

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

Análisis comparativo e interpretación de resultados del uso de la cal y soda cáustica como agentes modificadores de pH en pruebas metalúrgicas de lixiviación de minerales auríferos

Para obtener el título profesional de Ingeniero Metalurgista

Elaborado por

Mario Antonio Fernández Aranda

 [0009-0005-9872-4836](https://orcid.org/0009-0005-9872-4836)

Asesor

Ing. Edgar Fortunato Segura Tumialan

 [0009-0001-9462-5604](https://orcid.org/0009-0001-9462-5604)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Fernandez Aranda [1]
Referencia/Reference	[1] M. Fernández Aranda, <i>“Análisis comparativo e interpretación de resultados del uso de la cal y soda cáustica como agentes modificadores de pH en pruebas metalúrgicas de lixiviación de minerales auríferos”</i> [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Fernández, 2024)
Referencia/Reference	Fernández, M. (2024). <i>Análisis comparativo e interpretación de resultados del uso de la cal y soda cáustica como agentes modificadores de pH en pruebas metalúrgicas de lixiviación de minerales auríferos</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mis padres Mario y Eliette que
estuvieron conmigo desde el principio,
acompañaron mis decisiones y nunca dejaron de
apoyarme a mis hermanas Génesis y Daniela por
su comprensión infinita y a mis abuelos en el cielo
que me enseñaron con el ejemplo a ser una
persona responsable.*

Agradecimientos

A mis profesores que me enseñaron a querer la metalurgia, a los ingenieros Lily Ponce y Edgar Segura por su apoyo en la presente tesis, a la empresa Consorcio Minero Horizonte que me dio la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales y a mi actual empresa Paltarumi SA. por brindarme la experiencia laboral que necesito para seguir creciendo profesionalmente.

Resumen

En la extracción de minerales auríferos dentro de la industria minera, se ha identificado un problema importante relacionado con la diferencia en los resultados que se obtienen al usar cal o soda cáustica como sustancias para modificar el pH durante el proceso de lixiviación. Esta variabilidad impacta negativamente en aspectos claves como la velocidad a la que ocurre la lixiviación, la eficacia para extraer el metal valioso y el control del pH, lo cual termina afectando la rentabilidad y eficiencia de todo el proceso. El objetivo principal de esta tesis fue comparar qué tan eficaces son la soda cáustica y la cal como modificadores de pH en pruebas metalúrgicas de lixiviación de minerales que contienen oro, con el fin de identificar cuál de las dos sustancias brinda un mejor desempeño para mejorar el proceso en general. Para abordar este objetivo, se empleó una metodología experimental a nivel de laboratorio. Se realizaron numerosas pruebas controladas de lixiviación de oro en botellas, manipulando las variables independientes como el uso de cal o soda cáustica para ajustar el pH. Durante estas pruebas, se midieron y analizaron variables dependientes cruciales, tales como la concentración de oro disuelto, la cinética de extracción, la estabilidad del pH y los porcentajes de recuperación finales. Además, se mantuvieron constantes otros factores como la concentración de cianuro, la relación líquido/sólido y las condiciones de agitación. Los resultados que se obtuvieron demostraron que, por lo general, la soda cáustica proporciona una lixiviación más rápida y eficiente, especialmente cuando se trata de minerales sulfurados y mixtos, mientras que la cal fue más efectiva con minerales oxidados. Sin embargo, cuando se prolongó el tiempo de lixiviación, los porcentajes de recuperación tendieron a igualarse. Además, se evaluó la variabilidad en los resultados y se determinó que, si bien existe una diferencia significativa en los primeros tiempos de lixiviación, a las 72 horas los porcentajes de recuperación se aproximaron bastante. En conclusión, esta tesis brinda información muy valiosa para optimizar el proceso de lixiviación de minerales auríferos, mediante la selección adecuada

del agente modificador de pH según el tipo de mineral, minimizando así la variabilidad y mejorando la eficiencia y rentabilidad de todo el proceso

Palabras claves — Recuperacion de oro, soda cáustica, cal, cianuro de sodio, sulfuros, óxidos

Abstract

In the mining industry that extracts gold ores, a major problem has been identified related to the difference in the results obtained when using lime or caustic soda as substances to modify the pH during the leaching process. This variability negatively impacts key aspects such as the speed at which leaching occurs, the efficiency to extract the valuable metal and the pH control, which ends up affecting the profitability and efficiency of the whole process. The main objective of this thesis was to compare how effective caustic soda and lime are as pH modifiers in metallurgical test leaching of gold-bearing ores, in order to identify which of the two substances provides better performance to improve the overall process. To address this objective, an experimental methodology was employed at the laboratory level. Numerous controlled gold leaching tests were conducted in bottles, manipulating the independent variables such as the use of lime or caustic soda to adjust the pH. During these tests, crucial dependent variables such as dissolved gold concentration, extraction kinetics, pH stability and final recovery percentages were measured and analyzed. In addition, other factors such as cyanide concentration, liquid/solid ratio and agitation conditions were held constant. The results obtained showed that caustic soda generally provides faster and more efficient leaching, especially when dealing with sulfide and mixed ores, while lime was more effective with oxidized ores. However, when leaching time was extended, recovery percentages tended to equalize. In addition, the variability in the results was evaluated and it was determined that, although there is a significant difference in the first leaching times, at 72 hours the recovery percentages were very close. In conclusion, this thesis provides valuable information to optimize the leaching process of gold ores, through the appropriate selection of the pH modifying agent according to the type of mineral, thus minimizing variability and improving the efficiency and profitability of the whole process.

Keywords — Gold recovery, caustic soda, lime, sodium cyanide, sulfides, oxides.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vii
Introducción	xvii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del Problema de Investigación	1
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Antecedentes investigativos	3
1.4.1 Antecedentes internacionales.....	3
1.4.2 Antecedentes nacionales	5
1.5 Hipótesis	7
1.5.1 Hipótesis general.....	7
1.5.2 Hipótesis específicas	7
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	8
2.1 Marco teórico.....	8
2.1.1 Minerales de Oro.....	8
2.1.2 Propiedades Químicas y Propiedades Físicas del oro.....	10
2.1.3 Procesamiento de Minerales Auríferos.	10
2.1.4 Lixiviación de Minerales	11
2.1.5 Tipos de lixiviación	11
2.1.6 Lixiviación de Oro.....	14
2.1.7 Cianuración	15
2.1.8 Química y cinética de la cianuración	20
2.1.9 Termodinámica del Proceso de Cianuración	20

2.1.10	Mecanismos químicos de la cianuración	24
2.1.11	Factores cinéticos	24
2.1.12	Agentes modificadores de pH.....	27
2.2	Proceso de lixiviación de minerales auríferos	28
2.3	Marco Conceptual	29
2.3.1	pH	29
2.3.2	Ley	29
2.3.3	Cal.....	29
2.3.4	Soda cáustica.....	30
2.3.5	Onza troy.....	30
2.3.6	Alcalinidad	30
2.3.7	Procesos hidrometalúrgicos	32
2.3.8	Humedad.....	32
2.3.9	Densidad de la pulpa.....	32
2.3.10	Granulometría o tamaño.....	32
2.3.11	Laboratorio de lixiviación	33
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación		34
3.1	Caracterización de los contaminantes de las muestras auríferas	34
3.2	Caracterización de cada muestra	36
3.3	Metodología de pruebas metalúrgicas.....	47
3.3.1	Preparación mecánica e ingreso de las pruebas a la mesa de rodillos	47
3.3.2	Titulación de soluciones cianuradas.	48
3.3.3	Parámetros de la prueba de lixiviación en botella.....	49
3.4	Materiales y equipos.....	49
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados		51
4.1	Análisis de resultados de lixiviación.....	51
4.2	Análisis comparativo del porcentaje de recuperación del oro	59
4.3	Interpretación de resultados de adsorción	69

4.4	Evaluación del costo del consumo de Hidróxido y Cal	75
	Conclusiones	82
	Recomendaciones	84
	Refrencias bibliográficas.....	85
	Anexos	90

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Reacciones y potencial de Nernst	21
Tabla 2: Efecto del oxígeno sobre la velocidad de disolución del oro.....	25
Tabla 3: Contaminantes de B-1045, B-1046 y B-1047	34
Tabla 4: Contaminantes de B-1048, B-1049 y B-1050	35
Tabla 5: Contaminantes de B-1051 y B-1052	35
Tabla 6: Contaminantes de B-1054, B-1055 y B-1056	36
Tabla 7: Caracterización de la muestra B-1045 utilizada en cada una de las 3 pruebas ...	37
Tabla 8: Consumo de reactivos de la muestra B-1045.....	37
Tabla 9: Caracterización de la muestra B-1046 utilizada en cada una de las 3 pruebas ...	38
Tabla 10: Consumo de reactivos de la muestra B-1046.....	38
Tabla 11: Caracterización de la muestra B-1047 utilizada en cada una de las 3 pruebas ...	39
Tabla 12: Consumo de reactivos de la muestra B-1047.....	39
Tabla 13: Caracterización del sulfuro B-1048 utilizada en cada una de las 3 pruebas	40
Tabla 14: Consumo de reactivos del sulfuro B-1048 para cada una de las tres pruebas realizadas.....	40
Tabla 15: Caracterización del sulfuro B-1049 utilizada en cada una de las 3 pruebas	41
Tabla 16: Consumo de reactivos del sulfuro B-1049 para cada una de las tres pruebas realizadas.....	41
Tabla 17: Caracterización de la muestra B-1050 utilizada en cada una de las 3 pruebas...	42
Tabla 18: Consumo de reactivos de la muestra B-1050 para cada una de las tres pruebas realizadas.....	42
Tabla 19: Caracterización de la muestra B-1051 utilizada en cada una de las 3 pruebas	43
Tabla 20: Consumo de reactivos de la muestra B-1051 para cada una de las tres pruebas realizadas.....	43
Tabla 21: Caracterización del sulfuro B-1052 utilizado en cada una de las 3 pruebas	44

Tabla 22: Consumo de reactivos del sulfuro B-1052 para cada una de las tres pruebas realizadas.....	44
Tabla 23: Caracterización del óxido B-1054 utilizado en cada una de las 3 pruebas	45
Tabla 24: Consumo de reactivos del óxido B-1054 para cada una de las tres pruebas realizadas.....	45
Tabla 25: Caracterización del óxido B-1055 utilizado en cada una de las 3 pruebas	46
Tabla 26: Consumo de reactivos del óxido B-1055 para cada una de las tres pruebas realizadas.....	46
Tabla 27: Caracterización del óxido B-1056 utilizado en cada una de las 3 pruebas	47
Tabla 28: Consumo de reactivos del óxido B-1056 para cada una de las tres pruebas realizadas.....	47
Tabla 29: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1045.....	51
Tabla 30: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1046.....	52
Tabla 31: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1047.....	52
Tabla 32: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1048.....	53
Tabla 33: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1049.....	54
Tabla 34: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1050.....	54
Tabla 35: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1051.....	55
Tabla 36: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1052.....	56

Tabla 37: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1054	56
Tabla 38: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1055	57
Tabla 39: Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1056	58
Tabla 40: Mayores recuperaciones (%) obtenidas en las pruebas de acuerdo con el modificador de pH utilizado y al tipo de mineral.....	59
Tabla 41: Porcentaje de adsorción de B-1045, B-1046, B-1047.....	69
Tabla 42: Porcentaje de adsorción de B-1048, B-1049, B-1050.....	71
Tabla 43: Porcentaje de adsorción de B-1055, B-1056.....	73
Tabla 44: Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1048.....	75
Tabla 45: Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1048.....	75
Tabla 46: Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1049.....	76
Tabla 47: Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1049.....	76
Tabla 48: Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1050.....	77
Tabla 49: Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1050.....	77
Tabla 50: Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1051.....	77
Tabla 51: Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1051.....	78
Tabla 52: Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1052.....	78
Tabla 53: Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1052.....	78
Tabla 54: Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1054.....	79
Tabla 55: Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1054.....	79
Tabla 56: Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1055.....	80
Tabla 57: Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1055.....	80
Tabla 58: Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1056.....	81
Tabla 59: Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1056.....	81

Tabla 60: Evaluación del modificador que ocasionó un mayor beneficio en el procesamiento de las muestras analizadas	81
--	----

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Propiedades físicas del oro.....	10
Figura 2: Diagrama de flujo básico para la recuperación de oro	11
Figura 3: Proceso de extracción del oro por medio de la lixiviación	15
Figura 4: Lixiviación en bateas.....	18
Figura 5: Esquema de planta de cianuración convencional (CCD).....	19
Figura 6: Diagrama Eh – pH para el sistema Au – H ₂ O a 25°C	22
Figura 7: Reacciones más importantes.....	23
Figura 8: Diagrama de Pourbaix para el Sistema Au – H ₂ O – CN ⁻ a 25°C	23
Figura 9: Curvas de disolución teniendo como función el potencial eléctrico	26
Figura 10: Diagrama de flujo típico de una planta CIP	28
Figura 11: Gráfico del pH en función de los porcentajes de HCN ⁻ y CN ⁻	31
Figura 12: Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con la muestra B-1045.....	60
Figura 13: Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con la muestra B-1046.....	60
Figura 14: Cuadro comparativo entre las pruebas realizadas con la muestra B-1047.....	61
Figura 15: Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1048.....	62
Figura 16: Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1049.....	62
Figura 17: Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1050.....	63
Figura 18: Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1051.....	64
Figura 19: Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1052 - Sulfuro.....	65
Figura 20: Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1054 - Óxido	66
Figura 21: Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1055 - Óxido	67
Figura 22: Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1056 - Óxido	68
Figura 23: Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1045	69
Figura 24: Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1046...	70
Figura 25: Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1047..	70
Figura 26: Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1048..	71

Figura 27: Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1049... 72

Figura 28: Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1050.. 72

Figura 29: Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1055.. 73

Figura 30: Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1056... 74

Introducción

El encanto del oro ha fascinado al ser humano desde el nacimiento de la civilización. Este valioso metal, símbolo de riqueza y poder, ha generado curiosidad en el hombre durante generaciones. El oro cautivó a la humanidad, desde los ornamentos de monarcas y nobles hasta los lingotes de las cajas fuertes de los bancos. Sin embargo, extraer esta riqueza de la Tierra es difícil pero no imposible. Los metalurgistas deben trabajar duro y resolver intrincados procedimientos para refinar cada onza de oro. Conseguir pepitas de oro de su prisión rocosa es como encontrar una aguja en un pajar.

La lixiviación es clave en este épico esfuerzo por liberar el oro de su prisión mineral. En este procedimiento, una solución química específica disuelve el metal precioso y lo separa de la roca estéril. El cianuro ha sido el agente de lixiviación más empleado, aunque su eficacia depende del control exacto de factores, siendo el pH el más volátil.

La industria minera del oro se ha enfrentado a discrepancias en los resultados del control del pH al utilizar diversos productos químicos durante la lixiviación con cianuro. Esta tesis aborda esta interrogante. La cal y la sosa cáustica han mostrado una variabilidad significativa, que afecta a la velocidad de lixiviación, a la eficacia de la extracción de oro y a la estabilidad del proceso, motivo por el cual las empresas mineras corren el riesgo de perder dinero debido a tal incertidumbre.

Este estudio utiliza métodos experimentales rigurosos para determinar cuál de estos dos productos químicos que alteran el pH lixivia mejor los minerales auríferos. Esta investigación optimiza este proceso crucial y hace avanzar nuestro conocimiento de las complejas interacciones químicas y mineralógicas de la extracción de oro.

Esta tesis debería ser útil para los intrépidos mineros y metalúrgicos de hoy en día que luchan por extraer metales ricos de la Tierra. Ojalá estos descubrimientos conduzcan a una explotación más eficaz y económica del metal que ha atraído al ser humano desde el principio.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

En el Perú, la metalurgia del oro inició con la cultura Paracas entre el periodo de tiempo de 600 – 400 a.C. Posteriormente, los moches trabajaron con el oro entre los años 100 – 700 d.C., Sicán desde los 700 -1300 d.C. y los incas entre los 1300 – 1500 d.C. En la actualidad, el Perú es el segundo productor latinoamericano de oro y estamos entre los 10 primeros a nivel mundial.

La extracción de este mineral de gran valor económico se produce a mediante diferentes procesos hidrometalúrgicos entre los cuales destaca el proceso de lixiviación por pilas y el proceso de lixiviación por agitación mediante tanques. Hoy en día existen avances en los procesos de recuperación del oro como el proceso cilo, el proceso Micron para desorción del carbón activado, la reextracción de Glicol, etc.

El proceso de lixiviación del oro depende de diferentes parámetros tales como la granulometría del mineral, la fuerza de cianuro, la dosificación de cal o soda, el oxígeno, la temperatura, etc. En la presente tesis vamos a profundizar sobre los modificadores de pH para ver cual de ellos nos produce una mayor recuperación y una mayor ganancia en el costo-beneficio de este metal valioso.

1.2 Descripción del Problema de Investigación

Últimamente, se ha notado una notable discrepancia en el empleo de los reactivos químicos de la cal como la soda cáustica como correctores de pH en experimentos metalúrgicos de lixiviación de minerales de oro, lo que conlleva a una amplia versatilidad en los logros conseguidos. Este cambio impacta negativamente en el control de los aspectos clave del proceso.

Según Apablaza, La extracción del oro presenta desafíos debido a que las menas auríferas no contienen una alta concentración del metal, por lo que el estudio de la cinética de lixiviación resulta crucial para reducir costos y aumentar la recuperación de este valioso elemento. Desde la década de 1930, diversos estudios han propuesto un modelo de

lixiviación basado en la cinética de la capa, el cual ha sido respaldado por varios científicos. Este modelo permite determinar los parámetros operativos tanto para pilas de lixiviación como para tanques agitadores, así como las variables para diseñar reactores, lo que maximiza los beneficios y puede hacer que la explotación minera sea rentable. (Apablaza et al., s.f.).

Mientras que para Ramírez y Sánchez (2016), En la industria minera de minerales auríferos, ha surgido un interés creciente en desarrollar métodos eficientes para el procesamiento de minerales que contienen especies sulfuradas y materiales orgánicos, los cuales obstaculizan la recuperación óptima del oro. Se están llevando a cabo investigaciones en laboratorio para explorar nuevos métodos o mejorar los existentes, con el objetivo de obtener oro metálico con recuperaciones mejoradas y costos de extracción reducidos.

Por lo tanto, considerando estos aspectos fundamentales, es esencial que el mineral empleado en el proceso de lixiviación exhiba las propiedades adecuadas para una interacción eficaz con los agentes químicos utilizados, asegurando así una lixiviación eficiente y una extracción óptima del metal. No obstante, se ha observado una significativa discrepancia en los resultados de la lixiviación al utilizar cal y soda cáustica como agentes modificadores de pH. Esta discrepancia afecta la gestión de los parámetros fundamentales del proceso, tales como la velocidad de lixiviación, la efectividad del desarraigo y la calidad del producto obtenido al final del proceso.

La falta de uniformidad en los resultados repercute negativamente en la recuperación del metal y en la calidad del concentrado obtenido. Puede atribuirse a discrepancias en las propiedades y comportamientos de la cal y el hidróxido de sodio como agentes modificadores de pH. Por consiguiente, resulta imperativo abordar esta disparidad para optimizar la efectividad y el beneficio del procedimiento de lixiviación. Una comprensión profunda de la interacción entre la cal y la soda cáustica con el mineral y los reactivos de lixiviación es esencial para minimizar la variabilidad y mejorar el control del proceso.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Comparar la eficacia de la soda caustica y la cal como modificadores de pH, en el proceso de lixiviación realizando pruebas metalúrgicas comparativas con el fin de identificar cuál de ellos posee un mejor desempeño en la mejora del proceso.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Partiendo del objetivo general obtenemos los consecuentes objetivos específicos.

- Evaluar la variabilidad en los resultados de las pruebas de lixiviación al utilizar soda cáustica y cal como modificadores de pH, para determinar si existe una diferencia significativa en la recuperación del oro de las muestras.
- Comparar las diferencias en la adsorción del oro en solución utilizando soda y cal como modificadores de pH.
- Realizar un análisis comparativo del costo-beneficio que se obtiene en cada prueba para determinar cuál de los dos reactivos resulta más rentable.

1.4 Antecedentes investigativos

1.4.1 *Antecedentes internacionales*

En este análisis, se investigaron los procedimientos de captura, liberación y activación en la extracción de metales preciosos, específicamente oro y plata, resaltando los procesos metalúrgicos asociados. Comenzó con la adecuación del material minado para perfeccionar su textura, incorporando posteriormente óxido de calcio y conglomerante para ajustar el pH y unir las fracciones menudas, respectivamente. Mediante un dispositivo de dispersión y dobleces en el transportador, se promovió la creación de áreas destinadas a la extracción química, etapa crucial para la disociación del oro con la plata. El líquido obtenido se encaminó hacia las torres de captura, donde el carbono activo retuvo los elementos valiosos. A continuación, el carbono saturado se sometió a un proceso con ácido muriático para despojarlo de residuos, preparándolo para la liberación mediante una mezcla de hidróxido de sodio y cianuro bajo condiciones particulares, extrayendo los metales preciados. Estos se obtuvieron a través de técnicas electroquímicas y de fusión, y

se avanzó a la reactivación del carbono activo mediante calor intenso para su uso futuro. Se subrayó la trascendencia de una selección precisa para el proceso decisivo y se llevaron a cabo ajustes operativos para mejorar la eficiencia del establecimiento. (Martínez y Valenzuela, 2012).

En esta investigación, se exploró la posibilidad de usar soluciones alternativas en lugar del cianuro sódico tradicional para la extracción de oro de yacimientos auríferos mediante lixiviación en agitación a nivel de laboratorio. Se adoptó un enfoque factorial para analizar la influencia de varias variables: la dosificación del agente lixivante alternativo, el período de tiempo de lixiviación y la densidad del lodo, manteniendo el pH en un rango que previene la degradación del reactivo y mejora la decantación del mineral. El material minero, caracterizado por su relación con sulfuros y la presencia de oro no asociado, fue obtenido de una operación de molienda y preparado por medio de secado y cribado para alcanzar una especificación granulométrica determinada. Se calcularon propiedades como la densidad específica y el factor de expansión del mineral para fijar la densidad del lodo y la concentración del metal en la solución. A través de un análisis estadístico, se identificaron las condiciones operativas ideales y se evaluó la eficacia en la recuperación del metal comparando el uso del agente lixivante alternativo con el cianuro sódico, encontrando una mínima diferencia en favor del último, pero con un aumento en el consumo de recursos. La conclusión fue que el agente alternativo se presenta como una opción viable y ecológicamente responsable frente al cianuro, sobre todo por su menor necesidad de aditivos alcalinos y su cercanía en eficacia de recuperación del oro bajo las condiciones probadas, subrayando la importancia del tamaño de partícula en el rendimiento del proceso (Merizalde, 2020).

En esta investigación se examinó el tratamiento de desechos obtenidos tras la extracción de una calcinación oxidante de un metal similar al cobre, caracterizado por una elevada presencia de este elemento en estado de ferrita cúprica, además de poseer cantidades considerables de oro y plata. La finalidad era explorar la eficacia en la extracción de estos valiosos metales. La metodología aplicada comprendió el empleo de

cianuro de potasio en distintas proporciones, la regulación del nivel de acidez o alcalinidad, el manejo de la temperatura ambiental y la alteración en los periodos de extracción. Se halló que el oro, localizado en el desecho principalmente como *electrum* incrustado en granos de ferrita cúprica, podía ser extraído íntegramente bajo determinadas condiciones de extracción. A su vez, la plata, aunque recuperada solo en parte, pudo ser extraída ajustando la proporción de cianuro de potasio y el lapso de extracción. Respecto al cobre, su separación fue considerablemente inferior en comparación con la de los metales nobles, indicando una pronunciada resistencia que tiene el cobre cuando tiene la apariencia de ferrita cúprica al proceso de extracción con cianuro. Los hallazgos indicaron que la temperatura jugaba un papel crucial en la eficiencia de la extracción de oro, minimizando de manera notable el tiempo requerido para alcanzar altos índices de recuperación. Adicionalmente, se notó un menor consumo de cianuro comparado con los índices reportados para el tratamiento de minerales análogos, especialmente al incrementar la temperatura del procedimiento. Esta indagación concluyó que la extracción con cianuro constituye un enfoque viable en el caso de la disposición de oro con la plata de estos desechos, aunque el cobre presenta obstáculos debido a su reducida disolución en soluciones cianuradas bajo las condiciones ensayadas (Wilkomirsky, et al, 2003).

