed that GDA can demonstrate greater economic benefit than cyanide, in addition to its environmental and safety advantages for personnel.

Keywords: <GOLD DRESSING AGENT >, <GOLD CYANIDATION>, <ALKALINE LEACHING>, <HYDROMETALLURGICAL GOLD RECOVERY PROCESS>, <GOLD LEACHING>



Lic. Jessica Galimberti Mg.

CI 1756468482

INTRODUCCIÓN

El uso del cianuro en la extracción de oro se ha destacado como un método hidrometalúrgico eficiente y comúnmente empleado a nivel industrial. Desde su introducción por MacArthur y Forrester en 1887, este método ha sido adoptado extensamente en la industria metalúrgica, ha sido utilizado en operaciones de minería en pequeña y gran escala. Su simplicidad y capacidad elevada en la extracción de metales como oro plata lo convierten en un componente indispensable para extraer estos metales de manera efectiva.

A pesar de sus beneficios para la industria, el cianuro es conocido por ser altamente tóxico tanto para las personas como para el medio ambiente. El mal uso del cianuro puede dar paso a la generación de ácido cianhídrico el cual es altamente tóxico y volatilizable en el aire. Después de su uso en procesos metalúrgicos, el agua de descarte del proceso suele contener complejos que son difíciles de tratar como el cianuro de cobre. Una mala gestión ambiental puede desencadenar contaminación ambiental de difícil remediación como por ejemplo bioacumulación de cianuro en plantas, degradación de la fauna entre otros.

En Ecuador, donde predomina la minería artesanal y de pequeña escala, el cianuro se utiliza comúnmente en procesos de lixiviación mediante agitación para la extracción de oro. Sin embargo, el uso del cianuro ha generado un intenso debate, especialmente entre que se oponen a esta práctica a nivel nacional e internacional.

La Unión Europea en la resolución del parlamento Europeo P7_TA(2010)0145 menciona que: En el año 2010, se declaró el Año Internacional de la Biodiversidad, destacando la importancia de la preservación de los ecosistemas naturales. En este contexto, el cianuro ha sido reconocido como un compuesto altamente tóxico para el medio ambiente, lo que subraya la relevancia de prohibir el uso de tecnologías basadas en cianuro, especialmente en la industria metalúrgica, como medida de salvaguardia ambiental (Unión Europea, 2010).

Tomando como precedente los ideales pro-naturaleza de la UE, Ecuador, un país con abundante biodiversidad y ecosistemas sensibles, está en proceso de desarrollar su industria minera para reducir su dependencia del petróleo. En este contexto, se busca encontrar alternativas más sostenibles con el medio ambiente que reemplacen el uso del cianuro.

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la eficacia del agente lixivante GDA a escala de laboratorio en diferentes condiciones de concentración de reactivo disuelto, y comparar sus resultados con el proceso de cianuración. Esta investigación busca establecer un punto de referencia inicial para evaluar la viabilidad del uso del GDA como un potencial sustituto del cianuro convencional en los procesos de concentración de oro en Ecuador

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La actividad minera ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo industrial, contribuyendo significativamente al progreso tanto social como económico. Esta contribución se efectúa a través de la extracción de minerales de gran valor, los cuales son fundamentales para diversas industrias y sectores. A lo largo del tiempo, los métodos de concentración mineral han evolucionado y sido refinados de manera considerable desde su introducción en la industria. Las distintas técnicas de concentración mineral han sido objeto de extensos estudios, y en la actualidad se cuenta con un conocimiento amplio sobre las mismas. Como resultado de estas investigaciones, algunas técnicas han caído en desuso debido a su baja eficacia y a los efectos adversos que pueden tener sobre el medio ambiente. Por otro lado, existen otras técnicas que son ampliamente utilizadas en la industria debido a su eficacia comprobada y otros aspectos positivos.

Inicialmente en el ámbito de la concentración de minerales, un método actualmente prohibido en Ecuador, pero aun en uso es la concentración por amalgamación con mercurio. Este método utilizado desde tiempos romanos representó un gran avance para la metalurgia en su momento. Sin embargo, con el tiempo se ha descartado y prohibido en muchos países debido a su alta toxicidad para el medio ambiente y las personas.

En referencia a este tema, Blesa & Castro (2015) señalan: en el año 2006, la actividad de minería artesanal resultó en la emisión de aproximadamente 200-250 toneladas de mercurio en China, 100-150 toneladas en Indonesia y, en el rango de 10 a 30 toneladas cada uno, en Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Filipinas, Ghana, Tanzania, Venezuela y Zimbabue, según datos de UNEP. En búsqueda de un método más amigable se incorporó el cianuro de sodio para extraer oro, un proceso novedoso que a comparación con el mercurio es menos tóxico. Pero con el paso del tiempo se encontró que el cianuro también evidencia desventajas, como uso de recursos hídricos, contaminación al ambiente y generación de vapores tóxicos ha provocado que colectivos activistas a favor del medio ambiente generen un gran debate acerca de si los gobiernos deben seguir permitiendo su uso en la minería.

La creciente demanda de minerales ha permitido que la industria minera experimente un crecimiento constante, lo que plantea un desafío significativo al considerar la prohibición de uno de los métodos más utilizados para la extracción de estos como lo es la cianuración. Según el informe de la World Gold Council (WGC), en el año 2022, la producción mundial de oro alcanzó las 3100 toneladas, con China como el principal productor. En el caso de Ecuador, se extrajeron 22.8 toneladas de oro, lo que, junto con la extracción de otros metales preciosos, representa aproximadamente el 4% del Producto Interno Bruto (PIB) del país.

A pesar de sus ventajas en comparación con otros procesos, como la amalgamación, el uso del cianuro presenta diversas desventajas mencionadas previamente. Estos aspectos han sido motivo de controversia entre grupos ambientalistas, como Greenpeace, que desde el año 2003 abogan por la prohibición del uso del cianuro en la minería, argumentando que los efectos nocivos de su empleo superan a los posibles beneficios. De igual forma se imparten conferencias como la de la Dra. Silvia Gonzales y la Lcda. Martha Sahores de la Universidad Nacional de la Patagonia en la cual exponen todos los efectos nocivos del uso del cianuro y su persistencia negativa a largo plazo.

1.2 Planteamiento del problema

El uso del cianuro de sodio en minería acapara la atención tanto de gente conocedora del tema como de las que no están familiarizadas con él, su aplicación para recuperar oro muestra una alta eficacia como selectividad para lixiviar este mineral, pero la preocupación por reducir la contaminación ambiental que causa el uso del mismo, incita a la investigación de otros métodos que sean capaces de sustituir al uso del cianuro de sodio que sean igual de capaces de concentrar oro por lixiviación adicionando un menor impacto ambiental.

Por lo tanto, el presente trabajo propone realizar una comparación detallada entre el cianuro de sodio, ampliamente utilizado en la industria minera, y un nuevo agente alternativo que se considera más amigable con el medio ambiente. Con la finalidad de proponer alternativas sostenibles al uso del cianuro.

Por ello es prudente realizar el cuestionamiento, ¿Existen nuevos componentes químicos capaces de poder lixiviar oro con valores similares de concentración mineral que las que se pueden obtener con el cianuro de sodio y que sean amigables con el medio ambiente?

1.3 Justificación

La propuesta de nuevos métodos alternativos al uso del cianuro surge de la creciente percepción de que las desventajas asociadas con este reactivo superan sus beneficios. Este sentimiento se ve respaldado por movimientos que abogan por la prohibición de su uso en la industria minera. Aunque el cianuro de sodio es fundamental para los procesos de lixiviación en la minería aurífera, es necesario buscar otros reactivos que puedan llevar a cabo la lixiviación de manera eficaz, pero con la ventaja adicional de ser menos tóxicos.

En base a esta problemática y en concordancia a las preocupaciones por el uso del cianuro de sodio en la minería es que hace aproximadamente 10 años la empresa China Jinchuan Environmental como muchas otras presentan el GDA por sus siglas *Gold Dressing Agent* como sustituto directo al cianuro convencional.

En 2016, Guangxi Senhe High Technology introdujo su producto al cual llamaron “*GOLD DRESSING AGENT*” (GDA), como una alternativa revolucionaria a la extracción tradicional de oro mediante cianuración. Mencionan: El aumento de la demanda global de oro y las preocupaciones ambientales relacionadas con la cianuración, el GDA se propone como un sustituto directo del cianuro de sodio. Tras años de inversión en investigación y desarrollo desde 2010, la empresa afirmó que el GDA ofrecía una lixiviación más eficiente que la cianuración, reduciendo significativamente los impactos ambientales asociados. Además de baja toxicidad, mayor facilidad de transporte y almacenamiento, con un precio más accesible, lo que lo posicionaba como una alternativa prometedora en la extracción de oro. La empresa afirma contar con todos los permisos ambientales necesarios de la agencia China de regulación ambiental.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Efectuar un estudio comparativo de los procesos de lixiviación de oro utilizando *Gold Dressing Agent* y Cianuro de Sodio, bajo diferentes escenarios de concentración de reactivo en solución.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer un análisis cuantitativo de la producción científica actual sobre el empleo del *Gold Dressing Agent* (GDA) como reactivo en procesos de lixiviación de oro.
- Realizar caracterización mineralógica de las muestras destinadas a los ensayos de lixiviación a escala laboratorio mediante el uso de técnicas analíticas.
- Analizar los resultados experimentales del proceso de lixiviación y llevar a cabo una comparación entre los resultados obtenidos con los agentes lixiviantes *Gold Dressing Agent* (GDA) y cianuro de sodio (NaCN).

1.5 Generalidades

En el presente trabajo técnico, se llevarán a cabo una serie de experimentos siguiendo parámetros operativos establecidos en la bibliografía. Manteniendo constantes las condiciones operativas, se variará únicamente la cantidad del reactivo GDA para comparar su efectividad con el proceso tradicional de cianuración. Estas investigaciones se desarrollarán en el Instituto de Minerales CIMEX y la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

CAPÍTULO II

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 El proceso de lixiviación

Uno de los métodos metalúrgicos comúnmente empleados para extraer minerales valiosos de las menas es la lixiviación, un proceso en el cual el metal reacciona en un medio acuoso, ya sea ácido o básico, capaz de disolver el metal de interés, como el oro. Aunque el oro no se oxida fácilmente y es insoluble en ácidos comunes como el sulfúrico, nítrico o clorhídrico, puede disolverse en soluciones ácidas que contienen iones de cloro o bromo, así como en "agua regia". También puede disolverse en soluciones de tiocianato, tiourea, tiosulfato, y en medios alcalinos mediante el uso de cianuro de sodio. Este último es ampliamente empleado en la industria debido a su alta capacidad para disolver oro (Apablaza et al., 2010)

2.2 Tipos de lixiviación

Según Apablaza et al., (2010), la viabilidad de emplear la lixiviación como método metalúrgico para un proceso de concentración depende de un estudio exhaustivo del mineral en cuestión, que abarca desde la caracterización mineralógica del yacimiento hasta el comportamiento metalúrgico del mineral, ya sea mena o relave, así como los costos y la inversión de capital necesarios para la infraestructura requerida. La selección de las técnicas de operación para la lixiviación debe basarse en un análisis detallado del proyecto que tome en cuenta factores tanto técnicos como económicos, incluyendo la ley de la especie, las reservas minerales, la capacidad de procesamiento, los costos de operación y de capital, y la rentabilidad económica del proyecto.

A partir del análisis de los factores mencionados previamente, se puede elegir la técnica más rentable. Si la metodología de extracción es mediante lixiviación entre las opciones disponibles se encuentran:

2.2.1 Lixiviación según el método usado.

Lechos fijos:

- In situ o in place.
- En botaderos.
- En pilas.
- En bateas.

Lixiviación de pulpas:

- Por agitación, a presión y temperatura ambiente.

2.2.1.1 Lixiviación En Lechos Fijos.

In Situ O In Place: La lixiviación in situ es una técnica de extracción de sustancias valiosas sin remover la roca. La solución lixivante se introduce en el yacimiento por gravedad o a presión, recuperándose en la superficie para procesarla y obtener el metal valioso. Aunque presenta bajos costos operativos, existe un riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas, y el éxito requiere un enfoque sistémico que integre diversos aspectos operativos (Liberona Díaz, 2013).

En Botaderos: La lixiviación en botaderos implica el tratamiento de roca de explotaciones a tajo abierto con bajas leyes, depositándolos en superficies poco permeables para permitir que las soluciones percolen por gravedad. Aunque es una opción económica y de baja inversión, la recuperación de metal es limitada y el proceso puede llevar mucho tiempo (Coila, 2012).

En Pilas: La lixiviación en pilas se basa en la percolación de una solución lixivante a través de un mineral triturado y apilado sobre un terreno impermeabilizado. Esta técnica se aplica principalmente a minerales de alta ley debido a los costos asociados con la operación y transporte (Coila, 2012).

En Bateas: La lixiviación en bateas implica el uso de estructuras de hormigón para depositar mineral triturado, facilitando su dilución al cubrirlo con soluciones de lixiviación. Estas bateas, conectadas en serie, permiten la circulación ascendente o descendente de la solución a través de un fondo falso de madera con una tela filtrante. Este método dinámico, adecuado para minerales de rápida cinética de disolución, acelera el proceso, con ciclos de lixiviación de 6 a 12 días (Cárdenas et al., 2011).

2.2.1.2 Lixiviación De Pulpas.

Por Agitación.

Este tipo de lixiviación es la más comúnmente usada, según Mas, Aguirre y Amaya, (2005) sirve para la recuperación de mineral aurífero en soluciones alcalinas, se usa comúnmente como agente lixivante el cianuro de sodio. Este proceso requiere ciertas características granulométricas del mineral para poder adherirse al mineral con mayor facilidad, a diferencia de los procesos de lixiviación en lechos fijos se requiere que el mineral tenga una granulometría fina que deje la mayor parte de oro expuesto para ser acomplejado con el ion cianuro para este ejemplo, este proceso arroja dos corrientes una de sólidos empobrecidos de mineral conocido como colas (T) y otra de una solución rica conocida como concentrado (C). estas dos corrientes son separadas y enviadas a diferentes locaciones el concentrado sigue un proceso de adsorción por carbón en pulpa o precipitación con zinc para posteriormente recuperar el mineral de interés y las colas van a las relaveras.

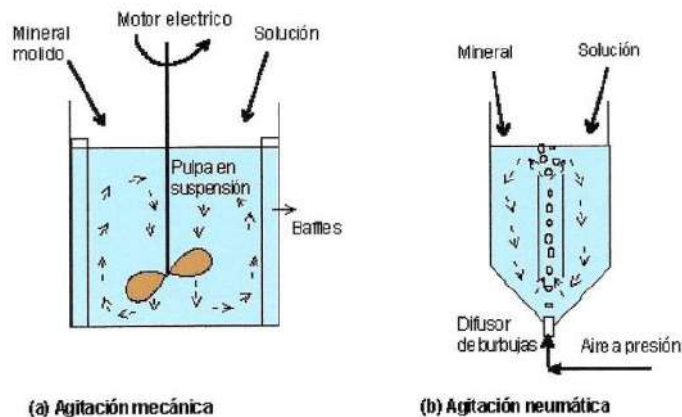


Gráfico 2-1: Tanques de cianuración por (a) agitación mecánica y (b) agitación neumática

Fuente: Roeser y Mesa, (2010)

2.3 Análisis breve de la cianuración

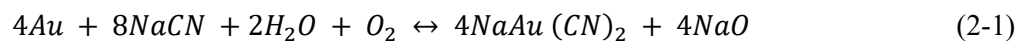
2.3.1 Historia del cianuro.

Durante más de un siglo, se ha empleado extensamente el cianuro para la disolución del oro, dada su eficacia considerable y su costo relativamente bajo. Por estas razones, aproximadamente el 18% de la producción mundial de cianuro se destina a operaciones mineras con el propósito de recuperar oro (Syed, 2012). Experimentos realizados han contribuido a avanzar en la comprensión

de la cianuración, revelando que el proceso de disolución del oro en soluciones de cianuro es fundamentalmente de naturaleza electroquímica (Perea Solano, 2016).

2.3.2 *Cianuración convencional.*

Mencionan Roeser y Mesa, (2010) en su reporte para el gobierno de Colombia: La cianuración es un proceso hidrometalúrgico utilizado para extraer metales preciosos, como el oro y la plata, de minerales y concentrados. Consiste en la disolución selectiva de estos metales en soluciones de cianuro alcalino. Cuando el oro y la plata entran en contacto con una solución acuosa que contiene cianuro y oxígeno libre, se forman complejos aniónicos de oro y cianuro, junto con hidróxido de sodio. Estas soluciones de cianuro son altamente selectivas, ya que tienen una mayor afinidad por los metales valiosos. La disolución del oro y la plata en cianuro de sodio se puede describir mediante reacciones propuestas por Elsner en 1846.



De las reacciones anteriores observamos que el oxígeno forma parte integral y es estrictamente necesario para la disolución de los metales preciosos (Roeser & Mesa, 2010).

La cianuración es ampliamente aceptada debido a sus ventajas económicas y metalúrgicas. Ofrece altas tasas de recuperación y produce un producto final prácticamente puro en forma de metal. Sin embargo, su principal desventaja radica en la alta toxicidad de las soluciones cianuradas, que pueden desprender ácido cianhídrico (HCN) durante la hidrólisis. Esto presenta un grave riesgo para el medio ambiente, especialmente en aguas y suelos, debido al impacto de sus efluentes. Además, la cianuración no es adecuada para tratar menas refractarias de oro y plata debido a los altos consumos de cianuro necesarios o a la baja solubilidad de los metales preciosos en las soluciones cianuradas en esos casos (Roeser y Mesa, 2010).

En la minería aurífera comercial, se utiliza predominantemente cianuro de sodio (NaCN) debido a su mayor solubilidad en agua, su menor costo y su alta eficiencia en el proceso de lixiviación. Las condiciones de cianuración son similares para casi todos los procesos, manteniendo un pH entre 10.5 y 11.5, tanto para menas minerales como concentradas, y una duración de 24 a 48 horas. Estas condiciones pueden variar ligeramente para ajustarse a las necesidades específicas de la planta de procesamiento.

El proceso debe ser cuidadoso y controlado con el fin de evitar la generación del ácido cianhídrico que se volatiliza a temperatura ambiente, posibles derrames en la naturaleza y otros factores. La cinética de lixiviación de la cianuración puede ser más lenta o rápida dependiendo de factores como temperatura ambiente, granulometría de la muestra, densidad de la pulpa, estas condiciones son diferentes para cada planta de beneficio y la localización en la que se encuentren.

2.3.2.1 Control Del Cianuro

El control de cianuro se lo realiza con el fin de conocer como el cianuro se encuentra reaccionando en el sistema, tanto la parte de cianuro que ya formó complejos y el reactivo libre que está en el sistema, ya que dependiendo el tipo de mena con la que se esté trabajando el consumo de este reactivo puede variar. Al hablar de control de cianuro en el sistema de lixiviación hay varias formas en las que puede reaccionar el cianuro; existen los complejos de cianuro fuertes y débiles, el cianuro disuelto y el cianuro libre.

Enfocándose en el control de cianuro libre un método usado comúnmente es mediante valoración química aprovechando la afinidad que tiene el cianuro de sodio y el nitrato de plata.

Las referencias y denominaciones de los métodos normalizados de análisis de las diferentes familias de compuestos cianurados quedan recogidas en la Tabla 2-1:

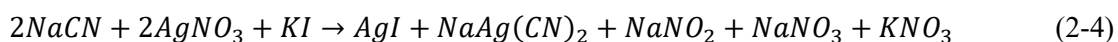
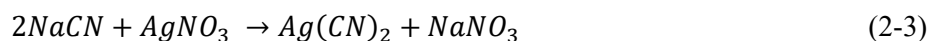
Tabla 2-1: Métodos analíticos normalizados y métodos empleados en el análisis de las diferentes especies de compuestos cianurados

Familia a cuantificar	Método normalizado (ASTM)	Denominación del método
Cianuro libre	4500-CN-D	Valoración con AgNO ₃
Cianuro disuelto	4500-CN-E	Método de la Piridina-Ácido barbitúrico
Cianuro WAD	4500-CN-I	Método del Ácido Pírico
Cianuro SAD	4500-CN-C	Cianuro total después de destilación
Cianuro total	4500-CN-C	Cianuro total después de destilación

Fuente: Álvarez García, (2006)

2.3.2.1.1 Método De Valoración Química Para Cianuro Libre

El método, definido por Standard Methods 4500-CN-D y ASTM D-2036-91, se emplea para concentraciones de cianuro superiores a 5 mg/l (ppm) y en soluciones filtradas. Es un método rápido y sencillo que se basa en la reacción del nitrato de plata con el ion cianuro en solución alcalina, dando lugar al complejo soluble Ag (CN)⁻² según la reacción:



Nava Alonso et al., (2007) explica el proceso de la siguiente forma: el exceso de plata precipita como AgCN o reacciona con el indicador (generalmente KI) para formar AgI. En ambos casos, el punto final de la titulación se indica mediante la aparición de una turbidez permanente, ya sea blanca o amarillo opalescente. En ausencia de un indicador y en presencia de metales en solución, el método cuantifica el cianuro libre, los cianuros de zinc y una parte (< 10 %) de los cianuros de cobre.

2.3.3 Complejos del cianuro de sodio.

Álvarez García, (2006) menciona: “En la minería aurífera, las soluciones de cianuro de sodio desempeñan un papel crucial al reaccionar con el oro, formando compuestos solubles. Sin embargo, estas soluciones también interactúan con otros metales presentes en el mineral, como hierro, cobre, zinc, níquel, plata y arsénico, cuyas concentraciones suelen superar las del oro. Los análisis químicos revelan que la mayor parte del cianuro en solución se encuentra ligado químicamente a estos metales, excluyendo las pequeñas cantidades de oro o plata presentes. La formación de complejos cianurados, que son especies solubles formadas por la combinación de elementos químicos en solución, es común y varía en estabilidad. Evaluar con precisión la cantidad y tipos de cianuro ligados a diferentes metales es esencial para elegir métodos efectivos de detoxificación y mitigar los impactos ambientales”.

Por otro lado, los complejos cianurados pueden clasificarse en dos categorías según su estabilidad relativa: los "Cianuros Disociables en Ácido Débil" (CN⁻ WAD), que pueden producir concentraciones ambientalmente significativas de cianuro libre en solución, y los "Cianuros Disociables en Ácido Fuerte" (CN⁻ SAD), que se degradan mucho más lentamente en condiciones normales. Los complejos débiles incluyen aquellos formados por cadmio, cobre, zinc y otros elementos, cuya disociación está fuertemente influenciada por el pH de la solución. Por otro lado, los complejos más estables con cianuro incluyen los formados con cobalto, hierro, oro y plata, siendo esta complejidad con el oro un factor clave para su extracción mediante cianuración, ya que se mantiene estable hasta que se modifican las condiciones para recuperarlo en forma de metal (Álvarez García, 2006).

2.3.4 Comportamiento de los minerales en la cianuración.

Minerales De Plata: La plata se comporta de manera similar al oro en el proceso de lixiviación. Aunque el compuesto AgCN es insoluble, su formación es limitada a condiciones extremadamente ácidas, y su estabilidad aumenta a bajas concentraciones de cianuro. Sin embargo, los niveles óptimos de cianuro para la eficiente disolución del oro son considerablemente mayores que los necesarios para formar AgCN (Álvarez García, 2006).

Minerales De Cobre: A excepción de la calcopirita, la tetraedrita y la crisocola, todos los minerales comunes de cobre se disuelven completamente en soluciones alcalinas de cianuro. Esta disolución es desfavorable en el proceso de lixiviación, ya que no solo consume reactivos (cianuro y oxígeno), sino que también ralentiza la disolución del oro y afecta el grado de recuperación (Álvarez García, 2006).

Minerales De Hierro: Los minerales de hierro principales, que son no sulfurados, como los óxidos, hidróxidos, silicatos y carbonatos, resultan insolubles en cianuro en los valores de pH generalmente utilizados en la lixiviación (Álvarez García, 2006).

Minerales de Arsénico Y Antimonio: Hasta ahora, no se han identificado complejos cianurados de arsénico y/o antimonio, y su presencia no parece afectar las condiciones de la operación, a menos que se encuentren en forma de sulfuro. En ese caso, la arsenopirita, por ejemplo, consume grandes cantidades de oxígeno durante el proceso (Álvarez García, 2006).

Minerales De Zinc: Los minerales de zinc son poco comunes y, cuando están presentes, suelen encontrarse en proporciones reducidas. Por lo tanto, su solubilidad en la lixiviación con cianuro no es de gran importancia. En términos de aspectos negativos, la literatura solo menciona la interferencia que pueden causar en el análisis de cianuro libre mediante la valoración con nitrato de plata (Álvarez García, 2006).

Minerales De Teluro: Los telururos de oro muestran una disolución extremadamente lenta en soluciones de cianuro. Cuando una parte significativa del oro se presenta en esta forma, las recuperaciones en la lixiviación mejoran considerablemente mediante una molienda muy fina y la utilización de oxígeno como agente oxidante en lugar del aire (Álvarez García, 2006).

Minerales Carbonosos: Ciertas sustancias carbonosas naturales pueden tener un impacto negativo en la recuperación de oro durante el proceso de lixiviación, ya que tienen la

capacidad de adsorber partículas de oro disuelto en su superficie. Para abordar este problema, suele ser necesario realizar un pretratamiento de la mena, comúnmente mediante un proceso de tostación (Álvarez García, 2006).

2.4 Métodos alternativos a la cianuración

Algunos de los métodos para lixiviar minerales son:

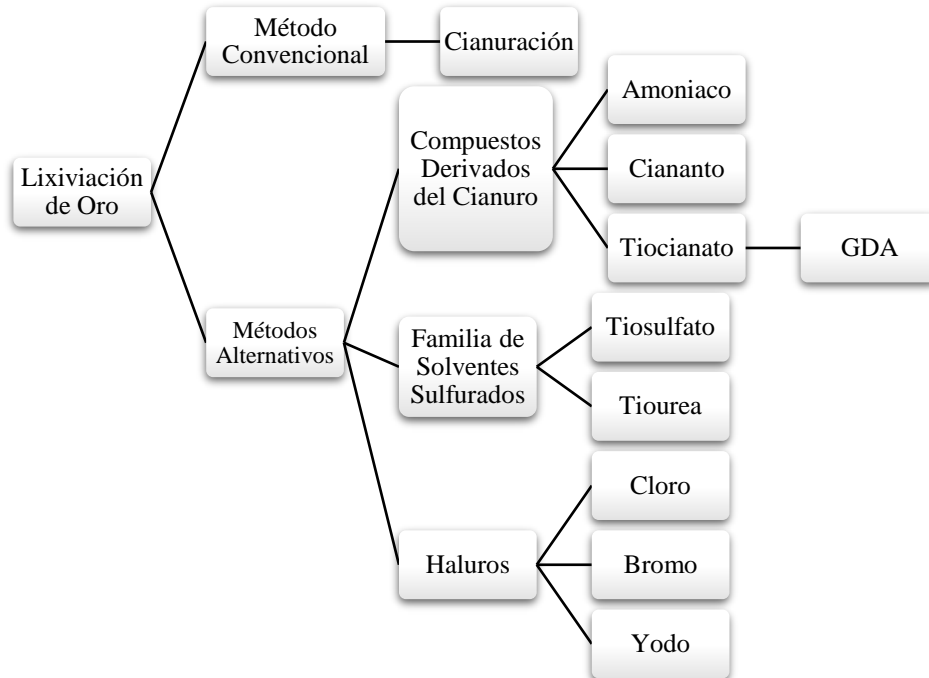


Gráfico 2-2: Cianuración y métodos alternativos a su uso.

Elaborado por: Jimenez, 2023.

El Gráfico 2-2 muestra algunos de los métodos que también son capaces de formar complejos para lixiviar minerales de oro y plata, estos compuestos se los conoce como los métodos alternativos a la cianuración convencional, se caracterizan por ser menos nocivos para el medio ambiente y como tal, formas más amigables de recuperar metales preciosos, existen los compuestos derivados del cianuro (amoniaco, cianato, tiocianato) que provienen de una degradación del cianuro, los solventes sulfurados que poseen un ion azufre (S) o compuesto de azufre (tiourea, tiocianato y tiosulfato), y los que no tienen en su composición cianuro como lo son los haluros, la biolixiviación y solventes orgánicos.

2.4.1 Derivados del cianuro y familia de solventes sulfurados

Álvarez García, (2006) hace referencia a tres compuestos que son derivados del cianuro los cuales son cianato, tiocianato y amoniaco, además Perea Solano, (2016) menciona como familia de solventes sulfurados al tiourea, tiocianato y tiosulfato, estos cuatro compuestos son de alguna manera provenientes de la reacción de un ion cianuro con otros elementos.

2.4.1.1 Cianato (OCN^-).

Álvarez García, (2006) menciona: El cianato (OCN^-) se produce durante dos procesos: primero, durante la manipulación de minerales, donde surge de la interacción entre el ion cianuro y el oxígeno, facilitada por la presencia del ion cúprico como catalizador. Segundo, durante la depuración de efluentes que poseen cianuro, mediante la aplicación de un agente oxidante como el peróxido de hidrógeno, el ion hipoclorito u otras sustancias similares. En términos de lixiviación de oro, el cianato puede formar complejos con el oro en soluciones acuosas. La reacción de formación del complejo de cianato de oro se puede representar como:



Este complejo es menos estable que los complejos formados por cianuro, lo que significa que la eficiencia de la lixiviación utilizando cianato como agente lixivante es generalmente menor en comparación con el cianuro.

2.4.1.2 Tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$).

Según lo explica Perea Solano, (2016); El tiosulfato es un compuesto químico que se ha utilizado durante más de un siglo por su capacidad para formar complejos estables con el oro. Aunque inicialmente no se investigó ampliamente como una alternativa al cianuro en la lixiviación de oro, a partir de finales de la década de 1970 se intensificaron los estudios sobre su potencial uso debido a las preocupaciones ambientales asociadas al cianuro. El tiosulfato se considera atractivo para la lixiviación de oro debido a su baja toxicidad y su capacidad para disolver oro en menas con características especiales, como alto contenido de cobre, materiales carbonosos que generan preg-robbing, y sulfuros refractarios.

El proceso de lixiviación con tiosulfato implica la formación de complejos estables de oro con tiosulfato en soluciones alcalinas, utilizando como agente oxidante el oxígeno disuelto. Aunque la velocidad de disolución de oro con tiosulfato y oxígeno es inicialmente lenta, se ha observado que se incrementa significativamente con la adición de un catalizador como una combinación de Cu^{2+} con amoníaco.

Este método de lixiviación, aunque eficiente en la disolución de oro con bajos efectos contaminantes en comparación con la cianuración, presenta desafíos como la oxidación rápida del tiosulfato, el alto consumo de reactivo y los costos operativos asociados. Sin embargo, sigue

siendo objeto de investigación y desarrollo debido a su potencial para proporcionar una alternativa menos tóxica y más sostenible a la cianuración en la extracción de oro (Perea Solano, 2016).

2.4.1.3 Tiocianato (SCN⁻).

El tiocianato, formado a través de reacciones entre el ion cianuro, el oxígeno y compuestos que contienen azufre, se presenta como una alternativa menos tóxica al cianuro en la lixiviación de oro. Su mayor estabilidad en solución acuosa en comparación con los cianatos y el ion cianuro lo convierte en una opción interesante para la extracción del metal precioso. Aunque experimenta una degradación gradual facilitada por organismos como el *Thiobacillus thiooxydans*, su comportamiento como pseudohalógeno permite la formación de sales insolubles con varios metales, así como la formación de complejos similares a los del cianuro con metales de transición (Perea Solano, 2016).

En la lixiviación de oro, el tiocianato puede emplearse para disolver el metal precioso en soluciones alcalinas. Este proceso se basa en la formación de complejos estables entre el tiocianato y el oro, lo que permite su disolución en condiciones favorables. Aunque su degradación es lenta y puede persistir en balsas de desechos mineros o aguas subterráneas, el tiocianato puede ser completamente oxidado por agentes oxidantes como el cloro y el ozono, lo que contribuye a su eliminación de los efluentes y minimiza su impacto ambiental (Perea Solano, 2016).

2.4.1.4 Amoníaco (NH₃).

El amoníaco, una molécula compuesta por un átomo de nitrógeno y tres átomos de hidrógeno (NH₃), se utiliza en la lixiviación de oro como agente complejante en soluciones acuosas. Su capacidad para formar complejos estables con el oro, como el complejo Au(NH₃)²⁺, facilita la solubilización del metal precioso presente en minerales auríferos. Además de disolver el oro, el amoníaco también actúa como un agente estabilizador, interrumpiendo la pasivación en la superficie del oro y facilitando la oxidación de especies de cobre, lo que contribuye a una mayor eficiencia en la disolución y recuperación del oro durante el proceso de lixiviación (Perea Solano, 2016).

Además Perea Solano, (2016) también menciona que los costos representan el principal obstáculo para la adopción generalizada de la lixiviación de oro con amoníaco, ya que este proceso demanda elevadas concentraciones de reactivos, altas presiones y temperaturas. Por consiguiente, solo

resulta económicamente viable en determinadas circunstancias, como en el caso de catalizadores o concentrados de alta pureza.

