

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Análisis físico químico de relaves de plata para incrementar la recuperación
en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor:

Bach. Joel Alberto CALDERON MEZA

Asesor:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Análisis físico químico de relaves de plata para incrementar la recuperación
en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA
PRESIDENTE

Dr. Ruben Edgar PALOMINO ISIDRO
MIEMBRO

Mg. Jose Eli CASTILLO MONTALVAN
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 293-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Análisis físico químico de relaves de plata para incrementar la recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A.

A. – Pasco – 2021

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Joel Alberto CALDERÓN MEZA

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

13%

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 27 de junio del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605048 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 27.06.2025 16:08:47 -05:00

DEDICATORIA

Por su sapiencia y conducirme por el camino del bien, dedico el presente trabajo a mis padres.

Gracias por su paciencia y amor. Tu bendición a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el sendero del éxito.

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud a mi alma mater, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; a la plana docente de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica por sus enseñanzas en mi formación profesional. En especial al Dr. Sc. Eduardo Jesús, MAYORCA BALDOCEDA, asesor de la presente investigación, por su apoyo y aporte profesional en la presente investigación.

Al personal Staff y colaboradores del laboratorio de la planta de óxidos de Volcan Compañía Minera S. A. A. por brindarme la oportunidad de laboral y permitirme utilizar la información técnica del proceso productivo.

RESUMEN

La Empresa Administradora Cerro S.A.C. de Volcan Compañía Minera en su tratamiento de minerales oxidados nos dio la idea de plantear un trabajo de investigación titulada “Análisis físico químico de relaves de plata para incrementar la recuperación en la planta de óxidos” cuyo objetivo principal es *realizar el análisis físico químico de relaves de plata para incrementar la recuperación en la planta de óxidos*, para cumplir con lo planteado se ha tenido como metodología de investigación **aplicada** cuyo tipo de investigación es **explicativa**, teniendo como resultados que el tamaño de partícula de mayor área superficial es de **72 micras con un 97,0 % de malla -200**. de granulometría, las leyes reportan que en la cuarta prueba se tiene una extracción según el modelo matemático de 2° orden del **72,7 % de plata** y un **92,3 % de oro** a un tamaño de partícula equivalente a 72 micras con un 6,5 de pH de inicio, con un consumo de NaCN de 500 ppm en un medio alcalino de 11.

Así mismo se evalúa microscópicamente a los relaves provenientes del proceso de cianuración de minerales de plata, debido a las bajas recuperaciones que no superan el 50 %; para eso se analizó por microscopia petrográfica las muestras por separado con granulometría similar obtenida del tamiz. Los resultados demuestran que la baja recuperación de plata se debe a la existencia minerales refractarios como la **freibergita** que se encuentran finamente incluidos en partículas de pirita con diámetros medios de 5 micrones, lo cual hace más difícil su recuperación. Estudios similares desarrollados demuestran que los minerales refractarios de plata tienen un sistema de cristalización donde los átomos de arsénico y antimonio se encuentran en las aristas y los átomos de plata se encuentran centrado en las caras superior e inferior, siendo el factor de empaquetamiento atómico el mayor inconveniente y una alternativa posible es el tratamiento previo con soluciones alcalinas para una liberación parcial de los iones plata.

Palabras claves: Mineral refractario, baja recuperación, tratamientos alcalinos, mineral incluido.

ABSTRACT

The Cerro S.A.C. Administrative Company of Volcan Compañía Minera in its treatment of oxidized minerals gave us the idea of proposing a research work entitled "Physicochemical analysis of silver tailings to increase the recovery in the oxide plant" whose main objective is to perform the physical-chemical analysis of silver tailings to increase the recovery in the oxide plant. To comply with the above, it has been used as an applied research methodology whose type of research is explanatory, with the results that the particle size with the largest surface area is 72 microns with 97.0 % mesh -200. of granulometry, the laws report that in the fourth test there is an extraction according to the mathematical model of 2nd order of 72.7% silver and 92.3% gold at a particle size equivalent to 72 microns with a 6.5 initial pH, with a NaCN consumption of 500 ppm in an alkaline medium of 11.

Likewise, tailings from the silver ore cyanidation process are microscopically evaluated, due to the low recoveries that do not exceed 50%; for this, the samples were analyzed separately by petrographic microscopy with similar granulometry obtained from the sieve. The results show that the low recovery of silver is due to the existence of refractory minerals such as freibergite that are finely included in pyrite particles with average diameters of 5 microns, which makes their recovery more difficult. Similar studies show that silver refractory minerals have a crystallization system where the arsenic and antimony atoms are located on the edges and the silver atoms are centered on the upper and lower faces, being the atomic packing factor, the biggest drawback and a possible alternative is pre-treatment with alkaline solutions for a partial release of the silver ions.

Keywords: Refractory mineral, low recovery, alkaline treatment, included mineral.

INTRODUCCIÓN

La Planta de óxidos de Volcan Compañía Minera S. A. A., procesa minerales de plata y oro; la mineralización es compleja, por la génesis de los minerales de plata; su carácter refractario, estar incluido en una matriz de pirita y el diámetro medio que va de 1 a 5 micrones aproximadamente, inciden en las bajas recuperaciones que no superan el 50% y la diferencia sigue presente en los relaves, lo cual es materia de análisis e investigación, para desarrollar un diagnóstico y buscar las posibles alternativas para superar el factor de empaquetamiento de las estructuras cristalinas de los minerales de plata y lograr una segunda recuperación, motivo del presente estudio.