1.4.2 Antecedentes nacionales

En este estudio, se investigó el funcionamiento de una planta de beneficio ubicada en un distrito del Departamento de Puno. El propósito fue examinar el efecto del uso de cal un modificador de pH y la soda cáustica como reguladores de potenciales eléctricos en el proceso de lixiviación del oro con cianuro de los concentrados de flotación. Se llevaron a cabo pruebas para comparar los resultados de la cianuración utilizando ambos reguladores. Se evidenció que el empleo de soda cáustica dio lugar a una recuperación considerablemente mayor y un menor consumo de cianuro en contraste con la cal. Los resultados indican que la soda cáustica no solo ajusta el potencial eléctrico, del mismo modo se elimina las impurezas de las porciones de oro, facilitando una óptimo vecindad con el cianuro. Estos descubrimientos subrayan la importancia de optimizar los

procedimientos de concentración para maximizar la eficacia y la seguridad, preservando un equilibrio ambiental adecuado (Calma y Peinado, 2009).

En el presente estudio, se examinó la viabilidad de someter a cianuración aglomerados de oro y plata obtenidos del proceso de flotación, considerando los factores operacionales como la ley del aglomerado y el tamaño de partícula, con el objetivo de evitar la pérdida de valores. Se planteó como dilema la escasez de mineral en los planes de desarrollo minero, lo que motivó la mejora de los procesos convencionales de cianuración, tomando en cuenta las características mineralógicas, las leyes del mineral y otros factores operativos. Se empleó un enfoque experimental, realizando pruebas a escala de laboratorio, buscando optimizar los resultados antes de proponer alternativas a nivel industrial. Se llevaron a cabo análisis para la cianuración de los concentrados de flotación, incluyendo pruebas con y sin remolienda, considerando la granulometría y la recuperación. Se utilizaron equipos como tanques de cianuración y dispositivos de agitación, así como reactivos químicos como el cianuro de sodio y la cal. Los resultados del método experimental indicaron que la variación de la granulometría y la remolienda en los concentrados contribuyeron a una mayor recuperación, lo que podría traducirse en beneficios económicos y aumento de la producción, ofreciendo una alternativa ante la escasez de mineral y permitiendo la optimización de los métodos convencionales (Mamani, 2021).

En el reciente análisis de exploración, se llevó a cabo en una planta de beneficio en la ciudad de Puno. La compañía se dedica al reciclaje de pasivos ambientales haciendo uso del procedimiento CIP (carbón en pulpa) con un promedio del grado de concentración del mineral de oro no elevada. El objetivo primordial fue mejorar el método CIP con el objetivo de aumentar la obtención de oro. Para este fin, se realizaron pruebas metalúrgicas y se aplicó el método de estudio experimental y aplicativo. Se descubrió que operando a una densidad específica con carbón resultó en una recuperación de oro. Se determinó que el tiempo óptimo de agitación es de horas, lo que produjo un incremento considerable en la porción de desarraigo del oro. Asimismo, se identificó un valor ideal de succión con carbón

el cual fue reactivado por medio de reacciones químicas, demostrando una mejora sustancial en la captura del oro (Choquehuanca, 2023).

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Mediante pruebas comparativas a nivel laboratorio entre la cal y la soda cáustica se obtendrán resultados que nos aclaren cuál de estos reactivos tiene una mayor influencia en la cinética de adsorción y posterior recuperación del oro de minerales auríferos.

1.5.2 Hipótesis específicas

De la hipótesis general se desprenden las siguientes hipótesis específicas:

- La variabilidad en los resultados de las pruebas de lixiviación será menor al utilizar soda cáustica como modificador de pH en comparación con la cal, lo que indicaría una mayor consistencia en el proceso.
- La soda cáustica demostrará una mayor eficacia en la mejora del proceso de lixiviación en comparación con la cal, reflejándose en una mayor velocidad de lixiviación y una extracción más efectiva del metal.
- La utilización de la cal como agente modificador de pH en las pruebas de lixiviación demostrará una mayor estabilidad en el mantenimiento del pH dentro del rango óptimo requerido para la extracción del metal en comparación con la soda cáustica.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Minerales de Oro*

De los telururos que se descubren a menudo entre las menas de oro, los que contienen una cantidad significativa de oro en una proporción determinada son los que prevalecen (GUTIÉRREZ, 2017).

- Calaverita $AuTe_2$
- Montbragita Au_2Te_3
- Krennerita $(Au, Ag)Te_2$
- Petzita Ag_3AuTe_2
- Sylvanita $AgAuTe_4$

El único mineral que puede descubrirse en la naturaleza en su forma metálica es el oro, y los únicos compuestos a base de oro disponibles que pueden encontrarse en la naturaleza son la estibina y el telurio, también conocidas como $AuSb_2$ y $AuTe_2$, respectivamente. El metal precioso del oro es el único que puede encontrarse en su forma metálica. Es posible que el este metal precioso reaccione con la mayoría de los gases halógenos, aunque la reacción junto al bromo es la más potente de estas reacciones químicas. La creación de Au_2Br_6 es el resultado final de una reacción exotérmica que tiene lugar entre el bromo y el polvo de oro a una temperatura que se considera aceptable (VILCAPOMA, 2021).

En esta siguiente categoría según Gutiérrez (2017) se incluyen las menas que incluyen oro como componente traza, forma coloidal o en solución sólida con los minerales, lo que resulte más apropiado dentro de la propia mena. El oro puede encontrarse en cualquiera de estas dos formas. Otro tipo de menas que entran en este grupo son las menas de sulfuro y óxido. Además, este oro se conoce a veces como «oro invisible». Esto es lo que lo hace tan valioso. A continuación, se enumeran algunos los más conocido de todos:

- Pirrotita Fe_7S_8
- Pirita FeS_2
- Calcopirita $CuFeS_2$
- Arsenopirita $FeAsS$
- Tetraedrita-tenantita $Cu_{12}(Sb, As)_4S_{13}$
- Bornita Cu_5FeS_4

Otros tipos de minerales de oro

Según Huaman y Ramos (2024) el término tipos minerales de metales valiosos, como el oro se refiere a las distintas formas que puede adoptar este metal valioso en el medio ambiente cuando se combina con diferentes aspectos de los componentes fundamentales de los minerales de la tierra. La composición del yacimiento y su interacción con otros minerales no sólo influyen en la valoración del lugar, por lo que también determinan las metodologías más adecuadas para la extracción y el tratamiento del yacimiento. Seguidamente se enumeran las categorías más frecuentes:

Oro Nativo

Como se encuentra en su estado elemental, es la forma elemental del oro. Esto se debe a que se encuentra en su estado elemental. En la industria minera, este tipo concreto es el más buscado por la facilidad con que puede extraerse y procesarse.

Aleaciones de Oro

La combinación de oro con otros metales, como el cobre o la plata (electrum), por ejemplo. Existe la posibilidad de que la presencia de estos metales afecte a las tonalidades y características del oro.

Oro de Filón o Veta

La presencia de este elemento puede encontrarse en las rocas en forma de vetas o filones, y a menudo se observa asociado al cuarzo o sulfuros. Su extracción requiere el uso de técnicas mineras diseñadas para rocas duras.

Oro Aluvial

Como consecuencia de la acción de las corrientes de agua en ríos o arroyos, el oro transportado o depositado por este medio se denomina oro acuático. Las pepitas, los granos o el polvo fino que componen este oro suelen encontrarse enterrados a gran profundidad en el suelo.

Oro Refractario

Oro que está encajado en sulfuros u otros minerales que necesitan el uso de intrincados procedimientos para extraerlo, como la oxidación a altas temperaturas o la aplicación de determinados tratamientos químicos.

2.1.2 Propiedades Químicas y Propiedades Físicas del oro

El oro se encuentra en el grupo IB del sistema periódico, que se clasifica según la configuración eléctrica $4f^{14}5d^{10}6s^1$. Esta información se desprende de la tabla periódica la cual fue hecha por Dmitri Mendeleev. Tiene valencias de +1 y +3 con las que muestra un comportamiento. En un rango de temperatura de 25 grados centígrados, su potencia típica disminuye a 1,50 voltios. Es el metal con la electronegatividad más baja en comparación con otros metales. Esto se debe a que el único electrón que se encuentra en el perímetro de su átomo es muy estable (Huarca & Mantilla, 2023).

Figura 1

Propiedades físicas del oro

PROPIEDADES FÍSICAS DEL ORO	
Número Atómico	79
Densidad	19.32 g/cm ³
Punto de Fusión	1063 °C
Punto de Ebullición	2970 °C
Dureza	2.5-3 (Escala de Mohs)

Nota. Huarca & Mantilla, 2023.

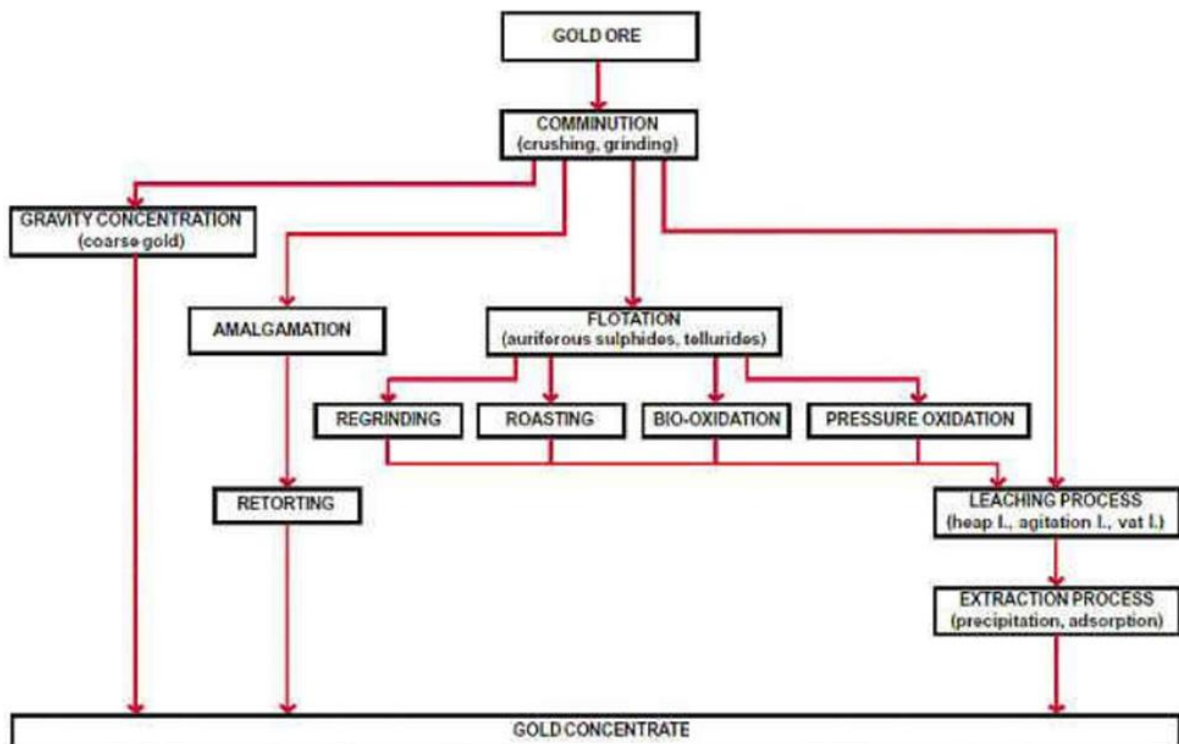
2.1.3 Procesamiento de Minerales Auríferos.

Es posible dividir los procesos implicados en el tratamiento del oro en una serie de operaciones unitarias separadas que, en su conjunto, forman el proceso de tratamiento.

Como resultado, cuando se procesa este tipo específico de minerales, es posible reconocer una estructura general y esencial, como se observa en la figura 2.2. A pesar de que estos procesos no han sufrido grandes cambios desde la incorporación del cianuro a la hidrometalurgia del oro, ésta es la situación que se ha planteado (SUAREZ, 2015).

Figura 2

Diagrama de flujo básico para la recuperación de Oro



Nota: Suarez, 2015.

2.1.4 Lixiviación de Minerales

La lixiviación se refiere a tratar la especie mineralógica, con un disolvente apropiado, a fin de poder disociar sus porciones solubles de las que no son solubles, este procedimiento se realiza por medio destrezas operacionales, los cuales son seleccionados por diferentes variables medioambientales y económicas.

2.1.5 Tipos de lixiviación

El lecho mineral al entrar en contacto con el agente lixiviante se va diluyendo, finalmente la solución rica en el elemento de intereses se recoge, así se pueden distinguir diferentes tipos de lixiviación como los siguientes:

Lixiviación en Bateas

En este tipo de lixiviación se une un lecho mineral con una solución acuosa, para inundar la batea que lo contiene. Este proceso se aplica cuando el contenido metálico es alto.

Lixiviación en Pilas

En este procedimiento se puede diluir el oro de las especies mineralógicas oxidadas, por medio del uso de una solución cianurada. En este desarrollo se realiza la percolación de la solución lixivante mediante el mineral chancado y apilado, el cual, forma una pila en el terreno impermeabilizado.

Lixiviación por Agitación

Esta técnica se utiliza en minerales de alta ley, en los que la etapa de trituración da lugar a un alto contenido de finos, o cuando el mineral objetivo está tan bien diseminado que es necesario molerlo para liberarlo y exponerlo a la solución de lixiviación. Además, se utiliza en situaciones en las que el contenido en finos de los minerales es elevado. Ambos tipos de situaciones indican que se aplica este método. Además, es el método que se utiliza en el proceso de calcinación de calcinas y concentrados para lixiviar lo que contienen.

Aplicando agitación, ya sea por burbujeo o agitación mecánica, es factible mantener la pulpa en suspensión hasta que el metal de interés se haya disuelto por completo. Esto puede lograrse hasta que la pulpa alcance la consistencia deseada. El tiempo de permanencia del mineral en los tanques se mide en horas. Por otro lado, los agitadores mecánicos no son más que impulsores que se colocan dentro del tanque, a diferencia de los tanques agitados por aire, que suelen ser del tipo «Pachuca».

Lixiviación de minerales oxidados

Estas especies mineralógicas no logran ser tratadas mediante el proceso de flotación, por ello, se usan técnicas hidrometalurgias, es decir, lixiviación y precipitación de la especie de interés de la solución.

Para este procedimiento se tiene que realizar un proceso de conminución con el fin de disminuir la granulometría de los minerales, para que tengan un mejor contacto con la solución y se puede desarrollar la fase de aglomeramiento, en la cual se obtendrá la adherencia de partículas más finas a las menos finas.

Lixiviación de minerales sulfurados

Uno de los procesos es la biolixiviación, la cual, presenta ventajas a nivel de costos de inversión y operación de las plantas, en la actualidad, se usa el proceso de lixiviación bacteriana para procesar sulfuros de baja ley, este proceso favorece la disolución de sulfuros, al actuar como catalizador, además de producir férrico. (Mauricio Tapia, pp 8-12,2024). Además, se puede utilizar el proceso de lixiviación por tanques en la cual el mineral sulfurado ingresa a los tanques previo proceso de chancado y molienda. En este proceso se utiliza cianuro para extraer al oro del mineral sulfurado, hidróxido de sodio o cal como modificadores de pH y en algunas plantas se utiliza el nitrato de plomo como un catalizador que acelera el proceso de recuperación del oro.

Estado actual de la lixiviación del oro

En ocasiones, los minerales que incluyen metales valiosos pueden extraerse de las menas mediante el proceso de lixiviación con cianuro. La extracción de recursos es el término utilizado para describir este procedimiento. Este proceso no sólo requiere la existencia de oro presente en el mineral, sino que también implica la presencia de componentes capaces de reaccionar y disolverse, lo que siempre da lugar a problemas a lo largo del proceso. El cobre es un ejemplo de uno de estos elementos, y es factible que esté presente en una proporción mucho mayor que el oro. Un rasgo que es típico de estas plantas es el hecho de que normalmente sólo tienen una excelente recuperación de la disolución del oro y de la precipitación del oro al principio de la operación. Esta es una cualidad indicativa de las plantas de cianuración. La eficacia empieza a disminuir al cabo de unas semanas, a pesar de que la concentración de cianuro en la solución no cambia en absoluto en ese momento. Este problema suele producirse cuando se trata de menas que incluyen cobre soluble, como calcosina, bornita, malaquita, azurita, covelita y cuprita. Se

considera que la solución de cianuro se contamina durante el proceso de cianuración debido a un aumento en la concentración de cobre en la solución. Como consecuencia, se reduce la eficacia del proceso de extracción de oro (POMA, 2022).

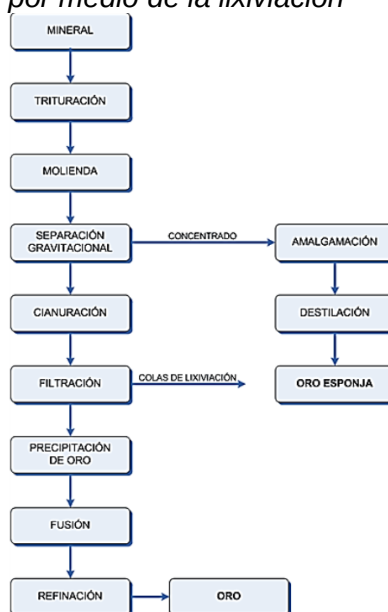
Según Poma (2022) la presencia del cobre en la solución cianurada supone una desventaja económica, ya que conduce a un consumo excesivo de cianuro en la lixiviación del oro. Además, provoca una disminución en la eficacia del carbón activado para recuperar oro debido a la presencia de cianuro de cobre los cuales contienen complejos. Esto se debe al hecho de que los complejos de cianuro de cobre y los complejos de cianuro auríferos compiten entre sí por los lugares de adsorción situados en el carbón activado. Por diversas razones, entre ellas las relacionadas con la economía y el medio ambiente, es fundamental conocer a fondo el proceso de extracción del cobre y la recuperación del cianuro de los efluentes de cianuración. Estos procesos son muy ventajosos, no sólo desde el punto de vista económico, sino también desde el punto de vista medioambiental.

2.1.6 Lixiviación de Oro

Cordova (2019) menciona que el proceso comienza con la trituración y aglomeración del mineral aurífero que se extrae del yacimiento. Para obtener la solución rica, el aglomerado se lixivia con una solución de cianuro. Una vez completado el paso anterior se utiliza polvo de zinc para precipitar el oro y la plata de la solución mediante el proceso de Merrill Crowe. A continuación, se funde el precipitado, con lo que se obtiene el metal Doré, compuesto de oro y plata.

Figura 3

Proceso de extracción del oro por medio de la lixiviación



Nota: Cordova, 2019.

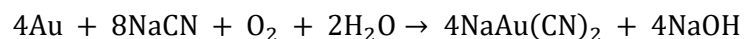
2.1.7 Cianuración

De acuerdo con Mellor (1923), los alquimistas del siglo XVIII disolvieron oro en una solución acuosa de KCN, también se menciona que Scheele (1783) y después Bagration (1843) notaron la acción solvente de soluciones acuosas de cianuro alcalino sobre el oro.

En el año 1887, los señores MacArthur y Forrest fueron los que hicieron la observación e identificación de todas las ocurrencias antes descritas. Después de eso, emplearon la disolución, pero para minerales auríferos, que fue un proceso que alteró drásticamente la industria minera del oro.

Según Mallma y Peinado (2009), la cianuración es un método que aprovecha la capacidad del oro y la plata para disolverse en soluciones diluidas de cianuro sódico o potásico en presencia de oxígeno. Otros elementos que se utilizan en este proceso son la plata y el oro. Aunque, en general, la lixiviación puede llevarse a cabo por una serie de mecanismos, incluidos los procesos físicos, químicos y electroquímicos, se ha demostrado que la disolución está dirigida por los principios electroquímicos de la corrosión en el proceso específico de la cianuración. Existen varios mecanismos diferentes que pueden utilizarse para llevar a cabo la lixiviación. De acuerdo con la Ecuación de Elsner, la reacción

que suele aceptarse como la que retrata la descomposición del oro es la que se menciona a continuación:



En el marco de este procedimiento, el oro y la plata se disuelven (de forma ventajosa) mediante el uso de una solución alcalina de cianuro sódico. Dos de los métodos que pueden utilizarse para extraer el oro presente en la solución de lixiviación son la precipitación con polvo de zinc y la adsorción en carbón activado. Ambos métodos son ejemplos de procesos que pueden aplicarse. (MALLMA & PEINADO, 2009)

Según Rivera (2009) uno de los métodos más utilizados es la lixiviación de minerales auríferos mediante cianuro, que puede ser sódico o potásico. Los procedimientos de lixiviación con cloro y tiosulfato sódico han sido suplantados principalmente por la cianuración debido a que ésta es a menudo más rentable, más selectiva y tiene más éxito que los otros dos métodos. La lixiviación por percolación del mineral triturado o la agitación de una pulpa de mineral triturado con una solución diluida de cianuro, generalmente a una concentración de cianuro sódico (NaCN) inferior al 0,3% son dos de los principales procesos para extraer minerales valiosos de la mena triturada. Para evitar la hidrólisis del cianuro lo que provocaría una disminución en la concentración oro soluble, la solución debe ser alcalina. Esto se hace para maximizar la eficacia de la solución. Para lograr el objetivo de mantener los niveles de pH entre 10 y 10,5, la cal, que se compone de óxido de calcio, es un material que se emplea a menudo. El NaOH, también conocido como hidróxido de sodio, y el Na₂CO₃, también conocido como carbonato de sodio, son otros dos productos químicos que pueden emplearse con este fin. Hay un gran número de sales alcalinas de cianuro que, además de ciertos nitrilos orgánicos, pueden utilizarse eficazmente. Una alternativa que se utiliza a menudo es el cianuro de sodio o el cianuro de calcio. Ambas sustancias son cianuro. Durante la etapa de lixiviación, el oxígeno disuelto es un componente importante que requiere el proceso de lixiviación. Mediante el método de desplazamiento de metales, que a menudo se lleva a cabo utilizando polvo de zinc, es posible precipitar el oro y la plata disueltos de las soluciones que se han clarificado.

Además, las soluciones no clarificadas pueden tratarse con carbón activado granular o resinas para adsorber los valores de los metales preciosos.

Métodos de cianuración convencional

A continuación, mencionaremos los métodos más empleados en la cianuración de minerales auríferos y/o relaves.

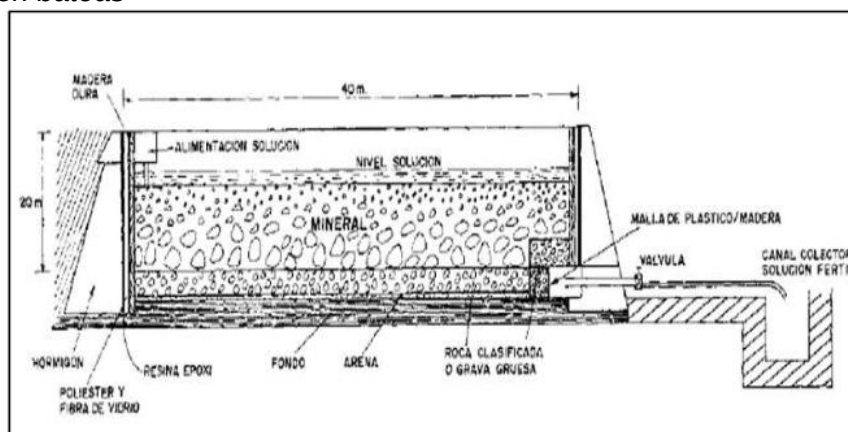
- **Cianuración en bateas**

Para llevar a cabo el proceso de lixiviación en bateas, también denominado sistema de lixiviación por percolación es necesario utilizar una estructura de hormigón con forma de paralelepípedo. Mediante esta estructura, se deposita el mineral que se ha triturado anteriormente y, a continuación, se cubre con soluciones de lixiviación que equivalen a la mitad o a las tres cuartas partes del volumen de la estructura. Este proceso se repite una y otra vez. El fondo del molde de hormigón se hace como si fuera de madera y se cubre con una tela filtrante. Concretamente, este fondo puede encontrarse dentro del molde. Para facilitar el proceso de dilución del mineral, esta tela permite hacer circular la solución en sentido ascendente o descendente. Esta actividad se lleva a cabo para que el procedimiento sea más sencillo (Zayra, 2018).

Según Zayra (2018) el empleo de este método requiere la utilización de una serie de cubetas dispuestas en una secuencia muy próxima entre sí. La solución puede ir y venir entre los recipientes porque hay una conexión entre cada recipiente y el que le sigue. Esta conexión permite que la solución se mueva entre las cubetas. De este modo, se garantiza que las recirculaciones sucesivas puedan aumentar la cantidad del metal de interés, que suele ser el cobre, hasta el punto de hacer viable el proceso de recuperación electrolítica directa. Este metal en concreto es el cobre. Las artesas son sistemas operativos muy dinámicos; por lo tanto, sólo son apropiadas para la lixiviación de minerales que tienen una cinética de disolución muy rápida.