2.4.1.5 Tiourea (CS(NH₂)₂).

La tiourea explica Perea Solano, (2016), con fórmula química CS(NH₂)₂, es una alternativa propuesta para la lixiviación de oro en minerales sulfurosos. A diferencia del cianuro, se considera relativamente no tóxica y más respetuosa con el medio ambiente, lo que la convierte en una opción viable en áreas donde el uso de cianuro está restringido. Sin embargo, se han planteado preocupaciones sobre su posible carcinogenicidad y su capacidad para disolver otros metales pesados además de oro y plata. La lixiviación con tiourea se realiza en un medio ácido, lo que presenta desafíos ambientales similares a la cianuración en términos de manejo y tratamiento de efluentes.

Sin embargo, la cinética de disolución es lenta en medio ácido, por lo que se requiere el uso de poderosos agentes oxidantes como Fe³⁺, peróxido de hidrógeno u ozono para acelerar la recuperación de oro. El empleo de estos agentes oxidantes fuertes durante el proceso de lixiviación puede ocasionar la conversión de la tiourea en disulfuro de formamida. Esta conversión es reversible y puede gestionarse controlando el potencial de la solución. Es crucial tener en cuenta este aspecto, ya que la tiourea, si no se estabiliza adecuadamente, puede descomponerse de manera irreversible en cianamida y azufre. Además, es esencial controlar el pH durante la lixiviación con tiourea, ya que un pH por encima de 3 puede disminuir la eficacia de la cinética de lixiviación del oro (Perea Solano, 2016).

2.4.2 Haluros.

2.4.2.1 Cloración.

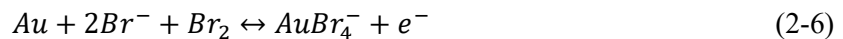
Menciona Perea Solano, (2005), la cloración una técnica de lixiviación históricamente utilizada para la extracción de oro se basa en el empleo de cloro o compuestos clorados como agentes oxidantes para disolver el oro presente en minerales con características específicas. Aunque ha sido en gran parte sustituida por la cianuración, la cloración se considera aún relevante para minerales refractarios y carbonosos, especialmente aquellos que contienen oro fino o están asociados a sulfuros. Esta técnica ofrece varias ventajas, como una tasa de lixiviación superior a la de la cianuración, una mayor efectividad en minerales con material carbonoso, y la no necesidad de neutralizar menas ácidas. Sin embargo, presenta limitaciones, como la disolución preferencial

de materiales base asociados a sulfuros y la incapacidad para manejar la plata en el proceso de extracción.

Químicamente, la disolución del oro en complejos de cloruro durante el proceso de cloración se expresa mediante reacciones electroquímicas donde el oro forma complejos con iones de cloruro. Estos complejos son más estables que las especies de oro en estado metálico, lo que permite su disolución en soluciones acuosas. La velocidad de disolución del oro en soluciones de cloruro está directamente relacionada con la concentración de iones de cloruro y se maximiza con concentraciones elevadas de cloro-cloruro y un aumento en la temperatura del sistema. Aunque la cloración ha sido superada por la cianuración en muchos casos, su mayor velocidad de disolución y otras características la mantienen como una opción viable en ciertos contextos de extracción de oro (Perea Solano, 2016).

2.4.2.2 Yodo y Bromo.

Además del sistema cloro-cloruro, se ha evidenciado que otros sistemas de haluros, tales como bromo-bromuro, iodo-ioduro y bromo-cloruro, tienen la capacidad de disolver el oro a velocidades notables y generar complejos estables, como se ilustra en las ecuaciones: (Perea Solano, 2016)



En el caso del bromo-bromuro, se ha confirmado que la disolución del oro depende de la relación entre este sistema y los minerales que se encuentran asociados al oro. La presencia de sulfatos de cobre, zinc y aluminio no tiene ningún impacto en la disolución. En cambio, los iones Fe^{2+} y Mn^{2+} experimentan oxidación y consumen bromo. Debido a estos desafíos, junto con problemas relacionados con la alta presión de vapor y las reacciones corrosivas del bromo, ha sido necesario explorar oxidantes alternativos como el ion férrico, el peróxido de hidrógeno y el hipoclorito de sodio (Perea Solano, 2016).

Este método no es un factible tanto económicamente como en el ámbito de la seguridad debido a los precios de los reactivos además de la generación de gases que presentan estos.

2.5 Gold Dressing Agent (GDA).

Los compuestos mencionados en la sección 2.4 actúan como el principio activo que reacciona con los metales de interés, formando complejos que posteriormente se utilizan en procesos para recuperar el mineral. Por sí solos, estos compuestos no compiten directamente con el cianuro de sodio, ya que resultan ser menos efectivos y más costosos a escala industrial. Por lo tanto, actualmente se están evaluando metodologías para aplicar estos agentes alternativos en procesos de lixiviación que ayuden a mejorar el proceso de extracción del mineral. Esto permitiría que estos compuestos sean factibles para su aplicación a escala industrial.

Dentro de todos los métodos anteriormente mencionados que son capaces de lixiviar oro actualmente desde China se encuentra promocionando un nuevo agente lixivante diferente del cianuro que según mencionan es más amigable con el medio ambiente y menos tóxico, este agente se lo conoce como *Gold Dressing Agent* o su abreviado GDA, la composición del mismo no lo proporciona directamente el fabricante. A continuación, se muestra la información que se tiene del agente.

2.5.1 Impacto en el ambiente y la salud.

Dentro de los estudios que se ha realizado sobre GDA se encuentra un análisis ambiental por parte del Instituto de Geociencias Africano, mostró la siguiente información del producto y sus fabricantes.

Uno de sus fabricantes Qingdao Aiweisheng Chemical Co. Ltd según lo menciona Mkama, (2019); el agente Lixivante de oro GDA es una nueva alternativa para reemplazar el proceso de lixiviación convencional con Cianuro de Sodio, adecuado tanto para lixiviación en pulpa, por batea, por carbón activado, etc. Este producto es fácil de manejar y más seguro; dado que el funcionamiento del reactivo es igual a la del cianuro convencional, no se necesita inversión en nuevos equipos y promete un tiempo de lixiviación más corto que el cianuro de sodio. Su funcionamiento aplica para: minerales primarios, relaves, minerales asociados a sulfuros, y con alto contenido de cianicidas. Si el mineral contiene azufre, arsénico, hierro, plomo, cobre o zinc la eficiencia del reactivo no se verá afectada según menciona.

Orto fabricante, Guangxi Senhe High Technology Co. (JINCHAN) Ltd., enumera las siguientes características del producto:

- a) Alta tasa de recuperación (puede lixiviar eficazmente el átomo ionizado de oro, aumentar la tasa de recuperación y es adecuado para la producción a gran escala).

- b) Buena estabilidad (con la adición de un estabilizador efectivo, puede reducir las perturbaciones causadas por materiales peligrosos como azufre y antimonio, etc.).
- c) Recuperación más rápida (su ciclo de producción es aproximadamente un 25% más corto que el que utiliza cianuro de sodio ordinario).
- d) Menos consumo (este producto ha sido procesado y producido utilizando materias primas importadas, por lo que el consumo es menor).
- e) Menor costo (ayuda a la empresa a ahorrar costos de transporte, almacenamiento seguro, dispositivos de seguridad y gestión).
- f) Baja toxicidad y respetuoso con el medio ambiente (como un producto químico común, puede mitigar en gran medida la contaminación y el peligro de envenenamiento causado por la producción).
- g) Fácil de usar (es conveniente de usar, ya que la técnica de producción con él es la misma que la del cianuro de sodio ordinario).
- h) Es conveniente de transportar (está disponible el transporte por carretera, ferrocarril, aviación y marítimo).

2.5.1.1 Información De Seguridad.

En el informe técnico del centro de minerales y Geociencias africano se realizó un estudio denominado “Investigación del impacto ambiental y en la salud del Agente Lixivante de oro (GDA) utilizado en la extracción Aurífera”, este análisis enfoca su estudio en la parte de interés ambiental del reactivo y proporciona información toxicológica que será mencionada a continuación.

Notas Sobre Intoxicación.

- a) **Inhalación:** la inhalación del producto en cantidades pequeñas no causa daño al cuerpo humano de manera significativa, sin embargo, si la exposición es constante o en grandes cantidades puede conllevar a lesiones pulmonares. Se recomienda el uso de mascarilla antipolvo durante su manipulación.
- b) **Ojos:** en contacto ocular con el producto puede ser irritante hasta causar inflamación o irritación, se recomienda el uso de protección como medida de precaución.
- c) **Ingesta:** la ingesta puede causar vómitos, fiebre y dolor abdominal.

Medidas De Primero Auxilios.

El producto no es peligroso durante su manejo normal según menciona el estudio del Centro Africano de Geociencias, pero siempre deben mantenerse las buenas prácticas durante la manipulación de este.

- a) **Inhalación:** en caso de inhalación en pequeña escala trasladarse a un lugar ventilado y solicitar ayuda médica, en caso más grave administrar oxígeno y trasladar al centro de salud.
- b) **Contacto con la piel:** Quitarse la ropa contaminada y lavar con abundante agua y jabón, en caso de tener heridas limpiarlas inmediatamente y solicitar un médico.
- c) **Contacto con los ojos:** enjuagar los ojos con abundante agua al menos durante 15 minutos.
- d) **Ingesta:** enjuagar la boca con agua y en caso más grave inducir el vómito, luego beber suficiente agua limpia, leche o clara de huevo.

Medidas De Lucha Contra Incendios.

Donde se haya producido una pila de productos, utilizar equipo de protección respiratoria autónomo y traje antiincendios de cuerpo entero para extinguir el fuego desde la dirección del viento superior. Proteger completamente el dispositivo contra incendios para evitar la explosión del contenedor cuando se calienta. Medios adecuados para extinguir el fuego: niebla de agua, dióxido de carbono, polvo seco, niebla de espuma (Mkama, 2019).

Acciones Para Tomar En Caso De Liberación Accidental.

Cuando se produce un pequeño escape, se debe limpiar el vertido directamente en una bolsa de embalaje u otros recipientes de procesamiento. En el caso de una fuga considerable, es necesario delimitar la zona afectada, restringir el acceso del personal y del ganado. El personal encargado del procesamiento debe emplear equipo de protección para recoger el derrame en el contenedor de embalaje correspondiente. Utilizando una pala, se debe depositar el material en un contenedor adecuado para la eliminación de residuos. Posteriormente, se debe limpiar la superficie contaminada con agua y permitir la intervención del sistema de salud (Mkama, 2019).

Manipulación Y Almacenamiento.

Al utilizar el producto, es crucial seguir las medidas de protección para el personal operativo, incluyendo el uso de gafas, máscaras y guantes. Durante el proceso de manipulación, se debe observar una buena higiene personal, abstenerse de comer, beber o fumar. Es fundamental prestar atención a la protección del embalaje para evitar posibles daños y, en lo posible, minimizar la generación de polvo para evitar la inhalación excesiva por parte del operador. Este producto, que es no inflamable y presenta una gran estabilidad, no requiere condiciones de almacenamiento estrictas y puede guardarse en un lugar fresco, bien ventilado y seco, conforme a las condiciones habituales para mercancías. Se destaca la importancia de no almacenar junto a productos ácidos (Mkama, 2019).

2.5.1.2 Información Toxicológica.

Datos Toxicológicos: La dosis letal oral para ratas es de 23.112 mg/kg. En el caso de ratones, se les administró una cantidad equivalente a 0.5 mg/ml de GDA, lo que representa 20 mg/kg de peso corporal. Durante 14 días después de la dosificación, no se observaron síntomas de intoxicación. Posteriormente, se les proporcionó a los ratones una dosis letal (DL50¹) adicional de la sustancia, siendo 23.112 mg/kg de peso corporal, y no se registraron fallecimientos (Mkama, 2019).

El uso habitual del producto no tiene impactos negativos en organismos acuáticos ni en el entorno acuático. La probabilidad de degradación a corto plazo de productos perjudiciales es baja. Para prevenir la acumulación de desechos en fuentes de agua potable, se deben evitar durante la producción y el uso (Mkama, 2019).

2.5.1.3 Mecanismo de Disolución.

Uno de los fabricantes del GDA la empresa Guangxi Senhe High Technology Co., Ltd. menciona lo siguiente en un artículo publicado en su página oficial titulado “*Como logra el GDA una lixiviación de oro Ecológica*”:

El artículo menciona la comparación entre el agente lixivante de oro (GDA) y el cianuro de sodio, centrándose en sus propiedades toxicológicas y su eficacia en la disolución del oro. Inicia con una exposición del sistema respiratorio humano y destaca el papel crucial del citocromo “A3” en la cadena respiratoria, enfatizando la importancia del oxígeno en los procesos de oxidación biológica y producción de energía ATP.

¹ Dosis Letal: cantidad en la cual el 50% de la población expuesta fallece.

Se aborda el mecanismo bioquímico del envenenamiento por cianuro, describiendo cómo la coordinación entre el CN^- y el citocromo A3 afecta la catálisis del citocromo oxidasa, resultando en la interrupción de la oxidación biológica y la asfixia intracelular. Se resaltan los riesgos y la toxicidad asociados al cianuro de sodio, subrayando su peligrosidad y la necesidad de un estricto control.

La conclusión afirma que, a pesar de contener una pequeña cantidad de cianuro, el GDA se postula como una alternativa menos tóxica y segura al cianuro de sodio en el proceso de lixiviación de oro. Se destaca la presencia de sustancias insolubles en agua como un factor que mejora la seguridad del GDA sin comprometer su capacidad para disolver el oro (Guangxi Senhe High Technology Co., [sin fecha]).

2.5.1.4 Antecedentes del GDA a nivel Industrial para Un Proceso De Lixiviación Por Agitación.

El GDA puede ser utilizado de la misma forma que el cianuro de sodio, aplicado directamente en la solución a lixiviar previamente controlado los valores de pH recomendados. El agua después de proceso de lixiviación se puede usar para futuros procesos iguales con la finalidad de aprovechar el residuo del producto remanente que queda en el líquido. A continuación, se mencionan algunos parámetros para la aplicación del producto.

Ajuste De La Alcalinidad: Se recomienda que la alcalinidad sea ajustada ya sea con cal o con soda caustica (NaOH), siendo la cal el producto generalmente utilizado para este propósito dado lo valor económico y disponibilidad. El pH se recomienda que se encuentre entre valores de 11 a 12 y realizar el control paulatino de estos valores dado que existe la posibilidad de que disminuya y por lo tanto debe volver a justarse, si el valor de pH es alto se corre el riesgo de afectar el proceso de adsorción por carbón activado.

Dosificación: Para parámetros iniciales de uso si es que no se ha utilizado previamente el producto, se recomienda manejar las mismas concentraciones que se usarían con el cianuro de Sodio, que ocupa valores de entre 1 a 2 Kg/t o 1000 a 2000 ppm, y debe mantenerse la concentración de reactivo en el proceso para garantizar que se encuentre en todo momento realizando en intercambio químico entre mineral y solución. El uso final del producto dependerá del mineral y sus componentes.

Flujo Del Mineral: De acuerdo con el tipo de lixiviación ya se en pilas o el uso de carbón en pulpa el proceso es igual que si se usara cianuro de sodio.

- a) Lixiviación en pilas y lixiviación en tanque: trituración del mineral, entrada al proceso, lixiviación, adsorción con carbón activado.
- b) Proceso de lixiviación por agitación y adsorción con carbón activado: trituración del mineral, molienda del mineral d80 pasante malla 200, lixiviación y adsorción con carbón activado, electrolisis y fundición.

Otros parámetros: Para CIP (carbón la pulpa) se recomienda usar carbón de concha de coco o polvo de zinc.

- a) Se evidenciará mejores resultados cuando se use el agente a temperaturas superiores a los 15 °C
- b) La velocidad de lixiviación del oro es relativamente alta, por lo que se recomienda mediar la concentración de la solución rica en mineral y el valor de pH gradualmente.
- c) No se recomienda agregar oxidantes fuertes como pretratamiento.
- d) El uso de agua de amoníaco, sulfuro de sodio, ferricianuro de potasio, nitrato de plomo e hipoclorito de sodio, así como otros medicamentos auxiliares en el pretratamiento de minerales complejos no afecta la lixiviación de oro con GDA.
- e) Un poco de escoria negra generada después de la disolución de GDA no afectará el efecto de lixiviación;
- f) GDA y cianuro de sodio no se rechazarán mutuamente cuando se utilicen al mismo tiempo.
- g) La lixiviación de oro por el proceso CIP (carbono en pulpa) y la "lixiviación rica en oxígeno" tienen un impacto negativo en GDA (JINCHAN) (Mkama, 2019).

2.6 Aplicaciones industriales del GDA

En la investigación previa al análisis de la actualidad científica del producto se encontraron 3 estudios que han usado GDA y han identificado sus beneficios en aplicaciones metalúrgicas estudios serán mencionados brevemente analizando sus enfoques y limitaciones presentadas.

2.6.1 Condado de Bak-ou en Laos.

La aplicación de este producto fue realizada en un mina de Laos en la cual no mencionan el nombre , pero aplicaban diferentes parámetros para probar en GDA y observar el comportamiento

del reactivo, se menciona inicialmente que el tipo de roca es un carbonato con un tamaño de molienda D90 pasante malla 200, densidad de solidos en la pulpa del 40%, dosificación de cal 3 kg/t con un acondicionamiento de 2 horas, el tiempo de lixiviación del reactivo es de 24 h y se menciona la concentración del reactivo de 600 ppm o 600 g/t.

Análisis Del Mineral Estudiado.

Se menciona que el mineral es del tipo carbonato con una composición elemental simple, contenido de arsénico bajo, con predominancia de oro fino expuesto sin asociaciones. Se realizó un análisis multi elemental de los elementos presentes y las especies minerales que conforman la roca, destaca la alta presencia de carbonatos y silicatos, leyes de oro altas de 7.5 g/t, en la caracterización de la roca resalta la presencia de calcita y dolomita como minerales principales de la roca, con un 80% en la composición, además de presencia de pirita, arsenopirita, minerales de cobre, limonita y óxidos de hierro en presencia menor al 1%, la Tabla 2-2 resume lo mencionado previamente.

Tabla 2-2: Análisis Elemental de la Roca estudiada

Elemento	Concentración	Unidad
Au	7.5	g/t
Ag	2.86	g/t
Cu	0.005	%
Pb	0.007	%
Zn	0.001	%
Trazas	0.17	%
Fe	0.15	%
As	0.007	%
C	10.94	%
CaO	52.06	%
MgO	0.34	%
SiO	5.47	%
Al2O3	0.24	%

Minerales	Contenido	Unidad
Minerales Metálicos		
	Pirita	0.05 %
	Arsenopirita	0.01 %
	Minerales de Cobre	0.1 %
	Limonita	0.2 %
	Óxidos de Hierro	0.16 %
	Cuarzo	4.56 %
Minerales No Metálicos	Calcita, Dolomita y Otros minerales Asociados carbonatos	89.12 %

Sericita y Clorita	5.8	%
--------------------	-----	---

Fuente: Weigang et al., (2022)

El estudio mostró la presencia de oro en tres granulometrías características, de 37-74 micras con un 61.20% de presencia, 74-295 micras con 8.32% y menor a 37 micras con un 5.64%.

Estudio Experimental En Material De Cabeza.

Con parámetros establecidos para el proceso de lixiviación los mismos tanto para cianuro como GDA que son; diámetro de partícula característica 75 micras, densidad del sólidos 40%, cal adicionada 3 kg/t, pretratamiento de 2h, concentración de reactivo 800 ppm o 800 g/ton y residencia de 32h se realizó una lixiviación en el cual los resultados se muestran en la Tabla 2-3:

Tabla 2-3: Resultados de las pruebas Comparativas

Ley de Mineral g/t	Reactivo	Ley de relaves g/t	Tasa de Lixiviación %
7.5	NaCN	0.25	96.37
	GDA	0.26	93.53
11.2	NaCN	0.42	96.22
	GDA	0.3	97.3

Fuente: (Weigang et al., 2022)

Se observa una ligera diferencia entre el GDA y el cianuro de sodio siendo el GDA quien evidencio mejores resultados para el ensayo, pero en cantidades no muy significativas.

Análisis De La Solución Rica Y Elementos Tóxicos En Los Relaves.

Tabla 2-4: Resultados de la solución rica y de los relaves de GDA

Análisis de los componentes en la Solución Rica (ppm)								
Elementos presentes	NaCN	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	pH
NaCN	210	2.72	1.06	2.3	0.03	0.04	0.05	11.5
GDA	<.004	2.88	1.02	0.65	0.02	0.04	0.09	12
Análisis de los componentes en los Relaves "GDA" (ppm)								
Elementos presentes	NaCN	Cu	Pb	Zn	As			
Resultados	<.004	0.26	<.07	<.02	<.0001			
Estándar nacional de Laos	5	100	5	100	5			

Fuente: (Weigang et al., 2022)

Los resultados de la Tabla 2-4 muestran que el GDA tuvo una mayor tasa de recuperación y menor presencia de elementos nocivos como el plomo y arsénico. Pero se evidencia que en ambos existe

la presencia de dichos metales, según el estándar nacional para Laos el GDA cumple con las normas ambientales y puede ser vertido directo en afluentes menciona el estudio.

Evaluación Económica.

Tabla 2-5: Comparativa de Costos entre uso de GDA y NaCN

Aspecto	Proceso de Cianuro	Proceso de Lixiviación "GDA"
Inversión Previa a la Construcción	\$583,544.10	No se requiere construcción de estación de tratamiento de pulpa de relaves
Costo de Desintoxicación de Lodos de Relaves	\$653,117.45/año	No se requiere desintoxicación de la pulpa de relaves
Costo de Compra de Reactivos de Lixiviación	\$303,443.87/año (cianuro de sodio)	\$405,102.74/año ("GDA")
Costo Total Anual	\$937,105.32/año	\$405,102.74/año
Ahorro Anual con "GDA"	-	\$532,002.58/año

Elaborado por: Jimenez, 2023.

Fuente: (Weigang et al., 2022)

Nota: los valores presentados en el informe están en Renmibi RMB divisa de la República popular de China hasta la fecha de estudio que es el 28/12/2023 la conversión está en 7.114 RMB por dólar estadounidense que es la unidad presentada.

Según los resultados de la Tabla 2-5 Se evidencia que para esta empresa minera de Laos resulta factible el uso de GDA

El estudio de Weigang et al.,(2022) termina con la conclusión de que; El estudio experimental sobre la lixiviación con "GDA" revela condiciones óptimas, logrando una alta tasa de lixiviación del 96.40%. En comparación con el cianuro de sodio, el "GDA" muestra un aumento del 1.4% en la tasa de lixiviación y una reducción significativa en la dosis de reactivos y tiempo de lixiviación. El análisis de toxicidad muestra niveles bajos, permitiendo la descarga directa de los relaves sin tratamiento adicional. Desde el punto de vista económico, la elección del "GDA" proporciona un ahorro anual de \$553,470.62 y reduce la inversión previa a la construcción en \$583,544.10, demostrando su viabilidad frente al cianuro de sodio.

2.6.2 Empresa Minera “Hui Tonw Hongyuan Mining Limited Liabili Company”.

Hul Town Hongyuan Mining Limited Liability Company, una empresa minera de oro, ha logrado reemplazar con éxito el cianuro de sodio en su proceso de extracción de oro. Utilizando un nuevo reactivo de beneficio de oro de baja toxicidad llamado "GDA" de Senhne High Technology, la empresa ha demostrado mediante pruebas de laboratorio e industriales que este nuevo enfoque es seguro y eficaz. Esta transición se llevó a cabo para abordar preocupaciones sobre la seguridad y el impacto ambiental asociados con el uso del cianuro de sodio. Actualmente, el "GDA" se utiliza de manera regular, proporcionando una alternativa más segura y respetuosa con el medio ambiente en el proceso de extracción de oro(Wu, 2013).

Proceso experimental.

Acorde al proceso establecido en la planta de beneficio donde se realizó el estudio se mantuvieron las condiciones para el ensayo de lixiviación con cianuro de sodio y GDA, estos parámetros fueron: fracción de sólidos del 40%, tamaño de grano D88 pasante malla 200 y pH de 11-12.

Se realizaron 4 grupos de pruebas: en las pruebas 1 y 2 se sopló aire durante el proceso de agitación, para los procesos 3 y 4 se insufló 88% y 90% de oxígeno a la pulpa durante la agitación.

Los resultados se representan a continuación.

Tabla 2-6: Resultados del Primer grupo

Reactivo	Oro en los Relaves g/t	Oro en Solución ppm	Carbón con Oro g/t	Tasa de lixiviación %	Tasa adsorción oro %	de recuperación de oro %
GD A	0.36	4	60.26	86.96	99.83	86.81
NaCN	0.37	9	59.16	86.59	99.62	86.27

Nota: ley de mineral 2.76 g/t, tiempo de lixiviación de 17 h, concentración de reactivo 0.05%, densidad del carbono 20 g/t

Fuente: Wu, (2013)

Tabla 2-7: Resultados de las pruebas del segundo Grupo

Reactivo	Oro en los Relaves g/t	Oro en Solución ppm	Carbón con Oro g/t	Tasa de lixiviación %	Tasa adsorción oro %	de recuperación de oro %
GDA	0.32	5	94.22	84.24	99.71	83.99
NaCN	0.34	7	99.32	83.25	99.59	82.91

Nota: ley de mineral 2.03 g/t, tiempo de lixiviación 17h, concentración del reactivo 0.07%, densidad del carbono 10 g/t. Según los resultados de las pruebas del primer y segundo grupo, en condiciones de airagitación, los resultados de las pruebas utilizando GDA son muy parecidos a los que se obtienen con NaCN

Fuente: Wu, (2013)

Tabla 2-8: Resultados de las pruebas del tercer Grupo

Reactivo	Oro en los Relaves g/t	Oro en Solución ppm	Carbón con Oro g/t	Tasa de lixiviación %	Tasa adsorción oro %	de recuperación de oro %
GD A	0.48	22	116.74	78.95	98.78	77.98
NaCN	0.41	11	137.22	82.08	99.41	81.54

Nota: ley de mineral 2.28 g/t, tiempo de lixiviación 17h, concentración del reactivo 0.03%, densidad del carbono 10 g/t, agitación con enriquecimiento de oxígeno (poco flujo)

Fuente: Wu, (2013)

Tabla 2-9: Resultados para el cuarto Grupo

Reactivo	Oro en los Relaves g/t	Oro en Solución ppm	Carbón con Oro g/t	Tasa de lixiviación %	Tasa de adsorción oro %	de recuperación de oro %
GD A	0.34	6	107.52	85.09	99.69	84.82
NaCN	0.22	3	136.2	90.35	99.85	90.22

Nota: ley de mineral 2.28 g/t, tiempo de lixiviación 17h, concentración del reactivo 0.03%, densidad del carbono 10 g/t, agitación con enriquecimiento de oxígeno (con gran flujo)

Fuente: Wu, (2013)

Según los resultados con la adición de oxígeno la eficacia del GDA disminuye respecto al cianuro de sodio, por lo cual se recomienda usar el GDA sin adición de oxígeno.

La aplicación de "GDA" en la extracción de oro en Hui Town Hongyuan Mining ha demostrado ser eficaz, superando al cianuro de sodio en recuperación de oro y consumo de reactivos. Aunque persisten desafíos en la medición de la concentración de la solución "GDA" y la composición exacta es desconocida debido a consideraciones de patente, se sugiere su adopción generalizada en la industria de extracción química de oro para cumplir con los estándares de seguridad y protección ambiental (Wu, 2013).

2.6.3 Empresa minera Cominco S. A.

Este estudio se enfoca en la aplicación del agente lixivante de oro (GDA) como alternativa al cianuro en procesos de lixiviación. Las pruebas a escala de laboratorio se llevaron a cabo, considerando parámetros como concentración de cianuro y GDA, control de pH y tiempo de lixiviación. Los resultados indicaron que el cianuro tiene una concentración más alta y requiere menos tiempo de activación que el GDA. Aunque la concentración de oro con GDA es ligeramente menor, se sugiere su uso en situaciones donde no se pueden tratar las colas de lixiviado, debido a su menor impacto ambiental y costos similares al cianuro, contribuyendo así a una minería más sostenible (Urquiza, 2023).

El presente trabajo de Tesis realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo realizó una comparativa entre el GDA y el cianuro de Sodio, en iguales concentraciones y manteniendo los mismos parámetros para ambos procesos de lixiviación los cuales fueron:

Dosis de 7.75 kg/t o 7750 ppm, tiempo de residencia de la lixiviación de 44 y 60 horas, acondicionamiento de pH en 12 usando cal, mediciones de reactivo cada 10 h.

Previo al ensayo de lixiviación con cianuro y GDA, se caracterizó la muestra mineral obteniendo los siguientes elementos presentes:

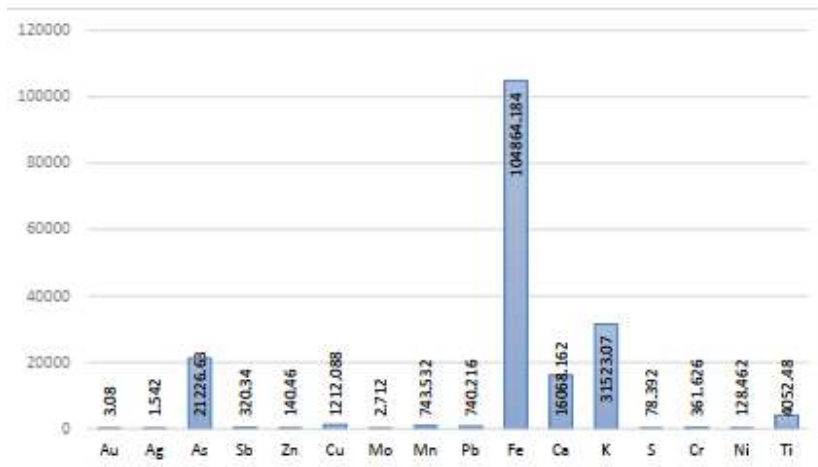


Gráfico 2-3: Caracterización por FRX de la muestra presentada en ppm

Fuente: Urquiza, (2023)

El Gráfico 2-3 muestra niveles significativos de hierro, arsénico, zinc, antimonio y cobre, los cuales actúan como cianicidas. Esto significa que consumen los reactivos de cianuración sin aportar beneficio al proceso, obstaculizando la capacidad del cianuro para disolver los metales preciosos y agotando el oxígeno presente en la solución de cianuro (Urquiza, 2023).

Los resultados Obtenidos demostraron que en un periodo de 24 horas de ensayo la cantidad de mineral aurífero lixiviado con cianuro fue superior a la prueba usando el GDA esto manteniendo los mismos parámetros operativos para el uso de ambos reactivos, pero se observa que superior a las 40 horas del ensayo el GDA muestra mejores valores de lixiviación que el cianuro de sodio, esto demostró que el reactivo GDA tiene una cinética de extracción aurífera muy lenta. En cuanto al control del reactivo presente en el sistema según el método de valoración química con Nitrato de Plata y Yoduro de potasio, el cianuro muestra más consumo que el GDA según los resultados que concluye el estudio.

Por ello las conclusiones del estudio mostraron que en concentraciones similares el NaCN resulta ser mejor que el GDA para un proceso de lixiviación de oro, por lo cual no es factible aplicar para la empresa CONMICOBOS S.A este nuevo agente químico, bajo los parámetros establecidos para el trabajo.

2.7 Modelo de investigación propuesto para la investigación de información.

2.7.1 Curva en S vigilancia tecnológica.

En el ámbito del estudio del ciclo de vida de tecnologías y productos, las Curvas en S son herramientas fundamentales que permiten analizar la trayectoria completa de una tecnología, desde su inicio hasta su desarrollo, madurez y perspectivas futuras. Las Curvas en S resultan especialmente valiosas para realizar estudios de vigilancia y prospectiva tecnológica, proporcionando claridad en su definición y aplicación. Los resultados obtenidos a través de esta técnica, como pronósticos tecnológicos, son esenciales para diversos campos científicos, así como para empresas y sus departamentos de investigación e innovación (Jiménez Gonzáles et al., 2017) Asimismo, estas curvas desempeñan un papel crucial al introducir nuevas tecnologías, permitiendo observar y analizar su proceso evolutivo. La información derivada de estas curvas guía las decisiones futuras, especialmente en puntos de inflexión, que son críticos y pueden definir el destino de la tecnología estudiada (Jiménez Gonzáles et al., 2017)

2.7.1.1 Etapas De La Curva En S

Zhang y Shi (2000) explican de manera práctica los modelos de Curvas en S, señalando que estas se dividen en etapas determinadas por factores como el mercado, el desarrollo tecnológico, la oferta y demanda, y la planificación de producción (Jiménez Gonzáles et al., 2017). Las etapas son las siguientes:

- 1) **Etapas de introducción:** En esta fase inicial, una nueva tecnología parte de una idea prometedora y utiliza análisis previos de necesidades, requerimientos y estructuras para mejorar e innovar de manera continua.
- 2) **Etapas de crecimiento rápido:** Durante esta fase, el producto busca introducirse en diferentes segmentos de mercado para obtener reconocimiento de los clientes, logrando un aumento sustancial en su rendimiento principal.
- 3) **Etapas de madurez:** La tecnología alcanza su máximo rendimiento, volviéndose difícil cumplir con los parámetros de requerimientos. En este punto, es crucial prepararse para la fase de declive y cambiar la estrategia de desarrollo de vigilancia tecnológica.
- 4) **Etapas de declive:** En esta última etapa, el producto antiguo es reemplazado por una nueva generación con mejores funciones, eliminándose o introduciéndose en zonas específicas del mercado.