La investigación se desarrolló del siguiente modo:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, donde se ha considerado la descripción del problema, formulación del problema, los objetivos, hipótesis, variables, diseño de investigación, justificación e importancia de la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, donde se ha considerado los antecedentes de la investigación, las bases teóricas de la cianuración de minerales refractarios de plata y la definición de términos básicos.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN, se da a conocer las pautas a seguir para la obtención y tratamiento de datos experimentales seguidos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN, se presenta en tablas y gráficos los resultados de las observaciones microscópicas, para luego analizar y contrastar con las investigaciones realizadas por diversos autores; de mismo modo se contrasta la hipótesis.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, se han desarrollado principalmente las conclusiones del estudio de investigación y dar sugerencias para continuar investigaciones diversas.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.2.1.	Espacial.....	2
1.2.2.	Temporal.....	3
1.3.	Formulación del problema.....	3
1.3.1.	Problema general	3
1.3.2.	Problemas específicos	3
1.4.	Formulación de objetivos	3
1.4.1.	Objetivo general	3
1.4.2.	Objetivos específicos.....	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	4
1.5.1.	Justificación Tecnológica	4
1.5.2.	Justificación Ambiental	4
1.5.3.	Justificación Económica	4

1.6.	Limitaciones de la investigación	4
1.6.1.	Tecnológicas.....	4
1.6.2.	Temporales	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes del estudio	6
2.1.1.	Antecedentes internacionales	6
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	7
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	8
2.2.1.	Mineralogía de plata	8
2.2.2.	Estudios electroquímicos.....	10
2.2.3.	Consideraciones tecnológicas para el tratamiento de minerales refractarios	11
2.3.	Definición de términos básicos	12
2.4.	Formulación de Hipótesis.....	13
2.4.1.	Hipótesis general	13
2.4.2.	Hipótesis específicas	13
2.5.	Identificación de variables.....	13
2.5.1.	Variable dependiente	13
2.5.2.	Variable independiente	13
2.5.3.	Variables Intervinientes.....	14
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	14

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	15
------	-----------------------------	----

3.2.	Nivel de investigación	16
3.3.	Método de investigación.....	16
3.4.	Diseño de investigación.....	16
3.5.	Población y muestra	17
3.5.1.	Población	17
3.5.2.	Muestra	17
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos	17
3.6.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	18
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	18
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	18
3.9.	Tratamiento estadístico.....	20
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	23

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	24
4.1.1.	Moliendabilidad.....	24
4.1.2.	Análisis químico	28
4.1.3.	Pruebas de lixiviación.....	30
4.1.4.	Estudio mineralógico.....	53
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	57
4.2.1.	Tamaño de partícula	57
4.2.2.	pH de la solución	57
4.2.3.	Análisis e interpretación del análisis químico	57
4.2.4.	Análisis e interpretación del análisis microscópico.....	59

4.2.5. Cristaloquímica de los minerales de plata	59
4.3. Prueba de Hipótesis	61
4.4. Discusión de resultados	70

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS:

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Test de moliendabilidad	25
Tabla 2 Ensayes químicos de cabeza del mineral de óxido.....	28
Tabla 3 Ensaye del contenido metálico de la cabeza y solución	28
Tabla 4 Extracción total de la plata	28
Tabla 5 Asociación mineralógica de la muestra de óxido	29
Tabla 6 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido	32
Tabla 7 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido	35
Tabla 8 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido	38
Tabla 9 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido	41
Tabla 10 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido	44
Tabla 11 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido	47
Tabla 12 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido	50
Tabla 13 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido	53
Tabla 14 Resultados del test de moliendabilidad	57
Tabla 15 Modelos cinéticos de extracción de plata	62
Tabla 16 Modelos cinéticos de extracción de plata	63

Tabla 17 Modelos cinéticos de extracción de plata	64
Tabla 18 Modelos cinéticos de extracción de plata	65
Tabla 19 Modelos cinéticos de extracción de plata	66
Tabla 20 Modelos cinéticos de extracción de plata	67
Tabla 21 Modelos cinéticos de extracción de plata	68
Tabla 22 Modelos cinéticos de extracción de plata	69
Tabla 23 Resumen de las pruebas de extracción	70

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Cinética de molienda	26
Gráfico 2 Porcentaje de malla – 200 versus tiempo	26
Gráfico 3 Perfil granulométrico	27
Gráfico 4 Diagnóstico de lixiviación de la plata	29
Gráfico 5 Extracción de oro y plata versus el tiempo.....	31
Gráfico 6 Extracción de oro y plata versus el tiempo.....	34
Gráfico 7 Extracción de oro y plata versus el tiempo.....	37
Gráfico 8 Extracción de oro y plata versus el tiempo.....	40
Gráfico 9 Extracción de oro y plata versus el tiempo.....	43
Gráfico 10 Extracción de oro y plata versus el tiempo.....	46
Gráfico 11 Extracción de oro y plata versus el tiempo.....	49
Gráfico 12 Extracción de oro y plata versus el tiempo.....	52
Gráfico 13 Briqueta con relave entre las mallas -100 +150	53
Gráfico 14 Briqueta con relave entre las mallas -65 +100	54
Gráfico 15 Briqueta con relave entre las mallas -65 +200	55
Gráfico 16 Briqueta con relave entre las mallas -200 +325	56
Gráfico 17 Porcentaje de extracción de plata versus tiempo.....	71
Gráfico 18 Ratio de cal	71

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Diagnóstico

La mayor parte del conocimiento se ha centrado en la plata metálica y en menor grado en la argentita (Ag_2S). Sin embargo, la plata ocurre en cantidades variables en aproximadamente 200 minerales, siendo escasa en su forma nativa (elemental). La mayor fuente de plata son los calcogenuros, Y^{10} (Y: S, Se, Te), y en particular los minerales con S, en los cuales la plata tiene un estado de oxidación +1, por lo que el mecanismo de reacción en cianuro es distinto al de la plata metálica (Deschenes, 2011, p. 37).