Figura 4

Lixiviación en bateas



Nota: Zayra, 2018.

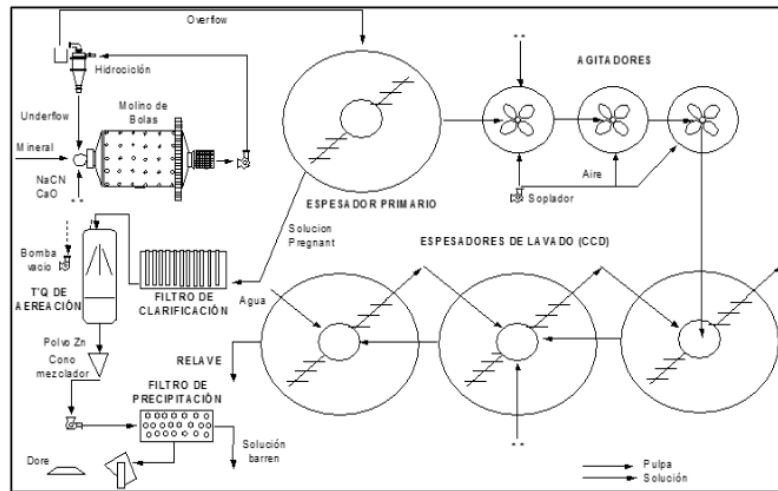
- **Cianuración por agitación convencional (CCD)**

Sólo había un método que se había utilizado históricamente durante bastante tiempo, y era el procedimiento de lixiviar el mineral en agitadores mecánicos, seguido de realizar la decantación en contracorriente en una serie de espesadores. CCD es una abreviatura que significa decantación continua en contracorriente, que es la práctica que se describe aquí.

Tras la clarificación de la solución resultante, ésta se desoxigena mediante un filtro de vacío y, por último, la solución se precipita con polvo de zinc. El «doré» se obtiene secando y fundiendo el precipitado formado con bórax, carbonato sódico y sílice. Este proceso se conoce como método «doré». En primer lugar, la solución estéril agotada se recircula de nuevo al circuito de lixiviación. A continuación, se repite el proceso de lixiviación. Este método convencional, que también se conoce como CCD, ha sido objeto de mejoras sustanciales y, en la actualidad, se desarrolla una amplia variedad de circuitos con el fin de reducir los gastos y hacer que el proceso sea más eficiente. En algunas situaciones, el método de precipitación Merrill-Crowe puede eliminarse de la ecuación y sustituirse por el método de adsorción de carbón en pulpa gracias a los avances en la tecnología del carbón activado (Zayra, 2018).

Figura 5

Esquema de planta de cianuración convencional (CCD)



Nota: Zayra, 2018.

- **Cianuración por percolación**

En consecuencia, evita los costosos procedimientos de molienda, agitación y espesamiento, lo que se traduce en una disminución de alrededor del cincuenta por ciento de los gastos totales de explotación. Por ello, es el método de cianuración más favorable en términos de coste para las aplicaciones industriales. El procedimiento denominado lixiviación en pilas consiste en cianurar minerales de oro y plata depositados sobre superficies impermeables. Además, durante este proceso se determina la pendiente de la superficie. Es posible crear esta superficie utilizando una amplia gama de materiales, como caucho, hormigón, asfalto, residuos compactados, arcillas compactadas y otros materiales (Zayra, 2018).

El procedimiento puede realizarse tanto in situ como en pilas, con o sin aglomeración según las circunstancias. Cuando las pilas alcanzan el grado de alcalinidad requerido en la escala de pH, se riegan con soluciones de hidróxido de sodio o cal. La altura de las pilas pueden alcanzar hasta seis metros, y se riegan con estas soluciones. Una vez que obtenemos un pH de 9,5 a 10,5 la fase posterior consiste en filtrar las soluciones de cianuro del mineral con concentraciones que oscilan entre 0,5 y 3 g/L. En la fase posterior, el oro y la plata que se han disuelto se transportan a los tanques de almacenamiento por medio del fondo impermeable.

Una vez llegados a su destino, los minerales valiosos se precipitan con polvo de zinc o se adsorben con carbón activado (Zayra, 2018).

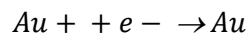
2.1.8 Química y cinética de la cianuración

La extracción de oro del hierro y el acero se realiza mediante el proceso de cianuración del oro, que es una técnica que se utiliza en el ámbito de la metalurgia. El proceso de lixiviación del oro se lleva a cabo con la ayuda de soluciones de cianuro, que se utilizan como agente soluble en el marco de esta operación. Además, para generar iones metálicos y cationes metálicos, las sales de cianuro se disuelven en agua mediante disolución.

2.1.9 Termodinámica del Proceso de Cianuración

Para el proceso de lixiviación del oro es necesario que el mineral se oxide en especies solubles, y también es necesario que estas especies solubles sean estables en el entorno químico del proceso de lixiviación. Ambos requisitos son cruciales (CARDENAS, 2020).

Cardenas (2020) expresa cuantitativamente la fuerza motriz que provoca la precipitación de un metal a partir de sus iones, el potencial de reducción electroquímica de un metal. Este potencial puede utilizarse para representar la fuerza impulsora. La reacción de oxidación es el proceso que tiene lugar cuando el oro, Au, entra en contacto con una solución de sus iones Au⁺. Esta reacción se produce por la interacción del oro con la solución.



Un ejemplo de un proceso para el que la Ecuación de Nernst proporciona el potencial de reducción para la reacción que ahora nos ocupa

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{Au}}{a_{Au^+}}$$

Suponiendo que sepamos que la actividad del metal es igual a uno y que la extracción de oro depende de la concentración de iones de oro en las circunstancias del proceso, entonces podemos afirmar que la actividad del metal es igual a uno.

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{1}{a_{Au}^{+}}$$

Debido a la información que se presentó anteriormente, podemos llegar a la conclusión de que la tendencia de los iones de oro a reducirse y precipitar como metal aumenta en proporción al valor del Potencial (E°), mientras que la tendencia del oro a disolverse aumenta en proporción al valor de E° . Esta es la conclusión a la que podemos llegar (CARDENAS, 2020).

Diagrama Au-H2O

El oro presenta una notable resistencia a la oxidación, manteniendo su estabilidad incluso a temperaturas elevadas. Además, cuando el metal se oxida, puede interactuar con el entorno. A continuación, se presenta una tabla con las reacciones y sus respectivos valores potenciales, determinados mediante los cálculos de la ecuación de Nernst.

Tabla 1

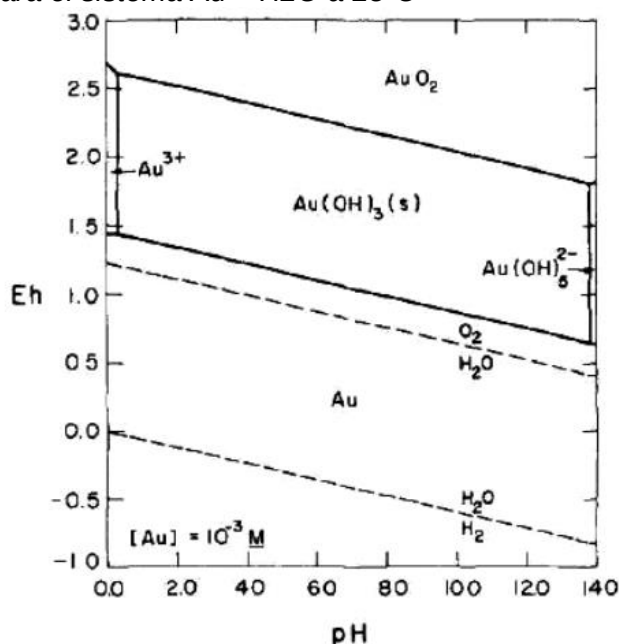
Reacciones y potencial de Nernst

Reacción química valor de potencial (Eh)	Reacción química valor de potencial (Eh)
$Au \rightarrow Au^{+3} + 3e^{-}$	$1,498 + 0,0197 \log (Au^{+3})$
$Au \rightarrow Au^{+3} + 3e^{-}$	$1,498 + 0,0197 \log (Au^{+3})$
$Au + 3H_2O \rightarrow Au(OH)_3 + 3H^{+} + 3e^{-}$	$1,457 - 0,0591 \text{ pH}$
$Au(OH)_3 \rightarrow AuO_3 + H_2O + H^{+} + e^{-}$	$2,630 - 0,0591 \text{ pH}$
$2H_2O + 2e^{-} \rightarrow 2OH^{-} + H_2$	$0,0591 \text{ pH} - 0,0295 \log p_{H_2}$
$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e^{-}$	$1,228 - 0,0591 \text{ pH} + 0,0147 \log p_{O_2}$

Nota: Cardenas, 2020.

Figura 6

Diagrama Eh – pH para el sistema Au – H₂O a 25°C



Nota: Cardenas, 2020.

Diagrama Au - CN - H₂O

El oro es un metal famoso por su excepcional estabilidad en una amplia gama de soluciones acuosas. La figura 2.7 muestra el notable efecto del cianuro sobre el intervalo de pH en el sistema Au-CN-H₂O. En esta región específica de estabilidad, los minerales que contienen oro pueden disolverse utilizando soluciones de cianuro.

De acuerdo con las observaciones realizadas por un científico de materiales, se ha descubierto que el pH ideal para la disolución del oro es 9.4. Sin embargo, en aplicaciones prácticas, a menudo es más ventajoso utilizar un valor de pH más alto, como 10.5, para minimizar cualquier pérdida potencial de HCN. Las reacciones esenciales para la construcción del diagrama se presentan en la siguiente figura:

Figura 7

Reacciones más importantes

Reacción Química	Valor de Potencial (Eh)	Reacción Química	Valor de Potencial (Eh)
$Au(CN)_2^- + e^- \rightarrow Au + 2CN^-$	$0,5 + 0,06 \log[Au(CN)_2^-] - 0,119 \log[CN^-]$		
$Au + 2HCN \rightarrow Au(CN)_2^- + e^-$	$0,47 + 0,059 \log[Au(CN)_2^-]/[HCN]_2 - 0,118 pH$		
$HCN \rightarrow CN^- + H^+$	$pH = 9,22 + \log [CN^-] / [CN]$		

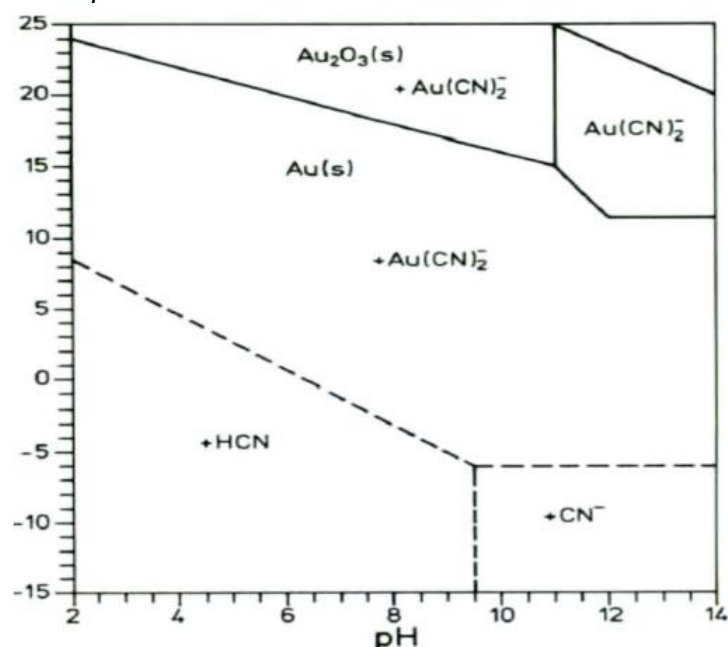
Nota: Cardenas, 2020.

Es posible obtener una comprensión más profunda del sistema redox haciendo uso de los Diagramas de Pourbaix. Las zonas de estabilidad de las distintas especies se muestran de forma fácilmente comprensible mediante estos diagramas.

Es posible obtener una mayor cantidad de disolución de oro en una variedad de valores de pH incluyendo cianuro en la mezcla. Esto se debe a que el potencial de reducción del oro se reduce eficazmente. La formación de peróxido de oxígeno dentro del rango de estabilidad del agua es una indicación de que la solución de cianuro está contribuyendo a la disolución del oro (CARDENAS, 2020).

Figura 8

Diagrama de Pourbaix para el Sistema Au – H₂O – CN⁻ a 25°C



Nota: Cardenas, 2020.

2.1.10 Mecanismos químicos de la cianuración

Existen mecanismos químicos, en la cianuración de la solución la cual necesita de principios electroquímicos los cuales, son parecidos a la corrosión de metales, estos mecanismos se dividen en reacciones catódicas y anódicas.

En la reacción anódica lo que ocurre es que el oro se oxida, dando como resultado un complejo estable juntamente con el cianuro. Por otro lado, en la reacción catódica, por medio del aire y el agua se podrá obtener el oxígeno, formándose peróxido de hidrógeno y iones OH.

2.1.11 Factores cinéticos

En las reacciones de cianuración, se tiene que tener en cuenta la cinética de la lixiviación, en la cual encontraremos fases sólidas y líquidas, esto pasa en las siguientes ocasiones:

- Se puede dar en el caso de que el oxígeno sea absorbido en la solución
- Traslación de cianuro y oxígeno disuelto
- Adsorción de los reactantes en las reacciones electroquímicas
- Complejos solubles de oro-cianuro específicamente en la etapa de desorción
- Transporte de los productos resorbidos de la solución.

Tamaño de partícula

Antes de seguir adelante con el proceso de cianuración, es habitual utilizar primero métodos gravimétricos para separar el oro libre y grueso que se ha descubierto en las menas. Esto se hace para cumplir los requisitos del procedimiento. Si no se hace así, las partículas gruesas no podrán disolverse completamente en el período de tiempo asignado para llevar a cabo el proceso de cianuración. Esto se debe a que el plazo es limitado. También existe la posibilidad de reducir el tamaño de los minerales de oro utilizando un proceso de molienda y clasificación de minerales de oro en circuito cerrado. (CORDOVA, 2019).

Efecto del oxígeno

La cantidad de oxígeno en soluciones de cianuro dependerá de factores como la agitación, la acumulación del cianuro y en el caso de parámetros físicos de la temperatura y la altitud de la zona. El oxígeno en alta acumulación de cianuro afecta en la cinética de la reacción por lo cual dependerá de la presión que da el oxígeno. (Hernández et al., 2013)

Tabla 2

Efecto del oxígeno sobre la velocidad de disolución del oro

% Oxígeno	Disolución del Au (mg/cm ² /h)
0,00	0,04
9,00	1,03
20,90	2,36
60,10	7,62
99,50	12,62

Nota Cordova, 2019.

Temperatura

La introducción de calor provoca la formación de fenómenos opuestos que influyen en la velocidad de disolución cuando se mezcla el oro que es metálico con el cianuro. Estos fenómenos están controlados por índice de disolución. Un aumento en la temperatura conduce a un incremento de la actividad de la solución, lo que a su vez conduce a un aumento de la velocidad de disolución del oro en el agua en toda la solución. Además, al mismo tiempo desciende la cantidad de oxígeno presente en la solución como consecuencia del hecho de que la solubilidad de los gases disminuye a lo largo del proceso de aumento de la temperatura. La utilización de soluciones calientes para la extracción de oro tiene un coste elevado, por lo cual se suele lixiviar a temperatura ambiente pero el uso de soluciones calientes es ventajoso para la extracción de oro. (CORDOVA, 2019).

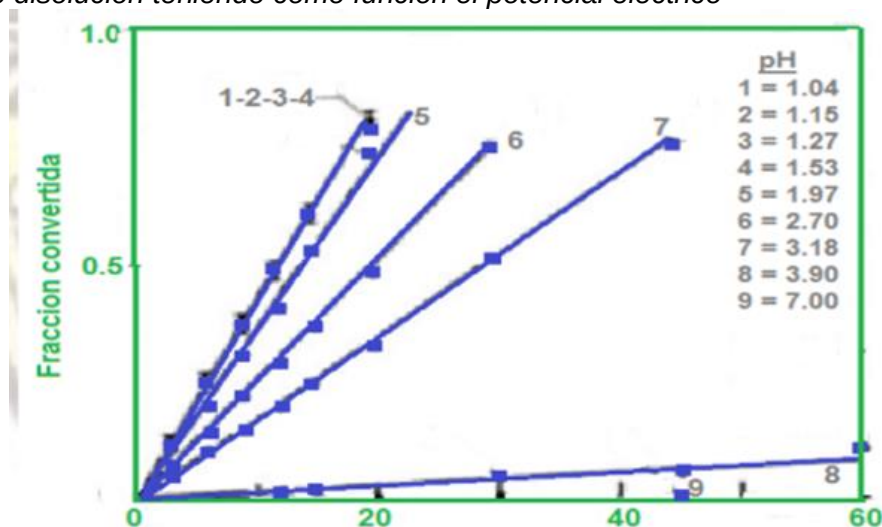
Influencia del pH

Para entender el comportamiento del potencial eléctrico en la dilución del oro, se debe de tener en cuenta que el pH cuando es inferior a 1.5 las velocidades serán indiferentes al pH, pero cuando el pH es superior a valores de 1.5 los valores van a disminuir progresivamente hasta que el valor de pH sea igual a 4. (López Perez, 2014)

Cuando los valores son más elevados se forma una capa pasiva, los cuales pueden restringir los niveles de espesores moleculares, tal y como se ve en la siguiente gráfica:

Figura 9

Curvas de disolución teniendo como función el potencial eléctrico



Nota: Elaborado por Viñals et al. (1995).

La utilización de cal en disolución para mantener un pH comprendido entre 9,5 y 10 produce una alcalinidad protectora que permite conseguir los siguientes resultados según Cordova (2019).

- Es posible evitar la desaparición del cianuro debido a la hidrólisis empleando la siguiente ecuación: $\text{NaCN} + \text{H}_2\text{O} = \text{HCN} + \text{NaOH}$.
- Para evitar o limitar los desperdicios de cianuro inducidos por el motivo del dióxido de carbono en el ambiente, debe tenerse en cuenta la siguiente ecuación: $2 \text{NaCN} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2 \text{HCN} + \text{Na}_2\text{CO}_3$.
- Es posible neutralizar los componentes ácidos de la solución de cianuro resultantes de la fragmentación de los distintos minerales extraídos de la mina, este producto químico es capaz de evitar que se produzcan los componentes ácidos.
- Antes de introducir el agua en el circuito de cianuración, neutraliza los componentes ácidos presentes en el agua. Estos componentes ácidos incluyen iones ferrosos y férricos, así como sulfato de magnesio.

- Además, ayuda a la sedimentación de las partículas diminutas, lo que permite separar el mineral cianurado de la solución rica clara.

2.1.12 Agentes modificadores de pH

Es necesario recurrir a reactivos modificadores para activar la capacidad de adsorción del reactivo filmógeno, que puede ser un colector o un promotor. Las características superficiales de uno o más sólidos se alteran como resultado de las interacciones de estos agentes con la superficie del sólido, que pueden tener lugar por acción química o por adsorción. Debido a ello, se interrumpe la adsorción del agente colector o promotor por parte de estas partículas. Existe la posibilidad de que los modificadores desempeñen el papel de reguladores del pH. El grado de acidez o pH del agua es un factor de enorme valor ya que afecta o modifica el desarrollo de las películas. Esta es una de las razones por las que la cantidad de agua es tan importante. Hay varias situaciones en las que la flotación sólo puede lograrse dentro de un determinado rango de valores de pH (GUTIÉRREZ, 2017).

El pH de una pulpa es un componente esencial en el proceso de flotación. Esto se debe a que los iones hidrógeno o hidroxilo (H^+ y OH^-) compiten con otros iones para alcanzar la superficie del mineral por lo cual estos dos tipos diferentes de iones son necesarios para dicho proceso. También es posible establecer una conexión entre la concentración de estos iones y la disociación de las sales, además de los intercambios iónicos que tienen lugar. Cuando se utilizan en circuitos ácidos, los xantatos pierden su eficacia porque los efectos de hidrólisis que experimentan los reactivos dependen de la acidez del medio. Esta es la razón por la que los xantatos se utilizan en circuitos ácidos. Ello se debe a que el proceso de hidrólisis depende de la acidez del medio. Sin embargo, cuando la amina se emplea en circuitos que tienen una alcalinidad elevada, su capacidad de recogida se reduce considerablemente. Esto se debe a que la amina es capaz de proporcionar mayores resultados cuando se emplea en circuitos que son alcalinos. Es de suma importancia que reconozcamos el hecho de que el circuito alcalino se utiliza más a menudo que el circuito ácido, que los reactivos suelen ser más estables y que las sales de

En la Figura se puede ver un ejemplo del diagrama de flujo habitual de una instalación CIP que se utiliza como medio para recuperar oro y plata. Después de que la disolución cáustica ha sido recuperada por elucidación y electrodeposición, a menudo vuelve a la fase de lixiviación. Esto ocurre después de que el oxígeno haya sido recuperado por elucidación. Los niveles de cianuro presentes al inicio de la fase de lixiviación suelen girar en torno a 0,5 gramos de cianuro sódico por litro de pulpa. Por otro lado, las concentraciones de cianuro durante la fase de elucidación suelen rondar los 0,2 milimoles por litro.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 *pH*

El grado en que la solución de lixiviación es ácida o alcalina puede determinarse determinando el potencial de hidrógeno presente en la solución del proceso de lixiviación (MOLINA, 2021).

Además, el valor del pH es una magnitud de regulación que se utiliza en los procedimientos asociados a la hidrometalurgia. La recuperación y la selectividad del mineral, así como la depresión del mineral, se ven significativamente afectadas por su presencia por diversas razones (Lopez, 2018).

2.3.2 *Ley*

Es importante señalar que cuando hablamos de la presencia de metal precioso, nos referimos a la cantidad de ese metal que hay en cada tonelada de mineral. Cuando se trata de metales preciosos, esta cifra suele expresarse en onzas troy por tonelada. Sin embargo, cuando se trata de otros metales o no metales, suele expresarse en porcentaje. La cantidad de metal precioso presente puede expresarse en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb), y la ley del mineral ofrece información sobre la cantidad de material que contiene (DOMÍNGUEZ, 2024).

2.3.3 *Cal*

Domínguez (2024) nos habla de óxido de calcio, cuando se hace referencia al tipo de óxido de calcio que se emplea en el procedimiento de cianuración. La pureza típica de

este óxido de calcio es superior al 54% de CaO. El objetivo de este material es elevar el pH de la solución a un nivel superior a 10, lo que tiene el efecto de ayudar a conservar ión de cianuro en disolución y disminuir la producción de otros gases como el cianuro de hidrógeno.

Este material se produce calcinando piedra caliza a temperaturas inferiores a la temperatura a la que se descompone el óxido de calcio. Este proceso se conoce como calcinación. El proceso de convertir la piedra caliza en cal viva tiene lugar cuando la piedra caliza se calienta a una temperatura de 900 grados centígrados. La formación de hidrato de calcio, a veces denominado cal apagada (Ca(OH)_2), se produce como consecuencia de la interacción que tiene lugar entre el óxido de calcio y el agua.. Esta reacción hace que el hidrato de calcio se expanda, genere una cantidad significativa de calor y se endurezca, o forje, como es más conocido. El uso de cal viva en la producción de mortero estándar es posible cuando se combina con agua. El proceso de combinar cal viva con agua da como resultado la formación de cal apagada, que también se conoce como hidróxido de calcio (NORMAN, 2023).

2.3.4 Soda cáustica

Este producto químico es un hidróxido de sodio (NaOH) que se utiliza en el proceso de control del pH de la pulpa, que, según los criterios, debe mantenerse entre 10 y 12 en todo momento (Zayra, 2018).

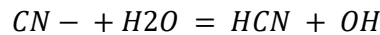
2.3.5 Onza troy

Según Norman (2023) es la unidad de masa que se hace uso de método de intercambio de metales de gran valor como el oro y el platino. Treinta y tres gramos equivalen a una onza troy.

2.3.6 Alcalinidad

Esta variable es de suma importancia porque evita la pérdida de cianuro que, de otro modo, se produciría como resultado de la hidrólisis durante el proceso de lixiviación del oro. Durante todo el tratamiento, la solución de cianuro se mantiene en un medio básico.