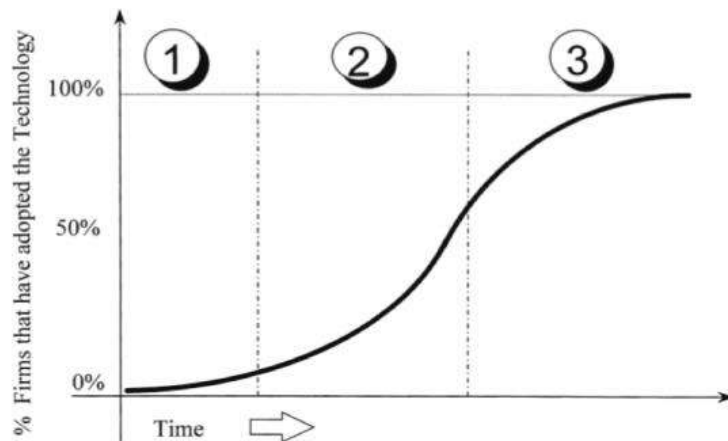


Gráfico 2-4: Modelo de Difusión de las tecnologías, Curva en S

Fuente: Jiménez Gonzáles et al., (2017)

Aguilar, Ávalos y Giraldo (2012) también contribuyen al tema, describiendo las etapas del ciclo de vida de los productos en una Curva en S:

- **Fase 1. Etapa de difusión inicial o de conocimientos públicos (Producto recién nacido):** Durante el lanzamiento, el producto enfrenta problemas de puesta a punto, participa en un mercado monopolístico u oligopolístico y atrae a consumidores por su novedad.
- **Fase 2. Etapa de rápido crecimiento (temprano): Se caracteriza por la privatización del conocimiento y la experiencia técnica.** En esta fase, el producto se encuentra en pleno desarrollo, con la aparición de nuevos competidores y la necesidad de inversiones masivas para conservar o adquirir una parte del mercado.
- **Fase 3. Etapa de rápido crecimiento tardío:** Aún se presenta la privatización del conocimiento. En esta fase, el producto alcanza la madurez del ciclo de vida, consolidándose la competencia y limitándose las inversiones a mejoras en procesos. La calidad del producto se convierte en un diferenciador clave.
- **Fase 4. Etapa de conocimiento público:** Se pasa de la saturación a la obsolescencia, propiciando la creación de un nuevo paradigma y una nueva oportunidad tecnológica. El producto entra en etapa de envejecimiento y declive, y solo algunas empresas pueden conservarlo en el mercado, enfocándose en la eficiencia de costos (Jiménez Gonzáles et al., 2017).

CAPITULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Equipos utilizados.

Fundición y Copelación: para el análisis del material geológico antes y después del proceso de cianuración se utilizaron: un horno para fundir las muestras que a una temperatura de 1100 °C y una mufla para el proceso de copelación en una temperatura de 900 °C.

Conminución: para procesar la muestra hasta la granulometría deseada se usó un molino de barras a escala laboratorio.



Gráfico 3-1: Molino de Barras de instituto de minerales CIMEX

Lixiviación: para el proceso de lixiviación se usó un banco de agitación de 4 espas que permite ejecutar 4 ensayos de lixiviación al mismo tiempo, este cuenta con un cronometro y un ajustador de revoluciones.



Gráfico 3-2: Banco de Agitación de Instituto de Minerales CIMEX

Caracterización química: La caracterización química se llevó a cabo utilizando el espectrómetro de fluorescencia de rayos X Epsilon 1 de Malvern Panalytical, que forma parte del Instituto de Minerales CIMEX de la Universidad Nacional de Colombia. Este instrumento está equipado con un tubo de rayos X con un voltaje máximo de 50 kV y un ánodo de plata, así como un detector de estado sólido construido con silicio (145 eV). Este detector permite la identificación de elementos en un rango de detección de elementos que va desde el Sodio (Na) hasta el Americio (Am) mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X de Energía Dispersiva.



Gráfico 3-3: Equipo de Fluorescencia de Rayos X del instituto de minerales CIMEX

Caracterización mineral: El difractómetro de rayos X ADX-2500 está diseñado para llevar a cabo análisis detallados de microestructuras en una variedad de campos, el sistema ofrece capacidades para analizar la estructura de muestras monocristalinas, policristalinas y amorfas. Esto incluye análisis cualitativo de fase, análisis cuantitativo, indexación de patrones, determinación de celdas unitarias, análisis de tamaño y deformación de cristalitos, ajuste de perfiles, determinación de tensión residual, análisis de textura, estimación de cristalinidad y análisis de película delgada, entre otras funciones clave.

Cuantificación mineral: La medición de los contenidos de oro en soluciones se lleva a cabo mediante un espectrofotómetro de absorción atómica, específicamente el modelo iCE 3300 de Termo-Element. Este instrumento está equipado con un quemador universal de titanio con aletas de 50 mm, lo que posibilita el uso de diferentes combinaciones de gases como aire/acetileno y óxido nítrico/llama de acetileno.



Gráfico 3-4: Espectrofotómetro de absorción atómica del instituto de minerales CIMEX

3.2 Materiales usados.

Para el cumplimiento del trabajo se contó con la disposición de materiales de laboratorio y oficina los cuales son mencionados a continuación en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Materiales y reactivos de laboratorio usados

Material	Especificación	Material	Especificación
Cintas medidoras de pH	Mquant PH 0-14	Ácido nítrico	Pureza 33%
Vasos Precipitados	Volúmenes de aforo de 80-100-250-500 ml	Agua Regia	3 HCl y 1 HNO ₃
Agua Desionizada	-	Cal	Pureza 70%
Matraces Aforados	Volúmenes de aforo 25-50-100 ml	Nitrato de Plata	0.01 M de concentración
Balanza analítica	4 decimales mínimo 0.01 hasta 220 g, error 0.001	Rodamina B	2 % de concentración Preparado en Acetona
Papel filtro Cuantitativo	2 micras de apertura	Yoduro de Potasio	de 10% de concentración
Embudos de Vidrio	-	Cianuro de Sodio	de Presentación en Polvo
Copelas	-	GDA	Presentación en Polvo
Crisoles	-	Carga Fundente	Bórax, Litargirio, Nitrato de Plata, Harina, Sílice, Carbonato de Sodio; 150 g para 30g de mineral
Fundas Pasticas	-	Cloruro de Sodio	de 0.01 M de Concentración
Computadora	-	Hidróxido de Sodio	de Presentación de briquetas
Material de Oficina	Cuadernos, Esferos, Cintas		
Bandejas plásticas	-		
Muestrarios para Almacenamiento de material	Capacidad de 100 ml		
Campana de Humedad	-		
Micropipeta analítica	1 ml y 10 ml; precisión 0.01 ml		

Elaborado por: Jimenez, 2023.

3.3 Metodología de trabajo

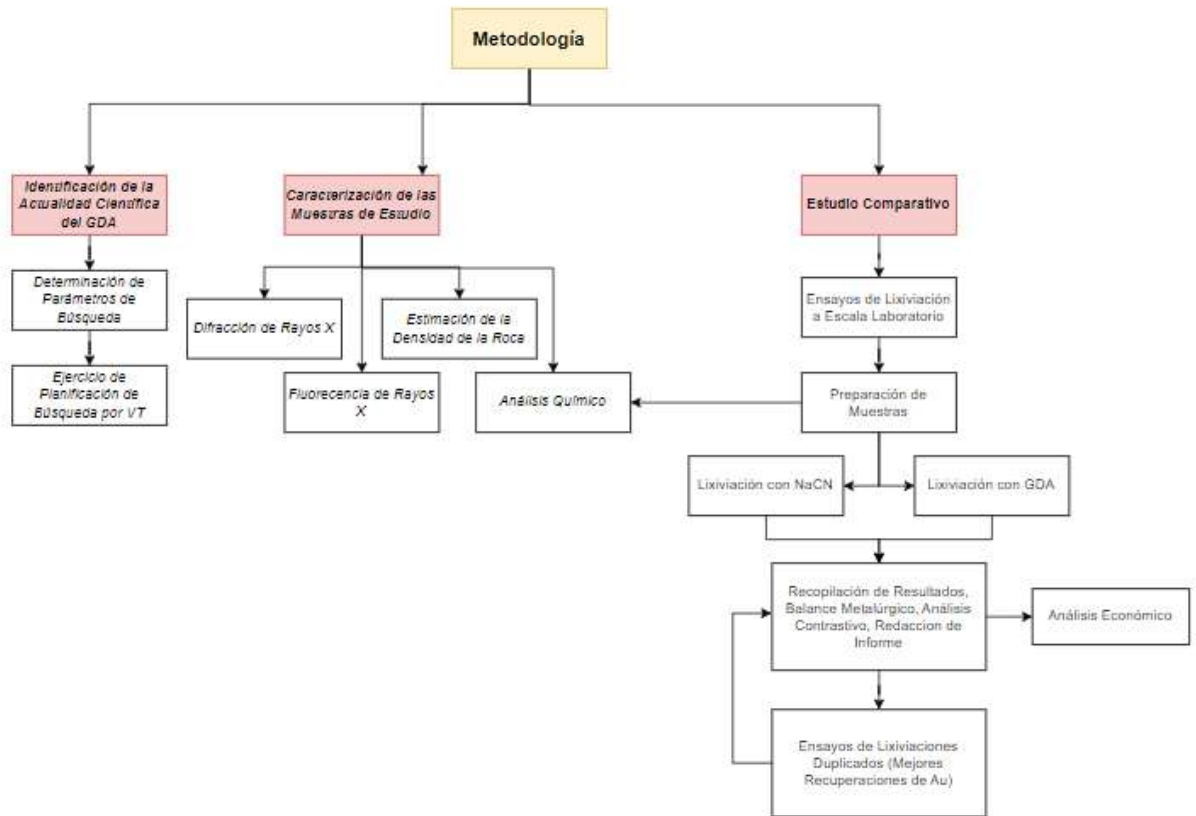


Gráfico 3-5: Propuesta metodológica de trabajo.

Elaborado por: Jimenez, 2023.

El Gráfico 3-5 presenta un resumen del proceso llevado a cabo para la ejecución de este trabajo. El estudio conlleva una serie de pasos a cumplir para dar cumplimiento al desarrollo de cada objetivo.

En el componente de la actualidad científica, se tiene la intención de explorar mediante un modelo de investigación denominado "Vigilancia Tecnológica (VT) y prospectiva de la información". Este enfoque surge de la necesidad de recopilar información, ya que, hasta la fecha de este estudio, los conocimientos sobre el GDA eran limitados dada la poca información disponible. Los pasos que sigue este objetivo son en primer lugar la delimitación de todos los parámetros de búsqueda que sean relevantes al tema de investigación, en este caso el GDA seguido de un ejercicio de planificación de búsqueda que delimita la información que será relevante para el estudio.

En la caracterización de las muestras minerales se busca poder conocer con qué muestras se está trabajando, por ello la Fluorescencia de Rayos X (FRX) se utilizará para identificar los elementos presentes en cada una de las muestras que entrarán a los ensayos de lixiviación. Complementando a eso, la Difracción de Rayos (DRX) ayudará a detectar qué especies minerales componen la roca de interés. Esto ayuda a dar un análisis geológico de la muestra, permitiendo conocer el origen de la roca además de ayudar a conocer cuál es la posible ocurrencia del oro en esta. La estimación de la densidad del mineral fue para la caracterización de las pulpas que serán ingresadas a las lixivaciones, y finalmente el análisis químico permitirá tanto en la etapa de lixiviación como en la etapa previa conocer la cantidad de oro presente en la muestra, el análisis químico es un complemento entre ensayo al fuego y absorción atómica.

El apartado de estudio comparativo compone, como primer paso, ensayos de lixiviación de las muestras a escala de laboratorio. En este proceso, las muestras son acondicionadas para este proceso. Además de eso, se lixivian con los reactivos. Posteriormente, se recopilan todos los resultados obtenidos del trabajo, se analizan y se comparan.

3.3.1 Estudio cuantitativo de la información acerca del GDA.

Las bases para determinar qué información era relevante para investigar el GDA se obtuvieron en primer de la investigación bibliográfica previa que se detalla en el marco teórico apartado 2.5, con ello se procedió a elaborar el ejercicio de Vigilancia Tecnológica que se muestra a continuación:

Tabla 3-2: Investigación del Lixivante de Oro mediante VT

Preguntas para resolver antes de iniciar la vigilancia.	
Preguntas	Respuestas
¿Cuál es el objetivo de la vigilancia? (Anticiparse, reducir el riesgo, innovar, comprar tecnología, identificar proveedores, otros)	Conocer la información disponible sobre el Agente Lixivante oro GDA para un proceso lixiviación Aurífera más amigable con el medio ambiente.
¿Qué debemos vigilar? (Tecnologías, descubrimientos científicos, últimos avances tecnológicos, proveedores de tecnología, proveedores de materia prima, autores destacados en el tema, universidades destacadas en el tema, fuentes de financiación, países líderes, empresas líderes, otros)	Publicaciones que estudien al GDA y su aplicación en la lixiviación de oro. Scopus: - Base de datos bibliográfica y de resúmenes. - Amplia cobertura en diversas disciplinas académicas. - Información sobre artículos de revistas, conferencias y patentes. - Conocido por su capacidad para rastrear citas.
¿Dónde localizar la información? (Indicar las revistas más importantes utilizando scimago. Indicar los eventos más importantes y fuentes de información validas y concretas - no es concreto google ni scopus)	Science: - Revista científica de prestigio mundial. - Publica investigaciones originales en diversas disciplinas. - Utilizada como fuente primaria para acceder a artículos de alta calidad. Scienedirect: - Plataforma en línea de Elsevier. - Ofrece acceso a extensa colección de revistas científicas y técnicas. - Cubre disciplinas físicas, biológicas y sociales. - Proporciona artículos de texto completo y herramientas de búsqueda avanzadas.
¿Cómo tratar y organizar la información? (¿estadística, bibliometría, cienciometría, patentometría, minería de datos, infografías, flujos de proceso, otros)?	Con bibliometría y patentometría.
¿A quién comunicar la información? (grupos de investigación, departamento de I+D+i, unidad de mercadeo, unidad de producción, gerencia, otros)	A la sociedad interesada en procesos más amigables de minería
¿Cómo promover la solución a todo el personal? (medios de divulgación: planos, boletines, infografías, mapas de proceso, otros)	Publicación de Tesis, artículos científicos
¿Qué recursos se van a destinar?	
Dinero	Propio
Personas	1
Tiempo	6 meses

Elaborado por: Jimenez, 2023.

La Tabla 3-2 muestra en enfoque dado para iniciar el proceso de investigación en el cual se delimitaron dos motores de búsqueda de confianza, el primero para la información en forma de

artículos científicos, actas de conferencia entre otros es Scopus conocida por ser la base de datos que alberga gran cantidad de información confiable, y para la patentes registradas se usó la base de datos PatentScope que da acceso libre a patentes de productos, para ambas búsquedas se elaboraron ecuaciones de búsqueda en concordancia a la información que se requiere obtener. De igual forma para el cumplimiento del objetivo se siguió la siguiente metodología de trabajo:

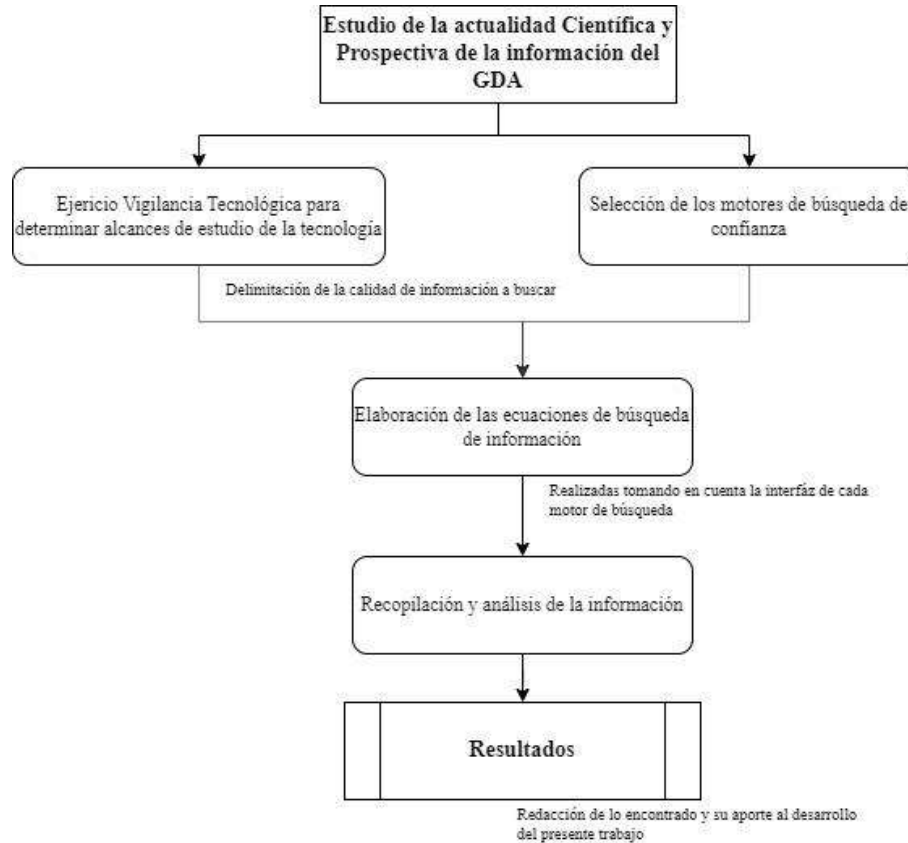


Gráfico 3-6: Modelo de investigación para identificar el estado actual de las tecnologías

Autor: Jimenez, 2023

Las ecuaciones y los motores de búsqueda ya quedaron definidos en la Tabla 3-2, en el gráfico Gráfico 3-6 se define los pasos a seguir para cumplir con el objetivo del presente trabajo.

3.3.2 Caracterización de las muestras estudiadas.

3.3.2.1 Elemental.

Las muestras en laboratorio Fueron tratadas con códigos de identificación D094-N, donde N es el número de la muestra en este caso 1 para la muestra de Camilo Ponce Enríquez (CPE), 2 para Chinapintza (CHN), 3 a Nambija Oxidada (NM OX) y 4 a Nambija Fresca (NM FR).

La redacción de los resultados ya identifica a las muestras con sus nombres y en los gráficos se los abrevia con las iniciales mostradas en los paréntesis. Con esto los resultados presentables serían: la caracterización elemental y mineral de las muestras por las técnicas analíticas Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos X (DRX).

3.3.2.2 Estimación de densidad de la roca.

Esta determinación se realizó mediante la técnica de picnometría los pasos seguidos fueron tomados de Atarés, ([sin fecha]) en su manual para cálculo de densidad de un líquido y adaptados para determinar la densidad de un sólido.

- 1) Se procede a secar el picnómetro durante 24 horas y se le permite enfriarse en un desecador con el objetivo de asegurar su completa sequedad.
- 2) En una balanza analítica, se realiza la pesada del picnómetro ya seco.
- 3) Se carga la muestra mineral en el picnómetro, llenándolo hasta la mitad de su volumen.
- 4) Posteriormente, se pesa el picnómetro que ahora contiene la muestra mineral.
- 5) Luego, se procede a llenar el picnómetro con agua destilada hasta alcanzar el volumen de aforo del balón.
- 6) Se realiza una nueva pesada del picnómetro, esta vez con la muestra mineral y el líquido.
- 7) Finalmente, se llevan a cabo cálculos matemáticos para determinar la densidad, utilizando los datos recopilados durante el proceso experimental, las fórmulas matemáticas usadas se mencionan a continuación.

Las fórmulas usadas se resumen en la Tabla 3-3:

Tabla 3-3: Fórmulas para la determinación de densidad por picnometría

Resultado	Formula
Masa Del Mineral Ingresado (Mm)	$Mm = (M_{\text{picnometro con mineral}} - M_{\text{picnometro vacio}})$
Masa De Agua (Ma)	$Ma = (M_{\text{picnometro agua y mineral}} - M_{\text{de picnometro vacio}} - Mm)$
Volumen De Agua (Va)	$Va = \frac{Ma}{D_{\text{agua destilada}}}$
Volumen De Mineral (Vm)	$Vm = V_{\text{Aforo del Picnometro}} - Va$
Densidad Del Mineral (Pm)	$\rho m = Mm/Vm$

Elaborado por: Jimenez, 2023

Fuente: Atarés, ([sin fecha])

3.3.2.3 Análisis químico.

El análisis químico utilizado en este trabajo es un complemento entre ensayo al fuego y lectura de absorción atómica para muestras sólidas, y solo lectura de absorción atómica para las soluciones que salen de los procesos de lixiviación, este análisis químico se lo realizó para todos los procesos en los cuales se requería conocer la concentración de oro en cualquier etapa del proceso de lixiviación.

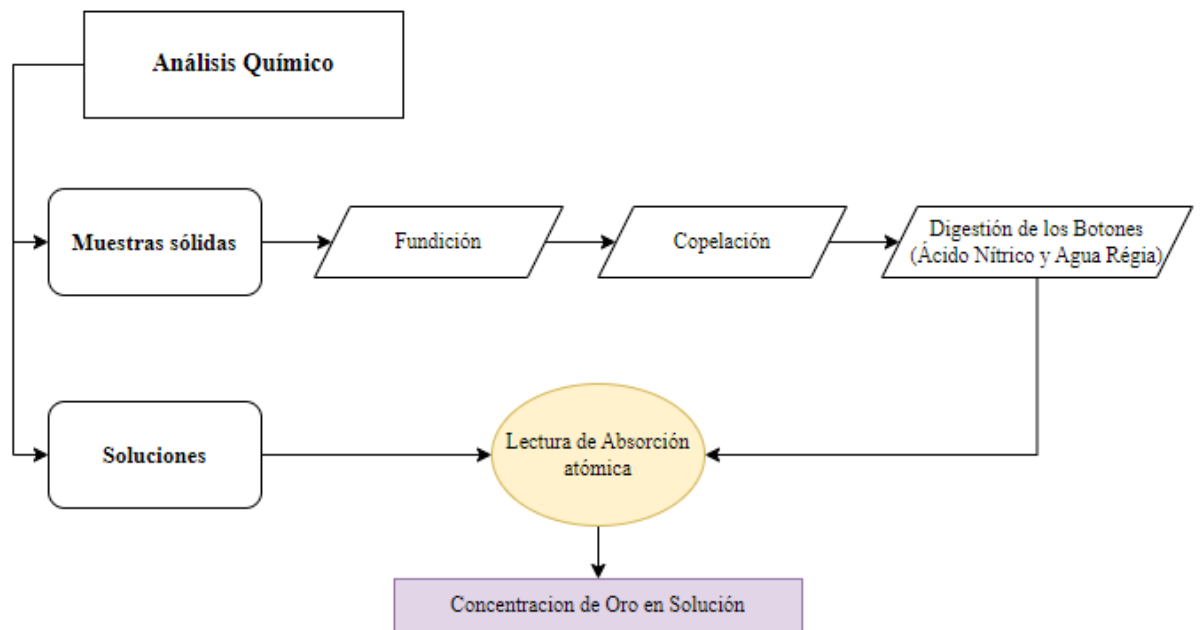


Gráfico 3-7: Procesamiento de muestras para análisis químico.

Elaborado por: Jiménez, 2024.

En el Gráfico 3-7 se detalla los procesos seguidos para las muestras tanto solidas como liquidas ya que en las lixiviaciones también se usa este procedimiento para la cuantificación del metal presente por ello se hace énfasis tanto en muestras solidas como en soluciones.

3.3.3 Ensayo de lixiviación.

El procedimiento seguido para elaborar los ensayos de lixiviación se muestra en el Gráfico 3-8:

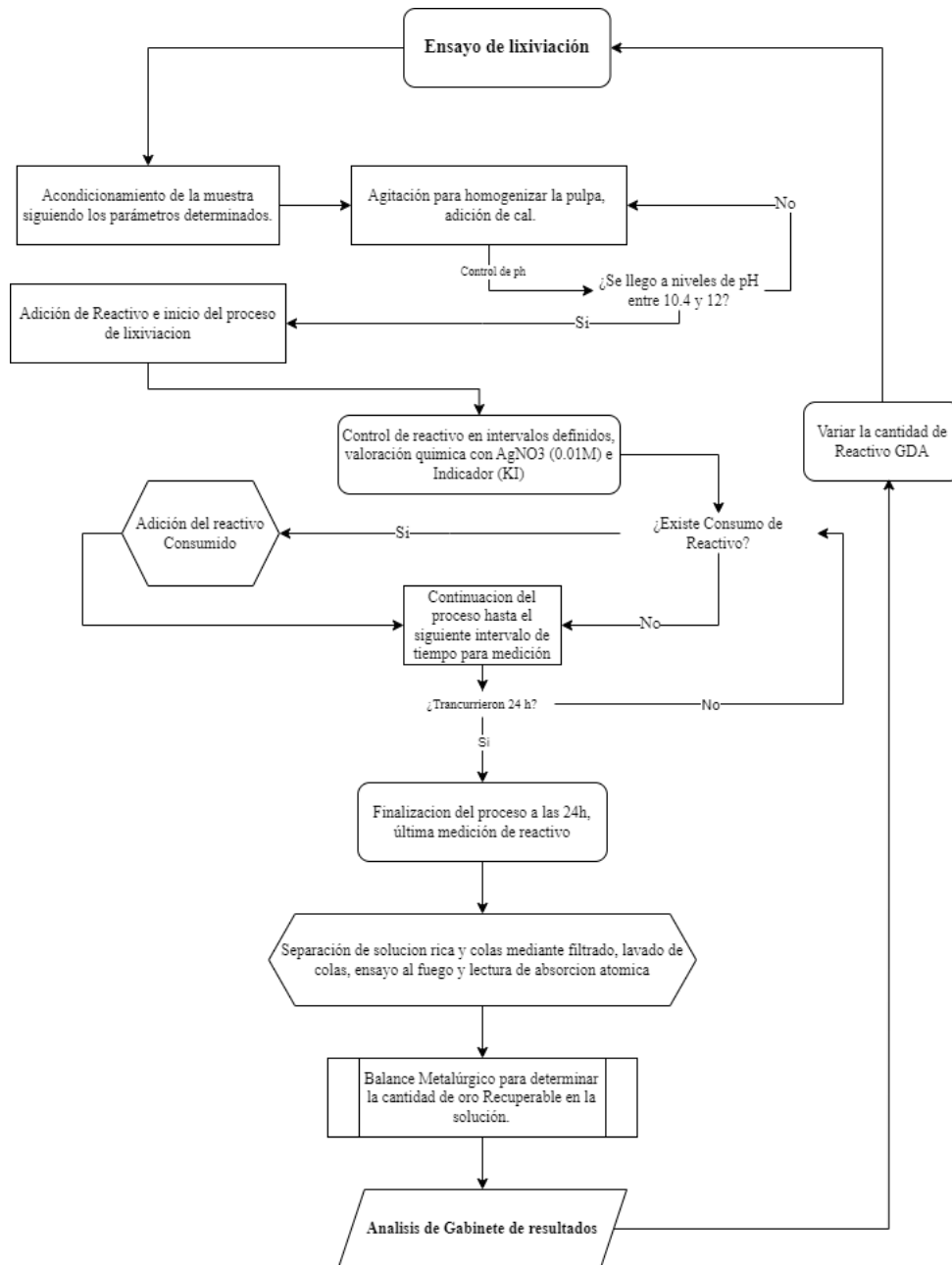


Gráfico 3-8: Flujograma para el proceso experimental de Lixiviación

Elaborado por: Jimenez, 2023

3.3.3.1 Parámetros operacionales para el proceso de lixiviación.

Los parámetros de operación fueron determinados de manera estándar para las 4 muestras estudiadas tomando en cuenta la bibliografía relacionada con el tema de lixivaciones y las recomendaciones que proporciona el fabricante para el uso del nuevo agente GDA.

3.3.3.2 Caracterización de la pulpa mineral.

La caracterización de la pulpa mineral describe las propiedades físicas de una suspensión acuosa que contiene partículas minerales. La pulpa es una mezcla de agua y mineral producto de la molienda húmeda. Esta suspensión acuosa es utilizada en procesos metalúrgicos como lixiviación, flotación, concentración gravimétrica entre otros. Para el cálculo de los parámetros estudiados, la formulación fue tomada de Blanco, (2019) en su manual de caracterización de pulpas, los cuales se mencionan la forma de cálculo en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Fórmulas para la caracterización de la pulpa

Resultado	Formula
Densidad de la Pulpa (ρ_S)	$\rho_S = \frac{V_{sólido} + V_{líquido}}{m_{sólido} + m_{líquido}}$
Fracción volumétrica de Sólidos (ϕ)	$\phi = \frac{\rho_S - \rho_{líquido}}{\rho_{sólido} - \rho_{líquido}}$
Fracción de Sólidos en peso (X_p)	$X_p = \frac{m_{sólido}}{m_{sólido} + m_{líquido}}$
Dilución (D)	$D = \frac{\rho_{líquido} (\rho_{mineral} - \rho_S)}{\rho_{mineral} (\rho_S - \rho_{líquido})}$

Elaborado por: Jimenez, 2023

Fuente: Blanco, (2019)

3.3.3.3 Balance Metalúrgico.

El balance metalúrgico para determinar la cantidad de oro lixiviado en cada proceso se determina mediante una reconstrucción de la cabeza mineral ingresada al mismo, esta reconstrucción se la realiza mediante la suma de los miligramos de Au que se lixivieron y los miligramos de Au que quedo en el relave o colas de cianuración. La formulación usada fue tomada del informe del Instituto de Minerales CIMEX, (2023) resumiéndose en la Tabla 3-5:

Tabla 3-5: Ecuaciones para el balance metalúrgico

Resultado	Formula
Oro presente en el Concentrado en miligramos (mg_c)	$mg_c = ppm(mg/l) * \frac{Vol_{líquido} (ml)}{1000}$
Oro presente en las Colas en miligramos (mg_T)	$mg_T = Ley_T \left(\frac{g}{t} \right) * masa\ del\ relave \frac{(g)}{1000}$
Reconstrucción de Cabeza (mg_F)	$mg_F = mg_c + mg_T$
Oro Recuperable (R)	$R(\%) = \frac{mg_c}{mg_F} * 100$
Ley Mineral (g/t -G/T)	$Ley = ppm * \frac{masa\ del\ líquido\ (g)}{masa\ de\ mineral\ (g)}$ $Ley = \frac{mg_{Au}}{g_{mineral}} * 1000$
Acotaciones	F=Alimento C= Concentrado T= Cola g= Gramos

Elaborado por: Jiménez, 2024

Fuente: Instituto de Minerales CIMEX, (2023)

3.3.3.4 Parámetros operacionales.

La bibliografía según Álvarez García, (2006) refiere que el ácido cianhídrico se produce en valores de pH inferiores a 9 y se volatiliza en el aire además de disminuir la eficiencia del proceso, de este modo los valores de pH trabajables deben ser superiores al 10.4 para evitar la pérdida de reactivo y garantizar la seguridad del operario al ser este gas altamente toxico, con respecto al GDA el fabricante menciona que se trabaja en condiciones de pH entre 11-12 con la finalidad de no afectar la efectividad del proceso, dado estos antecedentes ambos reactivos se acondicionan de igual forma.

El proceso de lixiviación por agitación se realiza siguiendo parámetros establecidos anteriormente en el cual la única variante del ensayo es la concentración de reactivo, a continuación se describe el proceso para el ensayo.

- Peso de mineral que ingresa al ensayo en la primera etapa: 30g.
- Adición de agua siguiendo la relación 1 sólido y 2 de líquido en peso.
- En 350 rpm agitar las muestras y medir el pH inicial.
- Acondicionamiento de pH, con cal valores en entre 10.4-12
- Agitación durante 5 minutos para estabilizar pH.
- Peso del reactivo a usar en relación con la cantidad de masa mineral que se encuentra en ensayo.
- Mediciones de control de reactivo mediante volumetría con nitrato de plata y agente indicador, intervalos de tiempo usados (1h, 2h, 3h, 6h, 12h, 24h)
- Adición de reactivo consumido calculado mediante estequiometria de la reacción.
- Control de pH
- Finalización del ensayo a las 24h
- Filtrado de la solución rica y la cola.
- Lavado de la cola con agua destilada, para eliminar los restos de solución rica que queda.
- Secado de la cola y ensayo al fuego.
- Lectura de absorción atómica de cola y concentrado.
- Balance metalúrgico.

3.3.3.5 Control de Reactivo libre.

El control de reactivo se lo realiza con la finalidad de mantener la misma concentración de agente lixivante en la solución durante todo tiempo que dura el ensayo, esta concentración coincide con los gramos agregados en la hora 0 del ensayo. Dado que los agentes GDA y NaCN se agregan en solido para cada medición de reactivo se adiciona la cantidad que ya formó algún complejo en el sistema; este resultado se obtiene de la resta entre la cantidad de reactivo adicionada al inicio menos la cantidad libre en el sistema, los cálculos se resumen a continuación.

Tabla 3-6: Fórmulas para el control del reactivo en el proceso de lixiviación

Resultado	Formula
Adición de reactivo inicial al proceso (g _{rx})	$g_{rx} = masa\ de\ mineral\ a\ usar\ (g) * concentracion\ \left(\frac{ppm}{1000}\right) *$ $\frac{1}{1000}$
Reactivo libre en solución (R _s)	$R_s(g) = K_{estequimetrica}^2 * Volumen_{AgNO_3\ 0.01\ M\ consumido} *$ $\frac{Vol\ total\ solución}{Vol\ de\ alicuota}$
Reactivo Para Adicionar (Rad)	$Rad = g_{rx} - R_s$

Elaborado por: Jiménez, 2024.