Los minerales sulfurosos de plata tienen velocidades de lixiviación lentas y extracciones bajas en las condiciones normales de cianuración. En este sentido, un mineral que es capaz de resistir las condiciones químicas del medio en el que está inmerso, sin alteraciones importantes en sus propiedades físicoquímicas (durante un período considerable de tiempo), se le denomina *refractario* (Holt, 1990, p. 694).

En el distrito minero de Pasco, la Compañía Minera Volcan S.A.A., se encuentran procesando los minerales marginales de plata y oro por el proceso de cianuración, en una planta que tiene una capacidad de 2 500 toneladas métricas diarias con recuperaciones de oro y plata y ofertando en forma de doré en barras, con resultados parcialmente alentadores, dejando utilidades que permitan su vigencia.

Pronóstico

A causa de la recuperación parcial de los minerales de plata, los relaves resultan interesante desarrollar pruebas de diagnóstico mineralógico profundo e investigar algunos métodos de activación iónica utilizando como catalizadores reactivos de costos bajos y bajo ciertas condiciones de operación, oxidar los iones indeseables y estudiar la factibilidad de liberar a los iones de plata para su posterior recuperación.

Control de Pronóstico

Ante esta situación se estudia el problema a través del reconocimiento mineralógico como una alternativa al proceso industrial. Se realiza el trabajo experimental de laboratorio y el análisis teórico, buscando encontrar una metodología que permita separar con participación de los reactivos oxidantes, dejando libre a los iones plata que luego a través del proceso de cianuración se puede obtener plata en solución y luego precipitada por el método Merrill Crowe.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Espacial

El desarrollo del presente trabajo se desarrolló con el material e insumos en el laboratorio de la planta de óxidos de la Compañía Minera Volcan S. A. A. – Pasco.

1.2.2. Temporal

El trabajo de investigación comprende diez meses (marzo – diciembre del 2021).

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo realizar el análisis físico químico de relaves de plata para incrementar la recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco - 2021?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo caracterizar física y químicamente los relaves que se procesaron en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco - 2021?
- b. ¿Qué causas determinan la refractariedad de los minerales de plata en el proceso de cianuración que impiden mayor recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar el análisis físico químico de relaves de plata para incrementar la recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Caracterizar física y químicamente los relaves de plata que se procesaron en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021.

- b. Determinar las causas de refractariedad de los minerales de plata en el proceso de cianuración que impidieron mayor recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. - Pasco – 2021

1.5. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación justifica su ejecución en función de los siguientes criterios:

1.5.1. Justificación Tecnológica

Con la caracterización físico química de los minerales de plata del yacimiento de Cerro de Pasco, se logrará comprender la influencia de la génesis de los minerales en las recuperaciones medias de oro y plata.

1.5.2. Justificación Ambiental

Los minerales desechados como relave después del proceso de lixiviación por tener valores de plata pueden ser procesados posteriormente, y su almacenamiento debe cumplir con los parámetros de control ambiental para no crear impactos adversos.

1.5.3. Justificación Económica

El procesamiento de los minerales de plata de bajas leyes por tener una explotación intensiva (a tajo abierto), utilizando el proceso de lixiviación; debe obtener las máximas recuperaciones para hacerlo rentable y por obtener utilidades a la empresa.

1.6. Limitaciones de la investigación

1.6.1. Tecnológicas

A pesar de la búsqueda de información relevante, no existe en la nube electrónica estudios experimentales a similares minerales, que se encuentren en

producción, lo cual es una limitante, a la vez un reto para desarrollar tecnología propia.

1.6.2. Temporales

En los trabajos que se realiza en las instalaciones, todo está programado y solo existe tiempos cortos para desarrollar investigaciones que permitan sugerir algunas mejoras a la calidad de los concentrados, lo cual es una limitante.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Meléndez, A. (2011), en la tesis “Estudio fisicoquímico de las sulfosales isoestructurales Ag_3AsS_3 (proustita) y Ag_3SbS_3 (pirargirita) en soluciones de cianuro: extracción de plata”; para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Químicas - Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México; tiene como objetivo: establecer una manera de relacionar las propiedades de disolución de las sulfosales Ag_3AsS_3 y Ag_3SbS_3 con sus propiedades de estado sólido, con el fin de entender su reactividad en cianuro y encontrar una manera de incrementar su disolución. Concluye: La reactividad en cianuro y oxígeno de las sulfosales isoestructurales Ag_3AsS_3 , Ag_3SbS_3 y $\text{Ag}_3\text{As}_x\text{Sb}_{1-x}\text{S}_3$ depende en gran medida de los aspectos electrónicos del sólido, ya que en un semiconductor los estados electrónicos que corresponden a las bandas de conducción y de valencia determinan los procesos de reducción u oxidación que se llevan a cabo; por lo que la estructura cristalina (composición, características del enlace y

conectividad) que determina la estructura electrónica del sólido tiene un papel determinante en las reacciones de transferencia de carga.

Luna (2003), en la tesis “*Estudio integral del comportamiento de la cianuración de plata en concentrados minerales*”, para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Químicas - Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México; tiene como objetivo: desarrollar un estudio combinado tanto de la parte electroquímica como la disolución química (lixiviación), para determinar los parámetros que afectan la cinética de la cianuración de sulfuros de plata. Concluye: pocos trabajos han abordado el estudio de lixiviación de sulfuros metálicos han utilizado concentrados de alta pureza en una sola fase mineralógica con una mínima cantidad de impurezas de otras fases. Sin embargo, pocas menas contienen grandes cantidades y fases mineralógicas únicas. En este trabajo se abordó el estudio de fases mineralógicas de plata en bajas concentraciones y altos contenidos en pirita. Sin embargo, algunas incógnitas quedaron sin resolver, que pueden representar líneas de investigación a futuro.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Chaguayo (2012), en la tesis “Estudio de optimización para mejorar la lixiviación cianurante de un mineral refractario de oro y plata conteniendo antimonio de la zona de Huampar Lima”, para optar el título de Ingeniero Metalurgista – Universidad Nacional del Centro del Perú; tiene como objetivo: Mejorar la extracción de oro y plata en un proceso de cianuración convencional a partir minerales refractarios con contenidos de antimonio, utilizando un pretratamiento lixivante con Na_2S y NaOH para un mineral de la zona de Huampar - Lima. Concluye: El análisis mineralógico detallado del mineral reveló que el oro ocurre como aleación con plata ($\sim 12\text{--}15\%$ de Ag) y principalmente