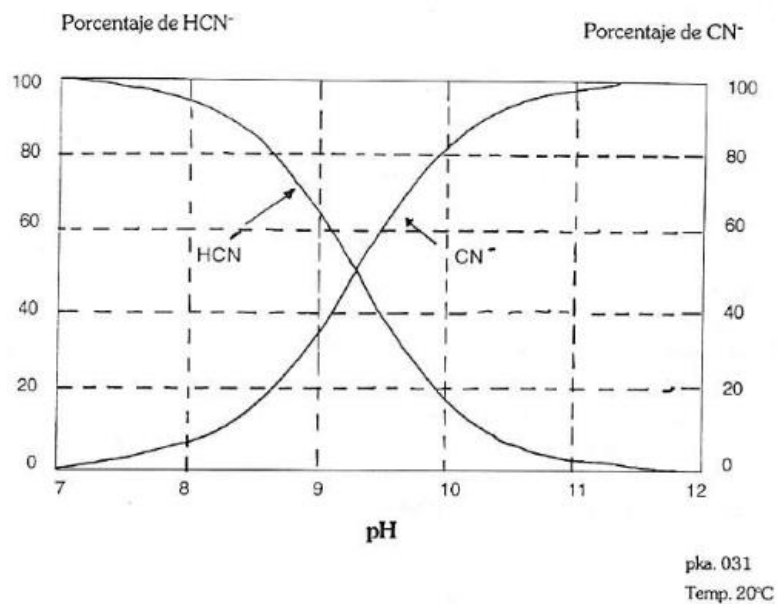
Esto permite completar con éxito el procedimiento.



Según Vilcapoma (2021) el ion hidroxilo da una naturaleza básica o alcalina, produciendo que sea más factible que el ion cianuro lleve a cabo su actividad química de forma más eficaz y menos nociva. La razón de que así sea es que existe una relación entre las concentraciones de iones HCN y CN^- en la solución de una disolución y el pH de esta. Ninguna otra sustancia química puede extraerse de soluciones acuosas salvo el HCN cuando la temperatura es de veinte grados centígrados y el pH de siete, y sólo el CN^- es capaz de formar compuestos con metales.

Figura 11

Gráfico del pH en función de los porcentajes de HCN- y CN^-



Nota: Vilcapoma, 2021.

El proceso de cianuración se lleva a cabo en un medio que sea básico para evitar la pérdida de cianuro durante el proceso de extracción. En presencia de un medio ácido se forma un gas cianógeno muy peligroso para los seres vivos. Esta es la razón por la que esto ocurre. Por ello, es muy necesario mantener un pH entre 10,5 y 11,0 para evitar la pérdida de cianuro que se produce como resultado de la hidrólisis (Huarca & Mantilla, 2023).

2.3.7 Procesos hidrometalúrgicos

El oro puede extraerse de yacimientos oxidados mediante el proceso de lixiviación, y también puede extraerse de minerales de oro refractarios mediante el uso de autoclaves y cianuración biológica. Ambos métodos son opciones viables (Lopez, 2018).

2.3.8 Humedad

Para Zayra (2018) determinar la cantidad de humedad presente, se utiliza el método siguiente. La muestra se cuece en un horno durante treinta minutos a una temperatura de 160 grados Celsius. Luego, se utiliza la fórmula que se muestra a continuación:

$$\text{Humedad} = \frac{(\text{peso húmedo} - \text{peso seco})}{\text{peso humedad}} \times 100$$

2.3.9 Densidad de la pulpa

La lixiviación suele llevarse a cabo con una densidad de lodo que oscila entre 1.250 y 1.300 gramos por litro y un porcentaje de sólidos que oscila entre el 35% y el 50%. Éste es el caso la mayor parte del tiempo. Hay una serie de parámetros que influyen en la viscosidad del lodo, que es la arcilla. Estos factores incluyen la gravedad específica de las partículas, el tamaño de las partículas y la presencia del mineral. En situaciones en las que la densidad de los purines es relativamente baja, el fenómeno de transferencia de masa alcanza su máxima intensidad. Las densidades bajas de los purines son buenas para los fenómenos de movimiento de masas porque permiten una mayor movilidad. (Huarca & Mantilla, 2023).

2.3.10 Granulometría o tamaño

Es posible utilizar una dilución de 2,5 para esta liberación, que puede tener un tamaño de malla inferior a 65. El objetivo de la liberación del mineral durante el proceso de cianuración es liberar a un tamaño suficiente que puede estar en suspensión. La rotación mecánica es el medio por el que se realiza. Es esencial que la liberación del mineral sea de una textura suficientemente fina para liberar el oro (80% - malla 200) y la plata que

están unidos a otros minerales. El oro se descubre de esta manera, como consecuencia del agotamiento de yacimientos de alta ley. (Huarca & Mantilla, 2023).

2.3.11 Laboratorio de lixiviación

Los laboratorios de lixiviación son instalaciones especializadas que se utilizan para realizar experimentos y análisis con el fin de desarrollar y mejorar los procesos de lixiviación. Uno de los métodos más significativos que se utilizan en el proceso de recuperación de metales a partir de sus minerales es la lixiviación. En estos laboratorios se realizan pruebas utilizando una amplia variedad de circunstancias y disoluciones químicas para evaluar la eficacia y factibilidad del proceso de recuperación de elementos metálicos como el oro, la plata y el cobre. Estas pruebas se llevan a cabo para determinar si el procedimiento es viable o no. A esto se añade la mejora de los procesos, el estudio químico de las pruebas y el examen de los efectos de los tratamientos de lixiviación en el medio ambiente con el fin de determinar si los procedimientos son seguros o no. (HUAMAN & RAMOS, 2024).

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Caracterización de los contaminantes de las muestras auríferas

En el trabajo se realizaron 11 pruebas, las cuales se agruparon de tres en tres o en algunos casos de 2 en 2 con la finalidad de obtener un mejor manejo de los resultados, en el presente capítulo se brindará una descripción primero individual de cada una de ellas y finalmente se realizará un análisis general de todas las pruebas en su conjunto.

Al momento de analizar los elementos contaminantes que se encontraban en el primer grupo de pruebas se puede observar la presencia de elementos tales como el Pb, Zn, As, Cu, y Fe esta información se verá reflejada en la Tabla 3. Lo que se puede observar en el caso de las tres primeras muestras (B-1045, B-1046 y B-1047) es que el mayor porcentaje de Pb se encontró en el B-1047 y fue de 1.28, en el caso del Zn se tiene que el mayor porcentaje de este contaminante se encontró en el B-1045 y fue de 1.03 para el arsénico, el B-1045 también presentó el mayor porcentaje de este elemento contaminante y fue de 2.43, en el caso del contaminante Cu se observó que las tres muestras presentaban cantidades insignificantes de este elemento pero el mayor porcentaje se encontró en el B-1045 con un 0.06, por último en el caso del Fe se observó que B-1047 presentó mayor cantidad en este contaminante con un porcentaje de 9.69.

Tabla 3

Contaminantes de B-1045, B-1046 y B-1047

Código	CONTAMINANTES				
	Pb	Zn	As	Cu	Fe
	%	%	%	%	%
B-1045	1.01	1.03	2.43	0.06	7.40
B-1046	0.537	0.349	2.049	0.018	4.96
B-1047	1.28	0.86	1.58	0.03	9.69

Nota: Elaboración propia

En las siguientes tres muestras (B-1048, B-1049 y B-1050) el mayor porcentaje de Pb se encontró en el B-1050 y fue de 0.78, en el caso del Zn se tiene que el mayor porcentaje de este contaminante se encontró en el B-1050 y fue de 0.60 para el arsénico,

el B-1048 presentó el mayor porcentaje de este elemento contaminante y fue de 2.88, en el caso del contaminante Cu se observó que las tres muestras presentaban cantidades insignificantes de este elemento pero el mayor porcentaje se encontró en el B-1048 con un 0.07, por último en el caso del Fe se observó que B-1050 presentó mayor cantidad en este contaminante con un porcentaje de 11.14.

Tabla 4

Contaminantes de B-1048, B-1049 y B-1050

Código	CONTAMINANTES				
	Pb	Zn	As	Cu	Fe
	%	%	%	%	%
B-1048	0.51	0.22	2.88	0.07	7.84
B-1049	0.52	0.24	2.48	0.06	7.61
B-1050	0.78	0.60	1.75	0.04	11.14

Nota: Elaboración propia

Para este caso solo se realizaron 2 pruebas resultando que el B-1051 presentó un mayor porcentaje en el caso de los contaminantes Pb y Cu, por otro lado el B-1052 presentó un mayor porcentaje de elementos contaminantes tales como el Zn, As y Fe.

Tabla 5

Contaminantes de B-1051 y B-1052

Código	CONTAMINANTES				
	Pb	Zn	As	Cu	Fe
	%	%	%	%	%
B-1051	1.03	0.52	1.97	0.05	9.48
B-1052	0.81	0.57	2.66	0.02	10.06

Nota: Elaboración propia

Finalmente para el último grupo de pruebas (B-1054, B-1055 y B-1056) el mayor porcentaje de Pb se encontró en el B-1055 y fue de 6.8, en el caso del Zn se tiene que el mayor porcentaje de este contaminante se encontró en el B-1054 y fue de 0.41 para el arsénico, el B-1054 también presentó el mayor porcentaje de este elemento contaminante y fue de 3.77, en el caso del contaminante Cu se observó que las tres muestras presentaban cantidades insignificantes de este elemento pero el mayor porcentaje se

encontró en el B-1054 con un 0.06, por último en el caso del Fe se observó que B-1054 presentó mayor cantidad en este contaminante con un porcentaje de 13.56.

Tabla 6

Contaminantes de B-1054, B-1055 y B-1056

Código	CONTAMINANTES				
	Pb	Zn	As	Cu	Fe
	%	%	%	%	%
B-1054	1.32	0.41	3.77	0.06	13.56
B-1055	6.80	0.25	2.42	0.03	10.93
B-1056	1.28	0.36	3.62	0.05	13.08

Nota: Elaboración propia

Las pruebas realizadas detallan que el rango en el que se encuentra porcentualmente el elemento contaminante Pb variaba desde 0.51 hasta un 1.32, pero en el último grupo de muestras se observó que el B-1055 superó este rango con un porcentaje de 6.80, en el caso del Zn se presentó un rango de 0.22-0.86 pero el B-1045 presentó un porcentaje de 1.03 el cual es mayor al rango que se había determinado anteriormente, para el caso del arsénico el rango porcentual de este elemento variaba entre 1.58-3.00 pero en el último grupo se vio que 2 muestras superaban este rango siendo el de mayor porcentaje el B-1054 con un 3.77, en el caso del cobre todos se encontraban dentro de un rango de 0.01-0.08 por lo que se pudo determinar que la presencia de este contaminante es mínima pero se observó que la muestra que presentó la mayor cantidad de este contaminante fue el B-1048 con un porcentaje de 0.07, el caso del Fe es el caso contrario al Cu este elemento tiene la mayor presencia en comparación con los demás contaminantes mencionados teniendo un rango de 7-14 pero aquí también se pudo determinar que el B-1054 tuvo una mayor presencia de este elemento con un porcentaje de 13.56 y también se encontró que el B-1046 está por debajo de este rango con un porcentaje de 4.96.

3.2 Caracterización de cada muestra

En la Tabla 7 se observa la caracterización de la muestra B-1045 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH

(cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 92.70, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de 2.10, la gravedad específica fue de 3.10, el porcentaje de sólidos es 32.29%, el pH inicial será de 7 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 33.54 (g Au /Tm).

Además la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 7

Caracterización de la muestra B-1045 utilizada en cada una de las 3 pruebas

Pruebas	Peso Muestra (kg)	% malla (-200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Sólidos	pH natural	Ley de cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)
B-1045_Soda	1.00	92.70	2.10	3-10	32.29	7.00	33.54
B-1045_Cal							
B-1045_Sin reponer cianuro							

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 8 presenta el consumo de reactivos medidos en (kg/Tm) utilizados en el B-1045.

Tabla 8

Consumo de reactivos de la muestra B-1045

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (kg/Tm)	Hidróxido de Sodio NaOH (kg/Tm)	Cal (CaO) (kg/Tm)
B-1045	6.29	2.5	2.5

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se observa la caracterización de la muestra B-1046 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH (cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 94.06, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de

1.94, la gravedad específica fue de 2.80, el porcentaje de solidos es 34.03%, el pH inicial será de 6.5 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 24.04 (g Au /Tm).

Además la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 9

Caracterización de la muestra B-1046 utilizada en cada una de las 3 pruebas

Muestra	Peso Muestra (kg)	% malla (-m200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Solidos	pH natural	Ley de Cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)
B-1046_ Soda							
B-1046_ Cal							
B-1046_ Sin reponer cianuro	1.00	94.06	1.94	2.80	34.03	6.50	24.04

Nota Elaboración propia.

La Tabla 10 presenta el consumo de reactivos medidos en (kg/Tm) utilizados en el B-1046.

Tabla 10

Consumo de reactivos de la muestra B-1046

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (kg/Tm)	Hidróxido de Sodio NaOH (kg/Tm)	Cal (CaO) (kg/Tm)
B-1046	8.14	5.5	5.5

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 11 se observa la caracterización de la muestra B-1047 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH (cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 92.20, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de 2.14, la gravedad específica fue de 3.20, el porcentaje de solidos es 31.82%, el pH inicial será de 7 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 36.60 (g Au /Tm).

Además, la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 11

Caracterización de la muestra B-1047 utilizada en cada una de las 3 pruebas

Muestra	Peso Muestra (kg)	% malla (-m200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Solidos	pH natural	Ley de Cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)
B-1047 _ Soda							
B-1047 _ Cal							
B-1047_ Sin reponer cianuro	1.00	92.20	2.14	3.20	31.82	7.00	36.60

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 12 presenta el consumo de reactivos medidos en (kg/Tm) utilizados en el B-1047.

Tabla 12

Consumo de reactivos de la muestra B-1047

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (kg/Tm)	Hidróxido de Sodio NaOH (kg/Tm)	Cal (CaO) (kg/Tm)
B-1047	6.86	2.5	3.5

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 13 se observa la caracterización del sulfuro B-1048 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH (cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 90.48, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de 2.30, la gravedad específica fue de 3.60, el porcentaje de solidos es 30.29%, el pH inicial será de 7 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 24.61 (g Au /Tm).

Además, la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 13*Caracterización del sulfuro B-1048 utilizada en cada una de las 3 pruebas*

Muestra	Peso Muestra (kg)	% malla (-m200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Solidos	pH natural	Ley de Cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)
B-1048_Soda							
B-1048_Cal							
B-1048_Sin reponer cianuro	1.00	90.48	2.30	3.60	30.29	7.00	24.61

Nota: Elaboración propia

La Tabla 14 presenta el consumo de reactivos del sulfuro B-1048 medidos en (kg/Tm) para cada una de las tres pruebas realizadas.

Tabla 14*Consumo de reactivos del sulfuro B-1048 para cada una de las tres pruebas realizadas*

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (kg/Tm)	Soda NaOH (kg/Tm)	Cal CaO (kg/Tm)
B-1048_Soda	6.67	3.50	-
B-1048_Cal	6.21	-	4.50
B-1048_Sin reponer cianuro	4.60	3.50	-

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 15 se observa la caracterización del sulfuro B-1049 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH (cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 93.51, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de 2.10, la gravedad específica fue de 3.10, el porcentaje de solidos es 32.29%, el pH inicial será de 7 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 24.87 (g Au /Tm).

Además la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 15*Caracterización del sulfuro B-1049 utilizada en cada una de las 3 pruebas*

Muestra	Peso Muestra (kg)	% malla (-200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Solidos	pH natural	Ley de Cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)
B-1049_ Soda							
B-1049_ Cal							
B-1049_ Sin reponer cianuro	1.00	93.51	2.10	3.10	32.29	7.00	24.87

Nota. Elaboración propia

La Tabla 16 presenta el consumo de reactivos del sulfuro B-1049 medidos en (kg/Tm) para cada una de las tres pruebas realizadas.

Tabla 16*Consumo de reactivos del sulfuro B-1049 para cada una de las tres pruebas realizadas*

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (Kg/Tm)	Soda NaOH (Kg/Tm)	Cal CaO (Kg/Tm)
B-1049_ Soda	6.71	3,80	-
B-1049_ Cal	6.50	-	4.70
B-1049_ Sin reponer cianuro	4.19	3.80	-

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 17 se observa la caracterización de la muestra B-1050 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH (cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio, pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 90.52, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de 2.10, la gravedad específica fue de 3.10, el porcentaje de solidos es 32.29%, el pH inicial será de 6.5 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 23.45 (g Au /Tm).

Además, la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 17

Caracterización de la muestra B-1050 utilizada en cada una de las 3 pruebas

Muestra	Peso Muestra (kg)	% malla (-m200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Solidos	pH natural	Ley de Cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)
B-1050 Soda							
B-1050 Cal							
B-1050_Sin reponer cianuro	1.00	90.52	2.10	3.10	32.29	6.50	23.45

Nota: Elaboración propia

La Tabla 18 presenta el consumo de reactivos de la muestra B-1050 medidos en (kg/Tm) para cada una de las tres pruebas realizadas.

Tabla 18

Consumo de reactivos de la muestra B-1050 para cada una de las tres pruebas realizadas

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (kg/Tm)	Soda NaOH (kg/Tm)	Cal CaO (kg/Tm)
B-1050_Soda	6.71	4.00	-
B-1050-Cal	6.92	-	5.00
B-1050_Sin reponer cianuro	4.19	4.00	-

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 19 se observa la caracterización de la muestra B-1051 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH (cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 91.80, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de 2.10, la gravedad específica fue de 3.10, el porcentaje de solidos es 32.29%, el pH inicial será de 6.5 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 21.64 (g Au /Tm).

Además, la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 19

Caracterización de la muestra B-1051 utilizada en cada una de las 3 pruebas

Muestra	Peso Muestra (kg)	% malla (-m200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Solidos	pH natural	Ley de Cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)	
B-1051_ Soda								—
B-1051_ Cal								—
B-1051_ Sin reponer cianuro	1.00	91.80	2.10	3.10	32.29	6.50	21.64	—

Nota: Elaboración propia

La Tabla 20 presenta el consumo de reactivos de la muestra B-1051 medidos en (kg/Tm) para cada una de las tres pruebas realizadas.

Tabla 20

Consumo de reactivos de la muestra B-1051 para cada una de las tres pruebas realizadas

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (Kg/Tm)	Soda NaOH (Kg/Tm)	Cal CaO (Kg/Tm)
B-1051_ Soda	7.13	2.80	-
B-1051_ Cal	7.97	-	3.50
B-1051_ Sin reponer cianuro	4.19	2.80	-

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 21 se observa la caracterización del sulfuro B-1052 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH (cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 94.30, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de 2.10, la gravedad específica fue de 3.10, el porcentaje de solidos es 32.29%, el pH inicial será de 6.5 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 27.70 (g Au /Tm).

Además, la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 21*Caracterización del sulfuro B-1052 utilizado en cada una de las 3 pruebas*

Muestra	Peso Muestra (kg)	% malla (-m200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Solidos	pH natural	Ley de Cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)
B-1052 Soda							
B-1052 Cal							
B-1052_Sin reponer cianuro	1.00	94.30	2.10	3.10	32.29	6.50	27.70

Nota. Elaboración propia

La Tabla 22 presenta el consumo de reactivos del sulfuro B-1052 medidos en (kg/Tm) para cada una de las tres pruebas realizadas.

Tabla 22*Consumo de reactivos del sulfuro B-1052 para cada una de las tres pruebas realizadas*

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (Kg/Tm)	Soda NaOH (Kg/Tm)	Cal CaO (Kg/Tm)
B-1052_Soda	8.39	350	-
B-1052_Cal	9.02	-	4.50
B-1052_Sin reponer cianuro	4.19	3.50	-

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 23 se observa la caracterización del óxido B-1054 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH (cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio, pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 91.58, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de 2.10, la gravedad específica fue de 3.10, el porcentaje de solidos es 32.29%, el pH inicial será de 6.5 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 27.70 (g Au /Tm).

Además, la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 23

Caracterización del óxido B-1054 utilizado en cada una de las 3 pruebas

Muestra	Peso Muestra (kg)	% malla (-m200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Solidos	pH natural	Ley de Cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)
B-1054_ Soda							
B-1054_ Cal							
B-1054_ Sin reponer cianuro	1.00	91.58	2.10	3.10	32.29	6.50	27.70

Nota: Elaboración propia

La Tabla 24 presenta el consumo de reactivos del óxido B-1054 medidos en (kg/Tm) para cada una de las tres pruebas realizadas.

Tabla 24

Consumo de reactivos del óxido B-1054 para cada una de las tres pruebas realizadas

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (Kg/Tm)	Soda NaOH (Kg/Tm)	Cal CaO (Kg/Tm)
B-1054_ Soda	9.02	3.00	-
B-1054_ Cal	9.44	-	4.00
B-1054_ Sin reponer cianuro	4.19	3.00	-

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 25 se observa la caracterización del óxido B-1055 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH (cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio, pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 92.75, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de 2.05, la gravedad específica fue de 3.00, el porcentaje de solidos es 32.81%, el pH inicial será de 6.5 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 26.34 (g Au /Tm).

Además, la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 25

Caracterización del óxido B-1055 utilizado en cada una de las 3 pruebas

Muestra	Peso Muestra (kg)	% malla (-m200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Solidos	pH natural	Ley de Cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)	—
B-1055_Soda								—
B-1055_Cal	1.00	92.75	2.05	3.00	32.81	6.50	26.34	—
B-1055_Sin reponer cianuro								—

Nota. Elaboración propia

La Tabla 26 presenta el consumo de reactivos del óxido B-1055 medidos en (kg/Tm) para cada una de las tres pruebas realizadas.

Tabla 26

Consumo de reactivos del óxido B-1055 para cada una de las tres pruebas realizadas

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (Kg/Tm)	Soda NaOH (Kg/Tm)	Cal CaO (Kg/Tm)
B-1055_Soda	10.24	4.00	-
B-1055_Cal	7.17	-	6.50
B-1055_Sin reponer cianuro	4.10	4.00	-

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 27 se observa la caracterización del óxido B-1056 la cual se utilizó para tres pruebas, en las dos primeras la variación solo fue el uso del modificador de pH (cal y soda) y la última se realizó utilizando hidróxido de sodio, pero sin reponer el cianuro que se consumió para lixiviar el oro.

Se pueda observar que el peso de la muestra que se utilizó fue de 1kg, el porcentaje pasante de la malla 200 fue de 94.01, el caso de la relación líquido sólido o dilución fue de 2.05, la gravedad específica fue de 3.00, el porcentaje de solidos es 32.81%, el pH inicial será de 6.5 y se trabajó con una ley de cabeza ensayada de 27.22 (g Au /Tm).

Además, la prueba se realizó a una fuerza de cianuro de 0.20%, la frecuencia de las botellas en la mesa de rodillos fue de 70 rpm y la pureza del hidróxido fue de 98%.

Tabla 27*Caracterización del óxido B-1056 utilizado en cada una de las 3 pruebas*

Muestra	Peso Muestra (kg)	% malla (-m200)	Dilución (L/S)	Gravedad Específica	% Solidos	pH natural	Ley de Cabeza Ensayada (g/Tm) (Au)	—
B-1056_Soda								—
B-1056_Cal	1.00	94.01	2.05	3.00	32.81	6.50	27.22	—
B-1056_Sin reponer cianuro								—

Nota. Elaboración propia

La Tabla 28 presenta el consumo de reactivos del óxido B-1056 medidos en (kg/Tm) para cada una de las tres pruebas realizadas

Tabla 28*Consumo de reactivos del óxido B-1056 para cada una de las tres pruebas realizadas*

Muestra	Cianuro de Sodio NaCN (Kg/Tm)	Soda NaOH (Kg/Tm)	Cal CaO (Kg/Tm)
B-1056_Soda	10.24	2.50	-
B-1056_Cal	6.35	-	6.00
B-1056_Sin reponer cianuro	4.10	2.50	-

Nota. Elaboración propia

3.3 Metodología de pruebas metalúrgicas

3.3.1 Preparación mecánica e ingreso de las pruebas a la mesa de rodillos

- La prueba comienza con el ingreso de cada una de las muestras al laboratorio. Cada una de ellas pesa aproximadamente 6 kilos y presenta una granulometría en porcentaje pasante de malla 200 que varía en un rango de 75 a 94%. Las muestras recepcionadas estuvieron secas.
- Se procede a realizar la preparación mecánica para lo cual se pasa malla 10 a toda la muestra.
- Se homogeniza 28 veces y luego se procede a cuartear la muestra haciendo uso del cuarteador rotatorio.
- Luego utilizando el mineral que se encuentra en capachos opuestos se va completando el peso de aproximadamente 1.5 kg.