3.3.3.5.1 Control de cianuro.

Para calcular la cantidad de cianuro libre en una solución, el procedimiento se guiará por la reacción química entre el AgNO₃ y NaCN. Se puede determinar la cantidad de cianuro libre, tomando en cuenta la concentración del nitrato de plata usado. Para una concentración de AgNO₃ de 0,01M se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$NaCN_{libres}(g) = ml\ AgNO_3 * \frac{Mol\ AgNO_3}{vol\ Sol\ AgNO_3} * \frac{mol\ de\ NaCN_{reaccionan}}{mol\ de\ AgNO_3_{reaccionan}} * masa\ molar\ del\ NaCN$$

(3-1)

$$NaCN_{libres}(g) = 1\ ml\ AgNO_3 * \frac{0.01\ Mol\ AgNO_3}{1000\ ml\ AgNO_3} * \frac{2\ mol\ NaCN}{1\ mol\ AgNO_3} * \frac{49\ g\ NaCN}{1\ mol\ NaCN}$$

$$NaCN_{Libres} = 0.00098\ g$$

Esta ecuación indica que por cada mililitro de nitrato de plata en una concentración de 0.01 Molar consumidos hay en solución una masa de 0.00098g de cianuro de sodio libres, al ser el valor una propiedad extensiva es necesario que el resultado sea multiplicado por la dilución entre el volumen total del sistema y la alicuota tomada para medición.

Para determinar la cantidad de cianuro libre en la solución se multiplica:

² K estequiométrica de obtiene de la reacción entre el nitrato de plata y el agente lixivante presente en solución (NaCN o GDA).

$$g \text{ NaCN}_{\text{Libre Total}} = 0.00098 \frac{g \text{ NaCN}}{ml \text{ AgNO}_3} * ml \text{ consumidos de AgNO}_3 * \frac{Vol \text{ Total (ml)}}{Vol \text{ Alicuota (ml)}} \quad (3-2)$$

Cianuro consumido sería igual:

$$\text{NaCN}_{\text{consumido}} = \text{masa inicial adiconada (g)} - \text{NaCN libre total (g)} \quad (3-3)$$

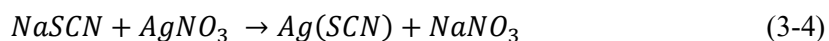
El cianuro consumido es la cantidad de masa que hay que volver a adicionar al sistema para mantener la misma concentración de reactivo.

Las mediciones de la cantidad de reactivo a escala laboratorio depende del método de normalización seguido; por ejemplo la Escuela Politécnica Nacional (EPN), (2019), de Ecuador sigue un proceso de medición en 7 puntos siendo en las horas 1, 2, 3, 4, 8, 20 y 24. En Instituto de minerales CIMEX, (2023) sigue 9 mediciones siendo a las 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12 y 24 horas, cada laboratorio según la opinión de sus expertos y las normas internacionales vigentes puede elegir el método que mejor considere para seguir en comportamiento del reactivo en solución durante el ensayo.

Para el ensayo tomando en cuenta los intervalos de medición como una referencia se los realizaron en las horas 1, 2, 3, 6, 12, 24.

3.3.3.5.2 **Control de GDA.**

El reactivo que funciona como lixivante de oro en el GDA es NaSCN que a pesar de también contener cianuro en su sistema se caracteriza por tener también azufre, para una medición normal, el reactivo indicador que ayuda a determinar es el yoduro de potasio KI. Para este caso para el GDA no se puede hacer la medición con este indicador ya que no reacciona de la misma forma según lo que se observó durante el desarrollo de las experimentaciones iniciales, por ello se usó Rodamina B según la investigación previa del reactivo se determinó que con este compuesto se puede realizar la medición de GDA libre en el sistema y por ende el control de reactivo. La reacción para valoración química entre tiocianato de sodio y nitrato de plata sería entonces la siguiente.



Según la reacción química cada mol de tiocianato de sodio reacciona con un mol de nitrato de plata para formar tiocianato de sodio y nitrato de sodio, para nitrato de plata al 0.01M la cantidad de reactivo libre se determina de igual manera que la ecuación (4-2), lo cual da como resultado:

$$g_{NaSCN} = 1ml AgNO_3 * \frac{0.01 Mol AgNO_3}{1000 ml AgNO_3} * \frac{1 mol NaSCN}{1 mol AgNO_3} * \frac{81.072 g NaSCN}{1 mol NaSCN}$$

$$g_{NaSCN} = 0.00081$$

Para reponer el reactivo consumido el proceso a seguir es de igual forma que en la ecuación (4-2).

$$g NaSCN_{Libre Total} = 0.00081 \frac{g NaSCN}{ml AgNO_3} * ml consumidos de AgNO_3 * \frac{Vol Total}{Vol Alicuota}$$

GDA consumido sería igual:

$$GDA_{consumido} = gramos iniciales adicionados - gramos libres(g_{NaSCN}) \quad (3-5)$$

Es así como, el cianuro consumido sería la cantidad de reactivo que se debe adicionar al sistema para garantizar que el sistema siempre mantenga una misma concentración.

La reacción indica que por cada ml de nitrato de plata a una concentración de 0.01M hay una presencia de 0.00081g de tiocianato de sodio, entonces la constante de formación sería $k=0.00081$ g NaSCN/ml AgNO₃. El indicador, al consumirse todo el tiocianato en la solución, muestra un cambio de color de rosa a morada y posteriormente precipitándose en color café como se muestra en el Gráfico 3-9:



Gráfico 3-9: Cambio de coloración de la solución con tiocianato y Rodamina B

Elaborado por: Jimenez, 2023

La rodamina B es sensible a la plata y muestra en cambio de coloración al reaccionar con iones libres, los colores pueden cambiar a café o a morado según el mineral que lixivía, como ejemplo se muestra la reacción de titulación para la muestra de Chinapintza.

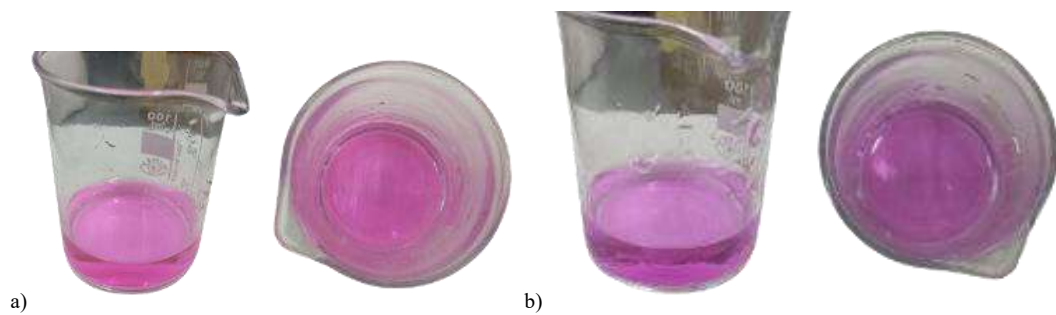


Gráfico 3-10: Reacción de Valoración química a) antes de la reacción con el AgNO_3 b) después de la reacción.

Elaborado por: Jiménez, 2023

CAPITULO IV

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Producción científica de las tecnologías del GDA

El GDA, como una nueva tecnología de estudio, carece de una gran cantidad de información disponible. Se promociona como más amigable con el medio ambiente, pero no se han realizado los estudios suficientes para esta afirmación, aparte de sus fabricantes, para comprobar esta afirmación. Con este antecedente la ecuación formulada para la búsqueda de información fue:

- TITLE-ABS-KEY ("Gold Dressing Agent" OR "environmentally friendly gold leaching agent" OR "sodium thiocyanate gold leaching") AND TITLE-ABS-KEY ("gold extraction" OR "metal leaching" OR "mining" OR "mineral processing") para-Scopus
- FP:(Gold Dressing Agent) and DP: [2008 to 2023] en PatentScope.

Los primeros resultados encontrados en la búsqueda en Scopus muestran que el compuesto no tiene estudios presentados en forma de artículos científicos. Es decir, por parte de la ciencia, no se encuentra información que pueda ser estudiada como un marco referencial. Los reportes que se encontraron para tener un marco referencial de este producto fueron solo 3 los cuales dos son informes de aplicación en planta y uno de un estudio aplicado a la pequeña minería de África pero en todos ellos no se llega a información concluyente que permitan asegurar que el producto cumple con la información que promete sus productores.

Pese a esta falta de información en el área científica en el motor de búsqueda PatentScope, sí se pudieron encontrar resultados los cuales se presentan a continuación.

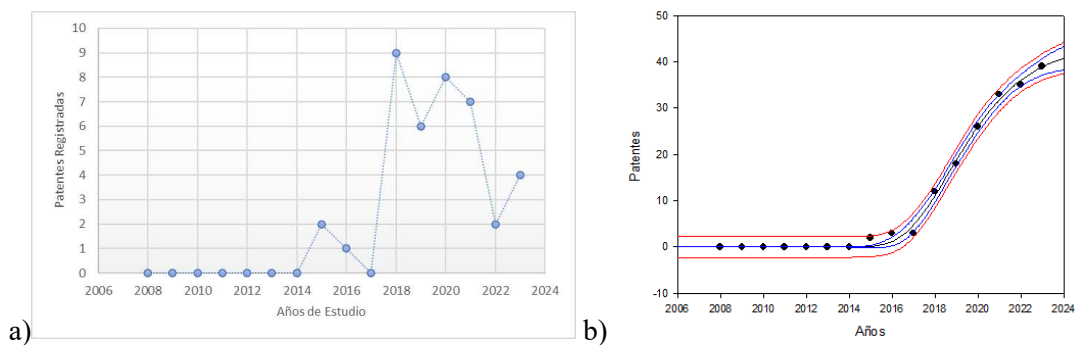


Gráfico 4-1: Actualidad científica de las patentes registradas del GDA a) estado de patentes, b) evolución tecnológica

Elaborado por: Jimenez, 2023.

El Gráfico 4-1 muestra cómo se ha evolucionado la tecnología desde el estado de las patentes. Se observa actividad en los años 2017 a 2018 donde se registraron la mayor cantidad de patentes de esta tecnología, posterior a este año se observa la disminución de las publicaciones respecto a las patentes se refiere. El gráfico parte b), muestra que en base a su comportamiento de la curva en S de VT se evidencia un estado temprano de crecimiento donde la tecnología es poco conocida con limitado acceso a la información lo cual obedece a una etapa de difusión inicial y crecimiento temprano en cuanto a ciencia del GDA.

De la información recopilada de la patente de producto GDA se pudieron recopilar los siguientes resultados.

El reactivo de lixiviación Gold Dressing Ore Agent, abreviado como GDA, es un agente utilizado para la lixiviación de minerales de oro y plata, conocido por ser más amigable con el medio ambiente. Las patentes registradas pertenecen a la empresa Guanxi Senhe High Technology con número 201110195752.4 para el producto de la empresa. La patente registrada por Che Shujin et al., (2017), con número 201710259502.X, describe al GDA como un agente compuesto por Tiocianato de sodio (NaSCN), Carbonato de sodio (Na_2CO_3), Urea como cosolvente ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) y yoduro de sodio (NaI). Esta descripción coincide con la información proporcionada por el Instituto de Geociencias Africano, analizada en el apartado 2.5.1

Respecto a la composición del GDA, se menciona las siguientes proporciones: 40 partes de tiocianato de sodio, 30 partes de carbonato de sodio, 30 partes de cosolvente y 8 partes de yoduro de sodio. También el fabricante refiere que se puede mandar a preparar una composición diferente del GDA dada las necesidades específicas de cada planta de procesamiento.

4.1.1 Estudio del GDA por fluorescencia de rayos X.

El GDA fue estudiado utilizando esta técnica analítica para corroborar la información obtenida por medio de la investigación bibliográfica.

Tabla 4-1: Resultado de FRX para el GDA

Elemento	Nombre elemento	Concentración [%]
Na	Sodio	24.772
Mg	Magnesio	12.277
Si	Silicio	0.603
P	Fosforo	0.015
S	Azufre	0.058
Cl	Cloro	0.566
Ca	Calcio	0.026
Cr	Cromo	0.045
Mn	Manganeso	0.0003
Fe	Hierro	3.332
Ni	Níquel	0.028
Cu	Cobre	0.003
Zn	Zinc	0.001

Elaborado por: Jiménez, 2023

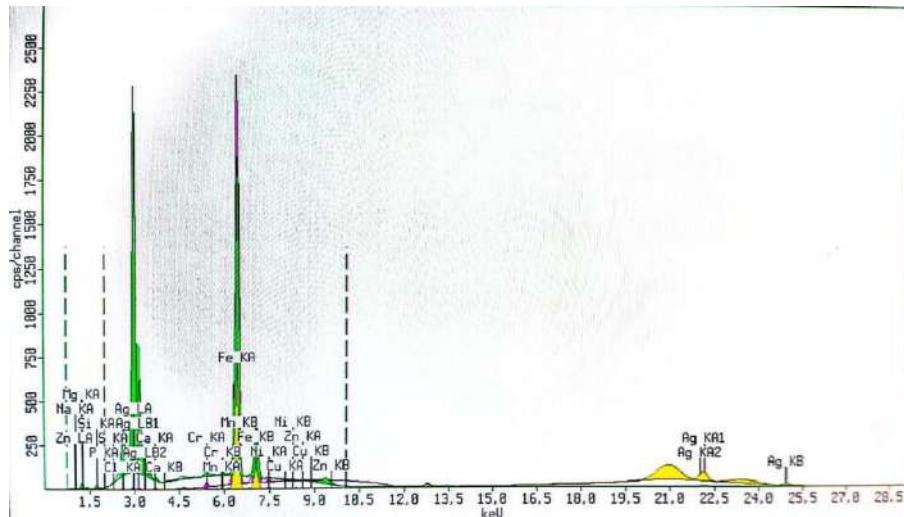


Gráfico 4-2: Resultados del FRX para el GDA

Fuente: Instituto de Minerales CIMEX, 2023

Los resultados de los elementos presentes en el reactivo evidenciaron tener en altas cantidades sodio, magnesio y hierro, y algunas trazas de otros elementos como el zinc, manganeso, fósforo y cobre. Por naturaleza de la técnica, no se puede detectar los compuestos nitrógeno y carbono.

El sodio en la muestra es un indicador de que la sal está compuesta por el ion SCN^- . Además, al observarse el azufre en los resultados. Dichos elementos que están presentes en la composición del reactivo coinciden con los resultados por VT.

4.1.1.1 Composición y mecanismo de lixiviación del GDA encontrados por VT

La patente del producto hace referencia a los compuestos previamente mencionados. En el marco referencial de los compuestos alternativos al cianuro, se ha realizado una interpretación basada en criterios personales, respaldada por la información química disponible.

Tiocianato de sodio (NaSCN): es un compuesto sulfurado derivado del cianuro de sodio es capaz de formar complejos de oro de la forma $\text{Au}(\text{SCN})^-$ y oxidarse en amonio, por ende, este compuesto es el encargado de la lixiviación del oro.

Carbonato de Sodio (Na_2CO_3): este compuesto en el proceso de lixiviación con tiocianato presente ayuda a mantener el pH en la solución para que funcione en medio básico, el carbonato de sodio puede aceptar protones para formar bicarbonato (HCO_3^-), y este último actúa como una especie buffer controladora de pH en soluciones acuosas básicas.

Hierro (Fe): El GDA contiene hierro, lo cual facilita la oxidación del oro durante el proceso de lixiviación. Además, el hierro presente tiene la capacidad de oxidar menas sulfuradas, lo que no es posible con el cianuro de sodio. Esta característica del GDA permite que ciertos materiales obtengan tasas de lixiviación altas.

Magnesio (Mg): puede ayudar a controlar el pH de la solución además de minimizar la formación de complejos insolubles durante el proceso de lixiviación con tiocianato.

4.2 Caracterización mineral

4.2.1 Composición mineral y mineralógica de las muestras.

En el apartado 3.3.2 se mencionan las técnicas analíticas empleadas para la caracterización mineral de las muestras, los resultados de los elementos presentes por FRX se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4-2: Resultados de los elementos minerales estudiados de las muestras para los procesos de Fluorescencia de Rayos X

Elemento*	Nombre elemento	Concentración (%)			
		Cod. D094-1 Camilo Ponce Enríquez	Cod. D094-2 Chinapintza	Cod. D094-3 Nambija Oxidada	Cod. D094-4 Nambija Fresca
Mg	Magnesio	5.526	5.387	4.29	4.242
Al	Aluminio	5.881	3.283	5.449	4.668
Si	Silicio	28.619	13.563	26.832	27.038
S	Azufre	6.507	23.107	0.943	0.901
Cl	Cloro	0.45	0.358	0.288	0.372
K	Potasio	0.96	1.131	1.171	1.642
Ca	Calcio	2.229	0.916	14.336	18.23
Ti	Titanio	0.575	0.07	0.273	0.3
V	Vanadio	0.032		0.044	0.026
Cr	Cromo	0.018			0.009
Mn	Manganeso	0.165	0.619	1.114	0.806
Fe	Hierro	17.881	23.125	16.775	13.46
Ni	Níquel	0.009			
Cu	Cobre	0.234	0.148	0.109	0.066
Zn	Zinc	0.814	4.283	0.062	0.128
As	Arsénico	0.451	0.404	0.015	
Y	Itrio	0.018			
Sn	Estaño	0.007		0.006	
Sb	Antimonio	0.063			
Te	Telurio	0.013			
Os	Osmio				0.015
Pb	Plomo		2.611	0.038	0.127
Rb	Rubidio		0.004		
Zr	Zirconio			0.016	0.013
Ir	Iridio	0.064			
Eu	Europio	0.094	0.163	0.138	0.077

Elaborado por: Jimenez, 2023

Se presentan adjuntos los Espectros de Rayos X, en los cuales se depuró las especies minerales que no fueron leídas en los niveles KA del espectro o a su vez no presentaban picos de lectura en el mismo.

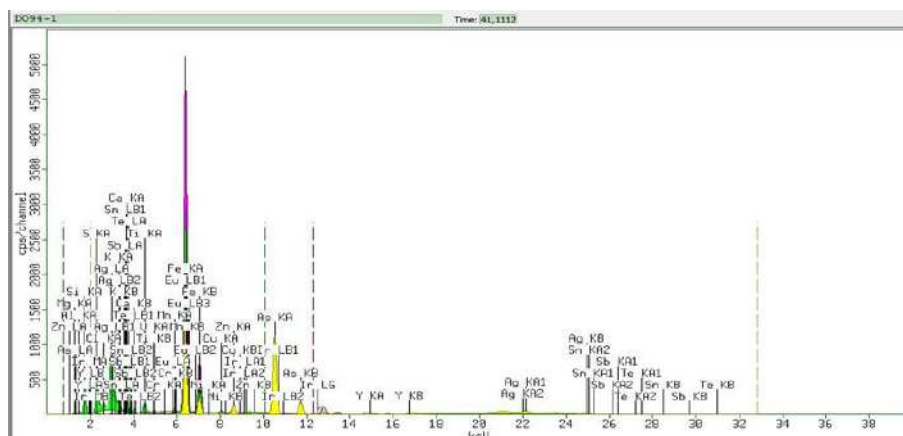


Gráfico 4-3: Espectro de FRX de la muestra D094-1: Camilo Ponce E.

Fuente: Instituto de Minerales CIMEX, 2023

La muestra de Camilo Ponce Enríquez presenta elevados niveles de silicio (28.619%) y hierro (17.88%). Tiene presencia de magnesio, aluminio y azufre en concentraciones superiores al 5%. Elementos como el cloro, potasio, titanio, vanadio, cromo, manganeso, níquel, cobre, zinc, itrio, estaño, telurio, iridio y europio están presentes en concentraciones inferiores al 1%. El mineral tiene presencia de arsénico y antimonio como elementos cianicidas, se encuentra en concentraciones inferiores al 0.5%.

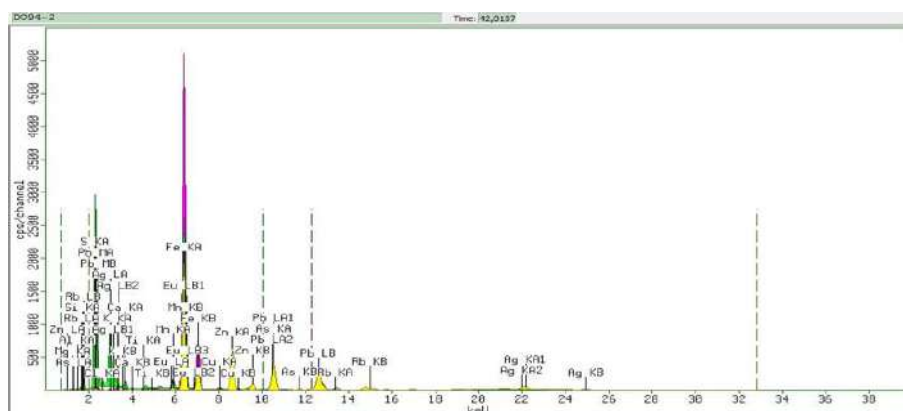


Gráfico 4-4: Espectro de FRX de la muestra D094-2: Chinapintza.

Fuente: Instituto de Minerales CIMEX, 2023

La muestra de Chinapintza evidencia elevadas concentraciones de hierro (23.12%), silicio (13.56%) y azufre (23.107%). En concentraciones menores al 5% se tiene al magnesio, aluminio, potasio, zinc y plomo. Con baja presencia en la muestra hay cloro, calcio, titanio, manganeso, cobre, rubidio y europio. Se evidencia la presencia de cianicidas como el arsénico (0.40%).

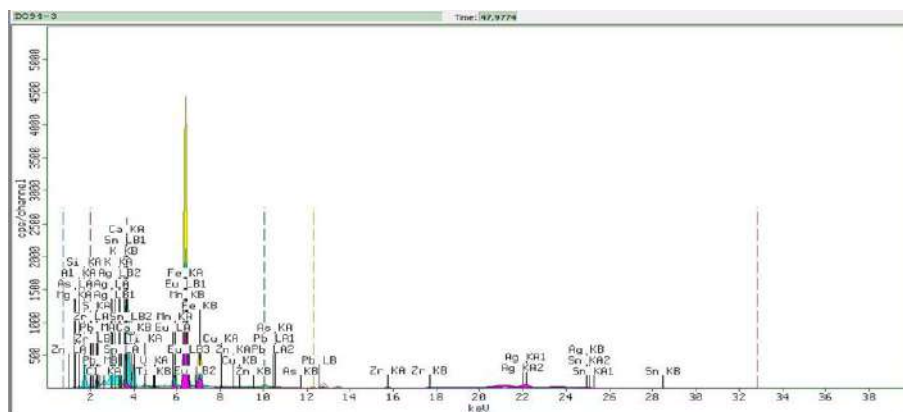


Gráfico 4-5: Espectro de FRX de la muestra D094-3: Nambija Oxidada

Fuente: Instituto de Minerale CIMEX, 2023

La muestra de Nambija Oxidada presenta concentraciones altas de silicio (26.83%), calcio (14.336%) y hierro (16.77%). El aluminio está presente en una concentración del 5.38%. Elementos como el magnesio, potasio y manganeso en cantidades que no superan el 1%, y con concentraciones inferiores al 1% se evidencia azufre, cloro, titanio, vanadio, cobre, zinc, estaño, plomo, zirconio y europio. La presencia de arsénico se observa en una concentración del 0.015%.

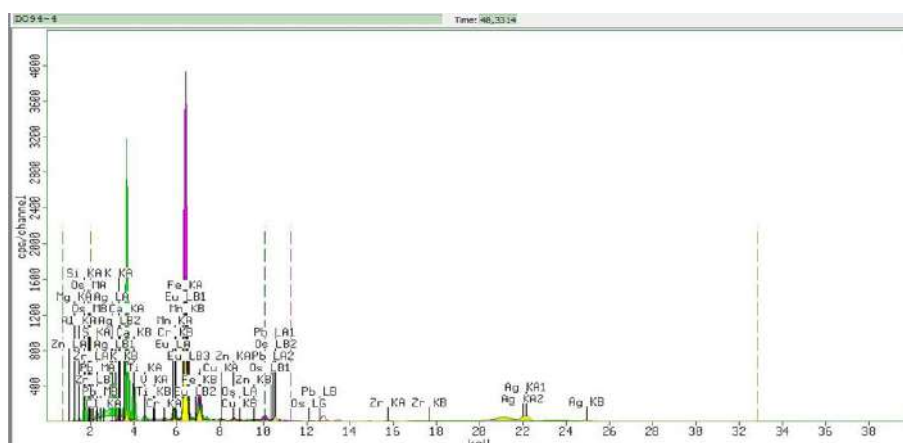


Gráfico 4-6: Espectro de FRX de la muestra D094-4: Nambija Fresca

Fuente: Instituto de Minerale CIMEX, 2023

Finalmente, la muestra de Nambija Fresca presenta altas concentraciones de silicio (27.03%), calcio (18.23%) y hierro (13.46%). Los elementos como el magnesio, aluminio y potasio están en cantidades inferiores al 5%, y con concentraciones bajas hay azufre, cloro, titanio, vanadio, cromo, manganeso, cobre, zinc, osmio, plomo, zirconio y europio en cantidades menores al 1%. No evidencia presencia de arsénico o antimonio.

En relación con los espectros presentados en los gráficos previos, se excluyó la cuantificación de la plata en el reporte debido a las limitaciones que tiene este mineral con esta técnica analítica. Los elementos de mayor presencia en los espectros corresponden al hierro y calcio.

El estudio de difracción de rayos x para las muestras evidenció los siguientes resultados en donde también se puede observar el difractograma de fases minerales.

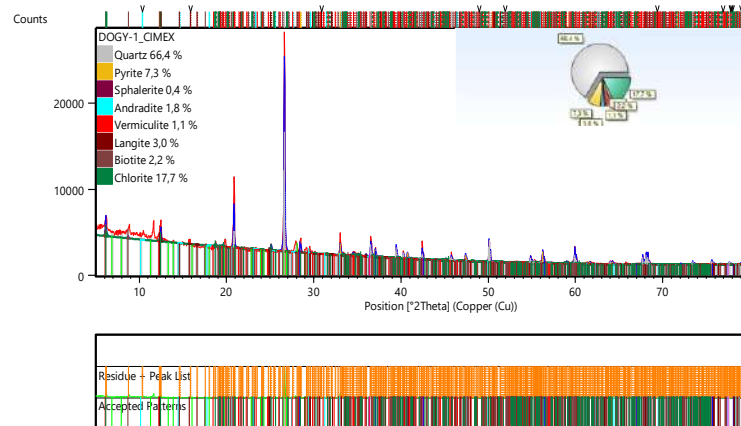


Gráfico 4-7: Difractograma de la muestra D094-1: Camilo Ponce E

Fuente: Laboratorio de INGEOMINAS de la Universidad Nacional de Colombia

Tabla 4-3: Cuantificación Mineral CPE

Muestra	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
<i>Ponce Enríquez</i>		
	Cuarzo	66.4
	Pirita	7.3
	Esfalerita	0.4
Cod.	Andradita	1.8
D094-1	Vermiculita	1.1
	Langita	3
	Biotita	2.2
	Clorita	17.7

Elaborado por: Jimenez, 2023

El difractograma de la muestra de Ponce Enríquez con el código D094-1 que se muestra en el Gráfico 4-7, revela la presencia de diversas fases minerales en su composición. La muestra exhibe una notable predominancia de cuarzo (SiO_2). Además, se identificaron otras fases minerales, incluyendo pirita (FeS_2), esfalerita (ZnS), andradita ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$), vermiculita ($(\text{Mg,Fe,Al})_3(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), langita ($\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), biotita ($(\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2)$), y clorita ($(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$).

El análisis también indica la presencia de varias rocas y minerales asociados, que incluyen diorita, dacita e intrusiones de variada composición. Se identificaron sulfuros en la mineralización, con granates como la andradita asociada a micas. La presencia de sulfatos también fue destacada en el análisis.

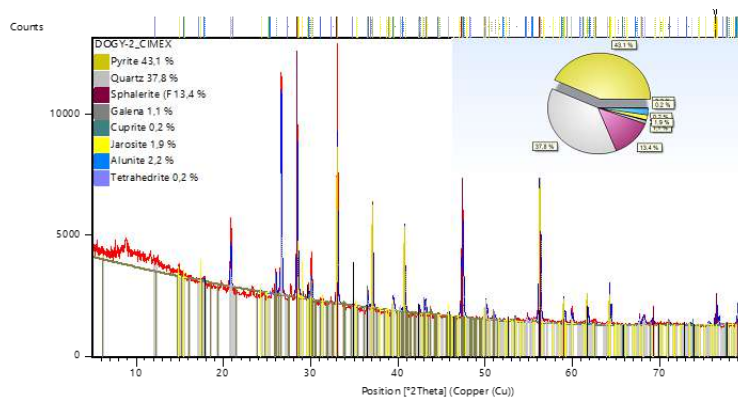


Gráfico 4-8: Difractograma de la muestra D094-2: Chinapintza.

Fuente: Laboratorio de INGEOMINAS de la Universidad Nacional de Colombia

Tabla 4-4: Cuantificación mineral CHN

Muestra	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
<i>Chinapintza</i>		
Cod. D094-2	Pirita	43.1
	Cuarzo	37.8
	Esfalerita	13.4
	Galena	1.1
	Cuprita	0.2
	Jarosita	1.9
	Alunite	2.2
	Tetraedrita	0.2

Elaborado por: Jimenez, 2023

Los resultados del espectro del Gráfico 4-8, recopilados en la Tabla 4-4 del análisis de la muestra de Chinapintza con el código D094-2, revelan una composición mineralógica notable. Destaca la alta presencia de pirita (FeS_2) y cuarzo (SiO_2) en la muestra. Además, se identificaron otros minerales, como esfalerita (ZnS), galena (PbS), cuprita (Cu_2O), jarosita ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), alunite ($\text{KA}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) y tetrahedrita ($(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), aunque en proporciones menores.

La geología del distrito minero Chinapintza está caracterizada por la presencia de tobas riolíticas, riódacitas asociadas a intrusivos, granodiorita, y una mineralización que se clasifica como tipo pórfido y tipo veta. Se destaca la presencia de alunite, un tipo de arcilla, y la presencia de sulfuros como pirita, esfalerita y galena. Además, se identificaron minerales de veta y la presencia de tetrahedrita. La mineralización en Chinapintza abarca sulfuros de cobre, arsénico y antimonio, mostrando la asociación de alunite con feldespato y plagioclasa en la muestra, con presencia de oro asociado.

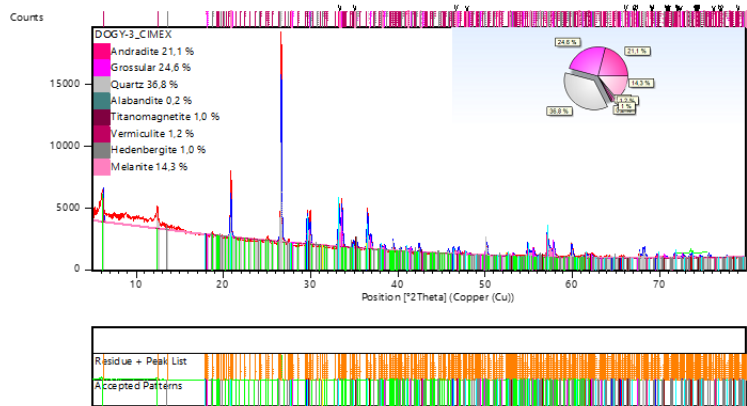


Gráfico 4-9: Difractograma de la muestra D094-3: Nambija Oxidada

Fuente: Laboratorio de INGEOMINAS de la Universidad Nacional de Colombia

Tabla 4-5: Cuantificación mineral NM OX

Muestra	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
<i>Nambija Oxidada</i>		
Cod. D094-3	Andradita	21.1
	Grosularia	24.6
	Cuarzo	36.8
	Alabandita	0.2
	Titanomagnetita	1
	Vermiculita	1.2
	Hedenbergita	1
	Melanita	14.3

Elaborado por: Jimenez, 2023

La composición mineralógica de la muestra proveniente de Nambija que muestra el difractograma del Gráfico 4-9, sugiere una génesis geológica influenciada por diversos procesos geológicos. La presencia significativa de minerales como andradita y grosularia, ambos pertenecientes al grupo de los granates, apunta a condiciones de metamorfismo como el skarn y actividad hidrotermal rica en calcio y hierro. El cuarzo, constituyente principal, indica la influencia de entornos hidrotermales y metamórficos.