asociado con andorita ($\text{Sb}_3\text{PbAgS}_6$) que es la fase de plata antimonial más importante. El pretratamiento de lixiviación sulfuro alcalino fue mostrado en mejorar apreciablemente la extracción de oro y plata, en particular, por cianuración. La temperatura y las concentraciones relativas de Na_2S y NaOH en la lixiviación fueron identificadas como los factores más importantes afectando la extracción de antimonio y la extracción subsiguiente de cianuro de plata y oro.

Ramos (2019) en la tesis *“Recuperación de plata de los relaves de flotación, mediante la lixiviación en la empresa administradora Cerro SAC”*, para optar el Grado Académico de Magister en Ingeniería Metalúrgica – Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Lima, tiene como objetivo: recuperar plata de los relaves de flotación mediante el proceso de lixiviación en empresa Administradora Cerro S.A.C.; desarrolló el método experimental, con la aplicación del diseño hexagonal. Concluye: las muestras utilizadas para las pruebas experimentales de lixiviación reaccionan al cianuro de sodio, obteniendo una recuperación de 50,06 % de plata con una granulometría de 54 μm , además las muestras analizadas con el microscopio óptico, difractómetro rayos X y el scanning electronic microscope (SEM), demuestran que la plata se encuentra en diámetros muy pequeños e incluido en una matriz de pirita, limitando su recuperación.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Mineralogía de plata

Hace más de un siglo se emplea la cianuración para extraer plata y oro de los concentrados minerales, los estudios de los mecanismos y cinética de lixiviación han sido pocos, debido a la complejidad del sistema por la presencia de otros iones como hierro, zinc, cobre y plomo contenidos en los concentrados.

MacArthur y los hermanos Forrest (1887), confirmaron la acción disolvente del cianuro en metales nobles reportados en trabajos previos de Bagration y col. (Habashi, 1967). La reacción global de oro durante la lixiviación, se resumen a la siguiente expresión (Habashi, 1967; Fleming, 1992):

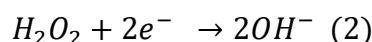
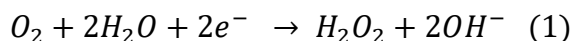
Con el fin de simular estos sistemas y establecer la velocidad de disolución de la plata, se realizaron estudios de minerales sintéticos que contienen oro metálico y distintos porcentajes de hierro, en forma de pirita y pirrotita puros, utilizando reactores de tanque agitado (Deschênes y col., 1998). Los resultados de estos estudios establecen que el valor límite de la concentración de cianuro para lograr una buena extracción de oro debe ser mayor o igual a 0,01 mol/l de NaCN, sin embargo, no se aborda el problema del mecanismo de reacción. Por otro lado, los efectos de otros metales (pirita y pirrotita) de alta pureza afectan negativamente el porcentaje de extracción del oro presente.

Para explicar los comportamientos observados en los estudios de la velocidad de disolución de oro y plata metálicos, cobre, hierro y zinc, Osseo-Asare y col. (1984), Xue y col. (1985) y Zhang y col. (1997) construyeron una serie de diagramas de predominancia de varios metales con cianuro, sulfuro y agua. Para el caso de la plata, el complejo diacianurato de plata muestra una gran estabilidad en el intervalo de pH de 4,0 a 14,0. En los diagramas se observa que la formación de óxido de plata difícilmente se puede dar, sólo a valores de pH mayores a 12. Por otro lado, la presencia de iones sulfuro provoca una disminución de la velocidad de disolución de la plata, debido probablemente, según los autores, a la formación de los iones tiocianato, aunque lo anterior fue descartado experimentalmente por Luna y col. (2000).

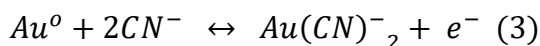
2.2.2. Estudios electroquímicos

De acuerdo a Boonstra (Habashi, 1967) mostró que la disolución de oro metálico se lleva a cabo de forma acoplada con la reducción de oxígeno, de acuerdo a las siguientes semirreacciones:

Reducción de oxígeno:



Oxidación del oro:



Con base a la reacción electroquímica global del oro metálico (ec. 3), varios autores como (Kameda, 1949; Kudryk y col., 1954), entre otros, establecieron las relaciones óptimas de concentraciones entre cianuro y oxígeno para realizar la cianuración, así como los efectos de temperatura y la velocidad de agitación del sistema. Los balances utilizados están asociados a las ecuaciones de difusión de Fick, y a los valores de las corrientes, obtenidas utilizando la técnica de disco rotatorio. Sin embargo, en los resultados obtenidos por los autores no se indica la cinética de oxidación del oro metálico.

Entre los estudios más innovadores en la disolución de oro metálico, se pueden citar los realizados por Nicol (Nicol, 1980) Fink y col. (Fink y col., 1950) y por Kudryk y col. (Kudryk y col., 1954) de manera independiente. Los autores aplicaron la técnica electroquímica de disco rotatorio realizando, por un lado, la oxidación del metal y, por el otro, la reducción del oxígeno. A partir de los resultados en esta técnica, se construyeron los diagramas de corriente contra potencial, llamados diagramas de Evans. Nicol calculó la velocidad de reacción para oro puro, mediante la determinación de la corriente de corrosión en el

potencial mixto. Por otro lado, Wadsworth (1989) desarrolló un modelo que simula los resultados experimentales de disco rotatorio obtenidos por Kudryk y col. (1954) para Oro metálico.