- Se procede a sacar malla en húmedo de la muestra para lo cual se cuarteo 50 g y se pasa malla 200, luego se deja secar la muestra por aproximadamente 5 minutos y se pesa el porcentaje pasante de malla 200. La fórmula que utilizamos para calcular dicho porcentaje es el siguiente:

$$\%m-200 = \frac{50 - \text{peso seco pasante de malla 200}}{50} * 100$$

- Si es que el porcentaje pasante de malla 200 resulta mayor al 88% se comienza con la prueba si no es el caso, se procede a pulverizar la muestra hasta obtener dicha granulometría la cual no debe ser mayor al 94% por lo cual es importante controlar tu tiempo de pulverizado.
- Se procede a realizar el proceso para encontrar la gravedad específica de la muestra para lo cual se utiliza el método de la fiola haciendo uso de 8.5g de la muestra.
- Una vez que tenemos la gravedad podemos calcular la dilución la cual fue distinta para cada una de las pruebas debido a que trabajamos con distintos tipos de minerales óxidos, sulfuros y mixtos.
- Una vez que tenemos la granulometría correcta y la dilución procedemos a cuarteo un 1 kilo de mineral para la prueba, 150 gramos para realizar el análisis químico por el método de retalla o Newmont y 100 gramos aproximadamente para analizar los contaminantes de la muestra.
- Finalmente procedemos a agregar agua, mineral, cal o soda y cianuro para que así empezar con la lixiviación del mineral en la botella.

3.3.2 Titulación de soluciones cianuradas.

- El proceso de titulación y posterior control de las pruebas de lixiviación se realizó a las 2, 6, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 horas de iniciada la prueba para lo cual se filtra la pulpa y se obtiene 5 ml de solución clarificada que se procede a titular utilizando nitrato de plata y rodamina como indicador la solución vira a un color rojizo. Luego se procede a compensar el cianuro consumido, para el caso de cada una de las

muestras, las 2 primeras pruebas si se agregó cianuro según lo requerido y la última prueba se realizó sin reposición de cianuro.

- En cada uno de los controles se extraen aproximadamente 15 ml de solución clarificada y se mandan a analizar por el método de absorción atómica con la finalidad de obtener la cinética de disolución del oro para cada una de las muestras (% Recuperación vs Tiempo).
- Luego de las 72 horas se titula la muestra y se procede a lavar la pulpa resultante o relave que se obtuvo en cada una de las pruebas.

3.3.3 *Parámetros de la prueba de lixiviación en botella*

La prueba de lixiviación en botella se realizó bajo los siguientes parámetros:

Malla	: 88% - malla 200
pH	: 10.5 a 11
Fuerza cianuro	: 0.20% o 2000 ppm
Peso de mineral	: 1 kg
RPM de las botellas	: 70

3.4 Materiales y equipos

- Lona de plástico
- Malla Tyler número 10
- Cuarteador rotatorio
- Cucharones
- Cruceta
- Malla Tyler número 200
- Fiola
- Probeta de plástico de 1L.
- Agua
- Botellas de plástico con capacidad para 20 litros
- Mesa de rodillos a una frecuencia de 70 RPM
- Embudos de plástico

- Medidor multiparámetro
- Papel filtro
- Cal
- Soda caustica
- Cianuro de sodio
- Rodamina
- Probetas de vidrio de 25 ml y vasos precipitados de 20 ml
- Papel filtro
- Bureta digital
- Rodamina
- Nitrato de plata

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Análisis de resultados de lixiviación

En la Tabla 29 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1045, la primera utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1045 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 90.6% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 86.2% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 83.5%, esto quiere decir que para el B-1045 el uso de hidróxido de sodio como modificador de pH favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 29

Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1045

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1045									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1045 _ Soda	0.0	87.9	87.9	88.3	89.5	89.8	89.4	89.8	90.6
B-1045 _ Cal	0.0	83.3	83.3	83.5	84.0	84.8	86.5	86.6	86.2
B-1045 _ Sin reponer cianuro	0.0	82.1	82.7	82.9	83.5	83.8	83.6	82.9	83.5

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 30 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1046, la primera utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1046 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 98.5% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 97.8% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó

hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 98.1%, esto quiere decir que para el B-1046 el uso de hidróxido de sodio como modificador de pH favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 30

Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1046

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1046									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1046 _ Soda	0.0	94.2	94.3	95.9	96.6	97.7	97.9	98.7	98.5
B-1046 _ Cal	0.0	88.1	89.9	91.7	94.2	96.9	97.7	97.9	97.8
B-1046 _ Sin reponer cianuro	0.0	89.9	94.2	94.9	95.0	96.9	98.2	98.5	98.1

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 31 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1047, la primera utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1047 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 96.3% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 94.4% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 94.8%, esto quiere decir que para el B-1047 el uso de hidróxido de sodio como modificador de pH favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 31

Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1047

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1047									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1047 _ Soda	0.0	86.3	92.4	94.9	96.3	95.8	95.5	96.4	96.3
B-1047 _ Cal	0.0	88.1	89.8	92.0	91.3	92.5	92.9	94.7	94.4
B-1047 _ Sin reponer cianuro	0.0	84.2	91.3	91.8	92.1	91.8	92.3	93.3	94.8

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 32 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1048, la primera utilizó hidróxido

de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1048 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 91.2% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 90.9% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 90.4%, esto quiere decir que para el B-1048 el uso de hidróxido de sodio como modificador de pH favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 32

Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1048

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1048									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1048 _ Soda	0.0	70.8	88.3	90.0	90.5	90.2	90.3	90.9	91.2
B-1048 _ Cal	0.0	72.0	88.4	89.4	89.0	89.0	89.9	90.8	90.9
B-1048 _ Sin reponer cianuro	0.0	70.2	87.9	88.4	88.6	89.6	90.2	90.3	90.4

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 33 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1049, la primera utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1049 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 91.3% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 91.2% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 91.0%, esto quiere decir que para el B-1049 el uso de hidróxido de sodio como modificador de pH favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 33*Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1049*

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1049									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1049 _ Soda	0.0	85.6	90.6	90.7	90.9	90.9	90.8	91.2	91.3
B-1049 _ Cal	0.0	84.5	88.9	89.9	90.0	90.6	90.7	91.1	91.2
B-1049 _ Sin reponer cianuro	0.0	84.1	88.2	89.0	89.5	90.4	90.4	91.0	91.0

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 34 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1050, la primera utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1050 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 91.6% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 92.0% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 91.9%, esto quiere decir que para el B-1050 el uso de cal como modificador de pH favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 34*Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1050*

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1050									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1049 _ Soda	0.0	88.3	83.5	86.8	86.8	88.0	88.6	91.6	91.6
B-1049 _ Cal	0.0	91.0	86.3	88.7	89.8	91.0	91.5	91.4	92.0
B-1049 _ Sin reponer cianuro	0.0	92.2	85.5	89.7	87.6	90.5	91.1	91.4	91.9

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 35 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1051, la primera utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1051 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 90.3% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 90.2% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 90.6%, esto quiere decir que para el B-1051 el uso de soda como modificador de pH y la no reposición de cianuro en los controles favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 35

Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1051

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1051									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1051 _ Soda	0.0	87.4	89.4	89.7	89.4	90.1	90.7	90.3	90.3
B-1051 _ Cal	0.0	88.3	88.7	88.7	89.1	89.0	89.4	89.7	90.2
B-1051 _ Sin reponer cianuro	0.0	87.5	89.6	89.7	89.3	90.7	90.3	90.4	90.6

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 36 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1052, la primera utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1052 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 67.5% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 67.1% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 69.5%, esto quiere decir que para el B-1052 el uso de soda como modificador de pH y la no reposición de cianuro en los controles favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 36*Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1052*

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1052									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1052 _ Soda	0.0	68.0	68.1	70.8	70.4	69.3	70.7	70.7	67.5
B-1052 _ Cal	0.0	66.4	65.8	69.5	70.9	67.9	69.5	70.8	67.1
B-1052 _ Sin reponer cianuro	0.0	68.1	67.6	71.8	72.9	70.0	70.0	69.7	69.5

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 37 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1054, la primera utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1054 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 89.6% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 88.7% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 92.4%, esto quiere decir que para el B-1054 el uso de soda como modificador de pH y la no reposición de cianuro en los controles favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 37*Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1054*

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1054									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1054 _ Soda	0.0	73.7	78.0	80.7	80.6	79.0	84.3	84.5	89.6
B-1054 _ Cal	0.0	74.1	79.3	83.8	83.8	81.8	82.8	83.9	88.7
B-1054 _ Sin reponer cianuro	0.0	80.1	86.9	86.7	86.6	92.7	92.7	92.3	92.4

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 38 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1055, la primera utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero

no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1055 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 88.0% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 88.3% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 90.0%, esto quiere decir que para el B-1055 el uso de soda como modificador de pH y la no reposición de cianuro en los controles favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 38

Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1055

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1055									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1055 _ Soda	0.0	69.6	79.3	79.7	81.9	83.6	85.3	86.3	88.0
B-1055 _ Cal	0.0	72.2	81.3	82.2	85.8	84.0	85.9	87.0	88.3
B-1055 _ Sin reponer cianuro	0.0	70.3	83.6	86.5	88.5	86.4	89.0	89.3	90.0

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 39 se observa la recuperación del oro en cada uno de los intervalos de tiempo para las tres pruebas realizadas con la muestra B-1056, la primera utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica, la segunda utilizó cal y la tercera utilizó hidróxido de sodio pero no se repuso el cianuro que se consumía en cada uno de los intervalos de tiempo para los cuales se hizo los controles.

Para el caso de la muestra B-1056 se pudo observar que a las 72 horas de iniciada la prueba, la recuperación utilizando hidróxido fue del 89.9% para el caso de la cal se obtuvo un porcentaje de 90.5% de recuperación y para el caso de la prueba que utilizó hidróxido pero que no hubo reposición de cianuro, el porcentaje final de oro que se pudo recuperar fue de 89.9%, esto quiere decir que para el B-1056 el uso de cal como modificador de pH favoreció a la recuperación del oro.

Tabla 39*Recuperación del Oro (%) con el transcurso de tiempo (h) para la muestra B-1056*

Recuperación del Au (%) vs Tiempo (h) para la muestra B-1056									
Muestra	0 h	2 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
B-1056 _ Soda	0.0	72.8	80.1	81.1	82.1	84.4	86.1	88.5	89.9
B-1056 _ Cal	0.0	75.5	84.6	84.9	88.1	89.1	89.9	89.0	90.5
B-1056 _ Sin reponer cianuro	0.0	73.8	81.2	81.5	83.2	85.0	86.5	88.6	89.9

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 40 observamos que en las muestras oxidadas (B-1045, B-1046, B-1047, B-1054 y B-1055), el uso del hidróxido de sodio como modificador de pH en las pruebas favoreció a la recuperación del oro luego de las 72 horas de iniciada las pruebas. Sin embargo para la muestra oxidada B-1056 el uso de la cal favoreció en mayor medida a la recuperación. Además, en las muestras oxidadas B-1054 y B-1055 no fue necesario reponer el cianuro para obtener la mayor recuperación en comparación con las otras dos pruebas que se hicieron para cada una de estas muestras.

En cuanto a las muestras de sulfuro (B-1048, B-1049 y B-1052), el hidróxido de sodio tuvo un rendimiento muy bueno en términos de porcentajes de recuperación, especialmente en las muestras B-1048 y B-1049. Por otra parte, la muestra B-1052 tuvo la mayor recuperación sin necesidad de reponer el cianuro que se había consumido en el transcurso de la prueba.

En el caso de los minerales mixtos, la muestra B-1050 obtuvo la mayor recuperación haciendo uso de la cal por el contrario en la muestra B-1051, el uso del hidróxido de sodio como modificador de pH y la no reposición de cianuro favorecieron a la mayor recuperación de oro en la prueba.

De las 11 pruebas realizadas con distintos tipos de mineral, 9 de ellas tuvieron la mayor recuperación de oro utilizando al hidróxido de sodio como modificador de pH por lo cual la sosa cáustica se reveló como el reactivo más eficaz para recuperar el oro de este tipo de muestras comprobando una de nuestras hipótesis iniciales. Este compuesto químico obtuvo las recuperaciones más altas en la mayor parte de las pruebas, especialmente en las muestras que eran de tipo oxidado y sulfurado. La recuperación de

oro promedio obtenida en las pruebas en las cuales el hidróxido de sodio obtuvo un mayor beneficio fue de 90%.

Tabla 40

Mayores recuperaciones (%) obtenidas en las pruebas de acuerdo con el modificador de pH utilizado y al tipo de mineral

MUESTRA	TIPO	MODIFICADOR DE PH DE MAYOR RECUPERACIÓN			Recuperación (%) 72h
		Soda	Cal	Soda y sin reponer cianuro	
B-1045	OXIDO	X			90.6
B-1046	OXIDO	X			98.5
B-1047	OXIDO	X			96.3
B-1048	SULFURO	X			91.2
B-1049	SULFURO	X			91.3
B-1050	MIXTO		X		92.0
B-1051	MIXTO			X	90.6
B-1052	SULFURO			X	69.5
B-1054	OXIDO			X	92.4
B-1055	OXIDO			X	90.0
B-1056	OXIDO		X		90.5

Nota: Elaboración propia

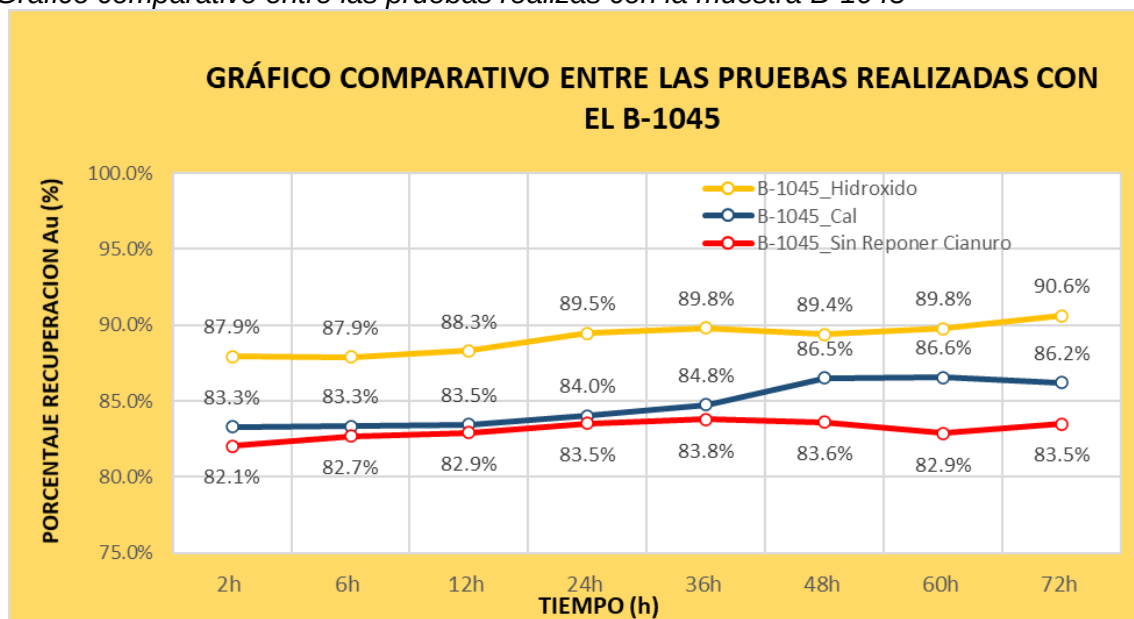
4.2 Análisis comparativo del porcentaje de recuperación del oro

En esta parte se presentarán las gráficas comparativas de cada muestra y se podrá visualizar de una mejor manera el porcentaje de recuperación con el transcurrir del tiempo (h) para cada una de las tres pruebas que se realizaron por cada muestra.

En la Figura 12 se puede observar que en la muestra B-1045 se obtuvo una mayor recuperación cuando se utilizó al hidróxido de sodio como modificador de pH (línea amarilla). Además se observa que las pruebas que usaron hidróxido sin reposición de cianuro (línea roja) y cal (línea azul) tuvieron recuperaciones similares hasta las 36 h después de ese periodo de tiempo la prueba que utilizó cal obtuvo una mayor recuperación en comparación con la otra prueba.

Figura 12

Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con la muestra B-1045

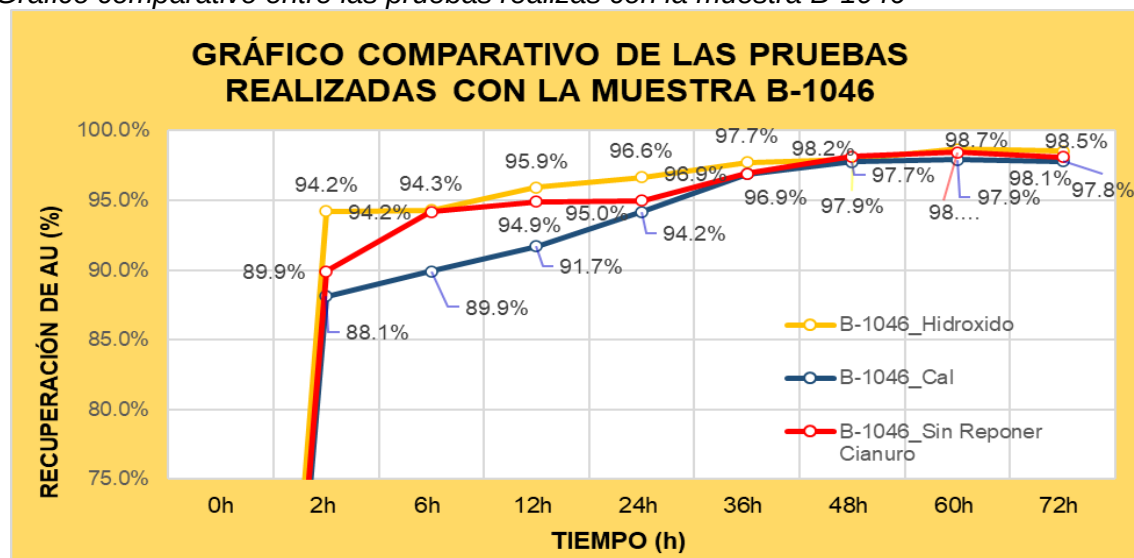


Nota: Elaboración propia

En la Figura 13 se puede observar que para la muestra B-1046 las pruebas que utilizaron hidróxido de sodio como modificador de pH (línea amarilla y línea roja) tuvieron una mayor recuperación en comparación con la prueba que hizo uso de la cal (línea azul) para todo el tiempo de lixiviación de la muestra.

Figura 13

Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con la muestra B-1046

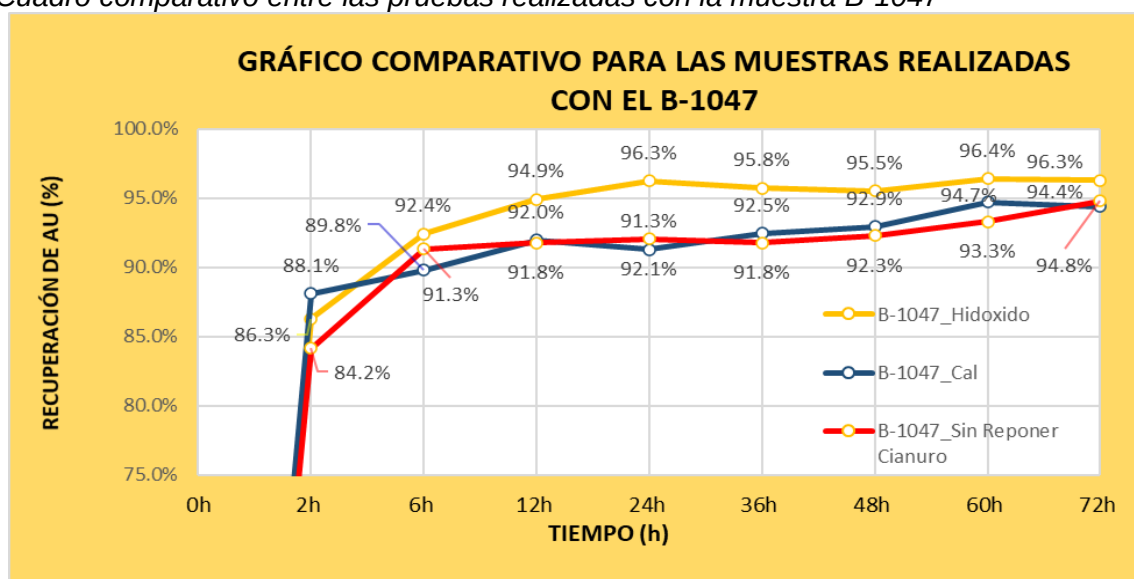


Nota: Elaboración propia

Para el caso de la muestra B-1047 podemos observar que durante las primeras dos horas la recuperación de las tres pruebas fue prácticamente similar, sin embargo, a las 2 horas la prueba con cal (línea azul) tuvo una mayor recuperación. Además, en la gráfica se puede observar que a partir de las 6 horas hasta el final de la prueba (72 horas), la muestra con hidróxido de sodio (línea amarilla) tuvo la mayor recuperación de oro en porcentaje.

Figura 14

Cuadro comparativo entre las pruebas realizadas con la muestra B-1047

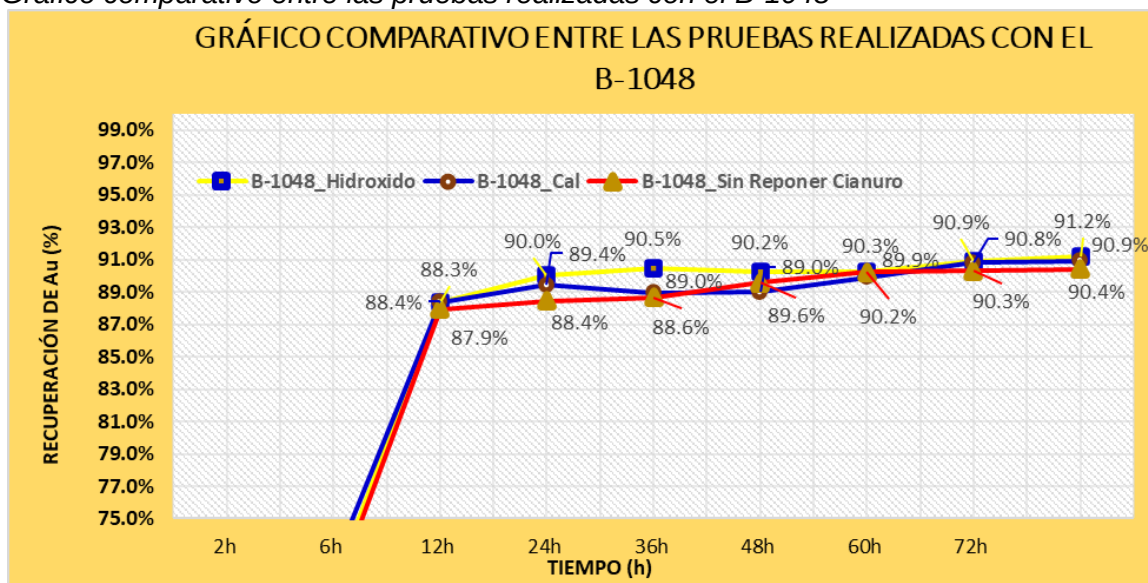


Nota: Elaboración propia

Ahora, con la muestra sulfurosa B-1048 vemos una interesante dinámica. En las primeras 12 horas la recuperación en las pruebas fue casi similar. A partir de las 24 h la recuperación del oro en la prueba que utilizó hidróxido de sodio fue mayor en comparación con las otras dos pruebas (línea amarilla). Por otro lado las líneas de las pruebas realizadas con cal (línea azul) e hidróxido sin reposición de cianuro (línea roja) estuvieron entrecruzándose a partir de las 12 horas, en el rango de 12 a 24 y 60 a 72 horas la recuperación de la prueba con cal fue superior pero en el periodo de tiempo comprendido entre las 24 y 60 horas la recuperación fue mayor con hidróxido de sodio y sin reposición de cianuro.