La coexistencia de minerales como alabandita (MnS) y titanomagnetita ($Fe^{2+}(Fe^{3+},Ti)_2O_4$) sugiere condiciones reductoras y procesos de alteración enriquecedora. La presencia de vermiculita ($(Mg,Fe,Al)_3(Al,Si)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$) y hedenbergita ($CaFeSi_2O_6$), minerales indicativos de metamorfismo en la roca skarn, también se destaca. La melanita ($Ca_3Al_2(SiO_4)_3$), otro granate presente, sugiere variaciones químicas y condiciones específicas de formación. En términos geológicos, la muestra se caracteriza como una roca metamórfica por contacto, con evidencia de procesos oxidativos y alteración hidrotermal que han afectado la composición original de la roca, incluyendo la presencia de arcillas y micas

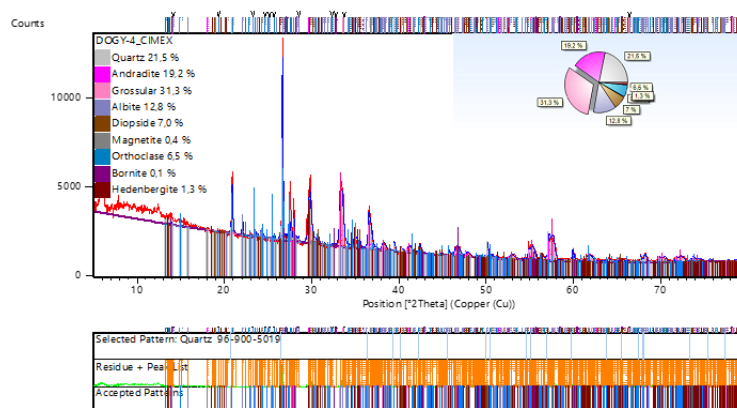


Gráfico 4-10: Difractograma de la muestra D094-4; Nambija Fresca

Fuente: Laboratorio de INGEOMINAS de la Universidad Nacional de Colombia

Tabla 4-6: Cuantificación Mineral NM Fr

Muestra	Fases Minerales	Semicuantificaci ón (%)
<i>Nambija Fresca</i>		
Cod. D094-4	Cuarzo	21.5
	Andradita	19.2
	Grosularia	31.3
	Albita	12.8
	Diópsido	7
	Magnetita	0.4
	Ortoclasa	6.5

Hedenbergita	0.1
Bornita	1.3

Elaborado por: Jimenez, 2023

La muestra de Nambija Fresca, en contraste con la variante oxidada, presenta características mineralógicas distintas que indican un estado más próximo a su composición original sin influencia significativa de procesos oxidativos. La baja proporción de cuarzo y la alta presencia de granates, como andradita y grosularia, sugieren una menor alteración de la roca.

La presencia de albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), diópsido ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) y ortoclasa (KAlSi_3O_8) señala una composición rica en feldespatos plagioclasas y otros minerales alcalinos, lo cual es característico de las rocas ígneas. La baja presencia de bornita (Cu_5FeS_4), un sulfuro de cobre y hierro, indica una menor influencia de procesos hidrotermales y oxidativos en comparación con la muestra D094-3. Además, la presencia de skarn rico en granate y hierro sugiere que la muestra fresca mantiene características de metamorfismo por contacto. También se observa la presencia de oro asociado a sulfuros.

En la Tabla 4-7 se resumen las mineralogías de las muestras geológicas utilizadas.

Tabla 4-7: Resumen de las características geológicas de las muestras estudiadas

Muestra	Tipo de Roca	Fases Minerales Destacadas	Características Principales
Ponce Enríquez	Diorita, Dacita, Intrusivo.	Cuarzo (66.4%), Piritita (7.3%), Clorita (17.7%)	Predominancia de cuarzo, presencia de sulfuros (pirita), andradita asociada a granates, presencia de oro asociado a calcopirita y pirita. Trazas de telurio.
Chinapintza	Tobas Riolíticas, Riódacita, Intrusivo	Piritita (43.1%), Cuarzo (37.8%), Galena (1.1%)	Alta presencia de pirita y cuarzo, presencia de sulfuros de plomo como la galena, mineralización tipo pórfido y tipo veta, presencia de alunita y oro asociado a sulfuros.
Nambija Oxidada	Skarn Metamórfico por Contacto, Hidrotermal	Andradita (21.1%), Grosularia (24.6%), Cuarzo (36.8%)	Metamorfismo skarn e hidrotermal, presencia de granates (andradita y grosularia), cuarzo indicativo de entornos hidrotermales y metamórficos. Oro asociado a sulfuros de cobre.
Nambija Fresca	Skarn Metamórfico por Contacto, Hidrotermal	Grosularia (31.3%), Andradita (19.2%), Albita (12.8%)	Menor presencia de cuarzo, alta presencia de granates, feldespatos y plagioclasas alcalinas, skarn rico en granate y hierro. Oro asociado a sulfuros. Menor influencia de procesos oxidativos.

Elaborado por: Jimenez, 2024.

4.2.2 Estimación de la densidad de las muestras.

La densidad de las muestras procesadas fue calculada por medio de picnometría del cual ya se detalla en el apartado 3.3.2.2 los resultados de las mediciones se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4-8: Cálculo de la densidad de las muestras

Muestra	Picnómetro Vacío (g)	Picnómetro Con mineral (g)	Picnómetro con Agua y Mineral (g)	Masa de Mineral (g)	Masa de Agua (g)	Volumen de Agua (ml)	Volumen del Picnómetro (ml)	Volumen del Mineral (ml)	Densidad del mineral (g/ml)
Camilo Ponce Enríquez	35.916	51.980	95.976	16.064	43.996	43.996	50.294	6.298	2.551
Chinapintza	35.916	47.009	94.221	11.093	47.213	47.213	50.294	3.081	3.600
Nambija Ox	35.916	50.319	95.231	14.403	44.912	44.912	50.294	5.382	2.676
Nambija Fr	35.916	48.575	94.573	12.659	45.998	45.998	50.294	4.296	2.947

Fuente: Instituto de minerales CIMEX.

Debido a la alta presencia de plomo, hierro y otros metales pesados la muestra de Chinapintza es la que mayor densidad posee de manera similar es la que mayor cantidad de oro posee, al tener poca cantidad de elementos pesados la muestra de Camilo Ponce E es la que menor densidad contiene según lo mostrado en la Tabla 4-8.

4.2.3 Determinación de oro en las muestras.

Como parte de la caracterización inicial de las muestras se consideró necesario determinar la ley de cada muestra previa a su ingreso en el ensayo de lixiviación, esto con la finalidad de determinar la cantidad de oro en el alimento, además con el fin de garantizar que los resultados de las leyes calculadas fueran las representativas de la muestra en ensayo se realizó un ensayo duplicado y los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 4-9: Leyes de oro de las muestras.

Resultados del ensayo al Fuego de las muestras DO94						
MUESTRA	Masa de la muestra (g)	Vol. Dilución (ml)	Lectura (mg/l) Au	Ley de Au (g/t)	Promedio Lectura de oro (mg/l)	Ley Promedio (g/t)
Camilo Ponce Enríquez	27.38	50.0	5.7348	10.47	5.54	10.06
	27.73	50.0	5.3454	9.64		
Chinapintza	27.74	50.0	12.2911	22.15	11.55	20.78
	27.88	50.0	10.8180	19.40		
Nambija Ox	27.71	50.0	1.0902	1.97	1.01	1.80
	28.33	50.0	0.9301	1.64		
Nambija Fr	27.73	50.0	4.0691	7.34	4.10	7.30
	28.50	50.0	4.1374	7.26		

Elaborado por: Jimenez, 2024.

Fuente: Instituto de minerales CIMEX.

Se observa que la muestra con mayor ley es la de Chinapintza con una media de 20.78 g/t, la muestra de Nambija Oxidada tiene la menor ley con un ponderado de 1.80 g/t, además resalta que tanto ensayo original y su duplicado no muestra variaciones significativas por ende se puede aseverar que las muestras son las representativas de cada muestra.

4.3 Ensayos de lixiviación

4.3.1 Parámetros operativos.

La Tabla 3-4 muestra las fórmulas para determinar los parámetros metalúrgicos que permiten conocer mejor los estándares en los cuales se elaboraron los ensayos para las muestras estudiadas los parámetros usados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4-10: Caracterización de la pulpa mineral

Muestra	Densidad Mineral (g/ml)	Masa del mineral (g)	Volumen del mineral (ml)	Volumen de la pulpa (ml)	Densidad de la Pulpa (g/ml)	Fracción Volumétrica de Sólidos (Φ)	Fracción másica de sólidos (Xp)	Dilución (D)
Camilo Ponce Enríquez	2.55	30.00	11.76	71.76	1.25	16%	33%	2.00
Chinapintza	3.60	30.00	8.33	68.33	1.32	12%	33%	2.00
Nambija Ox	2.68	30.00	11.21	71.21	1.26	16%	33%	2.00
Nambija Fr	2.95	30.00	10.18	70.18	1.28	15%	33%	2.00

Elaborado por: Jimenez, 2023.

Para los ensayos de lixiviación se trabajó con una lixiviación de 2, una fracción másica de sólidos de 33%, para todos los ensayos. Se puede observar que la muestra de Chinapintza evidencia mayor densidad de la pulpa, la muestra de camilo Ponce y Nambija oxidada tiene la mayor fracción volumétrica de sólidos y la muestra Nambija fresca con el menor volumen del mineral ingresado el proceso.

4.3.2 Resultados de las lixivitaciones con GDA y NaCN.

4.3.2.1 Recuperación metalúrgica de oro.

Los ensayos de lixiviación con los dos reactivos abarcaron concentraciones del reactivo que abordaron desde las 1000 ppm hasta las 6000 ppm con el fin de encontrar la mejor recuperación en cada proceso. Con el GDA fue el reactivo con el que se realizó mayor cantidad de ensayos dado a que no se conoce en que rangos de concentración obtiene sus mejores valores de recuperación aurífera, llegando a abordar todos los escenarios de concentración de reactivo en solución, en cuanto al uso del cianuro se sabe que entre concentraciones de 1000 a 4000 ppm es cuando se obtiene la mejor recuperación aurífera tomando en cuanto un uso eficiente del reactivo, por ello en base la información mencionada los resultados de las lixivitaciones se presentan a continuación :

Tabla 4-11: Recuperaciones de Au obtenidas mediante lixiviación con NaCN

Muestra	Concentración de NaCN		
	1000 ppm	2000 ppm	4000 ppm
Camilo Ponce Enríquez	37%	53%	51%
Chinapintza	6%	15%	5%
Nambija Ox	33%	44%	51%
Nambija Fr	49%	61%	68%

Tabla 4-12: Recuperaciones de Au en lixivitaciones con GDA

Muestra	Concentración de GDA					
	1000 ppm	2000 ppm	3000 ppm	4000 ppm	5000 ppm	6000 ppm
Camilo Ponce Enríquez	0.20%	37.99%	29.24%	57.29%	81.07%	68.31%
Chinapintza	0.05%	32.50%	4.89%	28.16%	22.48%	-
Nambija Ox	0.00%	1.94%	48.35%	52.01%	45.93%	-
Nambija Fr	0.24%	56.87%	79.46%	65.25%	62.21%	-

Elaborado por: Jiménez, 2024.

En las lixiviaciones con NaCN según se muestra en la Tabla 4-11, el aumento de la concentración del reactivo en las muestras de Camilo Ponce E y Chinapintza disminuyó la recuperación de oro dando como resultado que la 2000 ppm de ppm es la cantidad de reactivo que mayor recuperación de oro evidencio para estas lixiviaciones, en cambio en las muestras de Nambija el aumento de concentración mostró una relación positiva en la recuperación siendo la concentración optima de reactivo a usar de 4000 ppm.

En cuanto a las lixiviaciones con GDA, aquellas que utilizaron una concentración de 1000 ppm no mostraron valores significativos de recuperación aurífera. Para cada muestra, los escenarios de concentración de reactivo que demostraron las mejores recuperaciones de mineral aurífero fueron diferentes, lo que sugiere que no hubo una tendencia clara hacia una única concentración del reactivo en solución.

Por lo tanto, se observa que la muestra de Camilo Ponce Enríquez alcanzó una recuperación del 81.07% con una concentración de 5000 ppm de GDA, mientras que la muestra de Chinapintza logró una recuperación máxima del 32.50% a una concentración de 2000 ppm. La muestra de Nambija Fresca, por su parte, logró una recuperación de 52.01% con una concentración de 4000 ppm, y la muestra de Nambija Oxidada obtuvo una recuperación de 79.46% con una concentración de 3000 ppm.

Por ello, en base a esta serie de lixiviaciones, se puede concluir que el rango de concentración óptimo para el GDA, que resulta en las mejores recuperaciones metalúrgicas, se sitúa entre 2000 y 5000 ppm de reactivo, según lo evidenciado por los resultados de estos ensayos.

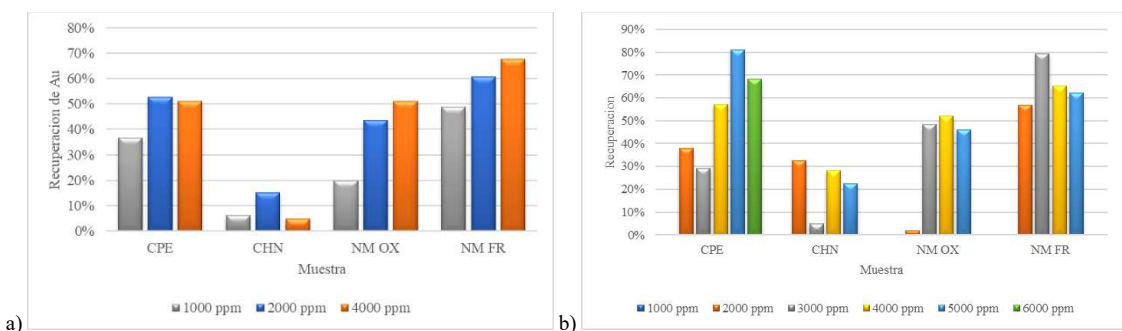


Gráfico 4-11: Recuperaciones de Au en Lixiviaciones a) NaCN b) GDA

Elaborado por: Jiménez, 2024.

Para el estudio, se consideró que, si la variación entre la dosis utilizada y la cantidad de oro lixiviado era mínima, se podía concluir que se había alcanzado el punto máximo de lixiviación posible con el reactivo, empleando una dosis optimizada y evitando su uso excesivo. Este fenómeno se observa en las barras del Gráfico 4-11 a) donde el aumento en la recuperación de oro con cianuro es gradual para las muestras de Nambija, hasta alcanzar la concentración más alta. En el caso de las muestras de Camilo Ponce E y Chinapintza, la concentración que demostró la mejor recuperación fue de 2000 ppm. Tanto con la concentración más baja como con la más alta utilizada, se evidenciaron recuperaciones auríferas menores.

En cuanto al uso del GDA, no se observa una tendencia constante, ni creciente ni decreciente, en la recuperación aurífera al variar la concentración del reactivo. Sin embargo, es posible identificar picos de máxima recuperación que reflejan la mejor eficacia alcanzable con el GDA en estas muestras.

Haciendo una comparación en escenarios similares de concentración de reactivo en solución: a 2000 ppm, la muestra de Camilo Ponce E demostró mejores recuperaciones de oro utilizando cianuro, siendo un 14.68% superior al GDA. Sin embargo, en 4000 ppm para la misma muestra, el GDA evidenció una superioridad del 6.20% sobre el cianuro.

En el caso de la muestra de Chinapintza, con una concentración de 2000 ppm, el GDA mostró una superioridad de lixiviación del 17.37% sobre el cianuro, y en una dosis de 4000 ppm, el GDA superó al cianuro en un 23.31%. Según el fabricante del GDA, la muestra de Chinapintza, al ser sulfurada, presentaría este tipo de comportamiento positivo al aplicar este reactivo.

En cuanto a las muestras de Nambija, con una concentración de 2000 ppm de reactivo, la recuperación con cianuro fue en promedio un 22% superior al GDA. Sin embargo, con una concentración de 4000 ppm, los valores de recuperación aurífera fueron muy similares para ambos reactivos.

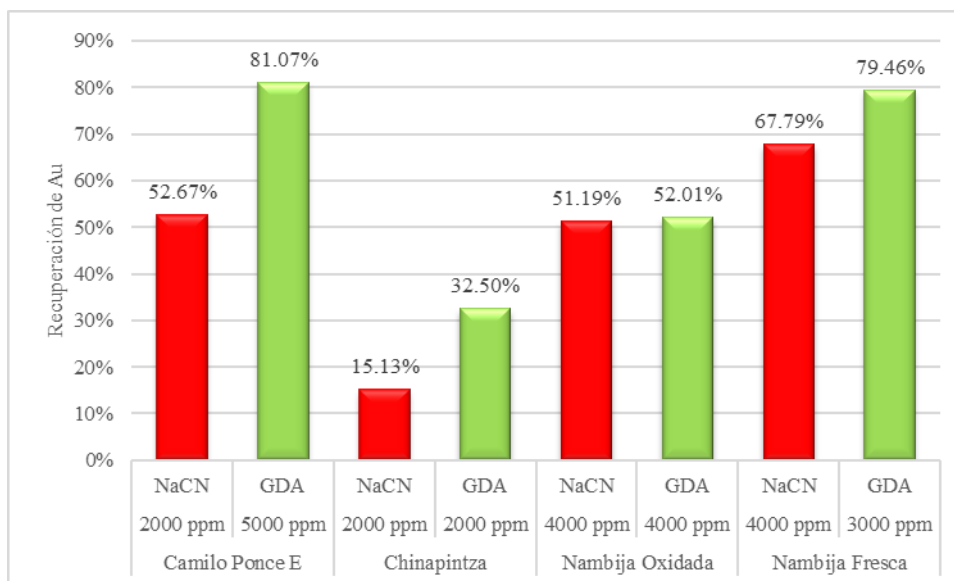


Gráfico 4-12: Mejores Recuperaciones con GDA y NaCN en diferentes escenarios de concentraciones.

Elaborado por: Jiménez, 2024.

El análisis realizado previamente comparó los escenarios de recuperación con concentraciones similares durante el desarrollo de los experimentos. Ahora, al considerar la mejor recuperación obtenida de cada muestra con los dos reactivos, como se muestra en el Gráfico 4-12, se puede observar lo siguiente:

- La mejor recuperación para la muestra de Camilo Ponce E se logra con GDA en una concentración de 5000 ppm, siendo un 28.4% superior a la mejor lixiviación con cianuro, que fue a 2000 ppm.
- Para Chinapintza, tanto a 2000 ppm de NaCN como de GDA, que mostraron ser las mejores recuperaciones, el GDA es un 15.37% superior al cianuro.
- La muestra de Nambija Oxidada, a 4000 ppm con ambos reactivos, muestra valores similares de recuperación aurífera.
- En cuanto a la muestra de Nambija Fresca, a 4000 ppm de NaCN y 3000 ppm de GDA, este último es un 11.67% superior.

En estas series de lixivaciones, donde se estudió el comportamiento del GDA bajo diferentes escenarios de concentración, se observó que es posible alcanzar mejores recuperaciones auríferas que con el cianuro mediante un estudio específico para la mena en cuestión. Esto implica variar la concentración del reactivo para alcanzar el punto de recuperación más alto.

Una observación importante es el comportamiento del GDA con las menas sulfuradas, que mostró un mejor rendimiento que el cianuro en cuanto a la recuperación del oro. Este fenómeno podría atribuirse a los compuestos que ayudan a oxidar los sulfuros presentes, como el hierro añadido al GDA, lo cual concuerda con lo mencionado por el fabricante.

4.3.2.2 Consumo total de reactivo.

El control de reactivo en cada hora realizar el estudio de la cinética de consumo de reactivo en el tiempo para cada muestra estudiada durante el proceso de lixiviación, bajo los diferentes escenarios de concentración de NaCN y GDA se observó el siguiente comportamiento en función del tiempo:

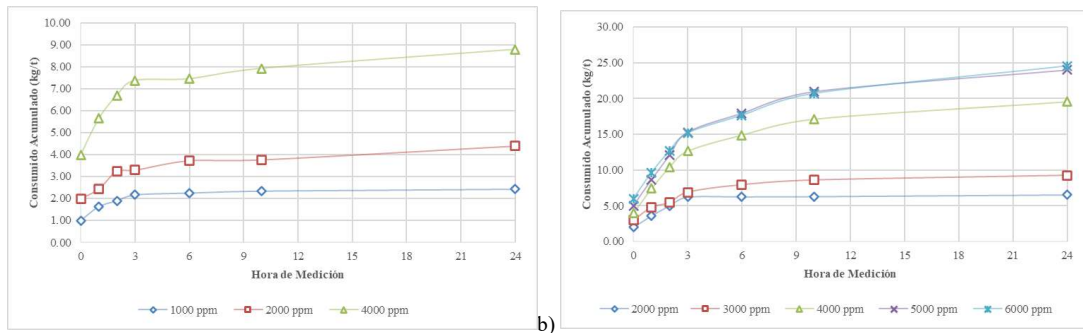


Gráfico 4-13: Cinética de Consumo de reactivo en la muestra de Camilo Ponce E a) NaCN b) GDA

Elaborado por: Jiménez, 2024.

En la serie de lixiviaciones con los dos reactivos, el Gráfico 4-13 muestra las cinéticas de consumo tanto para el NaCN (a) como para el GDA (b). El comportamiento de la curva para el cianuro indica un consumo estable con el tiempo, mostrando señales de consumo solo hasta las 6 horas. Durante estas experimentaciones, se observa que entre las horas 6 a 24, el consumo del reactivo se linealiza, siendo significativo únicamente durante las tres primeras horas.

En cuanto a la serie de lixiviaciones con GDA, se observa una tendencia positiva en la cinética de consumo durante todo el período de tiempo, lo que indica un consumo constante del reactivo durante la lixiviación. Para concentraciones de 2000 y 3000 ppm, se observa que el consumo del reactivo tiende a linealizarse desde la hora 6. Sin embargo, para concentraciones de reactivo superiores, la curva de consumo no se estabiliza y la tasa de consumo es alta.

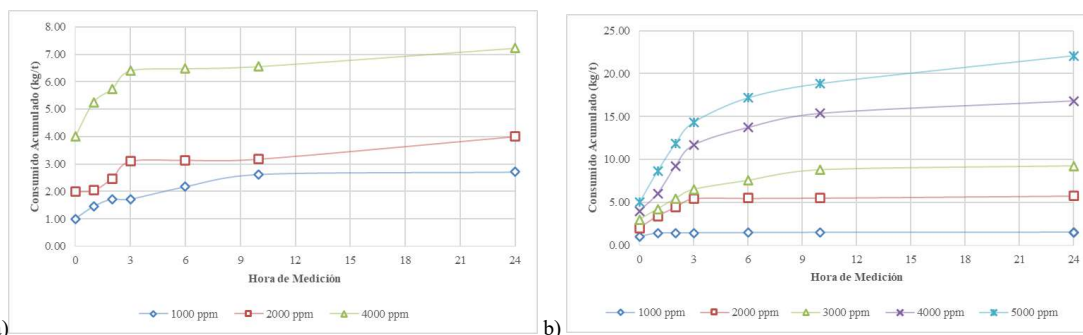


Gráfico 4-14: Cinética de Consumo de reactivo en la muestra de Chinapintza a) NaCN b) GDA

Elaborado por: Jiménez, 2024.

En el Gráfico 4-14 a) se presenta el comportamiento del consumo de cianuro durante el transcurso del ensayo de lixiviación. Se observa que la cantidad consumida durante las primeras tres horas del ensayo es significativa. A partir de la hora 6 hasta las 24 horas, se aprecia una disminución en la tasa de consumo, lo que sugiere que el reactivo deja de reaccionar con otros minerales presentes, lo cual limita su consumo. Además, se destaca que, independientemente de la concentración del reactivo utilizada en el sistema, el comportamiento de la gráfica es prácticamente el mismo, lo que indica una cinética constante.

En cuanto al uso del GDA, como se muestra en el Gráfico 4-14 b), se puede observar que la cinética de consumo en el tiempo hasta las 3000 ppm de concentración es similar en todos los escenarios. Se evidencia un consumo constante hasta la hora 6 del ensayo, tras lo cual se observa una linealización en el consumo, según lo indicado por la gráfica de cinética. Por otro lado, en concentraciones de 4000 y 5000 ppm, se destaca un consumo constante y elevado del reactivo a lo largo del tiempo.

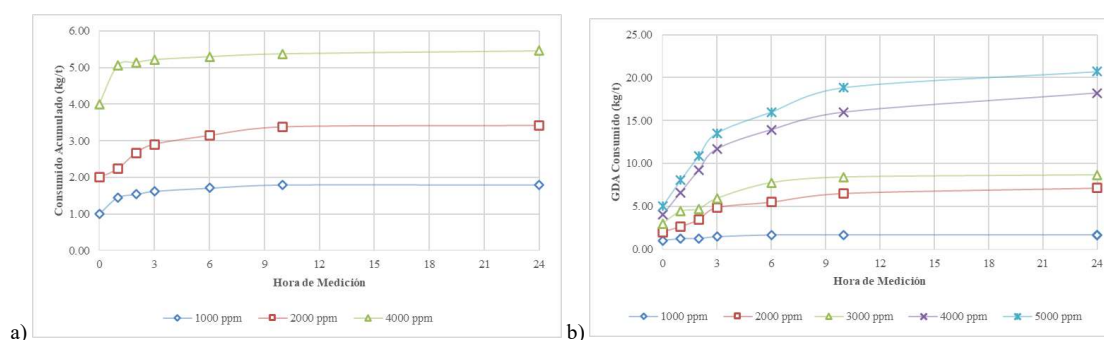


Gráfico 4-15: Cinética de Consumo de reactivo en la muestra de Nambija Oxidada a) NaCN b) GDA

Elaborado por: Jiménez, 2024.

En la muestra de Nambija Oxidada, en la cianuración se observó que la cinética de consumo presenta una pendiente pronunciada durante las tres primeras horas de la lixiviación. A partir de las 6 horas del ensayo, la curva de consumo tiende a asintotizarse, lo que indica que la cantidad de reactivo presente en el sistema se mantiene constante hasta la finalización del ensayo, sugiriendo que no es necesario agregar reactivo adicional. En todas las concentraciones utilizadas, se observa un comportamiento similar de la curva a partir de la hora 6, aunque se destaca una pendiente más pronunciada en la primera hora de consumo al utilizar una concentración de 4000 ppm de cianuro en comparación con las otras concentraciones.

En lo que respecta al uso del GDA, en las concentraciones de 4000 y 5000 ppm, se evidencia una cinética de consumo alta a lo largo de todo el periodo de la lixiviación. Esto sugiere que el GDA está reaccionando con otras especies minerales además de los elementos de interés del ensayo, saturando así el sistema de reactivo y formando complejos de elementos adicionales a los buscados inicialmente. Por otro lado, en las concentraciones de 1000 a 3000 ppm, se observa un consumo menos pronunciado en la curva de cinética, destacándose un consumo elevado únicamente durante las tres primeras horas del ensayo.

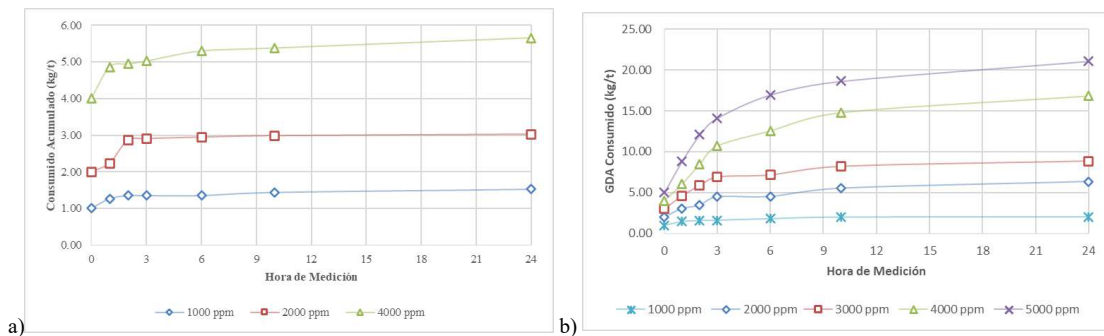


Gráfico 4-16: Cinética de Consumo de reactivo en la muestra de Nambija Oxidada a) NaCN
b) GDA

Elaborado por: Jiménez, 2024.

En términos generales, se ha observado que la cinética de consumo de cianuro exhibe un comportamiento consistente, similar al observado en muestras analizadas anteriormente. Esto sugiere que el cianuro mantiene su selectividad con respecto a las especies minerales con las que reacciona.

Con relación al uso del GDA, se ha observado un alto consumo de reactivo con concentraciones de 4000 y 5000 ppm, indicando un sistema saturado que reacciona con un mayor número de especies minerales de lo esperado, las cuales deberían ser analizadas por separado. Por otro lado, en concentraciones inferiores a 3000 ppm, se observa un comportamiento similar al de muestras previamente analizadas.

Comparando los consumos finales de los reactivos en las lixiviaciones, la gráfica siguiente resume cómo se comporta este parámetro.

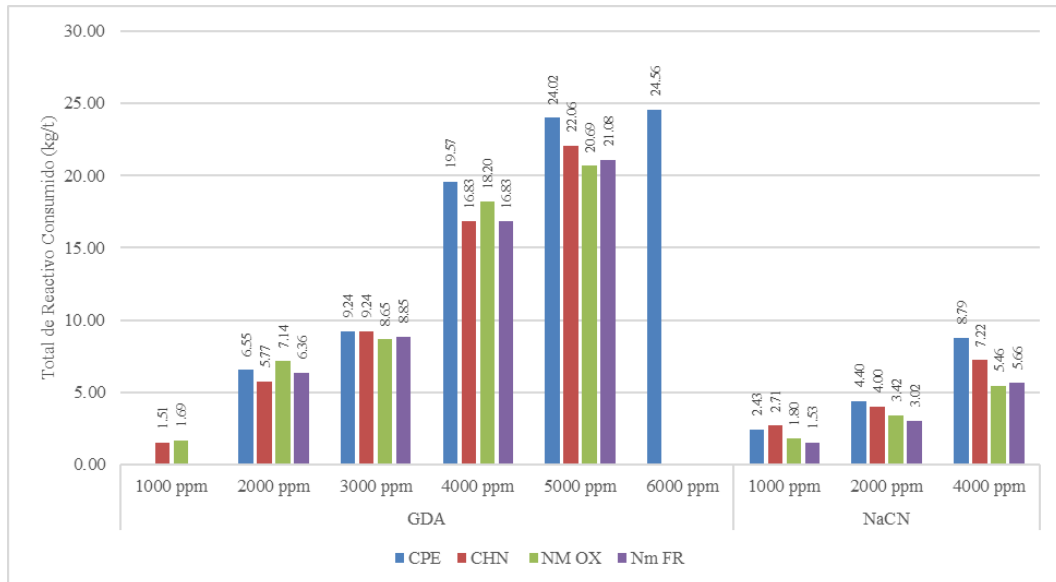


Gráfico 4-17: Consumo final de reactivo después de las lixiviaciones.

Se ha observado que, en concentraciones similares de reactivo en solución, el GDA muestra un consumo total más elevado que el cianuro, llegando incluso a ser hasta 4 veces superior en las concentraciones más altas. Esta disparidad se evidencia mediante el control del reactivo en intervalos de horas determinados en el modelo experimental. Este fenómeno sugiere que el GDA sigue reaccionando con diversas especies minerales, lo que resulta en un consumo considerable de reactivo en el sistema.

Por lo tanto, se hace evidente la necesidad de un mayor control durante la lixiviación con GDA en comparación con el cianuro de sodio, debido a la mayor propensión del GDA a interactuar con diferentes especies minerales y, por ende, a su mayor consumo de reactivo.

Un estudio global de esta serie de lixiviaciones con los dos reactivos muestra que:

Para Camilo Ponce E con NaCN la mejor recuperación se obtuvo con una concentración de 2000 ppm mostrando una eficiencia de la lixiviación del 53% y consumiendo al final del proceso un total de 4.39 kg/t de reactivo, con GDA en una concentración de 5000 ppm se llegó a recuperación de oro del 81.07 % y un consumo total de 24.02 kg/t.

La muestra de Chinapintza a una concentración de NaCN de 2000 ppm llegó a una tasa de lixiviación de oro del 15% con un consumo de reactivo del 4.00 kg/t y con GDA en una concentración de 2000 ppm se llegó a una recuperación del 32.50% consumiendo 5.77 kg/t de reactivo.

La muestra de Nambija Oxidada llegó a una recuperación de oro de 51% con una concentración de 4000 ppm de NaCN consumiendo un total de 5.4 kg/t de reactivo, en cuanto a GDA con una concentración de 4000 ppm se llegó a una lixiviación de oro del 52.01% y el consumo total del reactivo fue de 18.20 kg/t.

Finalmente, la muestra de Nambija Fresca llegó a una tasa de lixiviación de 68% en una concentración de 4000 ppm de NaCN consumiendo un acumulado de reactivo de 5.65 kg/t, y con GDA llegó a una recuperación del 79.46% en una dosificación de 3000 ppm y consumo final del reactivo de 8.85 kg/t.