2.2.3. Consideraciones tecnológicas para el tratamiento de minerales refractarios

La evaluación y selección del proceso más económico es un desafío cada vez más creciente frente un número cada vez mayor de compañías mineras. En la apropiada elección de tecnología, el método de explotación empleado, la distribución de la recuperación metalúrgica dentro del yacimiento y la naturaleza refractaria del mineral. Está muy claro que no sería realista evaluar por separado el yacimiento o el proceso, pero como regla general, la selección del proceso debe basarse en el método de tratamiento que ofrece la máxima rentabilidad económica.

La elección definitiva de un esquema de tratamiento adecuado dependerá de muchos factores, pero los más importantes son los siguientes: recuperación de oro y plata, coste de explotación, coste de capital y aceptación ambiental. En lo que se refiere a las características del mineral dentro del yacimiento, deben considerarse los siguientes aspectos:

- ✓ Mineralogía y causas del comportamiento refractario.
- ✓ Efecto de la mineralogía sobre la fase final del tratamiento y sobre las características del efluente.
- ✓ Posibilidades de concentración previa.
- ✓ Grado necesario de oxidación del azufre.
- ✓ Contenido de azufre en el mineral.
- ✓ Dimensiones, ley y accesibilidad del yacimiento y/o reservas.

2.3. Definición de términos básicos

Tratamiento: Es un conjunto de medios que se utilizan para aliviar u obtener resultados favorables o antagónicos.

Mineral: Es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida.

Mena: Minerales de valor económico, los cuales constituyen entre un 5 y 10% del volumen total de la roca. Corresponden a minerales sulfurados y oxidados, que contienen el elemento de interés, por ejemplo, cobre, molibdeno, zinc, etc.

Plata: Elemento metálico importante muy utilizado para la joyería, microelectrónica y transferencia de energía eléctrica

Lixiviación: es un proceso hidrometalúrgico que, mediante el uso de agua e insumos, logra convertir un compuesto metálico insoluble (metal sulfuro) en una forma soluble (metal ionizado).

Solución lixivante: Medio líquido que tiene en suspensión iones Ag^{+1} y Fe^{+3} .

Potencial redox: Son aquellas reacciones donde se presenta la **transferencia de electrones** desde un **donador** (llamado agente reductor) a un **aceptor** de electrones (llamado agente oxidante).

Microscopía Óptica: Realiza la identificación basada esencialmente en la observación y eventual medición de las propiedades de la imagen formada por ondas electromagnéticas del espectro visible.

Microscopía Electrónica de Barrido: Se basa en la utilización del nivel de brillo de una imagen electrónica, generada por los rayos X que emiten los minerales sobre el campo de observación.

Microscopia de luz reflejada (opacos): La aplicación en flotación está dedicada a minerales que, por su comportamiento a la luz, se les puede calificar como

minerales opacos y muchos de ellos caen dentro del grupo de sulfuros y sulfosales.

Información Composicional: Es necesario saber a qué minerales está asociado el elemento que finalmente se va a beneficiar.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Si realizamos el análisis físico químico de relaves de plata entonces podemos incrementar la recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. Si caracterizamos física y químicamente los relaves de plata entonces podemos incrementar la recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021.
- b. Si determinamos las causas de refractariedad de los minerales de plata en el proceso de cianuración entonces podemos incrementar la recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. - Pasco – 2021

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable dependiente

Incrementar la recuperación en la planta de óxidos.

2.5.2. Variable independiente

Análisis físico químico de relaves de plata

2.5.3. Variables Intervinientes

- Análisis físico químico
- Análisis mineralógico

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente Análisis físico químico de relaves de plata	Evaluación físico químico a los relaves de plata, tamaño de partícula, análisis químico Evaluación mineralógica para determinar si la plata esta libre o mista	La función específica de la evaluación mineralógica es el reconocimiento interno de la asociación de elementos químicos a nivel iónico, para formar estructuras minerales a través de las observaciones al microscopio.	Análisis químico	Porcentaje
			Análisis mineralógico	Asociación de minerales
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Dependiente Incremento de recuperación en la planta de óxidos	Proceso físico químico que permiten recuperar el mineral de plata por separación de iones indeseables y posterior disolución de la plata.	Operación que consiste en la reacción química de los iones indeseables por soluciones pre establecidas, para luego encontrarse libre los iones plata y proceder a su disolución química.	Recuperación de plata	Oz/TM

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es **explicativa**, el investigador desarrolla algunas pruebas de reconocimiento, utilizando ciertas técnicas a la muestra, para caracterizar las variables objeto del estudio. actúa conscientemente sobre la muestra objeto de estudio, en tanto que los objetivos de estos estudios son precisamente conocer los efectos de los actos producidos por el propio investigador como mecanismo o técnica para probar sus hipótesis (Bernal, 2016, pág. 143).

- Identificar y explicar las relaciones causales entre los parámetros fisicoquímicos de los relaves (como pH, composición mineralógica, granulometría, etc.) y el porcentaje de recuperación de plata.
- Determinar cómo las variables fisicoquímicas afectan los mecanismos de recuperación, como lixiviación o flotación.

Se realiza investigación explicativa de acuerdo al análisis físico químico de los relaves sobre la plata, este trabajo se realiza a nivel de laboratorio con un control mínimo a fin de encontrar las condiciones óptimas del estudio.

3.2. Nivel de investigación

En una primera etapa, el estudio puede tener un enfoque descriptivo, ya que:

- Se busca caracterizar los relaves en términos de sus propiedades físicas (granulometría, densidad) y químicas (composición mineralógica, contenido de plata, pH, etc.).
- Este nivel permite obtener una "fotografía" detallada del estado actual de los relaves y sus características críticas. (Bernal, 2016, pág. 144).