Figura 15

Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1048

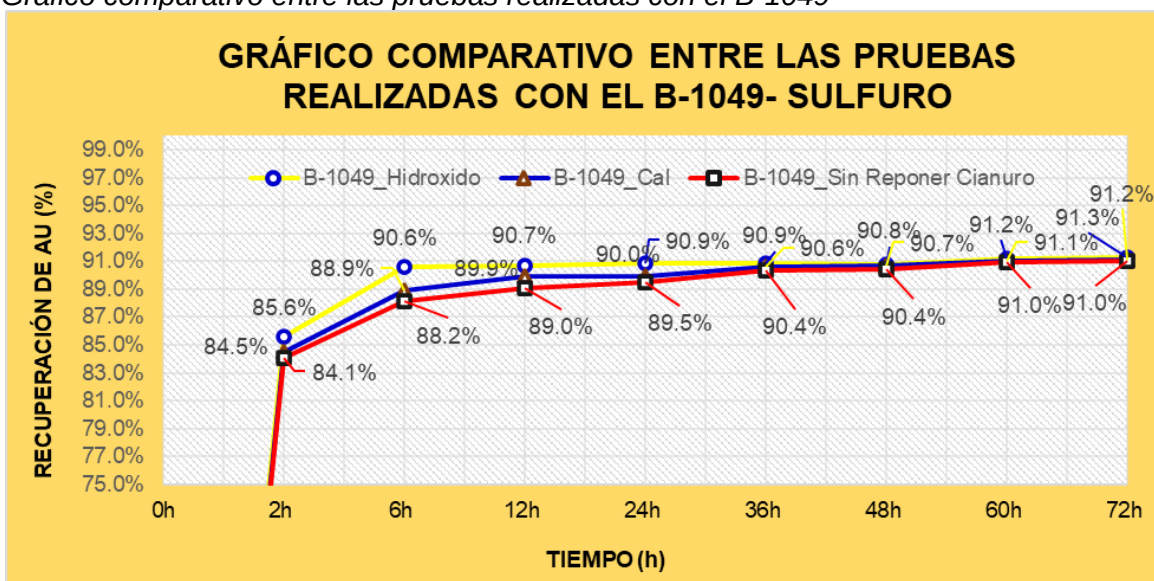


Nota: Elaboración propia

En el caso de la muestra sulfurosa B-1049, se observa que en todo momento la recuperación de la prueba utilizando hidróxido de sodio (línea amarilla) fue mayor, sin embargo, gráficamente observamos que a partir de las 36 horas la diferencia entre las recuperaciones de las 3 pruebas fue prácticamente insignificante es decir las gráficas prácticamente se superpusieron. Estadísticamente la diferencia en las recuperaciones en este periodo de tiempo no fue mayor al 1%.

Figura 16

Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1049

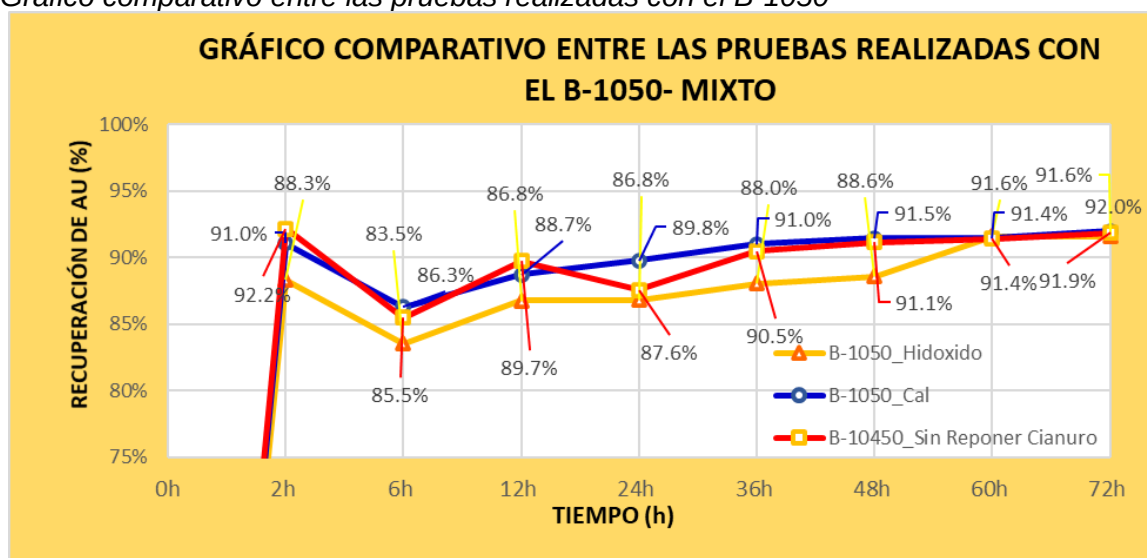


Nota: Elaboración propia

Para el B-1050, las dos primeras horas la prueba que utilizó hidróxido de sodio y no hubo reposición de cianuro tuvo la mayor recuperación (línea roja). Además notamos que hasta las 60 horas la prueba con hidróxido de sodio (línea amarilla) tuvo la menor recuperación pero luego de este periodo de tiempo y hasta el final de la prueba es decir desde las 60 hasta las 72 horas la prueba con hidróxido tuvo la mayor recuperación. Finalmente observamos que en el grafico las líneas se superponen entre las 60 y 72 horas debido a que la diferencia entre las recuperaciones de las pruebas es menor al 1%.

Figura 17

Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1050

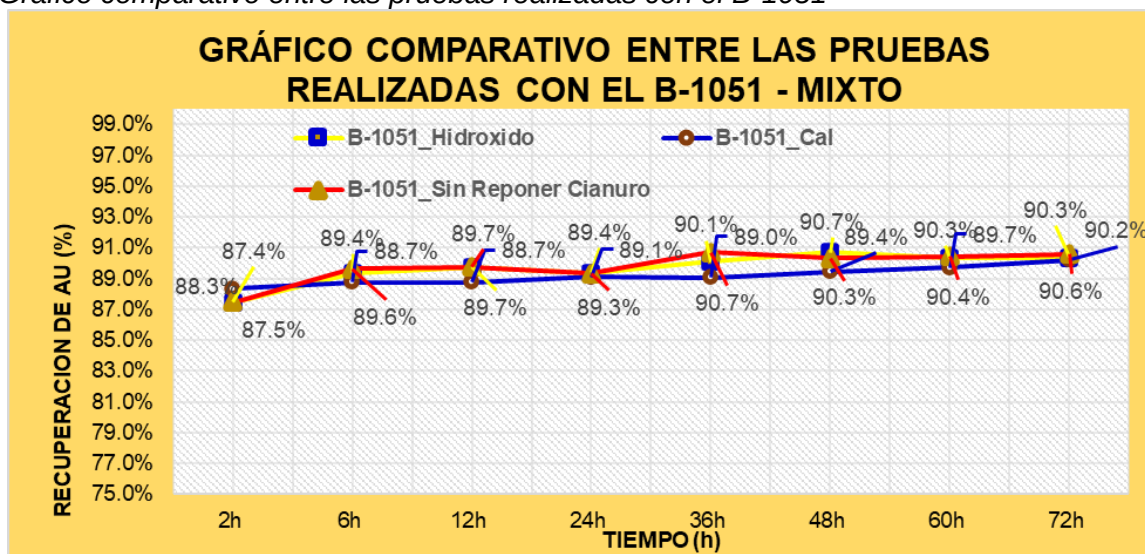


Nota: Elaboración propia

En la muestra mixta B-1051, las tres pruebas mostraron porcentajes de recuperación de oro muy cercanos pero dinámicos durante todas las horas acumuladas. En las dos primeras horas, la prueba con cal obtuvo una mayor recuperación (línea azul), entre las 2 y 24 horas la prueba con hidróxido de sodio y sin reponer cianuro obtuvo la mayor recuperación (línea roja), entre las 24 y 36 horas la prueba con hidróxido obtuvo la mayor recuperación (línea amarilla), entre las 36 y 48 horas la prueba con hidróxido y sin reponer cianuro nuevamente obtuvo la mayor recuperación, entre las 48 y 60 horas la prueba con hidróxido nuevamente tuvo la mayor recuperación y finalmente desde las 60 hasta las 72 horas la prueba con hidróxido y sin reponer cianuro tuvo la mayor recuperación siendo la recuperación final de esta prueba de 90.6%.

Figura 18

Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1051

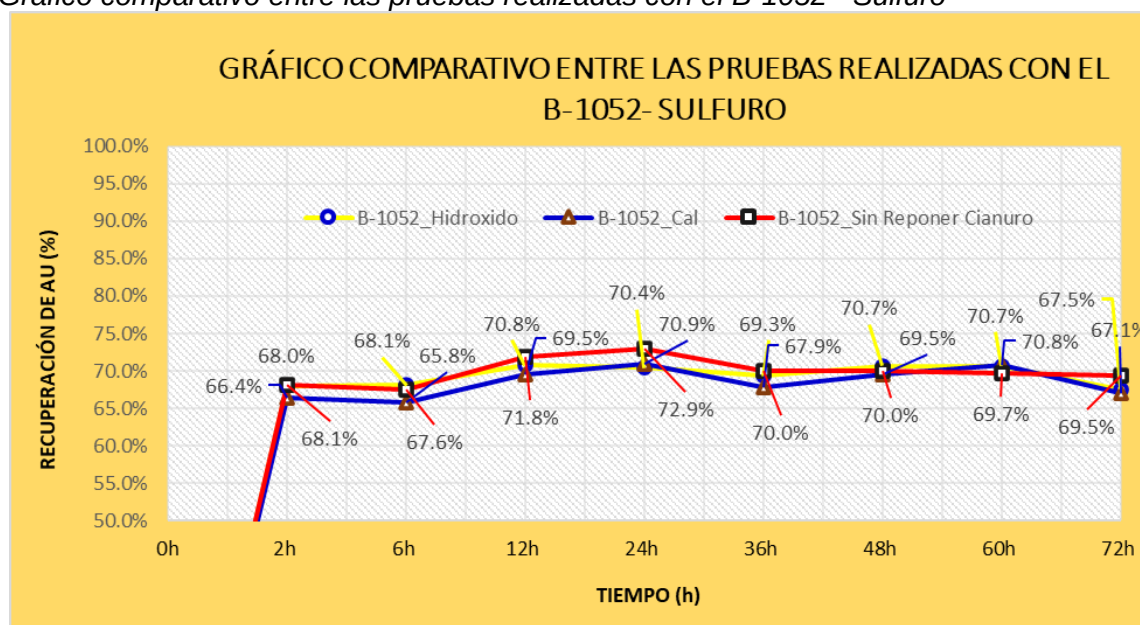


Nota: Elaboración propia

En la muestra B-1052 se observa la menor recuperación en comparación con las otras muestras, en las dos primeras las pruebas con hidróxido (línea roja y línea amarilla) mostraban una recuperación muy similar, desde las 2 hasta las 6 horas la prueba con hidróxido y sin reponer cianuro tenía la mayor recuperación, desde las 6 hasta las 12 horas la prueba con hidróxido obtuvo la mayor recuperación, desde las 12 hasta las 48 horas la prueba con hidróxido y sin reponer cianuro nuevamente obtuvo la mayor recuperación, desde las 48 hasta las 60 horas nuevamente la línea amarilla estuvo por encima. Finalmente desde las 60 hasta las 72 horas la prueba con cal obtuvo la mayor recuperación pero al final de la prueba o luego de las 72 horas la prueba con hidróxido y sin reponer cianuro obtuvo la mayor recuperación en comparación con las otras dos pruebas con un 69.5%

Figura 19

Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1052 - Sulfuro

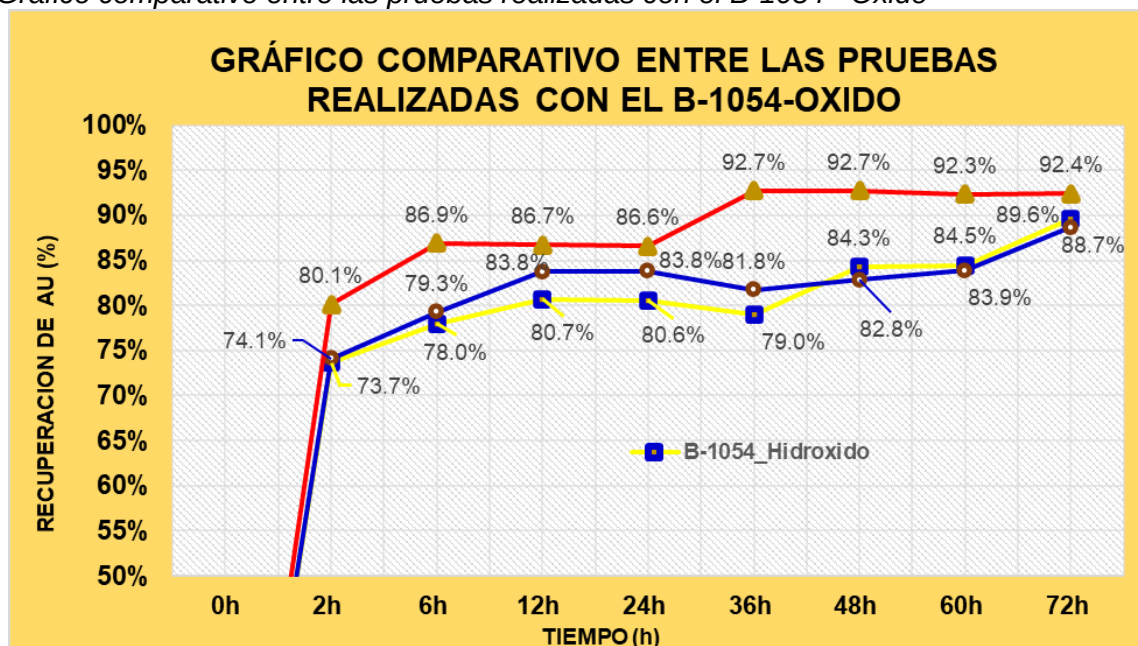


Nota: Elaboración propia

En las pruebas realizadas con el B-1054, se observó que a lo largo de las 72 horas la mayor recuperación se obtuvo utilizando hidróxido de sodio y no reponiendo cianuro en esta prueba la recuperación fue desde un 80.1% a las dos horas hasta alcanzar un 92.4% a las 72 horas. La curva de adsorción del oro para esta prueba (línea roja) se separó ampliamente de las otras dos desde el inicio de la prueba, quedando finalmente las recuperaciones del hidróxido de sodio en un 89.6% y la cal con un 88.7% muy por debajo de la recuperación de la prueba con hidróxido y sin reposición del agente lixiviante.

Figura 20

Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1054 - Óxido

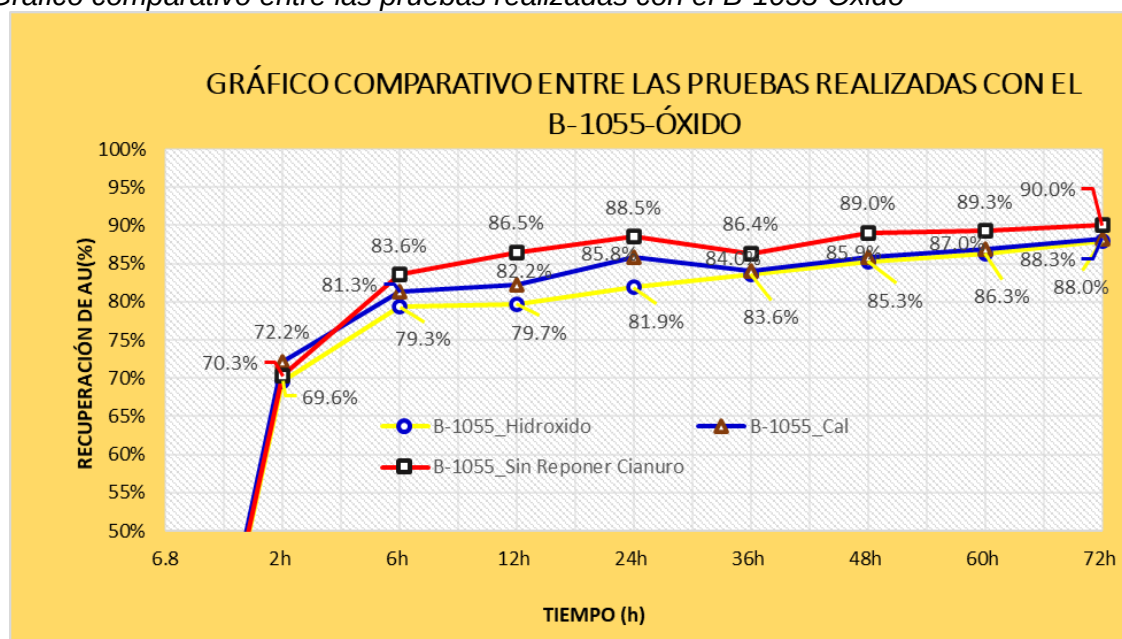


Nota: Elaboración propia

De forma similar, en la muestra B-1055 se observó que en las dos primeras horas de lixiviación la prueba con cal obtuvo la mayor recuperación con 72.2% pero desde las 2 horas hasta el término de la prueba a las 72 horas, la mayor recuperación se obtuvo utilizando hidróxido de sodio y sin reposición de cianuro (línea roja) finalizando con un 90% de recuperación de oro. Además notamos que la prueba con cal (línea azul) tiene una mayor recuperación que la prueba con hidróxido (línea amarilla) en todo momento de la prueba. Las recuperaciones finales de estas pruebas fueron de 88.3% para la prueba con cal y 88.0% para la prueba con hidróxido.

Figura 21

Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1055-Óxido

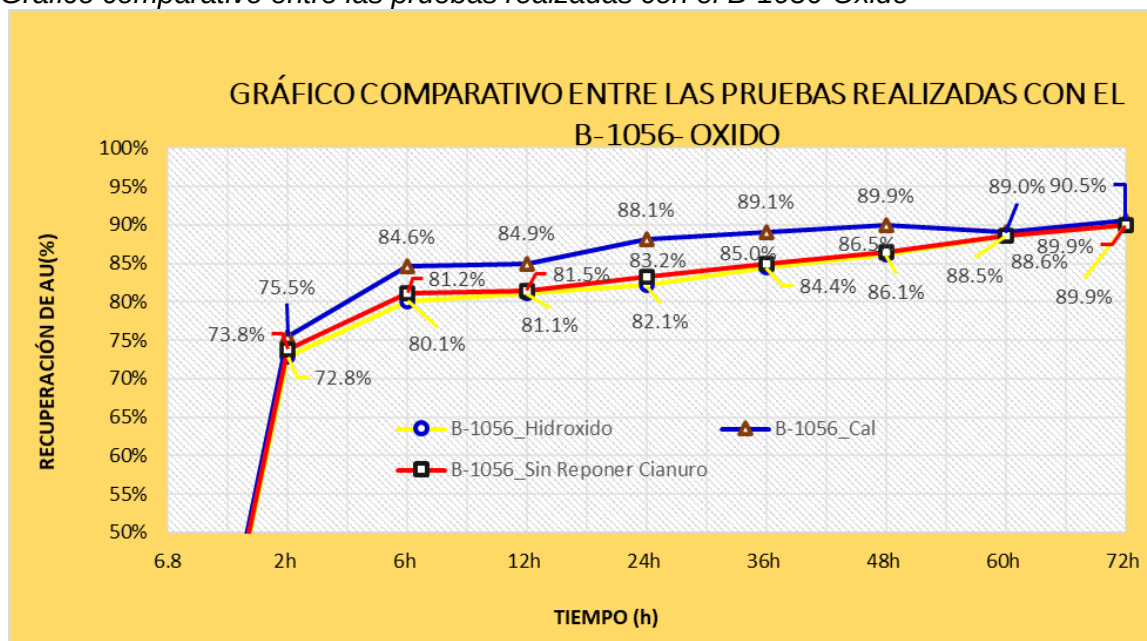


Nota: Elaboración propia

Para la muestra oxidada B-1056 fue la cal la que obtuvo el mayor porcentaje de recuperación con un 90.5%. La recuperación en la prueba que usó este reactivo modificador fue superior a las recuperaciones de las otras dos pruebas en todo el proceso de lixiviación. Además, en las pruebas con hidróxido, la prueba que no tuvo reposición de cianuro (línea roja) tuvo una mejor recuperación que la prueba que si hubo reposición (línea amarilla) en las primeras 60 horas pero en el rango de 60 a 72 horas las dos pruebas obtuvieron el mismo porcentaje de recuperación con 89.9% para cada una de ellas.

Figura 22

Gráfico comparativo entre las pruebas realizadas con el B-1056-Óxido



Nota: Elaboración propia

En esta búsqueda por maximizar las recuperaciones de oro en las muestras, cada uno de los tres métodos analizados demostró tener ciertas ventajas dependiendo de la naturaleza de la muestra a tratar. El hidróxido de sodio se destacó ampliamente en los casos de muestras oxidadas, alcanzando los porcentajes más altos como un 98.5% en el B-1046, 96.3% en el B-1047, 89.6% en el B-1054 y 89.9% en el B-1056. Pero este compuesto químico también obtuvo la mayor recuperación con las muestras sulfurosas, logrando máximos de 91.2% en el B-1048 y 91.3% en el B-1049. Por su parte, la cal también tuvo buenos resultados en las 72 horas acumuladas con algunas muestras mixtas, obteniendo recuperaciones de 92% en el B-1050 y 90.5% en la muestra oxidada B-1056. En el caso del método en el cual se utilizó hidróxido de sodio y no se repuso el cianuro consumido también tuvo buenos resultados con respecto a sus recuperaciones teniendo la recuperación más alta de todas 92.4% en la muestra oxidada B-1054, así como un 90% en la también oxidada B-1055 y un porcentaje de 69.5% en el caso de la muestra sulfurosa B-1052. Como podemos ver, aunque el hidróxido se perfiló como un buen modificador y el cual ayuda a una mejor recuperación del oro de casi todas las muestras, hubo pruebas en las cuales los otros dos métodos también tuvieron buenos resultados.

4.3 Interpretación de resultados de adsorción

En los siguientes cuadros y gráficas que se van a presentar a continuación se podrá observar cómo es que el efecto de los modificadores de pH y la no reposición cianuro afectan a la adsorción del oro en la solución.

Tabla 41

Porcentaje de adsorción de B-1045, B-1046, B-1047

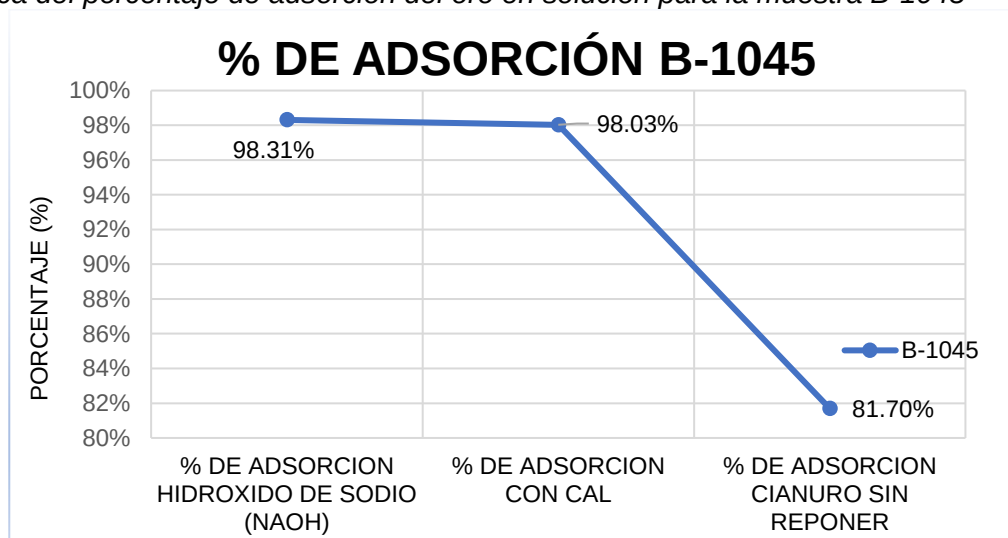
Muestra	% DE ADSORCIÓN		
	% DE ADSORCIÓN HIDRÓXIDO DE SODIO (NAOH)	% DE ADSORCIÓN CON CAL	% DE ADSORCIÓN CIANURO SIN REPONER
B-1045	98.31%	98.03%	81.70%
B-1046	97.86%	97.60%	96.62%
B-1047	98.11%	98.15%	95.07%

Nota. Elaboración propia

Con respecto a la gráfica de adsorción del oro en solución para la muestra B-1045 podemos observar que la adsorción es mayor en el caso de la muestra que utilizó hidróxido con un 98.31%, por otro lado, la adsorción de la prueba con cal fue de 98.03%, sin embargo, el hidróxido tuvo un muy bajo porcentaje de adsorción en la prueba que no se repuso el cianuro consumido con solamente un 81.70%.