4.3.2.3 Replica de los mejores resultados obtenidos con las lixiviaciones.

La serie de experimentos presentada en los apartados anteriores se llevó a cabo en el Instituto de Minerales CIMEX de la Universidad Nacional de Colombia. En este contexto, se determinaron las mejores recuperaciones mediante pruebas con tan solo 30 g de mineral. Con el fin de replicar y corroborar estos resultados en el proceso de lixiviación de oro, se llevaron a cabo nuevamente estos ensayos en la ESPOCH sede Morona Santiago. Sin embargo, en esta ocasión, se emplearon mayores cantidades de mineral, que oscilaron entre 150 g y 1000 g variando la cantidad de mineral con la finalidad de observar el comportamiento de la lixiviación. Además de realizar la reconstrucción de la cinética de lixiviación y observar cómo se comporta la recuperación de oro en el tiempo.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

Tabla 4-13: Comparativa entre los mejores resultados obtenidos en las lixiviaciones

Muestra	Masa Mineral (g)	Concentración	Reactivo	Recuperaciones Au (CIMEX)	Recuperación Au (ESPOCH)	Reactivo Consumido (CIMEX)	Reactivo Consumido (ESPOCH)	Cal Consumida (kg/t)
Camilo	1000	2000 ppm	NaCN	52.67%	55.22%	4.40	5.56	20.00
Ponce E	1000	5000 ppm	GDA	81.07%	85.10%	24.02	29.79	25.00
Chinapintza	150	2000 ppm	NaCN	15.13%	13.95%	4.00	6.06	133.33
	150	2000 ppm	GDA	32.50%	30.33%	5.76	6.33	233.33

Nambija Oxidada	200	4000 ppm	NaCN	51.19%	48.33%	5.46	10.58	23.00
Nambija Fresca	200	4000 ppm	GDA	52.01%	58.00%	18.2	21.05	25.00
Nambija Oxidada	200	4000 ppm	NaCN	67.79%	64.56%	5.65	9.57	30.00
Nambija Fresca	200	3000 ppm	GDA	79.46%	74.85%	8.85	15.41	35.00

Elaborado por: Jiménez, 2024.

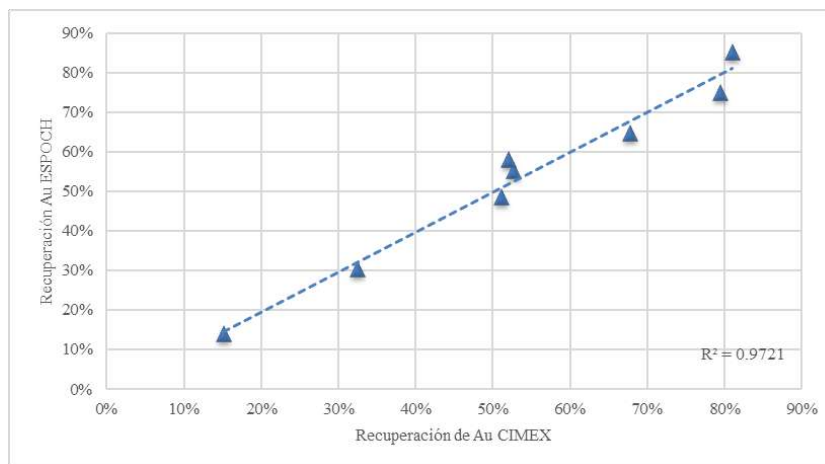


Gráfico 4-18: Comparativa de recuperaciones de Au obtenidos en lixiviaciones CIMEX y ESPOCH.

Elaborado por: Jiménez, 2024.

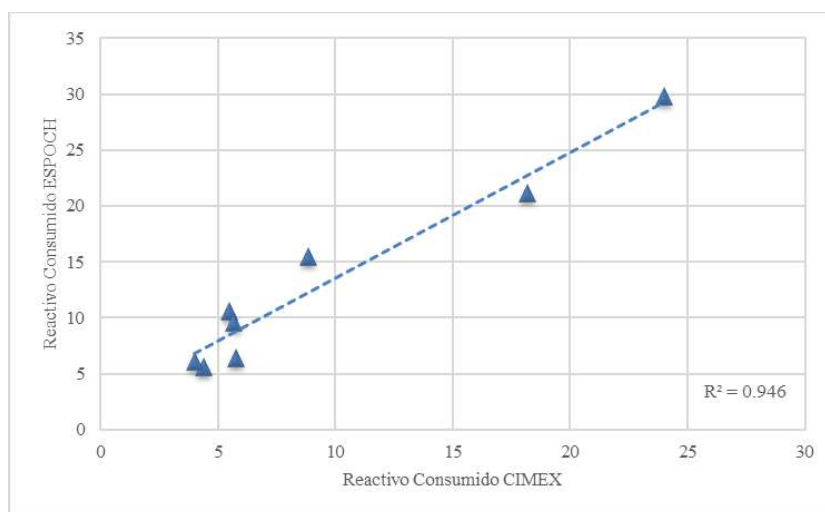


Gráfico 4-19: Comparativa del reactivo total consumido en las lixiviaciones.

Elaborado por: Jiménez, 2024.

En la Tabla 4-13 se observa una ligera tendencia de las réplicas de las lixiviaciones tanto con GDA como con NaCN a mostrar valores más altos que los obtenidos en las lixiviaciones a menor escala de los originales que se realizaron en el CIMEX. Se muestran razones de correlación de 0.972 para las recuperaciones de Au y de 0.946 para la cantidad de reactivo que se consumió al final de cada ensayo, esto menciona que los valores están muy correlacionados entre sí, la ligera variación de estos se puede deber a que en el proceso a mayor escala se disminuyen los errores que se pueden cometer por manipulación de la pulpa al momento de estar ejecutándose el ensayo

de lixiviación. Además, en la misma tabla se observa la cantidad de cal adicionada para el ensayo en la cual la muestra más ácida fue la de Chinapintza que evidencia una gran cantidad de adición para llegar al pH adecuado, a pesar de existir con el GDA variación del pH la cantidad de cal adicionada para que el proceso se mantenga no es significativa para restituir el sistema a un medio básico.

4.3.3 Cinética de extracción y consumo de reactivo en las lixiviaciones con mejores recuperaciones auríferas.

De las mejores recuperaciones de oro obtenidas en los procesos de lixiviación tanto con GDA y NaCN se realizó el estudio cinético de la recuperación de Au y su consumo de reactivo en el tiempo. Para cada muestra los resultados fueron los siguientes.

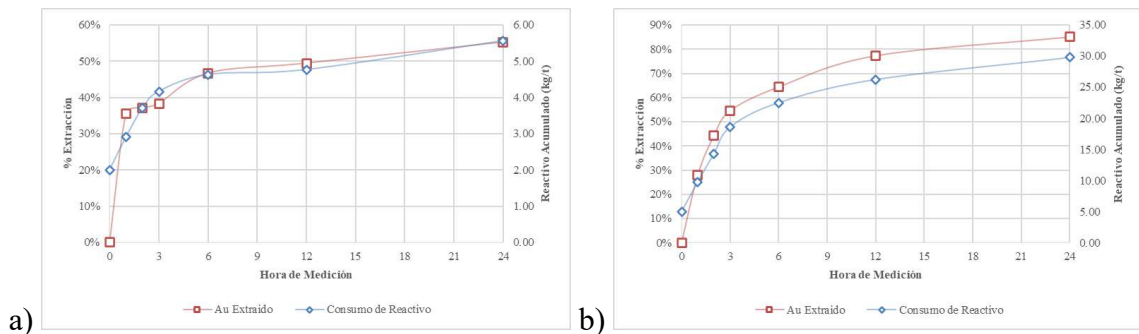


Gráfico 4-20: Cinética de lixiviación y Consumo muestra Camilo Ponce E a) NaCN b) GDA
Elaborado por: Jiménez, 2024.

En ritmo de extracción de oro según lo que se puede observar en el **Gráfico 4-20 a)** durante la primera hora del ensayo tiene su tasa muy alta de extracción llegando a ser el 33% del total del ensayo, posterior a ello a partir de esa hora hasta la hora 3 se observa que el ritmo de extracción se reduce al mínimo observándose una cinética de lixiviación muy baja, a partir de esa hora hasta el final del proceso de lixiviación se observa que existe una secuencia de extracción casi constante hasta llegar a las 24 horas de las cuales se tiene registro.

En cuanto al consumo de reactivo se observa que hasta la hora 3 existe una alta cantidad de reactivo que se encuentra reaccionando con otros minerales que no son oro, se puede observar en esa sección una pendiente de consumo muy elevada, posterior a esa hora como se logra observar sigue existiendo consumo de cianuro en el sistema pero en menor cantidad indicándose así que se encuentra reaccionando con menos cantidad de minerales que en las primeras horas del ensayo, en cuanto se puede observar en las desde la hora 1 hasta la 3 a pesar de que no existe una tasa de extracción de oro significativa el cianuro sigue estando consumiéndose en el sistema esto indica

que la reacción en ese periodo de tiempo fue con otros elementos que no son de interés para el estudio, posterior a ello durante el resto del ensayo sigue existiéndose consumo pero con una tasa continua de extracción de mineral aurífero.

La cinética de extracción en el proceso de lixiviación usando GDA según se muestra en la sección b) del Gráfico 4-20, muestra que la tasa de extracción sigue un ritmo paulatino con una pendiente elevada hasta la hora 3 del ensayo, a partir de esta hora se observa una cinética de extracción menos alta que en las tres primeras horas pero continuándose el proceso de lixiviación de oro, en esta curva de cinética puede observarse que no existe intervalos donde la tasa de extracción sea muy baja, más bien se puede observar que cada hora existe una cantidad considerable de mineral aurífero lixivándose que refiere un proceso eficiente.

Por otro lado, la cinética de consumo muestra también una pendiente elevada en todo el proceso del ensayo sin llegar a linealizarse en ningún intervalo de tiempo, lo cual refiere según lo que se observa con la cinética de extracción que se encuentra lixiviando oro y otros metales al mismo tiempo, esto es concordante con la cantidad de reactivo consumido por hora lo cual hace que para mantener la concentración en el sistema se deba agregar más cantidad de GDA al sistema de lixiviación. La menor pendiente de lixiviación según se observa se encuentra a partir de las 12 horas del ensayo lo cual dice que el experimento puede terminarse a las 24 horas ya que no se observa una tasa muy elevada de extracción de mineral de interés.

Según muestran los resultados obtenidos el consumo total del GDA es 5.35 veces más alto que el cianuro de sodio, esto ignorando los escenarios de concentración usados, pero con ese consumo se obtiene un 30% más de recuperación aurífera, siendo así el GDA un mejor candidato a lixiviar oro, pero con un consumo más elevado de producto.

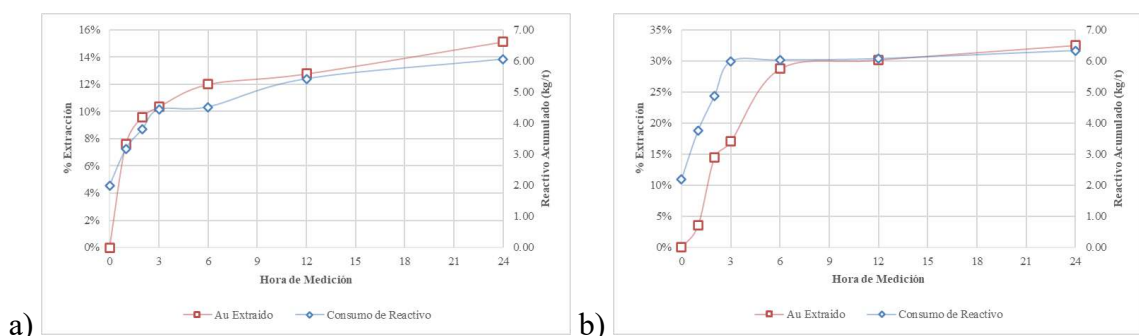


Gráfico 4-21: Cinética de lixiviación y Consumo muestra Chinapintza a) NaCN b) GDA

Elaborado por: Jiménez, 2024.

El ensayo de cianuración mostró una cinética de recuperación de oro con un crecimiento muy elevado hasta 6 horas de ensayo, siendo casi el total de oro lixiviado en el tiempo que duro la cianuración, posterior a ello a partir de la hora 6 hasta las 24 horas del ensayo se observa una tasa de extracción de oro muy baja lo cual muestra una inviabilidad para continuar con el desarrollo de la cianuración dada la poca recuperación aurífera.

Estudiando el consumo de reactivo como se puede ver en el Gráfico 4-21 a) la mayor tasa de consumo de cianuro hasta la hora 3 del ensayo, posterior hasta la hora 6 se observa que el consumo del reactivo se vuelve muy bajo y empieza a mostrar en la gráfica un nuevo indicio de consumo hasta las 24 horas del ensayo, según se observa en la curva de consumo.

Lixiviando la muestra con GDA según se puede observar en el Gráfico 4-21 b), la curva se lixiviación aurífera llega a su punto más alto de extracción hasta las 6 horas del ensayo igual que el proceso de cianuración, volviendo el resto del tiempo inviable para continuar con la lixiviación, se observa que partir de la sexta hora de la lixiviación la curva se linealiza y esto refiere que la tasa de extracción ya no se encuentra centrado en el mineral de interés que para este caso sería el oro.

La cinética de consumo de GDA sigue el mismo ritmo que la cinética de extracción de oro, es decir se observa que se tiene que añadir más producto al sistema solo hasta la 6 hora del ensayo, posterior a ello las valoraciones químicas dieron como resultado que no existe más consumo del reactivo en el sistema lo cual refiere que no se necesita añadir más GDA para mantener la concentración del sistema.

Comparando los resultados; para esta muestra los mejores valores de recuperación aurífera tanto usando Cianuro como GDA se encuentra en una concentración de 2000 ppm, de igual forma los consumos finales fueron similares para ambos reactivos, teniendo la única diferencia en la cantidad de oro lixiviado en el cual se pueden observar que el GDA mostro los mejores resultados dando una tasa de extracción 17% superior a la del cianuro de sodio, mostrando así ser mejor para lixiviar este tipo de menas.

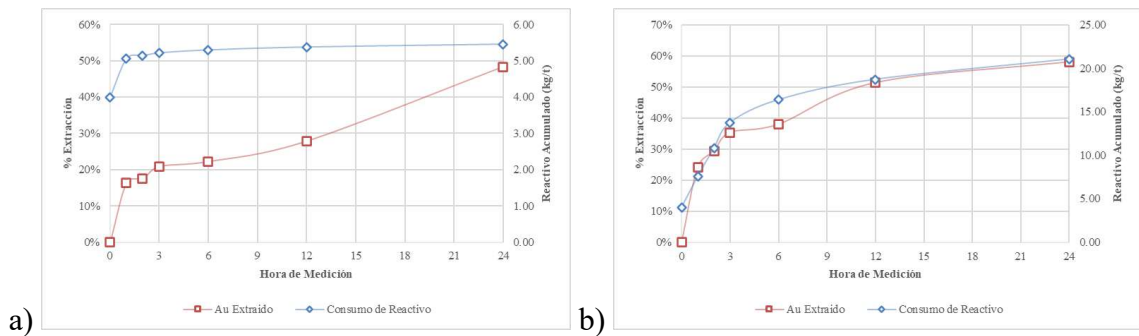


Gráfico 4-22: Cinética de lixiviación y Consumo muestra Nambija Oxidada a) NaCN b) GDA
 Elaborado por: Jiménez, 2024.

En el ensayo de lixiviación para esta muestra con el uso del cianuro se observa que el ritmo de extracción aurífera en la primera hora supera el 15% posterior a ello hasta la hora 6 la tasa de lixiviación es baja, y a partir de esa hora se observa que el ritmo de extracción muestra una pendiente más pronunciada y al término del ensayo la curva de extracción muestra una tendencia a seguir lixiviación lo cual sugiere que se podría continuar el proceso pasado el tiempo de este ensayo.

En cuanto a la cinética en la que se consume el cianuro se observa una tasa de consumo de reactivo muy baja mostrando una gráfica casi lineal a partir de la primera hora del ensayo, observándose que solo hasta la medición de la primera hora se muestra que era necesario reponer reactivo al sistema para mantener la concentración requerida de cianuro.

Con el uso del GDA como se observa en el Gráfico 4-22 b), muestra que el ritmo de extracción aurífera en el tiempo tipo logarítmico hasta las tres horas del ensayo, posterior a ello hasta la hora 6 la curva tiene a linealizarse para observar un crecimiento a partir de las 6 horas hasta las 24 horas del estudio, el ritmo de extracción es más alto en las primeras horas de la lixiviación pero mantiene una tasa de extracción durante todo el tiempo que se encuentra lixiviado.

En cuanto al consumo del reactivo se observa que el ritmo de consumo es más alto hasta las 6 horas del ensayo posterior a ello se sigue observando que hay una tasa de consumo menor que de la primera sección, pero en durante todo el transcurso del proceso de lixiviación se muestra la tendencia del GDA de reaccionar en el sistema con otros compuestos que no sean oro.

Comparando los resultados, se observa una tasa de extracción de oro similar para ambos procesos, difieren solo en las 6 primeras horas, en las cuales el GDA mostró una lixiviación media más alta de oro. En cuanto al promedio del consumo de reactivo, el GDA consume una media de 3.85 veces más reactivo por hora que el cianuro.

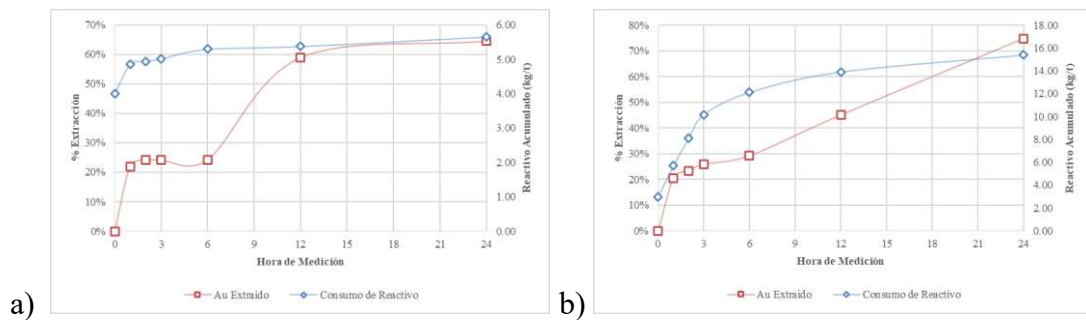


Gráfico 4-23: Cinética de lixiviación y Consumo muestra Nambija Fresca a) NaCN b) GDA
 Elaborado por: Jiménez, 2024.

El ensayo de cianuración para cianuración para la muestra de Nambija Fresca se puede observar en la curva de recuperación oro que en la primera hora muestra una tasa alta de consumo, pero a partir de esa hora la misma se vuelve muy baja manteniéndose casi asintótica hasta la hora 6, posterior a ello se ve un ritmo de extracción con una pendiente elevada durante 6 horas más, y a partir de eso la tasa vuelve a ser baja nuevamente hasta el término del ensayo en las 24 horas. Es esta curva muestra un comportamiento muy irregular en el cual se observan lapsos de tiempo en el cual no se estuvo lixivando oro y otros elementos se encuentran siendo los encargados de formar los compuestos con el cianuro.

En cuanto al ritmo de consumo se puede observar que es representativo hasta las 6 horas del ensayo posterior a ello se muestra que ya no se necesitó agregar más cantidad de cianuro al sistema para mantener la concentración del sistema de lixiviación.

Usando el GDA para la misma muestra en la lixiviación según se observa que la cinética de extracción muestra una pendiente positiva pronunciada a partir de las 3 horas del ensayo, entre la hora 1 a la 3 se observa una tasa de extracción aurífera muy baja, esta muestra exhibe un comportamiento dividido en dos secciones en las cuales en la primera hora del ensayo se observa una cinética lenta de extracción y a partir de la tercera hora empieza una tasa de lixiviación muy alta que muestra una tendencia positiva pasado las 24 horas.

En cuanto a la tasa de consumo según se observa en la curva del Gráfico 4-23 b) existe un creciente consumo de GDA en el sistema lo cual incurre en un consumo alto del mismo, se puede observar en las primeras horas es más alto que en el resto del ensayo, pero en ambos se observa que el consumo no se linealiza por lo cual fue necesario añadir más cantidad de reactivo para mantener la concentración en el sistema de lixiviación a diferencia que del uso del cianuro que muestra un consumo de reactivo bajo.

Comparando los resultados obtenidos se observa que la tasa de lixiviación de oro para ambos procesos es similar en la primera hora de lixiviación, a partir de ahí hasta la hora 6 el GDA muestra una mayor recuperación de oro mientras que el cianuro no muestra una recuperación significativa. En término de 12 h se observa que el cianuro alcanzó su mayor tasa de lixiviación de oro, mientras que el GDA sigue en aumento hasta llegar a las 24 h. En término de 24 horas, el GDA mostró una media de lixiviación por hora 1.16 veces superior al cianuro, y en cuanto al consumo de reactivo, el GDA consumió 2.72 veces más que el cianuro por hora

4.3.4 Influencia de los cianicidas en el proceso de lixiviación.

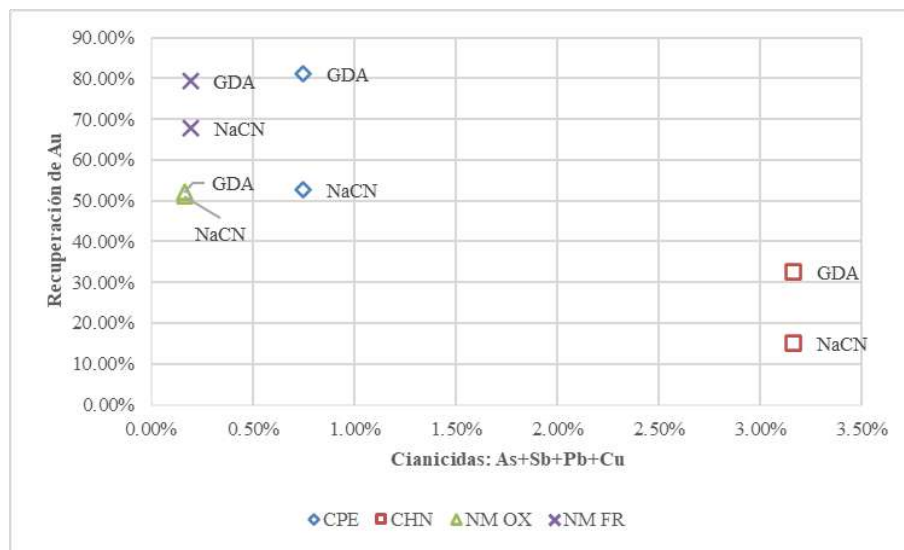


Gráfico 4-24: Relación entre elementos cianicidas y tasa de lixiviación

Elaborado por: Jiménez, 2024.

La Tabla 4-2 muestra que todos los minerales estudiados contienen elementos considerados cianicidas, ya sea por su capacidad de inhibir la reacción del cianuro con el oro y la plata, como por su capacidad de consumir oxígeno durante el proceso de lixiviación. En el Gráfico 4-24 se relaciona cómo la suma de las cantidades de estos cianicidas evidencia una tendencia en la lixiviación de oro. La suma de estos elementos incluye arsénico, antimonio, plomo y cobre, los cuales según la bibliografía son los principales elementos que afectan los procesos de cianuración. La muestra de Chinapintza tiene la mayor cantidad de estos compuestos, representando un 3.16% de su composición total. Igualmente, es la muestra con menores recuperaciones de Au. Además, se observa que, en comparación con el GDA, el cianuro presenta una mayor influencia negativa al momento de concentrar minerales de interés.

La muestra de Camilo Ponce E tiene un 0.75% de elementos cianicidas y exhibe mayores recuperaciones que las muestras de Chinapintza. De igual forma, se observa que el GDA tuvo

menores influencias de estos cianicidas al momento de concentrar oro. Las dos muestras de Nambija tienen concentraciones muy bajas de estos compuestos, oscilando entre el 0.16% y el 0.19%. Con la muestra de Nambija Oxidada se observa que la presencia de cianicidas afectó de la misma forma tanto a la lixiviación con cianuro como con GDA. En la muestra de Nambija Fresca, el GDA mostró mejores recuperaciones que el cianuro con la misma cantidad de cianicidas.

Este análisis revela que, en cierta medida, el GDA se ve menos afectado por los posibles cianicidas presentes en las muestras en comparación con el cianuro de sodio.

4.3.5 Costo de aplicación por tonelada de mineral.

La cotización del GDA está a 2530 \$/t con entrega en puerto, y el cianuro de sodio a 190 \$ los 50 kg con entrega en puerto lo que da un coste de 3800 \$/t, según el estudio económico de Weigang et al., (2022), proyecta que en promedio la desintoxicación de relaves cianurados está en 4.35 \$/t en cambio el GDA no necesitaría dicho tratamiento, el coste de los 25kg de cal está en 8.50 \$ lo que daría un coste de 340 \$/t y el alquiler de una planta de beneficio para conminución y tratamiento del mineral está en 101.35 \$/t este dato tomado de una factura obtenido de una planta de beneficio del sector de Chinapintza. Teniendo en cuenta que los costes de explotación, transporte y procesamiento son los mismos se restan igualmente en la proyección de costos para ambos reactivos. Entonces de las mejores recuperaciones obtenidas se puede proyectar el beneficio o pérdida de aplicación de cada reactivo para la lixiviación.

La fórmula para calcular el beneficio de la aplicación de cada producto sería:

$$Beneficio_{Final} = Ingresos - Costos \quad (4-1)$$

$$Ingresos(\$/t) = Precio\ del\ oro\ (\$/g) * \%Recuperable * Ley\ (g/t) \quad (4-2)$$

Costos Variables:

$$Costo_{Aplicación\ de\ Reactivo}(\$/t) = \frac{Costo\ (\$/t)}{1000} * Consumo_{total\ de\ reactivo}\ (kg/t) \quad (4-3)$$

$$Costo_{Adición\ de\ Cal}(\$/t) = \frac{Costo\ (\$/t)}{1000} * Consumo_{Total\ de\ cal}\ (kg/t) \quad (4-4)$$

Los precios de cada producto y proceso se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-14: Costos de Productos

Parámetro	Costo	Unidad
GDA	2530	\$/t
NaCN	3800	\$/t
Desintoxicación de Relaves Cianurados	4.35	\$/t
Desintoxicación de Relaves GDA	0	\$/t
Cal	340	\$/t
Alquiler de planta de Beneficio	101.35	\$/t

Elaborado por: Jiménez, 2024.

De las experimentaciones se resumen a continuación los siguientes parámetros variables:

Tabla 4-15: Parámetros variables obtenidos de las experimentaciones

Muestra	Reactivo usado	Consumo total de reactivo (kg/t)	Adición de cal (kg/t)	Recuperación de Au	Ley de Cabeza (g/t)	Oro Recuperable (g/t)
Camilo	NaCN	4.98	20.00	54%	10.06	5.42
Ponce E	GDA	26.91	25.00	83%		8.35
Chinapintza	NaCN	5.03	133.33	15%	20.78	3.02
	GDA	6.05	233.33	31%		6.53
Nambija Oxidada	NaCN	8.02	23.00	50%	1.80	0.90
	GDA	19.63	25.00	55%		0.99
Nambija Fresca	NaCN	7.62	30.00	66%	7.30	4.83
	GDA	12.13	35.00	77%		5.63

Elaborado por: Jiménez, 2024.

Realizando los cálculos para calcular el beneficio neto:

Tabla 4-16: Cálculo de beneficio o pérdida del proceso

Muestra	Ingresos (\$/t)	Costo de Procesamiento en Planta (\$/t)	Costo de aplicación del reactivo (\$/t)	Costo de adición de cal (\$/t)	Tratamiento de Relaves (\$/t)	Beneficio Neto (\$/t)	Beneficio de usar GDA
Camilo Ponce E	\$ 326.44	\$ -101.35	\$ -18.92	\$ -6.80	\$ -3.80	\$ 195.58	66%
	\$ 502.80	\$ -101.35	\$ -68.07	\$ -8.50	\$ -	\$ 324.88	
Chinapintza	\$ 181.80	\$ -101.35	\$ -19.11	\$ -45.33	\$ -3.80	\$ 12.20	1513%
	\$ 392.83	\$ -101.35	\$ -15.30	\$ -79.33	\$ -	\$ 196.85	
Nambija Oxidada	\$ 54.03	\$ -101.35	\$ -30.48	\$ -7.82	\$ -3.80	\$ 89.41	-11.6%

	\$ 59.73	\$ -101.35	\$ -49.65	\$ -8.50	\$ -	\$ -	
						\$ 99.77	
Nambija Fresca	\$ 290.64	\$ -101.35	\$ -28.94	\$ -10.20	\$ -3.80	\$ 146.36	33%
	\$ 338.87	\$ -101.35	\$ -30.69	\$ -11.90	\$ -	\$ 194.93	

Elaborado por: Jiménez, 2024.

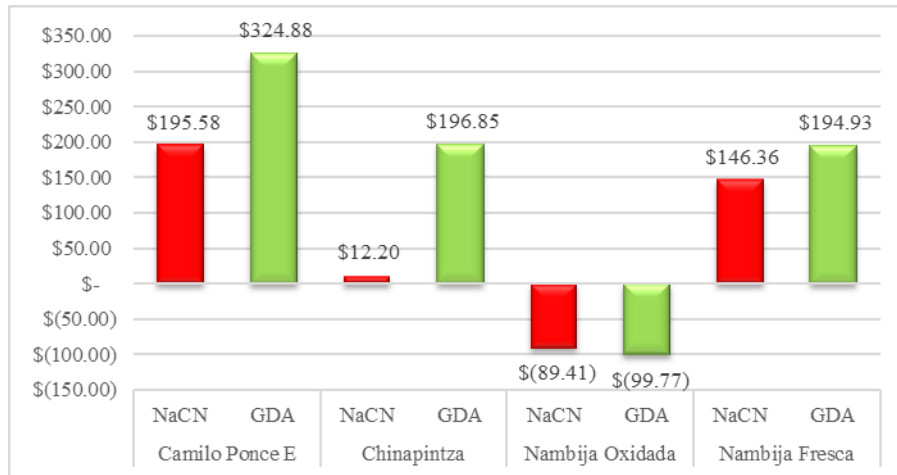


Gráfico 4-25: Resumen de beneficio de aplicación del producto

Elaborado por: Jiménez, 2024.

Elevar la concentración del reactivo GDA en solución para obtener mejores recuperaciones oro en comparación a la cianuración, a pesar de que el consumo del mismo al final sea más alto, mostró que puede resultar factible aplicarlo como un posible sustituto del cianuro según se puede observar los resultados que dieron estos ensayos a escala laboratorio. Como resumen, los cálculos de la Tabla 4-16 indican que aplicar este producto resulta en una relación positiva de ganancia en el proceso. Solo la muestra de Nambija Oxidada no evidencia ganancia para ningún proceso de lixiviación dada su baja ley de oro. Incluso la muestra Chinapintza, que por su alta cantidad de cianicidas mostró recuperaciones más bajas de oro, obtuvo mejores resultados con el GDA en cuanto a beneficio del proceso.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

La actividad científica permite que surjan nuevos compuestos para realizar pruebas de lixiviación con agentes lixiviantes que sean diferentes del cianuro y que como tal puedan ser un posible reemplazo del mismo. Si bien el método de la cianuración aún está lejos de ser reemplazado debido a su alta tasa de lixiviación en minerales de oro y plata, las nuevas preocupaciones actuales por el cambio climático hacen necesaria esta investigación con la finalidad de tener documentación que aborde un estudio exhaustivo sobre la aplicabilidad de lixiviantes que sean más amigables con el medio ambiente.

El presente trabajo nació con la finalidad de estudiar al GDA en un campo más amplio de su aplicabilidad en la lixiviación, ya que la investigación previa de este compuesto no proporcionaba información clave del producto, como su composición y método de valoración del mismo en solución. Por ello, nació el estudio cuantitativo de la información mediante un ejercicio de búsqueda llamado Vigilancia Tecnológica; este análisis permitió realizar una búsqueda exhaustiva del producto en la web y determinar lo siguiente:

- a) No existe información en forma de artículos científicos que estudien al GDA en cualquier aspecto.
- b) La búsqueda de la información llevó a encontrar la patente del mismo y mostró que el GDA está compuesto de Tiocianato de Sodio, que es un derivado sulfurado del cianuro caracterizado por ser menos tóxico, pero no es totalmente diferente del cianuro.
- c) Al lograrse determinar esta composición mediante la vigilancia tecnológica de la información, se pudo determinar un método óptimo de valoración química utilizando Rodamina B.

El análisis de la información relacionada con el GDA reveló que aún queda un largo camino por recorrer para considerarlo como un sustituto directo del cianuro. Se evidencia la necesidad de llevar a cabo estudios más exhaustivos en diversos tipos de minerales con el fin de generar, al igual que en el caso del cianuro, una amplia cantidad de datos que permitan a los interesados

comprender mejor el producto y determinar su viabilidad para su aplicación en las condiciones particulares de sus yacimientos.

Al cuantificar la producción de información relacionada con este producto, se determinó que, desde una perspectiva científica, se encuentra en una etapa temprana. Esta fase se caracteriza por restricciones en el acceso libre a la información, lo cual coincide con las limitaciones encontradas al inicio del estudio para establecer un marco de referencia sólido sobre el GDA.

La selección de las muestras de estudio obedece a que el presente trabajo fue realizado dentro de un proyecto de investigación llamado PBMINE a lo cual en concordancia con sus objetivos de estudio considero pertinente el análisis exhaustivo de las muestras provenientes de Camilo Ponce Enríquez, Chinapintza y Nambija distritos mineros del Ecuador. El resultado de la caracterización de estas muestras mostro lo siguiente:

La muestra de Camilo Ponce Enríquez es una roca Diorita con alta presencia de Cuarzo, Pirita y Andradita asociada a granates; la presencia de oro se asocia a los sulfuros y pirita. Tiene contenido de arsénico, antimonio y cobre como minerales cianicidas que componen el 0.75% de la roca, además de alto contenido de silicio y hierro. En cuanto a la presencia de oro, posee una ley de 10.06 g/t, con una densidad de 2.55 t/m³.