3.3. Método de investigación

El método de investigación es **aplicada**. Este estudio tiene un enfoque práctico, ya que busca resolver un problema concreto: incrementar la recuperación de plata en la planta de óxidos.

- Generar conocimiento técnico que permita optimizar el tratamiento de relaves y mejorar la eficiencia en el proceso de recuperación.
- Propuestas de ajustes operativos y metodológicos basados en el análisis de datos fisicoquímicos. (Bernal, 2016, pág. 145).

3.4. Diseño de investigación

Para el análisis fisicoquímico de relaves de plata orientado a incrementar la recuperación en una planta de óxidos es un **diseño experimental**. Este diseño se adapta a las necesidades de control y manipulación de variables para evaluar su impacto en el rendimiento del proceso. (Bernal, 2016, pág. 146).

En el diseño experimental nos basamos en el diseño de bloques al azar (DBA), porque existen factores externos (como variación en las características de las muestras de relave), el diseño de bloques al azar permite controlar estas fuentes de variación.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población comprende la cantidad de minerales que lo conforma la relavera y/o tratamiento del mineral de óxido.

3.5.2. Muestra

La muestra se acopió, con el muestreador automático a la salida del relave final durante 30 días; se secó y para homogenizar la muestra se realizó sucesivas etapas de cono y cuarteado, reduciéndose 5 kilos, el material que sirvió para la experimentación.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos a emplearse en este estudio fue el acopio de datos obtenidos antes, durante y después de la experimentación, la cual “se define como el proceso sistemático de obtención, recopilación y registro de datos empíricos de un objeto, un suceso, un acontecimiento o conducta humana con el propósito de procesarlo y convertirlo en información” (Carrasco, 2017, p. 282).

Las técnicas desarrolladas fueron:

- Muestreo continuo y sucesivas etapas de cono y cuarteo.
- Ensayes químicos.
- Análisis granulométrico.

- Análisis mineralógico.
- Análisis por difracción de rayos X.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos, utilizado en la presente investigación son las tablas preestablecidas por la empresa y organizador de datos en Excel, para su posterior tratamiento.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Para la selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación en el contexto del análisis fisicoquímico de relaves de plata y su impacto en la recuperación en una planta de óxidos, es fundamental seguir una metodología que garantice la precisión de los datos y su relevancia para la toma de decisiones en el proceso. Para ello debemos de establecer qué parámetros fisicoquímicos de los relaves afectan la recuperación de plata y cómo optimizarlos en el proceso de tratamiento.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

a) Procesamiento de los datos

El procesamiento de los datos comprende la organización, transformación y preparación de la información obtenida de los análisis fisicoquímicos y experimentales.

- **Recolección de datos primarios:**

Los datos son obtenidos a partir de pruebas en laboratorio, en las cuales se analizarán parámetros fisicoquímicos de los relaves como:

- **Granulometría** (tamaño de partícula).
- **pH** de las soluciones.
- **Concentración de plata residual** mediante espectrofotometría.

- **Composición mineralógica** mediante difracción de rayos X (XRD).
- **Codificación y organización de datos:**

Los datos obtenidos serán ordenados en tablas y bases de datos digitales (ej., Microsoft Excel) para facilitar su manipulación y análisis. Se utilizarán herramientas estadísticas para asegurar la consistencia de la información.

b) Análisis de datos

El análisis de datos se enfocará en interpretar los resultados de laboratorio y establecer las relaciones entre las variables fisicoquímicas y la eficiencia de recuperación de plata. Para ello, se aplicarán las siguientes técnicas:

c) Análisis descriptivo

- Se calcularán medidas estadísticas básicas como:
 - Promedios, desviaciones estándar para describir las características fisicoquímicas de los relaves.
 - Representación gráfica de los datos mediante histogramas, diagramas de dispersión y tablas comparativas.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el tratamiento estadístico se hizo uso de la estadística descriptiva mediante la utilización del software EXCEL para las tablas y gráficas para la interpretación se utilizó la estadística inferencial en los ensayos químicos, análisis granulométrico y el reconocimiento mineralógico de los relaves.

a) Selección de los instrumentos de Investigación

1. Variables a medir

- **Físicas:** Tamaño de partícula, densidad, humedad, textura, etc.
- **Químicas:** pH, composición mineralógica, contenido de plata remanente, concentración de reactivos como cianuro, agentes oxidantes o floculantes.

2. Instrumentos adecuados

Según las variables, se pueden seleccionar instrumentos específicos:

- **Tamaño de partícula:** Analizadores granulométricos como láser.
- **pH y potencial electroquímico (ORP):** pH-metros de alta precisión.
- **Composición mineralógica:** Difracción de rayos X (XRD), microscopía electrónica de barrido (SEM), o espectrometría de absorción atómica (AAS).
- **Análisis de plata:** Espectrofotometría de emisión óptica (ICP-OES) o métodos gravimétricos.

3. Disponibilidad y factibilidad

Selecciona instrumentos que sean accesibles para el laboratorio, con personal capacitado para su operación y mantenimiento.

b) Validación de los instrumentos de investigación

La validación asegura que los instrumentos miden con precisión los parámetros deseados. En este caso, se deben realizar los siguientes pasos:

1. Calibración de los instrumentos

- **Uso de estándares certificados:** Asegúrate de que cada equipo (como espectrofotómetros o analizadores granulométricos) se calibra con patrones certificados para garantizar la exactitud de las mediciones.
- **Frecuencia de calibración:** Realiza calibraciones antes de cada uso o en intervalos definidos según las especificaciones del fabricante.