Figura 23

Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1045

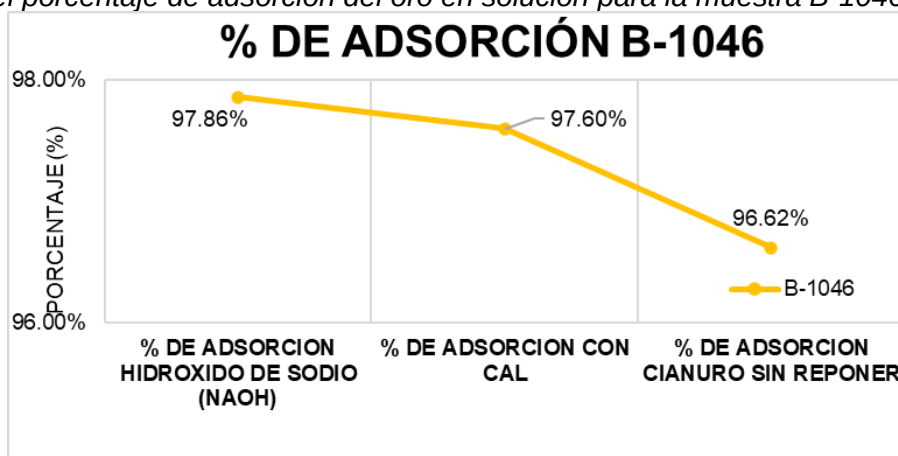


Nota. Elaboración propia

Con respecto a la gráfica de adsorción del oro en solución para la muestra B-1046 podemos observar que la adsorción es mayor en el caso de la muestra que utilizó hidróxido con un 97.86%, por otro lado, la adsorción de la prueba con cal fue de 97.60%, sin embargo, el hidróxido tuvo un porcentaje más bajo de adsorción en la prueba que no se repuso el cianuro consumido con un 96.62 %.

Figura 24

Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1046

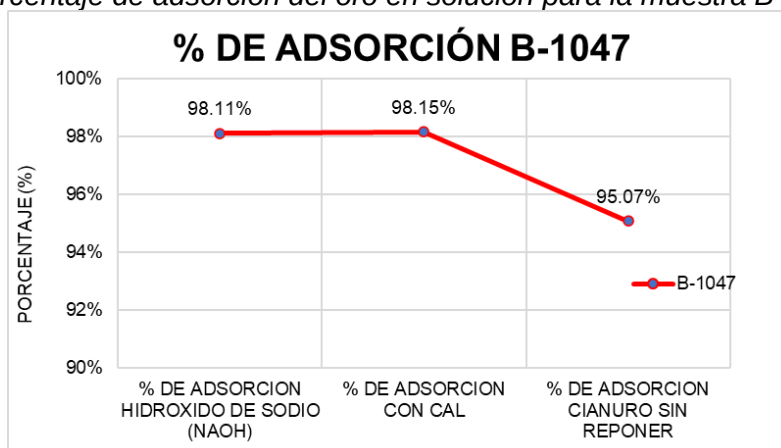


Nota: Elaboración propia

Con respecto a la gráfica de adsorción del oro en solución para la muestra B-1047 podemos observar que la adsorción es mayor en el caso de la muestra que utilizó hidróxido con un 98.11%, por otro lado, la adsorción de la prueba con cal fue de 98.15%, sin embargo, el hidróxido tuvo un porcentaje más bajo de adsorción en la prueba que no se repuso el cianuro consumido con un 95.07 %.

Figura 25

Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1047



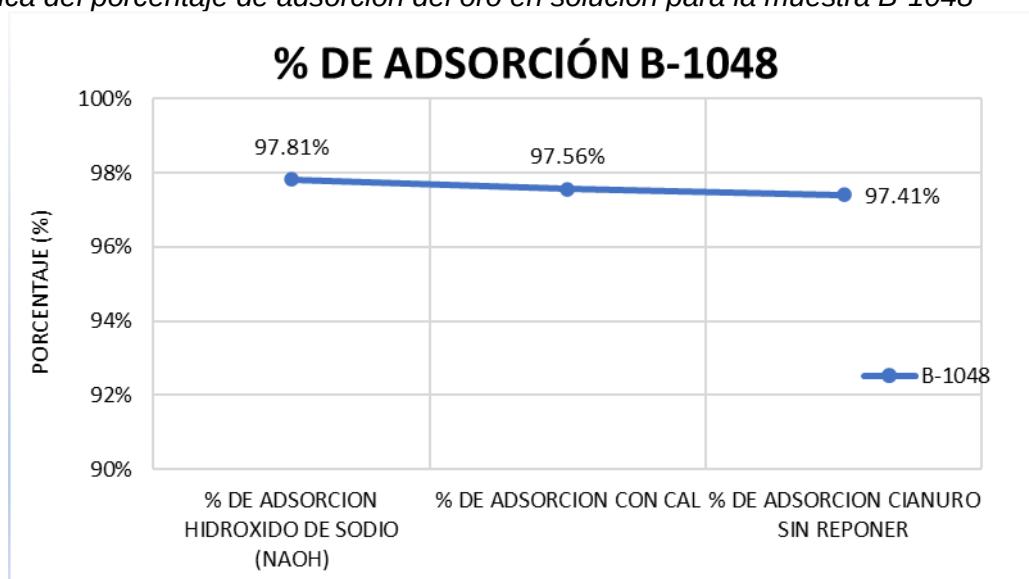
Nota: Elaboración propia

Tabla 42*Porcentaje de adsorción de B-1048, B-1049, B-1050*

Muestra	% DE ADSORCIÓN		
	% DE ADSORCION HIDROXIDO DE SODIO (NAOH)	% DE ADSORCION CON CAL	% DE ADSORCION CIANURO SIN REPONER
B-1048	97.81%	97.56%	97.41%
B-1049	98.10%	98.21%	98.18%
B-1050	97.36%	97.50%	97.44%

Nota: Elaboración propia

Con respecto a la gráfica de adsorción del oro en solución para la muestra B-1048 podemos observar que la adsorción es mayor en el caso de la muestra que utilizó hidróxido con un 97.81%, por otro lado, la adsorción de la prueba con cal fue de 97.56%, sin embargo, el hidróxido tuvo un porcentaje más bajo de adsorción en la prueba que no se repuso el cianuro consumido con un 97.41 %.

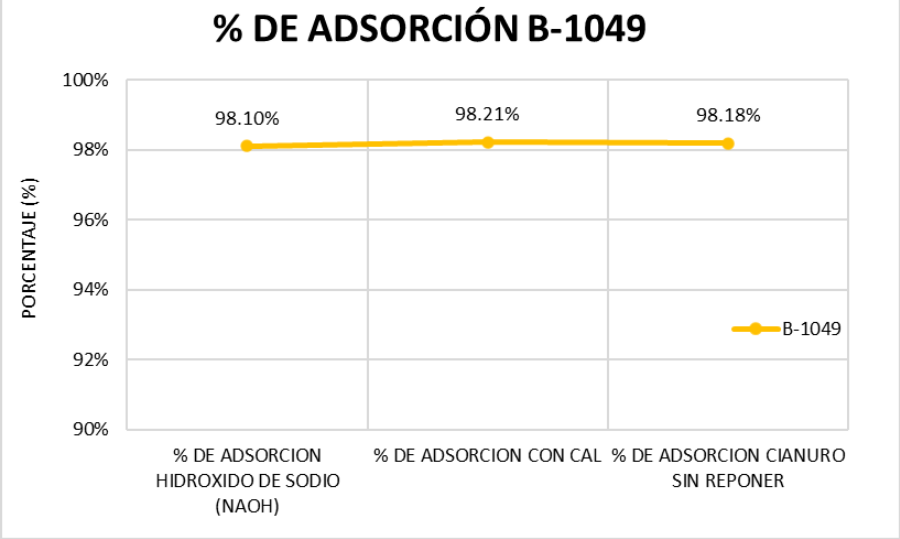
Figura 26*Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1048**Nota:* Elaboración propia

En la Figura 27 podemos observar que la adsorción del oro en solución para la muestra B-1049 es mayor para la prueba que utilizó cal como agente modificador de pH con un 98.21%. Además, se observa que las pruebas que utilizaron hidróxido tuvieron porcentajes de adsorción similares, para la prueba que utilizó hidróxido y hubo reposición

de cianuro el porcentaje de adsorción fue de 98.10% y para la prueba en la que no hubo reposición el porcentaje fue de 98.18%.

Figura 27

Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1049

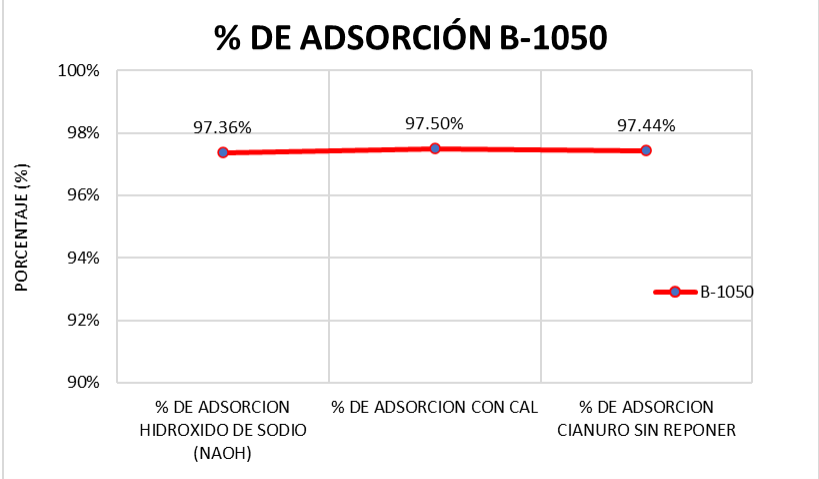


Nota: Elaboración propia

En la Figura 28 podemos observar que la adsorción del oro en solución para la muestra B-1050 es mayor para la prueba que utilizó cal como agente modificador de pH con un 97.50%. Además, se observa que las pruebas que utilizaron hidróxido tuvieron porcentajes de adsorción similares, para la prueba que utilizó hidróxido y hubo reposición de cianuro el porcentaje de adsorción fue de 97.36% y para la prueba en la que no hubo reposición el porcentaje fue de 97.44%.

Figura 28

Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1050



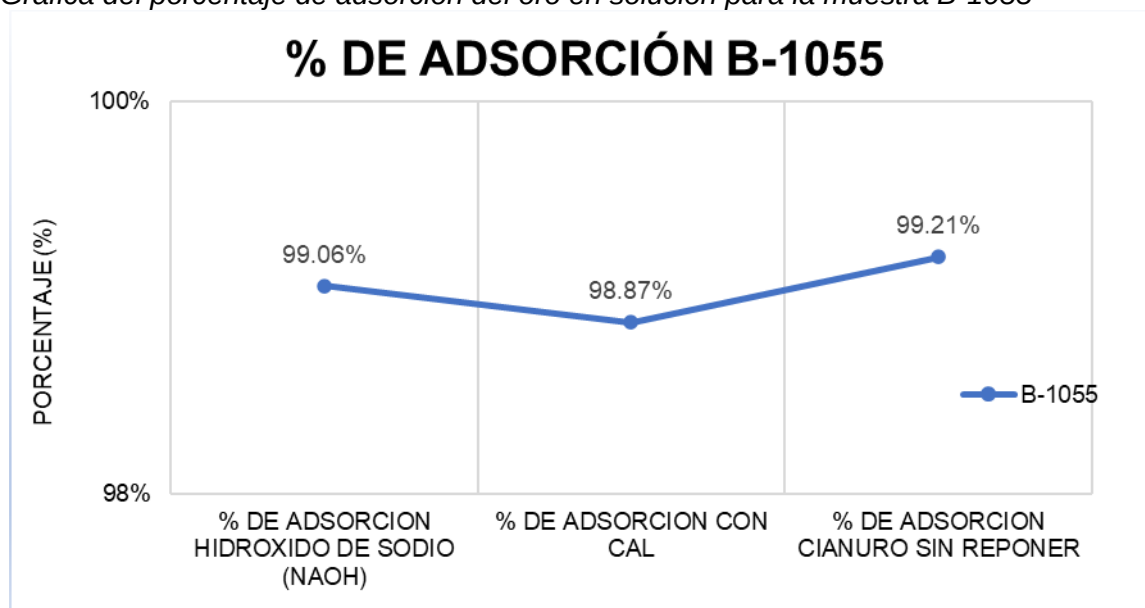
Nota: Elaboración propia

Tabla 43*Porcentaje de adsorción de B-1055, B-1056*

% DE ADSORCIÓN			
Muestra	% DE ADSORCION HIDROXIDO DE SODIO (NAOH)	% DE ADSORCION CON CAL	% DE ADSORCION CIANURO SIN REPONER
B-1055	99.06%	98.87%	99.21%
B-1056	99.02%	99.02%	99.25%

Nota: Elaboración propia

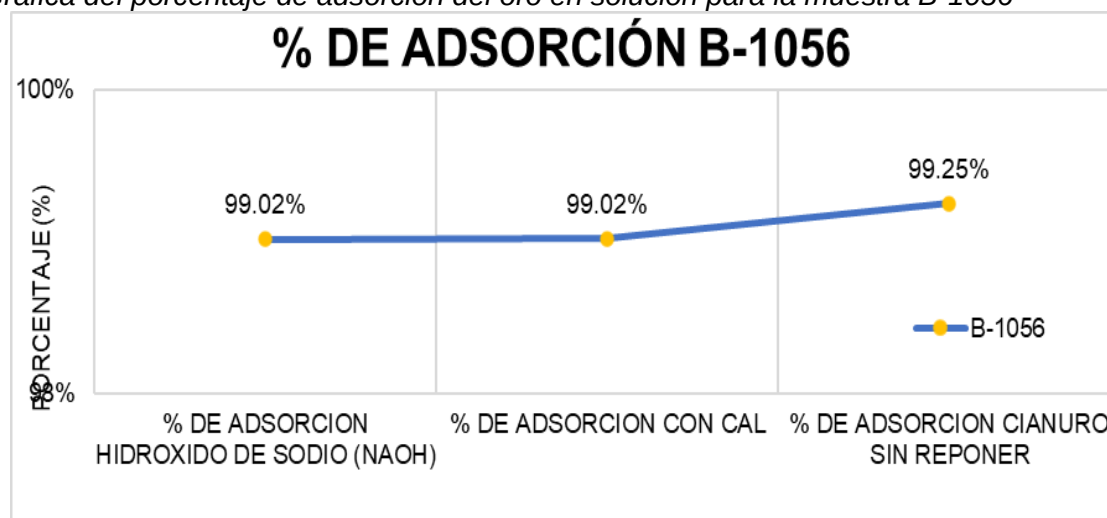
Para la muestra B-1055 podemos observar que la adsorción del oro en las pruebas que utilizaron hidróxido es muy similar, la prueba en la cual si hubo reposición de cianuro tuvo un porcentaje de adsorción del 99.06 y la prueba en la cual no hubo reposición tuvo un porcentaje de adsorción del 99.21. Por otro lado el menor porcentaje de adsorción se presentó en la prueba en la cual se utilizó cal con un 98.87%.

Figura 29*Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1055**Nota:* Elaboración propia

En este último gráfico para el B-1056 podemos observar que el porcentaje de adsorción del oro en solución es mayor para la prueba que utilizó hidróxido y no hubo reposición de cianuro siendo finalmente la adsorción para esta prueba del 99.25%. Por otra parte, observamos que el porcentaje de adsorción fue el mismo para las pruebas que utilizaron hidróxido y cal con un 99.02%.

Figura 30

Gráfica del porcentaje de adsorción del oro en solución para la muestra B-1056



Nota: Elaboración propia

Al examinar los resultados porcentuales de adsorción en las diferentes muestras, encontramos que el hidróxido de sodio logró un 98.31% de adsorción en la muestra B-1045, un 97.86% en el B-1046 y un 98.11% en el B-1047, destacando como el método más efectivo para estas pruebas. La cal, por su parte, obtuvo un mayor porcentaje de adsorción en la muestra B-1049 el cual fue de 98.21% y superó ligeramente al hidróxido con un 98.15% en la B-1047. El cianuro sin reponer, si bien tuvo porcentajes como un 96.62% en el B-1046 y 95.07% en el B-1047, resaltó al alcanzar un 99.21% de adsorción en la muestra B-1055 y 99.25% en el B-1056, superando a los otros dos métodos en estas muestras. En general, los tres enfoques lograron altos niveles de adsorción, por encima del 95% en la mayoría de las muestras como por ejemplo un 97.81% con hidróxido, 97.56% con cal y 97.41% con hidróxido y sin reponer cianuro en la muestra B-1048. Sin embargo, hubo sutiles variaciones; por ejemplo, en el B-1050 la cal obtuvo 97.50%, ligeramente por encima del 97.36% del hidróxido. Estos resultados sugieren que, si bien los tres métodos fueron efectivos, la naturaleza de cada muestra pudo influir en sus desempeños, requiriendo un análisis más profundo para determinar el enfoque óptimo según las características específicas del mineral.

4.4 Evaluación del costo del consumo de Hidróxido y Cal.

En las Tablas 44 y 45 correspondiente a la muestra B-1048, se analiza una muestra de 500 TM con una ley de 24.61 g/TM. Se comparan los ingresos y gastos de usar hidróxido de sodio (soda) y cal como modificadores de pH para el procesamiento de dicha muestra. Con la soda se obtuvo una recuperación del 91.2% lo cual trajo un beneficio de \$ 747,395.86 y con la cal se obtuvo una recuperación de 90.9% lo cual trajo un beneficio de \$ 744,937.32.

Por otro lado, el consumo de soda fue de 3.5 kg/TM, lo que causó un gasto de \$1204.0 y la cal tuvo un consumo de 4.5 kg/TM ocasionando un gasto de \$294.8. Por lo cual habría un beneficio neto de \$1549.3 al usar soda como modificador de pH para procesar la muestra B-1048.

Tabla 44

Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1048

INGRESOS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1048						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Ley (g/Tm)	Finos de Au (g)	Recuperación	Gramos de Au recuperados (g)	Ingresos (\$)
SODA	500	24.61	12305	0.912	11222.16	\$ 747,395.86
CAL				0.909	11185.245	\$ 744,937.32

Nota: Elaboración propia

Tabla 45

Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1048

GASTOS (\$) Y GANANCIAS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1048						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Consumo (kg/Tm)	Consumo (kg)	Gasto en el modificador (\$)	Ganancia Neta (\$)	Diferencia en las ganancias (\$)
SODA	500	3.5	1750.0	1204.0	\$ 746,191.86	1549.3
CAL		4.5	2250.0	294.8	\$ 744,642.57	

Nota: Elaboración propia

En las Tablas 46 y 47 correspondiente a la muestra B-1049, se analiza una muestra de 500 TM con una ley de 24.87 g/TM. Se comparan los ingresos y gastos de usar hidróxido de sodio (soda) y cal como modificadores de pH para el procesamiento de dicha muestra. Con la soda se obtuvo una recuperación del 91.3% lo cual trajo un beneficio de \$

756,120.12 y con la cal se obtuvo una recuperación de 91.2% lo cual trajo un beneficio de \$ 755,291.95.

Por otro lado, el consumo de soda fue de 3.8 kg/TM, lo que causó un gasto de \$1307.0 y la cal tuvo un consumo de 4.7 kg/TM ocasionando un gasto de \$307.9. Por lo cual habría un beneficio neto de \$171.2 al usar soda como modificador de pH para procesar la muestra B-1049.

Tabla 46

Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1049

INGRESOS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1049						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Ley (g/Tm)	Finos de Au (g)	Recuperación	Gramos de Au recuperados (g)	Ingresos (\$)
SODA	500	24.87	12435	0.913	11353.155	\$ 756,120.12
CAL				0.912	11340.72	\$ 755,291.95

Nota: Elaboración propia

Tabla 47

Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1049

GASTOS (\$) Y GANANCIAS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1049						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Consumo (kg/Tm)	Consumo (kg)	Gasto en el modificador (\$)	Ganancia Neta (\$)	Diferencia en las ganancias (\$)
SODA	500	3.8	1900.0	1307.2	\$ 754,812.92	171.2
CAL		4.7	2350.0	307.9	\$ 754,984.10	

Nota: Elaboración propia

En las Tablas 48 y 49 correspondiente a la muestra B-1050, se analiza una muestra de 500 TM con una ley de 24.87 g/TM. Se comparan los ingresos y gastos de usar hidróxido de sodio (soda) y cal como modificadores de pH para el procesamiento de dicha muestra. Con la soda se obtuvo una recuperación del 91.3% lo cual trajo un beneficio de \$ 756,120.12 y con la cal se obtuvo una recuperación de 91.2% lo cual trajo un beneficio de \$ 755,291.95.

Por otro lado, el consumo de soda fue de 3.8 kg/TM, lo que causó un gasto de \$1307.0 y la cal tuvo un consumo de 4.7 kg/TM ocasionando un gasto de \$307.9. Por lo cual habría un beneficio neto de \$171.2 al usar soda como modificador de pH para procesar la muestra B-1049.

Tabla 48*Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1050*

INGRESOS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1050						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Ley (g/Tm)	Finos de Au (g)	Recuperación	Gramos de Au recuperados (g)	Ingresos (\$)
SODA	500	23.45	11725	0.916	10740.1	\$ 715,290.66
CAL				0.920	10787	\$ 718,414.20

Nota: Elaboración propia**Tabla 49***Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1050*

GASTOS (\$) Y GANANCIAS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1050						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Consumo (kg/Tm)	Consumo (kg)	Gasto en el modificador (\$)	Ganancia Neta (\$)	Diferencia en las ganancias (\$)
SODA	500	4.0	2000.0	1376.0	\$ 713,914.66	4172.0
CAL		5.0	2500.0	327.5	\$ 718,086.70	

Nota: Elaboración propia

En las Tablas 50 y 51 correspondiente a la muestra B-1051, se analiza una muestra de 500 TM con una ley de 21.64 g/TM. Se comparan los ingresos y gastos de usar hidróxido de sodio (soda) y cal como modificadores de pH para el procesamiento de dicha muestra. Con la soda se obtuvo una recuperación del 90.3% lo cual trajo un beneficio de \$ 650,712.64 y con la cal se obtuvo una recuperación de 90.2% lo cual trajo un beneficio de \$ 649,992.02.

Por otro lado, el consumo de soda fue de 2.8 kg/TM, lo que causó un gasto de \$963.2 y la cal tuvo un consumo de 3.5 kg/TM ocasionando un gasto de \$229.3. Por lo cual habría un pequeño beneficio de \$13.3 al usar cal como modificador de pH para procesar la muestra B-1051.

Tabla 50*Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1051*

INGRESOS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1051						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Ley (g/Tm)	Finos de Au (g)	Recuperación	Gramos de Au recuperados (g)	Ingresos (\$)
SODA	500	21.64	10820	0.903	9770.46	\$ 650,712.64
CAL				0.902	9759.64	\$ 649,992.02

Nota: Elaboración propia

Tabla 51*Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1051*

GASTOS (\$) Y GANANCIAS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1051						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Consumo (kg/Tm)	Consumo (kg)	Gasto en el modificador (\$)	Ganancia Neta (\$)	Diferencia en las ganancias (\$)
SODA	500	2.8	1400.0	963.2	\$ 649,749.44	13.3
CAL		3.5	1750.0	229.3	\$ 649,762.77	

Nota: Elaboración propia

En las tablas 52 y 53 correspondiente a la muestra B-1052, se analiza una muestra de 500 TM con una ley de 27.70 g/TM. Se comparan los ingresos y gastos de usar hidróxido de sodio (soda) y cal como modificadores de pH para el procesamiento de dicha muestra. Con la soda se obtuvo una recuperación del 67.5% lo cual trajo un beneficio de \$ 622,626.75 y con la cal se obtuvo una recuperación de 67.1% lo cual trajo un beneficio de \$ 618,937.11.

Por otro lado, el consumo de soda fue de 3.5 kg/TM, lo que causó un gasto de \$1204.0 y la cal tuvo un consumo de 4.5 kg/TM ocasionando un gasto de \$294.8. Por lo cual habría un beneficio neto de \$2780.4 al usar soda como modificador de pH para procesar la muestra B-1052.