La muestra de Chinapintza es una toba riolítica y riolacita asociada a intrusivos, mineralización tipo pórfido y tipo veta. El análisis elemental mostró contenido alto de arsénico, antimonio, cobre y plomo como minerales cianicidas que componen el 3.16% de la roca, con elevada presencia de hierro y azufre. El ensayo químico determinó una ley de oro de 20.78 g/t y densidad de 3.60 t/m³. Se trabajó con dos muestras de Nambija caracterizadas por una ser más alterada que otra: la muestra de Nambija oxidada es una roca Skarn metamórfico por contacto hidrotermal, con alta presencia de minerales como la andradita y grosularia con oro asociado a los sulfuros de cobre y alto contenido de cuarzo. Presencia de cobre, arsénico y plomo representando el 0.16% de la roca, alta presencia de silicio, hierro y calcio. El oro presente está en una ley de 1.80 g/t y la densidad de la roca de 2.68 t/m³.

La otra muestra de Nambija se denominó Fresca debido a la menor alteración que evidenció, la roca es de tipo skarn con bajo contenido de cuarzo y alto contenido de granate, presencia de sulfuros de cobre y hierro en menores concentraciones evidencian menor alteración. Presenta una ley de oro de 7.30 g/t y una densidad de la roca de 2.95 t/m³.

Tras analizar el consumo final tanto de cianuro como de GDA en diferentes escenarios de concentraciones, se ha observado que, en concentraciones superiores a las 2000 ppm, el GDA presenta un mayor consumo en el sistema. Esto indica que, para mantener estas concentraciones, es necesario agregar constantemente reactivo al sistema, a diferencia del cianuro, que muestra consumos bajos en cualquier concentración. En promedio, el GDA consume 1.97 veces más reactivo que el cianuro, según los resultados obtenidos.

Además, se ha evidenciado que el GDA presenta una mayor fluctuación en el nivel de pH en el sistema de lixiviación. Esto implica la necesidad de un mayor control de este parámetro si se utiliza el reactivo, además de consumir una mayor cantidad de cal en el proceso en comparación con el cianuro.

De la serie de experimentaciones, las mejores recuperaciones de oro en solución fueron:

Para la muestra de Camilo Ponce Enríquez, utilizando NaCN en una concentración de 2000 ppm, se logró una recuperación de oro del 54%, consumiendo un total de 4.98 kg/t de reactivo. Sin embargo, al utilizar GDA, se alcanzó la mejor recuperación a una concentración de 5000 ppm, logrando una tasa de extracción del 83%. En este caso, el consumo final de reactivo fue de 26.91 kg/t. Comparando ambos métodos, se observa que con el uso de GDA se logra un 31% más de recuperación de oro, pero el consumo de reactivo es 5.4 veces superior en comparación con el uso de NaCN.

Para la muestra de Chinapintza, utilizando NaCN en una concentración de 2000 ppm, se logró una máxima recuperación de oro del 15%, con un consumo final de reactivo de 5.03 kg/t. Por otro lado, al emplear GDA en la misma concentración de 2000 ppm, se alcanzó una tasa de recuperación del 31%, con un consumo total de reactivo de 6.05 kg/t. Aunque ambas muestras lograron sus mejores recuperaciones en concentraciones similares, se observa que el GDA evidenció una tasa de lixiviación un 16% superior al cianuro. Sin embargo, también se destaca que el consumo total de reactivo del GDA fue 1.20 veces mayor en comparación con el NaCN.

Para la muestra de Nambija oxidada, utilizando NaCN en una concentración de 4000 ppm, se logró una tasa de lixiviación de oro del 50%, con un consumo total de reactivo de 8.02 kg/t. En el mismo escenario de concentración, utilizando GDA, se alcanzó la máxima recuperación de oro, que fue del 55%, con un consumo final de reactivo de 19.63 kg/t. A pesar de que ambas muestras presentaron tasas similares de lixiviación de oro, se observa una diferencia significativa en el consumo final de reactivo, siendo el consumo de GDA 2.44 veces superior al del cianuro.

Lixiviando la muestra de Nambija Fresca con NaCN, se obtuvo una tasa de recuperación de oro del 66%, consumiendo un total de 7.62 kg/t de reactivo en una concentración de 4000 ppm. Por

otro lado, al utilizar GDA, la tasa de lixiviación fue del 77%, con un consumo de 12.13 kg/t de reactivo, manteniendo una concentración de 3000 ppm. Se observa que el GDA logró una recuperación de oro superior al cianuro en un 11%, pero consumió 1.53 veces más reactivo que el NaCN, y destaca que se utilizó una concentración menor de GDA para obtener una recuperación de oro mayor.

El estudio de la cinética de extracción y consumo en las lixivaciones tanto con NaCN y GDA mostró en primera instancia que el ritmo de extracción de cianuro es irregular en las primeras 6 horas del ensayo para las 4 muestras. A partir de la hora 6 hasta la hora 12 se observa un ritmo de extracción pronunciado y al finalizar las 24 horas se observa una tendencia a asintotizarse la tasa de extracción, esto exceptuando a la muestra de Nambija Fresca que evidenció una tendencia creciente a seguir extrayendo oro. En cuanto al consumo del reactivo en el tiempo, se observa que en las muestras de Camilo Ponce Enríquez y Chinapintza la curva sigue una pendiente positiva de reacción entre cianuro y mineral; pasado ese tiempo, dicha curva se linealiza mostrando que ya no se está consumiendo el reactivo en grandes cantidades. En cuanto a las muestras de Nambija, se observa que el consumo alto de cianuro solo está hasta la hora 3; desde ahí, la curva se vuelve una línea recta.

Con relación a la cinética de consumo del reactivo en el tiempo, se observa que el uso de cianuro de sodio resulta en una tasa de consumo menor en el proceso de lixiviación en comparación al GDA. El análisis de las curvas muestra que la velocidad más alta de consumo del cianuro se presenta durante las primeras tres horas del ensayo. Durante este periodo inicial, se requiere reponer una cantidad considerable de cianuro para mantener la concentración del sistema. Sin embargo, a partir de la hora 6 y hasta el final del ensayo, se observa que la tasa de consumo disminuye considerablemente e incluso llega a ser nula en algunas muestras. Esto sugiere que el sistema mantiene una concentración constante de la solución de reactivo, indicando que el cianuro reacciona con menos especies minerales que podrían consumirlo en el sistema.

Por otro lado, en el caso del GDA, se observa un comportamiento similar de consumo solo hasta concentraciones inferiores a 2000 ppm. Sin embargo, a partir de concentraciones de 3000 ppm en adelante, se evidencia una tasa de consumo muy elevada, llegando a ser hasta tres veces superior a la del cianuro de sodio. Este comportamiento sugiere que el GDA mantiene una lixiviación continua de oro y otras especies minerales durante todo el proceso.

En cuanto a la curva de extracción aurífera para las muestras cianuradas, se evidencia un comportamiento heterogéneo entre las cuatro muestras estudiadas. Durante el análisis, se identificaron intervalos de tiempo en los cuales la tasa de extracción de oro era mínima, llegando

incluso a ser prácticamente nula. No obstante, también se observaron períodos en los cuales se evidenció un incremento gradual en la extracción, persistiendo esta tendencia en algunas muestras incluso más allá de las 24 horas de lixiviación.

Por otro lado, al considerar el uso de GDA, se observó que la tasa de extracción mantuvo una estabilidad hasta aproximadamente las 6 horas de lixiviación. Posterior a este punto, cada muestra tiene un comportamiento distinto: La muestra de Camilo Ponce Enríquez mantiene una tendencia positiva en la extracción de oro. La muestra de Chinapintza, por otro lado, muestra su tasa más alta de extracción a las 6 horas, sin embargo, no se observa un ritmo de extracción considerable posteriormente. En el caso de la muestra de Nambija Oxidada, se evidencia una disminución en la tasa de extracción a partir de las 6 horas, en comparación con el período anterior. Finalmente, la muestra de Nambija Fresca mantiene un incremento en la tasa de extracción más elevada que las primeras 6 horas de lixiviación.

En cuanto a la curva de extracción aurífera para las muestras cianuradas se observa un comportamiento heterogéneo para las 4 muestras que se estudiaron, se pueden observar lapsos de tiempo en el cual la tasa de extracción es muy baja casi nula, y otras secciones donde se observa un ritmo creciente de extracción que en algunas muestras se observa tendencia de extracción aun pasada las 24 horas. En cuanto con el uso de GDA se observa que la tasa de extracción mantiene un ritmo constante hasta las 6 horas de lixiviación posterior a ello cada muestra presenta comportamiento diferente, la de Camilo Ponce E mantiene esta tendencia positiva de extracción, la de Chinapintza muestra su tasa más alta a las 6 horas posterior a ello no se observa un ritmo de extracción considerable, la muestra de Nambija Oxidada a partir de las 6 horas mantiene una tendencia de extracción más baja que en el tiempo anterior y la de Nambija oxidada muestra un ritmo de extracción más elevado que en las primeras horas.

Por lo tanto, se observa que con el uso del GDA se establece una relación directa entre el consumo del reactivo y los minerales lixiviados. Esto sugiere que el GDA reacciona con una mayor variedad de minerales en el proceso de lixiviación en comparación con el cianuro, lo que resulta en un consumo más elevado del mismo. En cuanto a la cinética de extracción con el GDA, las primeras horas muestran un ritmo de extracción casi uniforme en las cuatro muestras estudiadas, a diferencia del cianuro, donde cada muestra exhibe un comportamiento propio. Sin embargo, posterior a las 6 horas de ensayo, tanto con el uso de GDA como de cianuro, la curva de cinética para cada muestra evidencia comportamientos heterogéneos.

De igual manera, la relación entre elementos considerados cianicidas, como el cobre, azufre, arsénico y antimonio, mostró una correlación directa que tuvo un impacto negativo en el valor de

recuperación aurífera al final del proceso. Se observó que muestras como la de Chinapintza se vieron más afectadas por la presencia de estos elementos, lo que resultó en las recuperaciones de oro más bajas entre todas las pruebas de lixiviación. Sin embargo, en este escenario, el GDA evidenció tener una menor afectación ante este tipo de elementos en comparación con el cianuro.

El análisis económico que tomo en cuenta la recuperación metálica en la lixiviación, el consumo de los reactivos y la cal, más la cotización del tratamiento del mineral en planta y desintoxicación de los relaves cianurados mostró que, a pesar de que el GDA se consume en mayor cantidad, presta un beneficio positivo en su aplicación, evidenciando un beneficio del 66% en la muestra de Camilo Ponce, 1513% en la muestra de Chinapintza y en la muestra de Nambija Fresca del 33% en comparación con el proceso de cianuración convencional; solo la muestra de Nambija Oxidada no mostró beneficio de aplicación de ningún metal en el proceso de lixiviación dada la baja ley de oro que poseía.

Se llegó a la conclusión de que el GDA es un candidato viable para convertirse en un reemplazo del cianuro para las muestras analizadas. A pesar de que el reactivo se consume en mayor cantidad y se necesitan concentraciones superiores que las de una cianuración convencional, el bajo costo del reactivo adicionado al beneficio adicional en la lixiviación de oro mostro compensar esta variación.

RECOMENDACIONES

Se propone realizar el proceso de evaluación en la etapa de adsorción con carbón activado o precipitación con zinc, estudiando la aplicación del proceso a escala industrial en un proceso completo de beneficio mineral.

Botero, (2021), en su estudio sobre los “Mecanismos De Cianuración De Oro Considerando Interacción Físicoquímica De Interfase”, menciona la adición de cierto tipo de tensoactivos permite un mejor trabajo en la adhesión de oro y cianuro, evidenciando tasas de lixiviación de hasta 2.14 veces más altas con la aplicación de estos. Se recomienda realizar un estudio en la adición de tensoactivos para mejorar el proceso de lixiviación de oro utilizando como agente lixivante el GDA.

Proponer un sistema de optimización en el uso de cianuro, el fabricante menciona que ambos reactivos se pueden usar en el mismo sistema de lixiviación por ende un estudio en el cual se pueda disminuir la dosis de cianuro en el sistema y compensarlo con la adición del GDA para obtener los mismos resultados de recuperación de oro permitirá ayudar a el tratamiento de los relaves.

Elaborar un estudio económico que evalúe el proceso de degradación del GDA y comparar con los costos de tratamiento de aguas provenientes de procesos de Cianuración con la finalidad de corroborar si existe una mejora económica con la aplicación del producto.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ÁLVAREZ GARCÍA, Rodrigo**, *Aplicación de sistemas pasivos para el tratamiento de soluciones residuales de procesos de cianuración en minería de oro*. (Trabajo de Titulación) (Doctoral). Oviedo: Universidad de Oviedo. 2006. págs. 25-64.
2. **APABLAZA, A.; et al.**, "Estudio Cinético de Lixiviación de Oro". *Universidad Técnica Federico Santa María*, 2010. págs. 1-6.
ATARÉS, Lorena, "Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro". . Valencia: [sin fecha].
3. **BLANCO, Emilio Andrea**, "BLOQUE I-CAPÍTULO 3. PULPAS". . S.l.: 2019.
4. **BLESA, Miguel A. & CASTRO, Gerardo D.**, "Historia natural y cultural del mercurio". En: ASOCIACIÓN ARGENTINA PARA EL PROGRESO DE CIENCIAS (ed.) [en línea], 2015. AAPC. págs. 26-38. Disponible en: <http://www.aargentinapciencias.org/>.
5. **BOTERO, Yessica**, *Estudio de mecanismos de cianuración de oro considerando interacciones fisicoquímicas de interfase*. (Trabajo de Titulación) (Trabajo de Investigación). Medellín : Universidad Nacional de Colombia. 2021. págs. 92-95.
6. **CÁRDENAS, Fabián et al.**, "Lixiviación de Minerales Mediante Pilas y Bateas". . Santiago de Chile: 2011.
7. **CHE SHUJIN; et al.**, 2017. Novel gold ore dressing agent and preparation method thereof [en línea]. CN108728639. China. [Consulta: 16 noviembre 2023]. CN108728639. Disponible en: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN233236859&_cid=P21-LP2SIG-29003-1.
8. **COILA, Roberto**, *Lixiviación de relaves oxidados de cobre y oro de la empresa minera Manuela Ite-Tacna*. Tacna: Universidad Nacional del Jorge Basadre Grohmann. 2012. págs. 6-12.
9. **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**, "Informe-Prueba-Metalurgica-EPN". . Quito: 2019.
10. **GUANGXI SENHE HIGH TECHNOLOGY CO., Ltd**, [sin fecha]. "How Does GDA Achieve Eco-friendly Gold Leaching?". [en línea]. [Consulta: 28 diciembre 2023]. Disponible en: http://www.gda.gold/public/en/article/category_id/48.html.
11. **INSTITUTO DE MINERALES CIMEX**, "Informe Cimex - E1130_FERNANDO_VFC". . Medellín: 2023.
12. **JIMÉNEZ GONZÁLES, Santiago; et al.** "Technological surveillance of s curves and cycle life of technology". *Espacios*, 2017. ISSN 0798 1015. vol. 38, no. 44, págs. 36.

13. **LIBERONA DÍAZ, Arturo Alfonso**, *Proposición de un sistema de lixiviación IN-SITU*. (Trabajo de Titulación) (Memoria). Santiago de Chile: Universidad de Chile. 2013. págs. 6-13.
14. **MAS, M.A; et al.** "Evaluación de los Procesos de Lixiviación por Agitación Convencional y Carbón en Pulpa en la Hidrometalurgia del Oro". *Información tecnológica* [en línea], 2005. [Consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642005000500006. vol. 16, no. 5, págs. 27-33. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000500006&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
15. **MKAMA, Alex**, "AFRICAN MINERALS AND GEOSCIENCES CENTRE (AMGC) Report on Investigation of Environmental and Health Impact of the Gold Dressing Agent (GDA) Used for Gold Extraction MINERAL PROCESSING AND SMALL SCALE MINING (MPSSM)". . S.l.: 2019.
16. **NAVA ALONSO, F.; et al.**, "Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: revisión de los principales métodos". *REVISTA DE METALURGIA*, 2007. ISSN 0034-8570. págs. 21-24.
17. **PEREA SOLANO, Carlos Guillermo**, *Evaluación de una metodología alternativa a la cianuración para la disolución de oro utilizando solventes orgánicos*. Medellín : Universidad Nacional de Colombia. 2016. págs. 3-36.
18. **ROESER, Monika & MESA, Luis**, "Cianuración de minerales portadores de oro". . S.l.: 2010.
19. **UNIÓN EUROPEA**, 2010. "Prohibición del uso de las tecnologías mineras a base de cianuro". [en línea]. [Consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-7-2010-0145_ES.html.
20. **URQUIZO, Fanny**, *Aplicación del lixiviante GDA como alternativa al uso de cianuro en la planta de beneficio de las empresa minera y constructora COMINCOBOS S.A.* Macas: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2023. págs. 27-52.
21. **WEIGANG, Kang; et al.** "Experimental Research on Environmental Friendly Gold Leaching of a Refractory Gold Ore in Laos". *Multipurpose Utilization of Mineral Resources* [en línea], 2022. [Consulta: 18 agosto 2023]. ISSN 1000-6532. DOI 10.3969/J.ISSN.1000-6532.2022.03.023. vol. 43, no. 3, págs. 132-136. Disponible en: [/en/article/doi/10.3969/j.issn.1000-6532.2022.03.023](http://en/article/doi/10.3969/j.issn.1000-6532.2022.03.023).
22. **WU, Ge**, "The Experimental Study and Production Practice of GDA Reagent in the Process of Carbon-in-Pulp Gold Extraction". . S.l.: 2013.



ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS DE LECTURAS DE ABSORCIÓN ATÓMICA ALBEXXUS



INFORME DE ENSAYO

Nº. 25814

Cliente	: Christian Ordóñez
Dirección	: Av. Amazonas y Chile - Guayaquil
Tipo de Muestra	: Mineral
Envase	: Funda Plástica
Condición de la Muestra	: En buenas condiciones para analizar
Recepción de Muestra Nº	: 17970
Fecha de Recepción de Muestras	: 2023-09-29 07:08:55.0
Fecha Inicó Análisis	: 2023-09-29
Fecha Terminó Análisis	: 2023-09-29
Fecha de Emisión del Informe	: 2023-09-29

Los datos subrayados son proporcionados por el cliente. Albexxus no es responsable por dicha información.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio Albexxus.
 Las actividades del laboratorio se realizan en la sede principal, Piñas.
 Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

CINTHIA MELINA RIOS AGUILAR
 Cinthia Ríos Aguilár
 Jefe de Laboratorio

INFORME DE ENSAYO

Nº. 25814

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp.		Au
	Nº	Ab.	
Ponzoa Enriquez Clamuro	1	0.0020	0.30
Ponzoa Enriquez GDA	1	0.0020	0.30
Chingapiza Clamuro	1	0.0024	1.72
M2 NORO Clamuro	1	0.0020	0.50
Chingapiza La GDA / GDA	1	0.0020	0.40
M2 NORO GDA / GDA	1	0.0024	0.42
MI	1	0.0020	0.30
M2	1	0.0020	0.30
Caril. Pasa Engrape	1	0.0024	12.68
Chingapiza	1	0.0020	0.70

Comp. N: Numero de matrices que conforman el compuesto / Col. Ab: Codigo Albexxus.
 Los resultados solo están relacionados con los datos de la tabla.
 Las muestras fueron preparadas por el cliente.

MÉTODOS:

1. Au: Ag-AASMET (C) Determinación de Au y Ag por espectro de absorción.
2. Cu: Ag-AASMET (C) Determinación de Cu por espectro de absorción.
3. As: Ag-AASMET (C) Determinación de As por espectro de absorción.

COMENTARIOS:

FINAL DEL DOCUMENTO

REPORTE DE LABORATORIO

Cliente: Christian Ordóñez							
Fecha: 29/09/2023							
Tipo de ensayo: Lectura de elementos por Absorción Atómica							
ID de la Muestra	Au ppm	As ppm	CN Consumo ml	pH	Cu ppm	As ppm	Fe ppm
Ponzoa Enriquez Clamuro	0.415	17.05					
Ponzoa Enriquez GDA	0.419	4.741					
Chingapiza GDA	0.521	0.003					
Chingapiza Clamuro	1.304	0.234					
M2 NORO Clamuro	0.100	0.130					
M2 NORO GDA	0.095	0.200					

INFORME DE ENSAYO

Nº. 27989

Cliente	: Christian Ordoñez
Dirección	: Av. Amazonas y Chile - Cuenca
Tipo de Muestra	: Solución
Envase	: Funda Plástica
Condición de la Muestra	: En buenas condiciones para analizar
Recepción de Muestra Nº	: 19499
Fecha de Recepción de Muestras	: 2024-02-08 10:37:46 D
Fecha Inicio Análisis	: 2024-02-08
Fecha Terminó Análisis	: 2024-02-08
Fecha de Emisión del Informe	: 2024-02-08

Los datos subrayados son proporcionados por el cliente. Alboxus no es responsable por dicha información.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio Alboxus.
 Las actividades del laboratorio se realizan en la sede principal, Piñas.
 Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

CINTHIA MELINA RIOS AGUILAR
 Jefe de Laboratorio

INFORME DE ENSAYO

Nº. 27989

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp	Cod	Auxiliar
	Nº	Ab.	ppm
Ferromanganeso Sólido CP603A	1	112800	3.29
Ferromanganeso Sólido CP603B	1	112807	3.49
Ferromanganeso Sólido CP603C	1	112805	3.56
Ferromanganeso Sólido CP603D	1	112806	3.13
Ferromanganeso Sólido CP603E	1	112801	1.01
Ferromanganeso Sólido CP603F	1	112808	0.81

Comp. N: Número de muestras que conforman el compuesto / Cod. Ab.: Código Alboxus.
 Los ensayos realizados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación del IAF.
 Los resultados solo están homologados con los datos de el ensayo.
 Los resultados fueron proporcionados por el cliente.

MÉTODOS:

1. Au. Ag. ASMET-1: Determinación de Arseno por método de fuego.
2. Cu. Pb. Zn. As. Fe. Al. Mn. Ni. Co. Determinación por espectroscopía de absorción atómica (AA) por Absorción Atómica.
3. Au. Ag. ASMET-1: Determinación de Arseno por espectroscopía de absorción atómica.

COMENTARIOS:

FINAL DEL DOCUMENTO

INFORME DE ENSAYO

Nº. 27991

Cliente	: Christian Ordoñez
Dirección	: Av. Amazonas y Chile - Cuenca
Tipo de Muestra	: Solución
Envase	: Funda Plástica
Condición de la Muestra	: En buenas condiciones para analizar
Recepción de Muestra Nº	: 19499
Fecha de Recepción de Muestras	: 2024-02-08 10:37:46 D
Fecha Inicio Análisis	: 2024-02-08
Fecha Terminó Análisis	: 2024-02-08
Fecha de Emisión del Informe	: 2024-02-08

Los datos subrayados son proporcionados por el cliente. Alboxus no es responsable por dicha información.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio Alboxus.
 Las actividades del laboratorio se realizan en la sede principal, Piñas.
 Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

CINTHIA MELINA RIOS AGUILAR
 Jefe de Laboratorio

INFORME DE ENSAYO

Nº. 27991

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp	Cod	Auxiliar
	Nº	Ab.	ppm
Bismuto Digestión Ácido Clorhídrico CP100	1	112640	0.91
Bismuto Digestión Ácido Clorhídrico CP101	1	112610	1.41
Bismuto Digestión Ácido Clorhídrico CP102	1	112611	2.16.03
Bismuto Digestión Ácido Clorhídrico CP103	1	112612	5.81
Bismuto Digestión Ácido Clorhídrico CP104	1	112613	0.91
Bismuto Digestión Ácido Clorhídrico CP105	1	112614	1.41
Bismuto Digestión Ácido Clorhídrico CP106	1	112615	0.91

Comp. N: Número de muestras que conforman el compuesto / Cod. Ab.: Código Alboxus.
 Los ensayos realizados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación del IAF.
 Los resultados solo están homologados con los datos de el ensayo.
 Los resultados fueron proporcionados por el cliente.

MÉTODOS:

1. Au. Ag. ASMET-1: Determinación de Arseno por método de fuego.
2. Cu. Pb. Zn. As. Fe. Al. Mn. Ni. Co. Determinación por espectroscopía de absorción atómica (AA) por Absorción Atómica.
3. Au. Ag. ASMET-1: Determinación de Arseno por espectroscopía de absorción atómica.

COMENTARIOS:

FINAL DEL DOCUMENTO

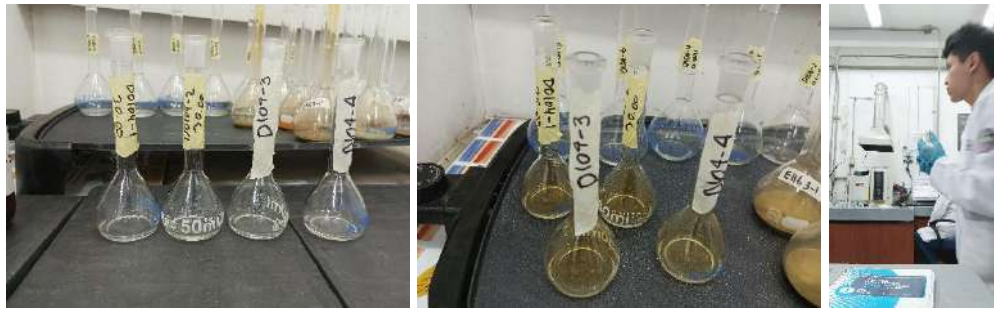
ANEXO B: EVIDENCIAS DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE LABORATORIO.

Procesamiento de Muestras.



Análisis químico por ensayo al fuego y Absorción atómica





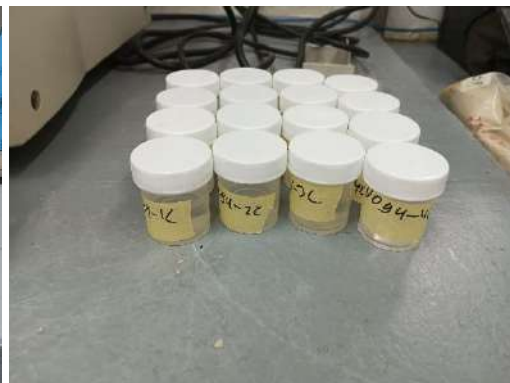
Caracterización elemental por Fluorescencia de Rayos X



Determinación de la densidad por picnometría.



Ensayos de lixiviación.





ANEXO C BALANCES METALÚRGICOS DE LAS LIXIVIACIONES

Código de muestra	Procedencia	Fecha de Ensayo	Reactivo Usado	pH Inicial	pH Elevado	Cantidad de Muestra (g)	Cantidad de Líquido (ml)	Relación S:L	Hora de inicio	Duración del Ensayo	Dosificación usada (kg/ton)	Gramos	ppm mg/kg	Ley de Cabeza (mg/L) PPM	Ley de Cabeza (g/ton)	Ley del Concentrado	Ley del Concentrado	Ley de las Colas (mg/L) PPM	Ley de las Colas (g/ton)	mg Au Cabeza	mg Au Concentrado	mg Au Colas	Recuperación
DO94-1	Camilo Ponce E	23/10/2023	GDA	5	11	30	60	1/2	8:00:00	24 h	2	0.06	2000	5.54	10.06	2.10	4.21	3.44	6.87	0.33	0.13	0.21	38%
		2/11/2023	GDA	5	12	30	60	1/2	7:45:00	24 h	3	0.09	3000	4.83	9.67	1.41	2.83	3.42	6.84	0.29	0.08	0.21	29%
		30/10/2023	GDA	5	11	30	60	1/2	7:00:00	24 h	4	0.12	4000	5.87	11.74	3.36	6.73	2.51	5.01	0.35	0.20	0.15	57%
		24/11/2023	GDA	5	11	30	60	1/2	6:30:00	24 h	5	0.15	5000	4.87	10.06	3.29	6.57	0.92	1.84	0.24	0.20	0.05	81%
		27/11/2023	GDA	5	10-11'	30	60	1/2	6:20:00	24 h	6	0.18	6000	5.08	8.46	2.89	5.78	1.61	3.22	0.25	0.17	0.08	68%

20/11/2023	NAC N	5	11-12'	30	60	1/2	6:45:00	24 h	2	0. 06	2000	5.19	8.65	2.28	4.56	2.46	4.91	0.26	0.14	0.12	53%
22/11/2023	NAC N	5	10-11'	30	60	1/2	6:45:00	24 h	4	0. 12	4000	5.54	10.06	2.36	4.72	2.71	5.42	0.28	0.14	0.14	51%
30/1/2024	GDA	5	11	100 0	2000	1/2	7:10:00	24 h	5	5. 00	5000	7.97	7.97	3.39	6.78	1.45	1.19	7.97	6.78	1.19	85%
31/1/2024	NAC N	5	11	100 0	2000	1/2	7:10:00	24 h	2	2. 00	2000	12.83	12.83	3.54	7.09	1.40	5.75	12.83	7.09	5.75	55%

Código de muestra	Procedencia	Fecha de Ensayo	Reactivo Usado	pH Inicial	pH Elevado	Cantidad de Muestra (g)	Cantidad de Líquido (ml)	Relación S:L	Hora de inicio	Duración del Ensayo	Dosificación usada (kg/ton)	Gramos Iniciales	ppm mg/kg	Ley de Cabeza (mg/L) PPM	Ley de Cabeza (g/ton)	Ley del Concentrado	Ley del Concentrado	Ley de las Colas (mg/L) PPM	Ley de las Colas (g/ton)	mg Au Cabeza	mg Au Concentrado	mg Au Colas	Recuperación
DO94-2	CHINAPINZA	27/11/2023	GDA	5	11-12'	30	60	1/2	6:20:00	24 h	1	0.03	1000	8.97	14.95	0.00	0.00	8.97	14.95	0.45	0.00	0.45	0%
		23/10/2023	GDA	5	11	30	60	1/2	8:00:00	24 h	2	0.06	2000	11.55	20.78	3.76	7.51	7.80	13.00	0.69	0.23	0.47	32%
		24/11/2023	GDA	5	11	30	60	1/2	6:30:00	24 h	3	0.09	3000	6.81	20.78	0.28	0.55	6.48	10.80	0.34	0.02	0.32	5%
		30/10/2023	GDA	5	11	30	60	1/2	7:00:00	24 h	4	0.12	4000	10.64	21.29	3.00	5.99	7.65	15.29	0.64	0.18	0.46	28%
		2/11/2023	GDA	5	12	30	60	1/2	7:45:00	24 h	5	0.15	5000	5.98	11.95	1.34	2.69	4.63	9.27	0.36	0.08	0.28	22%
		20/11/2023	NACN	5	11-12'	30	60	1/2	6:45:00	24 h	2	0.06	2000	10.22	17.03	0.70	1.39	9.38	18.76	0.51	0.04	0.47	8%

22/11/2023	NACN	5	11-12'	30	60	1/2	6:45:00	24 h	4	0.12	4000	11.55	20.78	0.47	0.93	10.99	21.98	0.58	0.03	0.55	5%
30/1/2024	GDA	6	11	150	300	1/2	7:10:00	24 h	5	0.75	5000	19.76	19.76	2.12	4.24	9.50	15.52	2.96	0.64	2.33	21%
31/1/2024	NACN	6	11	150	300	1/2	7:10:00	24 h	2	0.30	2000	26.06	26.06	1.97	3.94	5.60	22.12	3.91	0.59	3.32	15%

Código de mineral	Procedencia	Fecha de Ensayo	Reactivo Usado	pH Inicial	pH Elevado	Cantidad de Muestra (g)	Cantidad de Líquido (ml)	Relación S:L	Hora de inicio	Duración del Ensayo	Dosificación (mg/L)	Gramos Iniciales	ppm mg/kg	Ley de Cabeza (mg/L) PPM	Ley de Cabeza (g/ton)	Ley del Concentrado	Ley del Concentrado	Ley de las Colas (mg/L) PPM	Ley de las Colas (g/ton)	mg Au Cabeza	mg Au Concentrado	mg Au Colas	Recuperación
DO94-3	Nambija Oxidada	27/11/2023	GDA	6	11-12'	30	60	1/2	6:20:00	24 h	1	0.03	1000	0.78	1.31	0.00	0.00	0.78	1.31	0.04	0.00	0.04	0%
		23/10/2023	GDA	4	11	30	60	1/2	8:00:00	24 h	2	0.06	2000	1.01	1.80	0.02	0.02	1.00	1.67	0.06	0.00	0.06	2%
		2/11/2023	GDA	6	12	30	60	1/2	7:45:00	24 h	3	0.09	3000	1.66	3.33	0.80	1.61	0.86	1.72	0.10	0.05	0.05	48%
		30/10/2023	GDA	6	11	30	60	1/2	7:00:00	24 h	4	0.12	4000	1.58	3.16	0.82	1.64	0.76	1.52	0.09	0.05	0.05	52%
		24/11/2023	GDA	6	11	30	60	1/2	6:30:00	24 h	5	0.15	5000	0.72	1.80	0.28	0.55	0.39	0.65	0.04	0.02	0.02	46%
		20/11/2023	NACN	6	11-12'	30	60	1/2	6:45:00	24 h	2	0.06	2000	0.93	1.56	0.34	0.68	0.53	1.06	0.05	0.02	0.03	44%

22/11/2023	NACN	6	11-12'	30	60	1/2	6:45:00	24 h	4	0.12	4000	1.01	1.80	0.43	0.86	0.49	0.99	0.05	0.03	0.02	51%
1/2/2024	GDA	7	11	200	400	1/2	8:00:00	24 h	4	0.80	4000	2.21	2.21	0.92	1.85	0.22	0.36	0.44	0.37	0.07	84%