2. Revisión por expertos

Consulta a especialistas en análisis mineralógico o fisicoquímico para validar que las técnicas e instrumentos elegidos son los adecuados para el estudio de la variable independiente.

c) Confiabilidad de los instrumentos de investigación

1. Consistencia de las mediciones

- **Prueba-reprueba (test-retest):** Realiza mediciones repetidas sobre las mismas muestras en diferentes momentos para evaluar si los resultados son consistentes.
- **Análisis de consistencia interna:** Usa herramientas estadísticas para evaluar si los datos obtenidos tienen una variación aceptable. En la investigación se ha interpretado los resultados de los análisis químicos y mineralógicos.

2. Precisión interinstrumental

Si usas diferentes equipos para el mismo tipo de análisis (por ejemplo, dos pH-metros), compara los resultados para garantizar que son consistentes entre ellos.

- **Control de calidad de las muestras**

- **Duplicados de muestra:** Analiza la misma muestra varias veces para evaluar la repetibilidad.
- **Muestras de referencia:** Utiliza materiales de referencia certificados (CRM) para verificar que los resultados están dentro de los rangos aceptables.

3. Análisis estadístico

- **Coefficiente de variación (CV):** Evalúa la variabilidad relativa de las mediciones. Un CV bajo indica alta confiabilidad.

La confiabilidad del instrumento fue por juicio de expertos (ver anexo).

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La aprobación o la desaprobación se basa en la aceptabilidad ética de la investigación, incluyendo su valor tecnológico y su validez científica, un índice aceptable de beneficios potenciales frente a los riesgos de daño, la minimización de los riesgos, los procedimientos adecuados de consentimiento informado (incluyendo la adecuación cultural y los mecanismos para garantizar la investigación), los procedimientos para la selección de las variables, y la consideración de la repercusión de la investigación sobre la rentabilidad y economía de la empresa de donde procede el mineral, tanto durante la investigación como después de que esta finalice. La revisión tiene en cuenta la revisión científica previa y las leyes aplicables.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de investigación se ha realizado en el laboratorio químico metalúrgico de Volcan Compañía Minera S.A.A. en la planta de óxidos que está ubicado en el centro poblado de Parajsha perteneciente al distrito de Simón Bolívar de la provincia y región Pasco.

Para llevar a cabo el trabajo de investigación se ha desarrollado de la siguiente manera:

4.1.1. Moliendabilidad

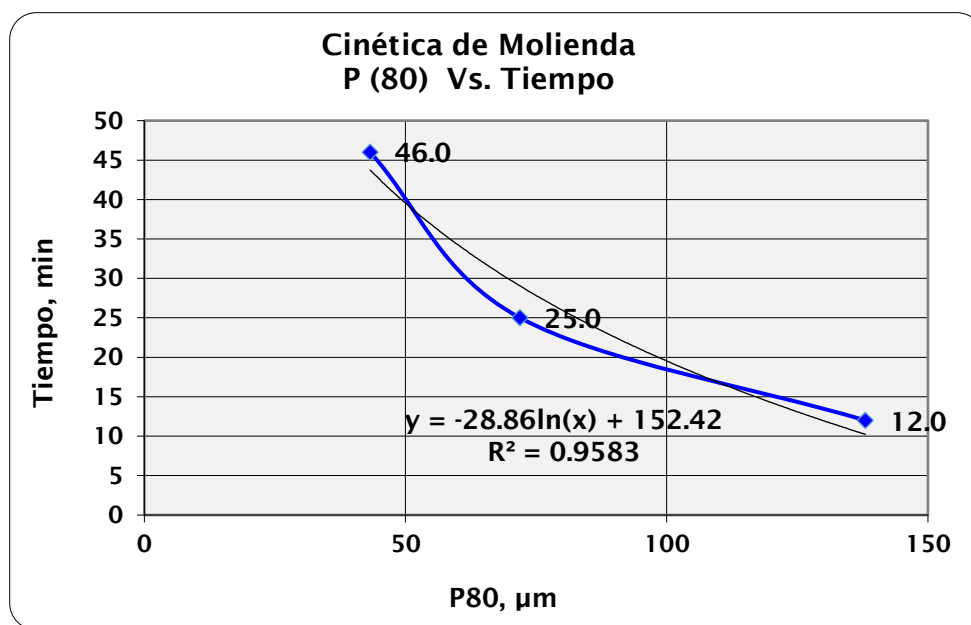
Para determinar el tamaño de partícula es necesario realizar el test de moliendabilidad, para ello se hace en cuatro tiempos diferentes, planteando 12, 25, 42 y 46 minutos para luego determinar el tamaño de grano óptimo, donde el área superficial sea mayor.

Tabla 1 Test de moliendabilidad

Malla ASTM N°	Abertura (µm)	TEST DE MOLIENDABILIDAD											
		Tiempo 1 (Min)			Tiempo 2 (Min)			Tiempo 3 (Min) M8			Tiempo 4 (Min)		
		12.0			25.0			42.0			46.0		
		Peso, g	Retenido %	Acumulado Pasante, %	Peso, g	Retenido %	Acumulado Pasante, %	Peso, g	Retenido %	Acumulado Pasante, %	Peso, g	Retenido %	Acumulado Pasante, %
80	177	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
100	140	25,9	4,5	95,5	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
150	105	51,4	9,0	86,5	2,2	0,4	99,6	1,2	0,2	99,8	0,0	0,0	100,0
200	75	73,1	12,8	73,7	15,3	2,6	97,0	4,5	0,9	98,9	0,3	0,1	99,9
400	38	113,3	19,8	53,8	160,5	27,7	69,3	22,7	4,5	94,3	34,3	6,1	93,9
500	25	67,6	11,8	42,0	37,8	6,5	62,8	50,0	10,0	84,4	54,6	9,7	84,2
-500		240,0	42,0	-	364,0	62,8	-	423,4	84,4	-	476,2	84,2	-
Peso Muestra (g)			571,3			579,8			501,8			565,4	
Tiempo. Mol. (min)			12,0			25,0			42,0			46,0	
P₉₅ (µm)			138,0			71,9			42,0			43,2	
% Malla -200			73,7			97,0			98,9			99,9	