Tabla 52*Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1052*

INGRESOS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1052						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Ley (g/Tm)	Finos de Au (g)	Recuperación	Gramos de Au recuperados (g)	Ingresos (\$)
SODA	500	27.7	13850	0.675	9348.75	\$ 622,626.75
CAL				0.671	9293.35	\$ 618,937.11

Nota: Elaboración propia

Tabla 53*Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1052*

GASTOS (\$) Y GANANCIAS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1052						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Consumo (kg/Tm)	Consumo (kg)	Gasto en el modificador (\$)	Ganancia Neta (\$)	Diferencia en las ganancias (\$)
SODA	500	3.5	1750.0	1204.0	\$ 621,422.75	2780.4
CAL		4.5	2250.0	294.8	\$ 618,642.36	

Nota: Elaboración propia

En las Tablas 54 y 55 a la muestra B-1054, se analiza una muestra de 500 TM con una ley de 24.79 g/TM. Se comparan los ingresos y gastos de usar hidróxido de sodio (soda) y cal como modificadores de pH para el procesamiento de dicha muestra. Con la soda se obtuvo una recuperación del 89.6% lo cual trajo un beneficio de \$ 739,654.27 y con la cal se obtuvo una recuperación de 88.7% lo cual trajo un beneficio de \$ 732,224.71.

Por otro lado, el consumo de soda fue de 3 kg/TM, lo que causó un gasto de \$1032.0 y la cal tuvo un consumo de 4 kg/TM ocasionando un gasto de \$262.0. Por lo cual habría un beneficio neto de \$6659.6 al usar soda como modificador de pH para procesar la muestra B-1054.

Tabla 54

Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1054

INGRESOS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1054						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Ley (g/Tm)	Finos de Au (g)	Recuperación	Gramos de Au recuperados (g)	Ingresos (\$)
SODA	500	24.79	12395	0.896	11105.92	\$ 739,654.27
CAL				0.887	10994.365	\$ 732,224.71

Nota: Elaboración propia

Tabla 55

Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1054

GASTOS (\$) Y GANANCIAS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1054						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Consumo (kg/Tm)	Consumo (kg)	Gasto en el modificador (\$)	Ganancia Neta (\$)	Diferencia en las ganancias (\$)
SODA	500	3.0	1500.0	1032.0	\$ 738,622.27	6659.6
CAL		4.0	2000.0	262.0	\$ 731,962.71	

Nota: Elaboración propia

En las Tablas 56 y 57 correspondiente a la muestra B-1055, se analiza una muestra de 500 TM con una ley de 26.34 g/TM. Se comparan los ingresos y gastos de usar hidróxido de sodio (soda) y cal como modificadores de pH para el procesamiento de dicha muestra. Con la soda se obtuvo una recuperación del 88.0% lo cual trajo un beneficio de \$ 771,867.36 y con la cal se obtuvo una recuperación de 88.3% lo cual trajo un beneficio de \$ 774,498.73.

Por otro lado, el consumo de soda fue de 4 kg/TM, lo que causó un gasto de \$1376.0 y la cal tuvo un consumo de 6.5 kg/TM ocasionando un gasto de \$425.8. Por lo cual habría un beneficio neto de \$3581.6 al usar cal como modificador de pH para procesar la muestra B-1055.

Tabla 56

Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1055

INGRESOS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1055						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Ley (g/Tm)	Finos de Au (g)	Recuperación	Gramos de Au recuperados (g)	Ingresos (\$)
SODA	500	26.34	13170	0.880	11589.6	\$ 771,867.36
CAL				0.883	11629.11	\$ 774,498.73

Nota: Elaboración propia

Tabla 57

Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1055

GASTOS (\$) Y GANANCIAS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1055						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Consumo (kg/Tm)	Consumo (kg)	Gasto en el modificador (\$)	Ganancia Neta (\$)	Diferencia en las ganancias (\$)
SODA	500	4.0	2000.0	1376.0	\$ 770,491.36	3581.6
CAL		6.5	3250.0	425.8	\$ 774,072.98	

Nota: Elaboración propia

En las Tablas 58 y 59 correspondiente a la muestra B-1056, se analiza una muestra de 500 TM con una ley de 27.22 g/TM. Se comparan los ingresos y gastos de usar hidróxido de sodio (soda) y cal como modificadores de pH para el procesamiento de dicha muestra. Con la soda se obtuvo una recuperación del 89.9% lo cual trajo un beneficio de \$ 814,876.97 y con la cal se obtuvo una recuperación de 90.5% lo cual trajo un beneficio de \$ 820,315.53.

Por otro lado, el consumo de soda fue de 2.5 kg/TM, lo que causó un gasto de \$860.0 y la cal tuvo un consumo de 6 kg/TM ocasionando un gasto de \$393.0. Por lo cual habría un beneficio neto de \$5905.6 al usar cal como modificador de pH para procesar la muestra B-1056.

Tabla 58*Evaluación de los ingresos (\$) en el procesamiento del B-1056*

INGRESOS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1056						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Ley (g/Tm)	Finos de Au (g)	Recuperación	Gramos de Au recuperados (g)	Ingresos (\$)
SODA	500	27.22	13610	0.899	12235.39	\$ 814,876.97
CAL				0.905	12317.05	\$ 820,315.53

Nota: Elaboración propia**Tabla 59***Evaluación de los gastos y las ganancias en el procesamiento del B-1056*

GASTOS (\$) Y GANANCIAS (\$) EN EL PROCESAMIENTO DEL B-1056						
Modificador	Tonelaje (Tm)	Consumo (kg/Tm)	Consumo (kg)	Gasto en el modificador (\$)	Ganancia Neta (\$)	Diferencia en las ganancias (\$)
SODA	500	2.5	1250.0	860.0	\$ 814,016.97	5905.6
CAL		6.0	3000.0	393.0	\$ 819,922.53	

Nota: Elaboración propia

En el análisis general de costos en el procesamiento de las muestras B-1048, B-1049, B-1050, B-1051, B-1052, B-1054, B-1055 y B-1056. Notamos que para las muestras B-1048, B-1051, B-1052, B-1054 se obtiene un mayor beneficio neto al usar soda como modificador de pH en el procesamiento de dichas muestras para un tonelaje de 500 Tm. Por el contrario, para las muestras B-1049, B-1050, B-1055 y B-1056 se obtiene un mayor beneficio neto usando cal como modificador de pH. Lo anteriormente mencionado se puede resumir en la Tabla 60.

Tabla 60*Evaluación del modificador que ocasionó un mayor beneficio en el procesamiento de las muestras analizadas*

Muestra	MAYOR BENEFICIO		Ganancia Neta (\$)
	SODA	CAL	
B-1048	X		1549.30
B-1049		X	171.20
B-1050		X	4172.00
B-1051	X		13.30
B-1052	X		2780.40
B-1054	X		6659.60
B-1055		X	3581.60
B-1056		X	5905.60

Nota: Elaboración propia

Conclusiones

De las 11 pruebas realizadas con distintos tipos de mineral (óxidos, sulfuros y mixtos), 9 de ellas tuvieron la mayor recuperación de oro utilizando al hidróxido de sodio como modificador de pH, por lo cual, concluimos que la sosa cáustica es el reactivo más eficaz para recuperar el oro de este tipo de muestras.

La recuperación de oro promedio obtenida en las 9 pruebas en las cuales el hidróxido de sodio obtuvo un mayor beneficio fue de 90%.

La recuperación más alta se obtuvo en la muestra oxidada B-1046 y fue 98.5%, esta muestra uso soda como modificador de pH, por el contrario, la recuperación más baja se observó en la muestra sulfurada B-1052 y fue de 69.5%, esta muestra uso soda pero no hubo reposición de cianuro en la prueba.

En las muestras oxidadas y sulfuradas la mayor recuperación se obtuvo con hidróxido de sodio y para las muestras mixtas se observó una recuperación similar al usar soda o cal.

El mayor porcentaje de adsorción del oro en solución se obtuvo en la muestra oxidada B-1056 con un 99.25% esta muestra uso hidróxido de sodio como modificador de pH pero no hubo reposición de cianuro en dicha prueba, por el contrario, el porcentaje de adsorción más bajo se observó en la muestra mixta B-1050 con un 97.10%, esta muestra uso cal como modificador de pH.

El promedio del mayor porcentaje de adsorción en las pruebas que en las cuales se utilizó hidróxido de sodio fue de 98.49%, por otro lado, las pruebas en las cuales se hizo uso de la cal alcanzaron un media de adsorción del 97.95%.

Al realizar el análisis del costo-beneficio de las pruebas se pudo concluir que si había una mayor recuperación a favor de uno u otro reactivo, entonces finalmente este reactivo traería consigo un mayor beneficio. Es decir la recuperación tiene un papel fundamental en el análisis costo-beneficio dejando de lado el costo del reactivo.

La mayor diferencia entre las ganancias netas de uno u otro reactivo se obtuvo en la muestra oxidada B-1054 con un balance a favor de la soda en \$6,659.60, por el contrario, la menor diferencia entre las ganancias se obtuvo en el mixto B-1051, en el cual la diferencia neta entre ambos reactivos tuvo un resultado favorable para la soda de solo \$13.30.

Recomendaciones

Usar hidróxido de sodio (soda) como modificador de pH para minerales auríferos sulfurados y oxidados.

Realizar un estudio para evaluar cómo están afectando los elementos contaminantes a los resultados obtenidos en la cianuración en las diferentes muestras, ya que debido a estos elementos cianicidas no se puede llegar a las recuperaciones óptimas que se estiman en el proceso.

Investigar la posibilidad de emplear una combinación de cal y soda cáustica, o alternarse su uso en diferentes etapas del proceso de lixiviación, con el fin de aprovechar las ventajas de cada una y minimizar sus limitaciones.

Evaluar los resultados obtenidos en una planta piloto para poder verificar que los resultados obtenidos a nivel laboratorio vayan acorde con las recuperaciones que se producen en planta.

Desarrollar modelos matemáticos y simulaciones computacionales que permitan predecir de manera más precisa el comportamiento de la lixiviación con diferentes agentes modificadores de pH, en función de las características específicas del mineral y las condiciones operativas.

Realizar un análisis económico detallado que compare los costos asociados al uso de cal o soda cáustica, incluyendo aspectos como eficiencia energética, manejo de residuos y recuperación final de oro, para determinar cuál opción es más rentable a nivel industrial.

Fomentar la colaboración entre la industria minera, los centros de investigación y las universidades, con el fin de compartir conocimientos, experiencias y recursos para abordar de manera más efectiva los desafíos relacionados con la lixiviación de minerales auríferos.

Referencias bibliográficas

- Apablaza, A., Díaz, D., Rodríguez, E., & Vera, S. (s.f.). *Estudio Cinético de lixiviación de Oro*. Universidad Técnica Federico Santa María Valparaíso, 1-6.
<https://acortar.link/LAhwZ5>
- Berrosapi, C. (2023). *Tratamiento metalúrgico a los relaves para la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú S.A.C. Lima – 2022*. http://45.177.23.200/bitstream/undac/3494/1/T026_70521440_T.pdf
- Cardenas, D. (2020). *Evaluación de la ampliación de un circuito de cianuración de minerales auríferos de alta ley en Huaca – Condesuyos*.
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b85ccad0-b54f-40d7-9122-10d09a75af9d/content>
- Cárdenas, F., Díaz, M., Guajardo, C., & Oliva, M. (2011). *Lixiviación de minerales mediante pilas y bateas*. Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Choquehuanca Medina, F. (2023). *Optimización del proceso CIP para la recuperación de oro en la planta de beneficio SMRL acumulación los rosales localidad Huancasaya Vilque Puno* [Tesis de Grado, Universidad de Nacional del Altiplano].
http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/20664/Choquehuanca_Medina_Fiorela_Enma.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cordova, Y. (2019). *Evaluación metalúrgica a los minerales auríferos para la obtención del oro en la Compañía Minera Arias S.A – Huasahuasi, Tarma – 2018*
http://45.177.23.200/bitstream/undac/1598/1/T026_47323967_T.pdf
- Cueva, J. (2022). *Análisis de las pérdidas de cianuro en los procesos de lixiviación de los minerales de oro en la planta de carbón en pulpa en minera aurífera Calpa S.A.*
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8887/TESIS%20DE%20CUEVA%20BALBIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Domínguez, D. (2024). Recuperación de oro del mineral arsenopirita por cianuración en pilas de minas artesanales de Colcabamba - 2017.
https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/5943/T033_42806622_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fundamentos-de-lixiviacion.PDF. (s/f). Google Docs. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de https://drive.google.com/file/d/1fIRvIA048ce4WfkYVz_KOK6Xb-0_xwQ2/view
- Gutiérrez, L. (2017). *Estudio del tratamiento de minerales sulfurados auríferos mediante procesos secuenciales de flotación, lixiviación alcalina, biolixiviación y cianuración para la recuperación de oro.*
https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/6616/Gutierrez_fl.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Hernández, J., Rivera, I., Patiño, F., & Juárez, J. C. (2013). *Estudio cinético de la lixiviación de plata en el Sistema $S_2O_3(2-)-O_2-Cu^{2+}$ contenido en residuos minero-metalúrgicos.* Información Tecnológica, 24(1), 51-58.
<https://doi.org/10.4067/s0718-07642013000100007>
- Huaman, N., & Ramos, H. (2024). *Mejora en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa.*
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4165/1/T026_70274985_T.pdf
- Huarca, A., & Mantilla, D. (2023). Optimización de la concentración de cianuro y granulometría del mineral en la extracción del oro por el proceso carbón en lixiviación en la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos-Ayacucho.
http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/8099/253T20230630_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- J. Vinals, C. Nunez, & O. Herreros (1995), *Kinetics of Aqueous Chlorination of Gold in Suspended Particles*, Hydrometallurgy, 38 (2), 125–147.
[https://doi.org/10.1016/0304-386X\(95\)94407-N](https://doi.org/10.1016/0304-386X(95)94407-N)

Lopez, V. (2018). *Las variables operativas de flotación de los minerales sulfurados de cobre -oro y la mejora de las recuperaciones del oro y zinc en la planta de beneficio cazaderos de la provincia del Oro - Ecuador.*

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4871/Lopez%20Galvan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mallma Palomino, C. Y Peinado Pacheco, C. (2009). *La soda caustica en la cianuración de concentrados de oro en minera Ananea Puno.* [Tesis de Grado, Universidad de Sonora].

Martínez Peñuñuri, R. (2012). *Manual de operaciones: planta adsorción desorción y reactivación (ADR) de la mina el Chanate* [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

<http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/1007/1/martinezpenunurirodrigo.pdf>

Merizalde Robles, J. y Vivanco Suarez, B. (2020). *Recuperación de oro en la lixiviación alcalina por agitación utilizando Goldmax como agente alternativo al cianuro de sodio.* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Machala].

http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15660/1/T-3583_MERIZALDE%20ROBLES%20JESSICA%20STEFANIA.pdf

Molina, A. (2021). *Uso de gold max en la lixiviación de oro y plata en la zona minera de Rinconada - Puno.*

<http://164.68.119.42/bitstream/handle/20.500.13028/3701/Uso%20de%20Gold%20Max%20en%20la%20lixiviación%20de%20oro%20y%20plata%20en%20la%20zona%20minera%20de%20Rinconada%20-%20Puno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Norman, C. (2023). *Influencia de la concentración de reactivos en la eficiencia de recuperación del oro a partir de minerales polimetálicos.*

<https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d95b269f-688b-4585-9a7e-536932ccbff1/content>

- Poma, J. (2022). *Evaluación del amonio cuaternario como precipitante de cobre para regenerar cianuro en procesos de lixiviación de metales.*
- Ramírez, C. & Sánchez, Y. (2016). *Influencia del tiempo de lixiviación y concentración de NaCN sobre el porcentaje de recuperación de Au mediante agitación en pulpa de un mineral aurífero procedente de Minera Danzing – Ancash* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstreams/7de38523-90d4-4521-aa99-5fb4a284db72/download>
- Rivera, L. (2009). *Recuperación de oro refractario aplicando lixiviación con tiosulfato y resina en pulpa en la uea Condestable.*
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2226/Rivero%20Bricce%20b1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rojas Reyes, N. (2003). *Recuperación de oro y plata desde residuos ferríticos mediante cianuración* [Tesis de Magister, Universidad de Concepción].
<http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/1778/1/TESIS%20RECUPERACION%20DE%20ORO%20Y%20PLATA%20DESDE%20RESIDUOS%20FERRITICOS.Image.Marked.pdf>
- Soto Cahuana, A. (2021). *Evaluación de la Cianuración de Concentrados de Oro y Plata* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín].
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/08832c2e-51b4-457e-ae9b-a4ce927ce936/content>
- Suarez, C. (2015). *Modelación y simulación del proceso de lixiviación de mineral de au, ocupando el método(a) de cianuración y método(b) de tiourea. comparación técnica – económica entre ambos métodos considerando la influencia de la fuerza iónica del sistema y especies acu.*
<https://www.utmachala.edu.ec/archivos/planificacion/2013/prometeos/Dr.%20Claudio%20Suarez/FIN%20VINCULACION%20DrSuarez/FORMATO%20INFORME%20FINAL%20VINCULACION%2093N.pdf>

Vilcapoma, J. (2021). *Optimización de la recuperación y modelamiento de las variables operativas que afectan el circuito de lixiviación con cianuro de la planta de procesamiento de oro de Ares utilizando un modelo CCD.*

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6769/T010_43705712_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zayra, D. (2018). *Estudio de la lixiviación por agitación de minerales auríferos a nivel de laboratorio en la minera Chala One S.A.C.*

<https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/59376f71-d271-4b9b-b230-2dab8e497a30/content>

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Hoja de seguridad de la soda cáustica.....	1
Anexo 2: Hoja de seguridad de la cal.....	2
Anexo 3: Hoja de seguridad del cianuro.....	3

Anexo 1: Hoja de seguridad de la soda caustica



Código: A1-LO-01; Versión: 06; Vigencia: 01/2023

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH) SODA CAUSTICA	
--	--	--

1. PRODUCTO E IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA	
Nombre Comercial:	Soda cáustica
Sinónimos:	Hidróxido sódico, Sosa tejía, Jabón de piedra, E-524, Hidrato de sodio
Nombre IUPAC:	Hidróxido de sodio
Fórmula:	NaOH
Clasificación de peligro:	Corrosivo, clase 8.
UN	1824
CAS:	1310-73-2
Uso recomendado del producto:	Fabricación de jabones, rayón, papel, explosivos, pinturas y productos de petróleo. Procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado, revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica. Se encuentra comúnmente en limpiadores de desagües y hornos. También se usa como removedor de pintura y por los ebanistas para quitar pintura vieja de muebles de madera.
Detalles del fabricante y/o distribuidor:	
Nombre:	TRICHEM DE COLOMBIA S.A.S
Dirección:	Carrera 9 No. 113-52 Of. 1601 Edificio Torres Unidas 2
Sitio Web:	www.triconenergy.com
Teléfono:	60+1 5807154
Dependencia responsable para información de emergencias:	AMBIPAR RESPONSE COLOMBIA S.A.S.
Horario:	24 horas
Número de emergencias:	300-9292033
2. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE PELIGROS	
Clasificación de la sustancia Según el sistema globalmente armonizado	Corrosión cutánea (Categoría 1B) - Lesiones oculares graves (Categoría 1) Peligro para el medio ambiente acuático - peligro agudo (Categoría 3)
PALABRA DE ADVERTENCIA: Peligro INDICACIÓN(ES) DE PELIGRO:	H290 Puede ser corrosivo para los metales. H314 Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares graves. H402 Nocivo para los organismos acuáticos.

Nota: Trichem, 2023

Anexo 2: Hoja de seguridad de la cal

RÓTULADO PARA TRANSPORTE

NFPA	UN (3262)
	

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Nombre químico	Numero CAS	Proporción
Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2)		80.00 – 90.00% Aproximado
Óxido de calcio (CaO)	1305-62-0	60.00 – 70.00% Aproximado
Óxido de silicio (SiO_2)	14808-60-7	0.30% Aproximado
Óxido de magnesio (MgO)	1309-48-4	0.44% Aproximado
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	1377-28-1	0.12% Aproximado
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	1309-37-1	0.053% Aproximado

OTRAS PROPIEDADES

Calcinación completa	Carbón antracita
Condiciones que deben evitarse	Calor, generación de polvo e incompatibles, protegerlo del aire y la humedad para evitar su degradación.
Materiales que deben evitarse	Ácidos, Materiales fuertemente Alcalinos, Fósforo, Nitropropano, Nitroparafina, Nitrometano, Nitroetano, y Anhídrido Maleico.
Información adicional	El hidróxido de calcio absorbe la humedad y dióxido de carbono del aire y forma carbonato de calcio que es muy común en la naturaleza.

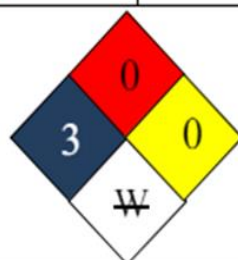
PRECAUCIONES PARA EL USO

Recomendación del fabricante	Expóngase al polvo lo menos posible. Si los niveles de polvo respirable se mantienen bajo los 2 mg/m ³ , los problemas de salud, tales como irritación cutánea, ocular y respiratoria se verán minimizados.
Controles de polvo	Evite la generación de polvo. Todos los trabajos con hidróxido de calcio se deben realizar de forma tal, que se minimice la exposición al polvo y el contacto cutáneo repetido. En lugares en que se pueda generar polvo, mientras se maneja hidróxido de calcio, utilice un sistema de extracción o ventilación mecánica local en aquellas áreas, donde el polvo puede alcanzar el puesto de trabajo. Para distribución a granel, se recomiendan los sistemas de bombeo cerrados. Siga las instrucciones de protección personal señaladas más abajo si no cuenta con una ventilación de tubo de escape local. Las áreas de trabajo se deben aspirar regularmente. Si no se puede evitar la generación de polvo, observe las recomendaciones para protección personal señaladas a continuación.

Nota: Buenaventura, 2021

Anexo 3: Hoja de seguridad del cianuro

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA Y LA EMPRESA	
IDENTIFICADOR DEL PRODUCTO	
NOMBRE DEL PRODUCTO	Cianuro de Sodio
NOMBRE QUÍMICO	Cianuro de Sodio
FÓRMULA QUÍMICA	NaCN
SINÓNIMOS	Cianuro de Sodio
Nº CAS	143-33-9
Nº UN	1689
CODIGO HAZCHEM	2 X
Nº Índice	*****
Nº CE	*****
Nº Registro REACH (No aplica para tipo Feed)	*****
USOS PERTINENTES DE LA SUSTANCIA Y USOS DESACONSEJADOS	
- Industria Minera: extracción de oro, plata y cobre - Industria del Metal: tratamiento de metales a altas temperaturas - Industria Química: producción de cianuros de metal, tintes, pigmentos, medicinas, insecticidas, etc.	
Uso desaconsejado cuando reacciona con agua se activa generando gas cianhídrico	
DATOS DE PROVEEDOR DE LA EMPRESA	
EMPRESA	Quimtía S.A.
DIRECCIÓN	Av. Néstor Gambeta N° 369 – Callao - PERU
TELÉFONO	(511) 630-6500
E-MAIL	Guillermo.moscoso@quimtia.com Jefe de HSE.
TELÉFONO DE EMERGENCIA	
(511) 630-6500 Anexo:6224 (Lunes a Viernes : 08:00 – 17:00) horas QUINTIA	
CXBP Limited Kwinana Beach Road, KWINANA – Western Australia 6167 Telephone: (08) 9411 8777 (Australia) – 61 8 9411 8777 (Oversea) Emergency telephone: 1 800 093 333 (Australia) - 61 8 9411 8444	

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS													
CLASIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA													
La sustancia es clasificada como peligrosa según Directiva 67/548/CEE.													
ELEMENTOS DE LA ETIQUETA													
	FRASES DE PELIGRO (CE 1272/2008) Ver: Sección 16												
NFPA <table border="1"> <tr> <td>Salud (Azul) :</td> <td>3</td> <td>Extremo</td> </tr> <tr> <td>Inflamabilidad (Rojo):</td> <td>0</td> <td>Ninguno</td> </tr> <tr> <td>Reactividad (Amarillo) :</td> <td>0</td> <td>Ninguno</td> </tr> <tr> <td>Especiales (blanco):</td> <td>W</td> <td>No usar agua</td> </tr> </table>	Salud (Azul) :	3	Extremo	Inflamabilidad (Rojo):	0	Ninguno	Reactividad (Amarillo) :	0	Ninguno	Especiales (blanco):	W	No usar agua	
Salud (Azul) :	3	Extremo											
Inflamabilidad (Rojo):	0	Ninguno											
Reactividad (Amarillo) :	0	Ninguno											
Especiales (blanco):	W	No usar agua											

Nota: Buenaventura, 2015