Código de muestra	Procedencia	Fecha de Ensayo	Reactivo Usado	pH Inicial	pH Elevado	Cantidad de Muestra (g)	Cantidad de Líquido (ml)	Relación S:L	Hora de inicio	Duración del Ensayo	Dosificación usada (kg/ton)	Gramos Iniciales	ppm mg/kg	Ley de Cabeza (mg/L) PPM	Ley de Cabeza (g/ton)	Ley del Concentrado	Ley del Concentrado	Ley de las Colas (mg/L) PPM	Ley de las Colas (g/ton)	mg Au Cabeza	mg Au Concentrado	mg Au Colas	Recuperación
DO94-4	Nambija Fresca	23/10/2023	GDA	5	11	30	60	1/2	8:00:00	24 h	2	0.06	2000	4.10	7.30	2.33	4.67	1.77	2.95	0.25	0.14	0.11	57%
		24/11/2023	GDA	6	11	30	60	1/2	6:30:00	24 h	3	0.09	3000	3.56	7.30	2.36	4.72	0.73	1.22	0.18	0.14	0.04	79%
		30/10/2023	GDA	6	11	30	60	1/2	7:00:00	24 h	4	0.12	4000	4.41	8.81	2.88	5.75	1.53	3.06	0.26	0.17	0.09	65%
		2/11/2023	GDA	5	12	30	60	1/2	7:45:00	24 h	5	0.15	5000	4.33	8.66	2.70	5.39	1.64	3.27	0.26	0.16	0.10	62%
		27/11/2023	NACN	6	11-12'	30	60	1/2	6:20:00	24 h	1	0.03	1000	3.60	6.00	0.00	0.00	3.16	5.27	0.18	0.00	0.18	0%
		20/11/2023	NACN	5	11-12'	30	60	1/2	6:45:00	24 h	2	0.06	2000	3.88	6.47	1.96	3.92	1.53	3.06	0.19	0.12	0.08	61%

22/11/2023	NACN	6	11-12'	30	60	1/2	6:45:00	24 h	4	0.12	4000	4.10	7.30	2.32	4.63	1.32	2.64	0.20	0.14	0.07	68%
1/2/2024	GDA	8	11	200	400	1/2	8:00:00	24 h	3	0.60	3000	5.98	5.98	2.24	4.48	0.92	1.51	1.20	0.90	0.30	75%

ANEXO D CONTROLES DE REACTIVO

Camilo Ponce E Reactivo Acumulado (kg/t)								
Hora de medición	GDA 2 kg/t	GDA 3 kg/t	GDA 4 kg/t	GDA 5 kg/t	GDA 6 KG/t	NaCN 1 kg/t	NaCN 2 kg/t	NaCN 4 kg/t
0	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	4.00
1	3.61	4.82	7.41	8.63	9.65	1.63	2.43	5.65
2	5.02	5.47	10.43	12.06	12.71	1.90	3.26	6.71
3	6.24	6.90	12.67	15.30	15.18	2.17	3.30	7.38
6	6.28	7.94	14.90	17.94	17.65	2.26	3.73	7.46
12	6.32	8.59	17.14	20.98	20.71	2.35	3.77	7.93
24	6.55	9.24	19.57	24.02	24.56	2.43	4.40	8.79

Chinapintza Reactivo Acumulado (kg/t)								
Hora de medición	GDA 1 kg/t	GDA 2 kg/t	GDA 3 kg/t	GDA 4 kg/t	GDA 5 kg/t	NaCN 1 kg/t	NaCN 2 kg/t	NaCN 4 kg/t
0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	4.00
1	1.41	3.41	4.24	6.04	8.63	1.45	2.04	5.26
2	1.43	4.43	5.47	9.26	11.86	1.72	2.47	5.73
3	1.45	5.45	6.51	11.69	14.32	1.72	3.10	6.40
6	1.47	5.49	7.55	13.73	17.16	2.17	3.14	6.48
12	1.49	5.53	8.79	15.38	18.83	2.63	3.18	6.56
24	1.51	5.77	9.24	16.83	22.06	2.71	4.00	7.22

Nambija Oxidada Reactivo Acumulado (kg/t)								
Hora de medición	GDA 1 kg/t	GDA 2 kg/t	GDA 3 kg/t	GDA 4 kg/t	GDA 5 kg/t	NaCN 1 kg/t	NaCN 2 kg/t	NaCN 4 kg/t
0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	4.00
1	1.22	2.63	4.43	6.63	8.04	1.45	2.24	5.06
2	1.24	3.45	4.69	9.26	10.88	1.54	2.67	5.14
3	1.45	4.86	5.92	11.69	13.53	1.63	2.90	5.22
6	1.67	5.49	7.75	13.92	15.98	1.71	3.14	5.30
12	1.69	6.51	8.40	15.96	18.83	1.80	3.38	5.38
24	1.69	7.14	8.65	18.20	20.69	1.80	3.42	5.46

Nambija Fresca Reactivo Acumulado (kg/t)								
Hora de medición	GDA 2 kg/t	GDA 3 kg/t	GDA 4 kg/t	GDA 5 kg/t	NaCN 1 kg/t	NaCN 2 kg/t	NaCN 4 kg/t	
0.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	4.00	
1.00	3.02	4.63	6.04	8.82	1.02	2.24	4.86	
2.00	3.45	5.86	8.47	12.06	1.04	2.86	4.94	
3.00	4.47	6.90	10.71	14.12	1.26	2.90	5.02	

6.00	4.51	7.16	12.55	16.96	1.28	2.94	5.30
12.00	5.53	8.20	14.79	18.63	1.49	2.98	5.38
24.00	6.36	8.85	16.83	21.08	1.51	3.02	5.66

ANEXO E RECONSTRUCCIÓN DE LA CINÉTICA DE EXTRACCIÓN DE LAS LIXIVIACIONES CON MEJORES RESULTADOS.

Camilo Ponce Enríquez		
Hora de Medición	Oro Extraído	
	GDA	NaCN
0	0.00%	0.00%
1	27.99%	35.45%
2	44.18%	37.08%
3	54.51%	38.34%
6	64.40%	46.67%
12	77.34%	49.43%
24	85.10%	55.22%

Chinapintza		
Hora de Medición	Oro Extraído	
	GDA	NaCN
0	0.00%	0.00%
1	3.49%	7.61%
2	14.43%	9.61%
3	17.03%	10.34%
6	28.71%	12.00%
12	30.16%	12.78%
24	32.50%	15.13%

Nambija Oxidada		
Hora de Medición	Oro Extraído	
	GDA	NaCN
0	0.00%	0.00%
1	24.17%	16.41%
2	29.32%	17.48%
3	35.33%	20.89%
6	37.97%	22.25%
12	51.32%	27.89%
24	58.00%	48.33%

Nambija Fresca		
Hora de Medición	Oro Extraído	
	GDA	NaCN
0	0.00%	0.00%
1	20.50%	22.06%
2	23.36%	24.12%
3	25.91%	24.17%
6	29.21%	24.23%
12	45.09%	58.95%
24	74.85%	64.56%

ANEXO F LECTURAS DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DEL INSTITUTO DE MINERALES CIMEX

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
referencia QC 1	0.0101 T	3.5	1.1473 T	1.1473 T
G3 2H	0.0018	7.8	0.2129	0.8514
G3 4H	0.0013	28.4	0.1527	0.6107
G3 5H	0.0017	10.6	0.1958	0.7631
DO94-1A	0.0016	10.8	0.1653	3.7070
DO94-1B	0.0017	11.7	0.1974	3.9489
DO94-1C	0.0020	9.5	0.2360	4.7191
DO94-1D	0.0022	7.5	0.2513	5.0268
DO94-2A	0.0016	2.5	0.1922	3.8432
referencia QC 2	0.0295	0.5	3.2951	3.2861
DO94-2B	0.0018	4.3	0.2101	4.2623
DO94-2C	0.0016	2.0	0.1918	3.6351
DO94-2D	0.0018	3.2	0.2110	4.2202
DO94-3A	0.0015	16.2	0.1722	3.4438
DO94-3B	0.0016	11.5	0.1858	3.7157
DO94-3C	0.0015	18.7	0.1823	3.6458
DO94-3D	0.0015	5.7	0.1810	3.6210
DO94-4A	0.0017	2.5	0.2008	4.0164
referencia QC 3	0.0596	0.1	6.4122	6.4122
DO94-4B	0.0020	2.7	0.2325	4.6499
DO94-4C	0.0021	3.9	0.2500	5.0000
DO94-4D	0.0027	8.2	0.3073	6.1465
1	0.0411	0.3	4.6374	45.3742
2	0.0405	0.0	4.4774	44.7737
3	0.0310	0.5	3.4512	34.5122
4	0.0291	0.7	3.2344	32.3426
5	0.0273	0.2	3.0476	30.4756
referencia QC 4	0.1141 T	1.0	12.1157 C	12.1157 C
6	0.0370	0.6	4.0557	40.9569
7	0.0409	0.3	4.5238	45.2377
8	0.0186	1.4	2.0095	20.0048
9	0.0536	0.1	5.3751	58.7508
Blanco	0.0000	0.0	0.0000	0.0000

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
24/10/2023			10:35:39	24/10/2023
Au	Abs	%	mg/L	mg/L
Blanco	0.0009	14.8	0.0000	
Estándar 1	0.0050	3.1	1.0000	
Estándar 2	0.0132	1.2	3.0000	
Estándar 3	0.0259	0.6	6.0000	
Estándar 4	0.0504	0.1	12.0000	
Estándar 5	0.0827	4.0	20.0000	
E1146	0.0039	5.0	0.7431	0.7431
E1146	0.0045	2.7	0.6675	0.6675
E1148	0.0029	4.7	0.4843	0.4843
E1148	0.0030	3.6	0.5193	0.5193
E1147	0.0551	0.2	13.1482	13.1462
E1147	0.0522	1.1	12.4322	12.4322
Blanco QC	0.0019	5.4	0.2555	0.2555
DO94-1E	0.0022	14.2	0.3150	6.3002
referencia QC 1	0.0066 T	2.2	1.3731 T	1.3731 T
DO94-1F	0.0031	2.1	0.5459	10.9185
DO94-2E	0.0030	3.4	0.5135	10.2890
DO94-2F	0.0032	3.2	0.5823	11.2457
DO94-3E	0.0025	8.2	0.3025	7.8493
DO94-3F	0.0027	6.5	0.4516	9.0326
DO94-4E	0.0036	8.5	0.6513	13.0261
DO94-4F	0.0033	4.8	0.5940	11.8792

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
E1152-04	0.0209	0.9	6.9655	6.9655
E1152-06	0.0038	3.2	0.7847	0.7847
E1152-06	0.0029	2.3	0.5784	0.5784
referencia QC 1	0.0055 T	2.0	1.1596 T	1.1596 T
E1152-08	0.0083	1.9	1.8086	1.8086
E1152-08*	0.0068	1.3	1.4641	1.4641
E1152-09	0.0075	0.1	1.6227	1.6227
E1152-09	0.0061	3.2	1.2998	1.2998
E1152-10	0.0270	0.7	6.1274	6.1274
E1152-10	0.0260	0.7	5.8933	5.8933
E1152-11	0.0037	3.6	0.7629	0.7629
E1152-11	0.0043	3.4	0.8965	0.8965
referencia QC 2	0.0150 T	1.9	3.3481 T	3.3481 T
E1153-1	0.0044	2.4	0.9241	0.9241
E1153-1	0.0039	1.2	0.8047	0.8047
D101	0.0555	0.1	12.8129	12.8129
D101	0.0512	0.4	11.8131	11.8131
DO941-A	0.0024	1.9	0.4946	9.2523
DO941B	0.0025	7.6	0.4720	9.4400
DO94-2A	0.0018	17.1	0.3123	6.2457
DO94-2B	0.0023	2.7	0.4350	8.7798
referencia QC 3	0.0285	2.6	6.4700	6.4700
DO94-3A	0.0019	9.3	0.3439	6.8776
DO94-3B	0.0015	11.9	0.2454	4.9083
DO94-4A	0.0015	11.2	0.2810	5.2199
DO94-4B	0.0018	8.0	0.3188	6.3718
2	0.0807	1.1	21.2881 C	21.2881 C
3	0.0626	0.3	14.5163	14.5163
4	0.0567	0.2	13.1039	13.1039
6	0.0698	0.6	16.2323	16.2323
referencia QC 4	0.0554 T	0.0	12.8009 T	12.8009 T
9	0.1090	0.1	25.7835 C	25.7835 C
9	0.1090	0.1	25.7835 C	25.7835 C

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
E1152-06	0.0038	3.2	0.7847	0.7847
E1152-06	0.0029	2.3	0.5784	0.5784
referencia QC 1	0.0055 T	2.0	1.1596 T	1.1596 T
E1152-08	0.0083	1.9	1.8086	1.8086
E1152-08*	0.0068	1.3	1.4641	1.4641
E1152-09	0.0075	0.4	1.6227	1.6227
E1152-09	0.0061	3.2	1.2998	1.2998
E1152-10	0.0270	0.7	6.1274	6.1274
E1152-10	0.0260	0.7	5.8933	5.8933
E1152-11	0.0037	3.6	0.7629	0.7629
E1152-11	0.0043	3.4	0.8965	0.8965
referencia QC 2	0.0150 T	1.9	3.3481 T	3.3481 T
E1153-1	0.0044	2.4	0.9241	0.9241
E1153-1	0.0039	1.2	0.8047	0.8047
D101	0.0555	0.1	12.8129	12.8129
D101	0.0512	0.4	11.8131	11.8131
DO941-A	0.0024	1.9	0.4946	9.2523
DO941B	0.0025	7.6	0.4720	9.4400
DO94-2A	0.0018	17.1	0.3123	6.2457
DO94-2B	0.0023	2.7	0.4350	8.7798
referencia QC 3	0.0285	2.6	6.4700	6.4700
DO94-3A	0.0019	9.3	0.3439	6.8776
DO94-3B	0.0015	11.9	0.2454	4.9083
DO94-4A	0.0015	11.2	0.2810	5.2199
DO94-4B	0.0018	8.0	0.3188	6.3718
2	0.0807	1.1	21.2881 C	21.2881 C
3	0.0626	0.3	14.5163	14.5163
4	0.0567	0.2	13.1039	13.1039
6	0.0698	0.6	16.2323	16.2323
referencia QC 4	0.0554 T	0.0	12.8009 T	12.8009 T
9	0.1090	0.1	25.7835 C	25.7835 C
9	0.1090	0.1	25.7835 C	25.7835 C
9*	0.0233	0.0	5.2769	28.3848

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
E1152-37	0,0152	0,3	2,1806	2,1806
E1152-37	0,0152	1,2	2,1735	2,1735
T FAV	0,0164	0,7	2,3408	2,3408
□ LODOS	0,0341	0,7	4,7159	4,7159
□ MINA	0,0680	0,3	14,0087	14,0087
E1152-42	0,0275	0,6	3,8229	19,1144
E1152-42	0,0242	0,7	3,3852	3,3852
M FAV	0,0397	0,6	5,4897	27,4485
3 PPM	0,0214	1,6	3,0094	3,0094
BLANCO	-0,0005	56,3	0,1101	0,1101
DO94-1C	0,0004	58,0	0,2274	4,5478
DO94-1D	0,0003	>99	0,2110	4,2205
DO94-1E	0,0006	23,9	0,2525	5,0504
DO94-1F	-0,0002	>99	0,1500	2,9997
DO94-1F*	-0,0005	68,3	0,1112	2,2230
6 PPM	0,0434	0,6	6,0005	6,0005
DO94-1F**	0,0007	30,1	0,2610	5,2209
DO94-2C	0,0000	>99	0,1728	3,4564
DO94-2D	0,0002	>99	0,1909	3,8180
DO94-2E	0,0001	>99	0,1785	3,5700
DO94-2F	0,0003	33,3	0,2077	4,1531
DO94-3C	-0,0003	59,7	0,1373	2,7452
DO94-3D	0,0002	75,3	0,1964	3,9687
DO94-3E	-0,0002	49,0	0,1450	2,9000
12 PPM	0,0658	0,2	12,1952	12,1952
DO94-3E*	-0,0000	>99	0,1667	3,3743
DO94-3F	-0,0002	67,3	0,1486	2,9715
DO94-4C	0,0003	73,9	0,2051	4,1020
DO94-4D	0,0006	10,5	0,2466	4,9318
DO94-4E	0,0003	78,8	0,2167	4,3346
DO94-4F	0,0005	42,9	0,2397	4,7943
6 PPM	0,0437	0,4	6,0470	6,0470
BLANCO	-0,0005	51,0		

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
E1152-37	0,0152	0,3	2,1806	2,1806
E1152-37	0,0152	1,2	2,1735	2,1735
T FAV	0,0164	0,7	2,3408	2,3408
□ LODOS	0,0341	0,7	4,7159	4,7159
□ MINA	0,0680	0,3	14,0087	14,0087
E1152-42	0,0275	0,6	3,8229	19,1144
E1152-42	0,0242	0,7	3,3852	3,3852
M FAV	0,0397	0,6	5,4897	27,4485
3 PPM	0,0214	1,6	3,0094	3,0094
BLANCO	-0,0005	56,3	0,1101	0,1101
DO94-1C	0,0004	58,0	0,2274	4,5478
DO94-1D	0,0003	>99	0,2110	4,2205
DO94-1E	0,0006	23,9	0,2525	5,0504
DO94-1F	-0,0002	>99	0,1500	2,9997
DO94-1F*	-0,0005	68,3	0,1112	2,2230
6 PPM	0,0434	0,6	6,0005	6,0005
DO94-1F**	0,0007	30,1	0,2610	5,2209
DO94-2C	0,0000	>99	0,1728	3,4564
DO94-2D	0,0002	>99	0,1909	3,8180
DO94-2E	0,0001	>99	0,1785	3,5700
DO94-2F	0,0003	33,3	0,2077	4,1531
DO94-3C	-0,0003	59,7	0,1373	2,7452
DO94-3D	0,0002	75,3	0,1964	3,9687
DO94-3E	-0,0002	49,0	0,1450	2,9000
12 PPM	0,0658	0,2	12,1952	12,1952
DO94-3E*	-0,0000	>99	0,1667	3,3743
DO94-3F	-0,0002	67,3	0,1486	2,9715
DO94-4C	0,0003	73,9	0,2051	4,1020
DO94-4D	0,0006	10,5	0,2466	4,9318
DO94-4E	0,0003	78,8	0,2167	4,3346
DO94-4F	0,0005	42,9	0,2397	4,7943
6 PPM	0,0437	0,4	6,0470	6,0470
BLANCO	-0,0005	51,0		

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
DO104-4	0,0089	2,9	1,7696	1,7696
BLNACO	-0,0024	6,0	0,2193	0,2193
DO104-5	-0,0009	14,4	0,4266	4,2658
referencia QC 2	0,0400 T	0,4	6,1931 T	6,1931 T
DO104-6	-0,0003	72,8	0,5101	5,1009
DO104-7	-0,0010	26,0	0,4162	4,1615
DO104-8	0,0203	1,5	3,3629	3,3629
DO104-13	-0,0016	1,5	0,3263	3,2627
DO104-14	-0,0017	22,0	0,3258	3,2585
DO104-15	-0,0016	14,1	0,3292	3,2925
DO104-16	0,0020	10,3	0,8212	0,8212
DO104-17	-0,0005	50,8	0,4833	4,8327
referencia QC 3	0,0831 T	0,6	12,6946 T	12,6946 T
DO104-18	-0,0005	59,7	0,4875	4,8746
DO104-19	-0,0011	35,8	0,4057	0,4057
DO104-20	0,0168	1,3	2,8759	2,8759
DO104-9	-0,0022	17,7	0,2544	2,5442
DO104-10	-0,0012	15,6	0,3839	3,8392
DO104-11	-0,0012	14,4	0,3883	3,8829
DO104-12	0,0177	1,9	2,9971	2,9971
BLANCO	-0,0027	2,2	0,1825 C	0,1825 C
referencia QC 4	0,0863	33,9	10,0957	10,0957
12 PPM	0,0836	0,3	12,7753	12,7753
D106-1	0,0347	1,5	5,4225	5,4225
106-2	0,0561	0,4	8,5617	8,5617
D106-3	0,1395	0,1	21,7360 C	21,7360 C
D106-4	0,1378	0,3	21,7360 C	21,7360 C
D106-5	0,0836	0,5	12,7744	12,7744
D106-3*	0,0246	0,2	3,9807	19,9024
D106-4*	0,0310	0,9	4,8885	24,4427
referencia QC 5	0,1318	0,0	20,7202 C	20,7202 C
D106-10	0,0022	24,9	0,8555	0,8555
D106-14	0,0212	0,8	3,4930	3,4930

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
DO104-4	0,0089	2,9	1,7696	1,7696
BLNACO	-0,0024	6,0	0,2193	0,2193
DO104-5	-0,0009	14,4	0,4266	4,2658
referencia QC 2	0,0400 T	0,4	6,1931 T	6,1931 T
DO104-6	-0,0003	72,8	0,5101	5,1009
DO104-7	-0,0010	26,0	0,4162	4,1615
DO104-8	0,0203	1,5	3,3629	3,3629
DO104-13	-0,0016	1,5	0,3263	3,2627
DO104-14	-0,0017	22,0	0,3258	3,2585
DO104-15	-0,0016	14,1	0,3292	3,2925
DO104-16	0,0020	10,3	0,8212	0,8212
DO104-17	-0,0005	50,8	0,4833	4,8327
referencia QC 3	0,0831 T	0,6	12,6946 T	12,6946 T
DO104-18	-0,0005	59,7	0,4875	4,8746
DO104-19	-0,0011	35,8	0,4057	0,4057
DO104-20	0,0168	1,3	2,8759	2,8759
DO104-9	-0,0022	17,7	0,2544	2,5442
DO104-10	-0,0012	15,6	0,3839	3,8392
DO104-11	-0,0012	14,4	0,3883	3,8829
DO104-12	0,0177	1,9	2,9971	2,9971
BLANCO	-0,0027	2,2	0,1825 C	0,1825 C
referencia QC 4	0,0863	33,9	10,0957	10,0957
12 PPM	0,0836	0,3	12,7753	12,7753
D106-1	0,0347	1,5	5,4225	5,4225
106-2	0,0561	0,4	8,5617	8,5617
D106-3	0,1395	0,1	21,7360 C	21,7360 C
D106-4	0,1378	0,3	21,7360 C	21,7360 C
D106-5	0,0836	0,5	12,7744	12,7744
D106-3*	0,0246	0,2	3,9807	19,9024
D106-4*	0,0310	0,9	4,8885	24,4427
referencia QC 5	0,1318	0,0	20,7202 C	20,7202 C
D106-10	0,0022	24,9	0,8555	0,8555
D106-14	0,0212	0,8	3,4930	3,4930

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
referencia QC 1	0,0039	1,9	1,0919	1,0919
E1162	0,0114	0,9	2,1286	2,1286
E1152-48R	0,1628	0,1	26,3265 C	26,3265 C
DO104-1	0,0203	0,7	3,4356	3,4356
DO104-2	0,0510	2,3	7,7994	7,7994
DO104-3	0,0033	9,7	1,0042	1,0042
DO104-4	0,0089	2,9	1,7696	1,7696
BLNACO	-0,0024	6,0	0,2193	0,2193
DO104-5	-0,0009	14,4	0,4266	0,4266
referencia QC 2	0,0400 T	0,4	6,1931 T	6,1931 T
DO104-6	-0,0003	72,8	0,5101	0,5101
DO104-7	-0,0010	26,0	0,4162	0,4162
DO104-8	0,0203	1,5	3,3629	3,3629
DO104-13	-0,0016	1,5	0,3263	0,3263
DO104-14	-0,0017	22,0	0,3258	0,3258
DO104-15	-0,0016	14,1	0,3292	0,3292
DO104-16	0,0020	10,3	0,8212	0,8212
DO104-17	-0,0005	50,8	0,4833	0,4833
referencia QC 3	0,0831 T	0,6	12,6946 T	12,6946 T
DO104-18	-0,0005	59,7	0,4875	0,4875
DO104-19	-0,0011	35,8	0,4057	0,4057
DO104-20	0,0168	1,3	2,8759	2,8759
DO104-9	-0,0022	17,7	0,2544	0,2544
DO104-10	-0,0012	15,6	0,3839	0,3839
DO104-11	-0,0012	14,4	0,3883	0,3883
DO104-12	0,0177	1,9	2,9971	2,9971
BLANCO	-0,0027	2,2	0,1825 C	0,1825 C
referencia QC 4	0,0663	33,9	10,0957	10,0957
12 PPM	0,0836	0,3	12,7753	12,7753
D106-1	0,0347	1,5	5,4225	5,4225
106-2	0,0561	0,4	8,5617	8,5617
D106-3	0,1395	0,1	22,0781 C	22,0781 C
D106-4	0,1376	5,3	21,7360 C	21,7360 C

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
referencia QC 1	0,0039	1,9	1,0919	1,0919
E1162	0,0114	0,9	2,1286	2,1286
E1152-48R	0,1628	0,1	26,3265 C	26,3265 C
DO104-1	0,0208	0,7	3,4356	3,4356
DO104-2	0,0510	2,3	7,7994	7,7994
DO104-3	0,0033	9,7	1,0042	1,0042
DO104-4	0,0089	2,9	1,7696	1,7696
BLNACO	-0,0024	6,0	0,2193	0,2193
DO104-5	-0,0009	14,4	0,4266	0,4266
referencia QC 2	0,0400 T	0,4	6,1931 T	6,1931 T
DO104-6	-0,0003	72,8	0,5101	0,5101
DO104-7	-0,0010	26,0	0,4162	0,4162
DO104-8	0,0203	1,5	3,3629	3,3629
DO104-13	-0,0016	1,5	0,3263	0,3263
DO104-14	-0,0017	22,0	0,3258	0,3258
DO104-15	-0,0016	14,1	0,3292	0,3292
DO104-16	0,0020	10,3	0,8212	0,8212
DO104-17	-0,0005	50,8	0,4833	0,4833
referencia QC 3	0,0831 T	0,6	12,6946 T	12,6946 T
DO104-18	-0,0005	59,7	0,4875	0,4875
DO104-19	-0,0011	35,8	0,4057	0,4057
DO104-20	0,0168	1,3	2,8759	2,8759
DO104-9	-0,0022	17,7	0,2544	0,2544
DO104-10	-0,0012	15,6	0,3839	0,3839
DO104-11	-0,0012	14,4	0,3883	0,3883
DO104-12	0,0177	1,9	2,9971	2,9971
BLANCO	-0,0027	2,2	0,1825 C	0,1825 C
referencia QC 4	0,0663	33,9	10,0957	10,0957
12 PPM	0,0836	0,3	12,7753	12,7753
D106-1	0,0347	1,5	5,4225	5,4225
106-2	0,0561	0,4	8,5617	8,5617
D106-3	0,1395	0,1	22,0781 C	22,0781 C
D106-4	0,1376	5,3	21,7360 C	21,7360 C

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
DO104-1	0,0208	0,7	3,4356	3,4356
DO104-2	0,0510	2,3	7,7994	7,7994
DO104-3	0,0033	9,7	1,0042	1,0042
DO104-4	0,0089	2,9	1,7696	1,7696
BLNACO	-0,0024	6,0	0,2193	0,2193
DO104-5	-0,0009	14,4	0,4266	0,4266
referencia QC 2	0,0400 T	0,4	6,1931 T	6,1931 T
DO104-6	-0,0003	72,8	0,5101	0,5101
DO104-7	-0,0010	26,0	0,4162	0,4162
DO104-8	0,0203	1,5	3,3629	3,3629
DO104-13	-0,0016	1,5	0,3263	0,3263
DO104-14	-0,0017	22,0	0,3258	0,3258
DO104-15	-0,0016	14,1	0,3292	0,3292
DO104-16	0,0020	10,3	0,8212	0,8212
DO104-17	-0,0005	50,8	0,4833	0,4833
referencia QC 3	0,0831 T	0,6	12,6946 T	12,6946 T
DO104-18	-0,0005	59,7	0,4875	0,4875
DO104-19	-0,0011	35,8	0,4057	0,4057
DO104-20	0,0168	1,3	2,8759	2,8759
DO104-9	-0,0022	17,7	0,2544	0,2544
DO104-10	-0,0012	15,6	0,3839	0,3839
DO104-11	-0,0012	14,4	0,3883	0,3883
DO104-12	0,0177	1,9	2,9971	2,9971
BLANCO	-0,0027	2,2	0,1825 C	0,1825 C
referencia QC 4	0,0663	33,9	10,0957	10,0957
12 PPM	0,0836	0,3	12,7753	12,7753
D106-1	0,0347	1,5	5,4225	5,4225
106-2	0,0561	0,4	8,5617	8,5617
D106-3	0,1395	0,1	22,0781 C	22,0781 C
D106-4	0,1376	5,3	21,7360 C	21,7360 C
D106-5	0,0836	0,5	12,7744	12,7744
D106-3*	0,0246	0,2	3,9807	19,9034
D106-4*	0,0310	0,9	4,8885	24,4427

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
DO104-1	0,0208	0,7	3,4356	3,4356
DO104-2	0,0510	2,3	7,7994	7,7994
DO104-3	0,0033	9,7	1,0042	1,0042
DO104-4	0,0089	2,9	1,7696	1,7696
BLNACO	-0,0024	6,0	0,2193	0,2193
DO104-5	-0,0009	14,4	0,4266	0,4266
referencia QC 2	0,0400 T	0,4	6,1931 T	6,1931 T
DO104-6	-0,0003	72,8	0,5101	0,5101
DO104-7	-0,0010	26,0	0,4162	0,4162
DO104-8	0,0203	1,5	3,3629	3,3629
DO104-13	-0,0016	1,5	0,3263	0,3263
DO104-14	-0,0017	22,0	0,3258	0,3258
DO104-15	-0,0016	14,1	0,3292	0,3292
DO104-16	0,0020	10,3	0,8212	0,8212
DO104-17	-0,0005	50,8	0,4833	0,4833
referencia QC 3	0,0831 T	0,6	12,6946 T	12,6946 T
DO104-18	-0,0005	59,7	0,4875	0,4875
DO104-19	-0,0011	35,8	0,4057	0,4057
DO104-20	0,0168	1,3	2,8759	2,8759
DO104-9	-0,0022	17,7	0,2544	0,2544
DO104-10	-0,0012	15,6	0,3839	0,3839
DO104-11	-0,0012	14,4	0,3883	0,3883
DO104-12	0,0177	1,9	2,9971	2,9971
BLANCO	-0,0027	2,2	0,1825 C	0,1825 C
referencia QC 4	0,0663	33,9	10,0957	10,0957
12 PPM	0,0836	0,3	12,7753	12,7753
D106-1	0,0347	1,5	5,4225	5,4225
106-2	0,0561	0,4	8,5617	8,5617
D106-3	0,1395	0,1	22,0781 C	22,0781 C
D106-4	0,1376	5,3	21,7360 C	21,7360 C
D106-5	0,0836	0,5	12,7744	12,7744
D106-3*	0,0246	0,2	3,9807	19,9034
D106-4*	0,0310	0,9	4,8885	24,4427

ID Muestra	Señal	Rsd	Concentración	Concentración Correg.
Estándar 1	0,0076	21,3	1,0000	
Estándar 2	0,0210	5,3	3,0000	
Estándar 3	0,0391	2,1	6,0000	
Estándar 4	0,0751	0,9	12,0000	
Estándar 5	0,1228	0,5	20,0000	
E1192-1	0,0255	1,1	3,8668	3,8668
E1192-1	0,0226	0,6	3,4201	3,4201
E1192-2	0,0196	0,4	2,9393	2,9393
E1192-2	0,0221	0,9	3,3346	3,3346
E1192-3	0,0045	2,5	0,6224	0,6224
E1192-3	0,0043	4,4	0,5921	0,5921
E1193	0,0273	1,0	4,1423	4,1423
E1193	0,0280	0,3	4,2641	4,2641
referencia QC 1	0,0039 T	8,5	0,5288 T	0,5288 T
E1194-3	0,0022	5,3	0,2612	0,2612
E1194-3	0,0024	1,5	0,3021	0,3021
12PPM	0,0727	0,2	11,4682	11,4682
E1197-1	0,0376	0,8	5,7819	5,7819
E1197-1	0,0374	0,5	5,7517	5,7517
E1197-2	0,0685	0,4	10,7769	10,7769
E1197-2	0,0718	0,6	11,3259	11,3259
D113-1	0,0154	0,5	2,2672	2,2672
referencia QC 2	0,0174 T	0,2	2,5973 T	2,5973 T
D116-4	0,0156	1,1	2,3587	2,3587
D116-5	0,0035	1,5	0,4669	0,4669
D116-6	0,0033	4,5	0,4308	0,4308
D116-7	0,0155	1,1	2,3181	2,3181
D116-8	0,0218	0,8	3,2672	3,2672
D116-9	0,0023	7,7	0,2774	0,2774
D116-10	0,0023	2,6	0,2770	0,2770
D116-11	0,0158	0,6	2,3604	2,3604
referencia QC 3	0,0366	1,0	5,6113	5,6113
D1152	0,0008	23,6	0,0168	0,0168



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 15/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Jiménez Morales Fernando José
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Minas
Título a optar: Ingeniero en Minas
<p style="text-align: center;"> Ing. Josué David González Coronel MSc. Director del Trabajo de Titulación</p> <p style="text-align: center;"> Dr. Carlos Santiago Curay Yaulema. Asesor del Trabajo de Titulación</p>