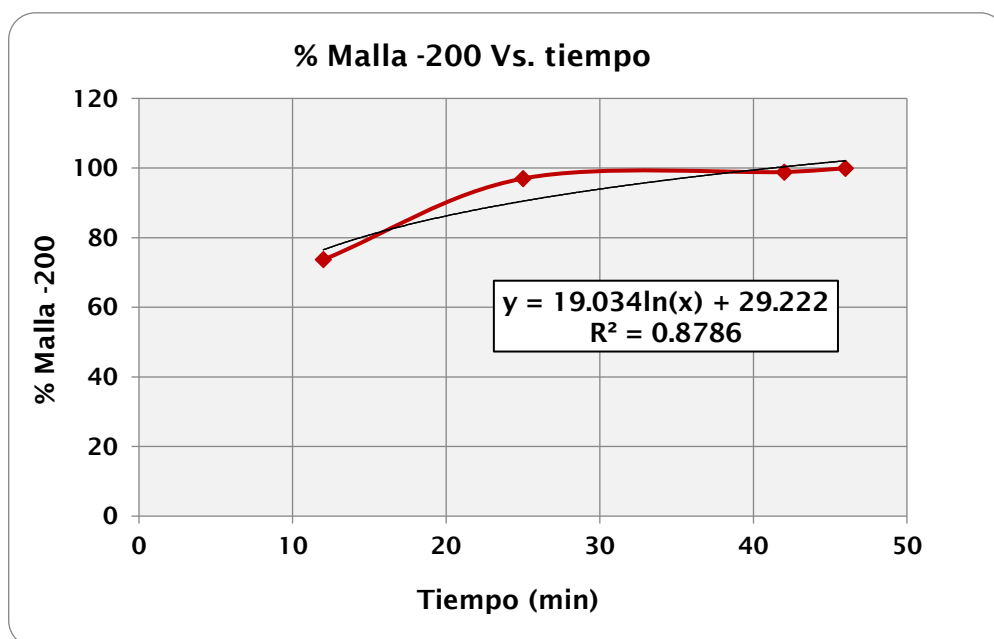
Nota: Elaborado por el tesista

Gráfico 1 Cinética de molienda



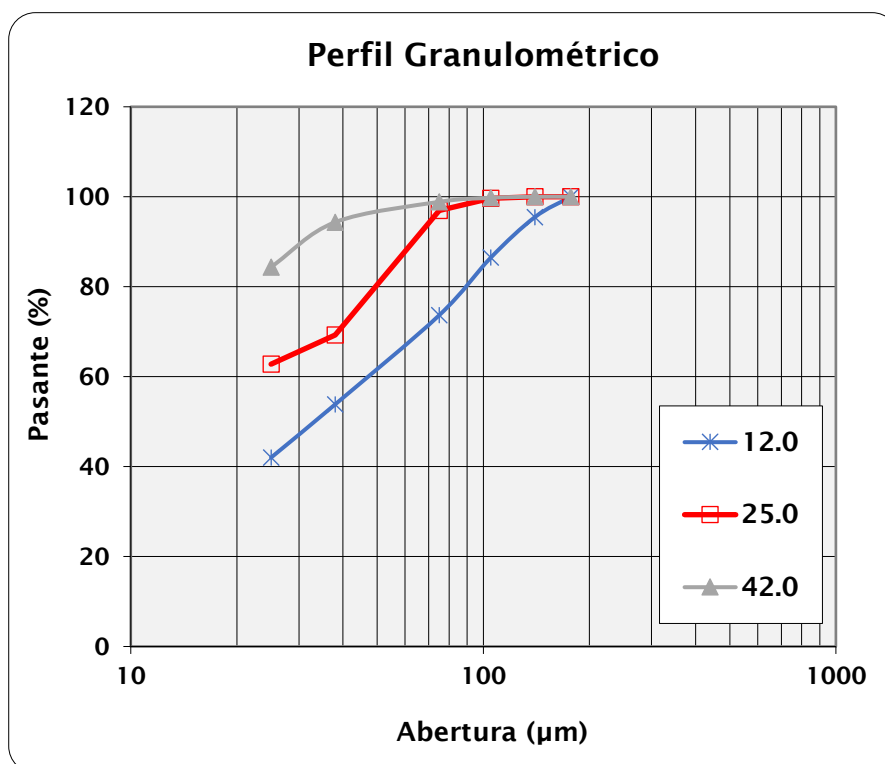
Nota: Elaborado por el tesista

Gráfico 2 Porcentaje de malla – 200 versus tiempo



Nota: Elaborado por el tesista

Gráfico 3 Perfil granulométrico



Nota: Elaborado por el tesista

Potencial

Tiempo (% - m200)		
P95 (μm)	Tiempo	% - m200
44	42.98	98.92
74	28.80	96.68
101	19.33	94.44

P (95)	Min	Seg
44	42	59
74	28	48
101	19	20

Tiempo (% - m200)		
P95 (μm)	Tiempo	% - m200
44	53.41	100.14
74	27.57	96.43
101	17.73	93.95

El tiempo promedio es de 28 minutos para obtener en la malla -200 el tamaño de partícula óptimo.

4.1.2. Análisis químico

Prueba de diagnóstico de lixiviación de plata

Se debe de iniciar las pruebas experimentales de la lixiviación de la plata para determinar el comportamiento del mineral frente al consumo de los reactivos que se utiliza en la lixiviación del oro y plata.

Tabla 2 Ensayes químicos de cabeza del mineral de óxido

Producto	Peso, t	Ley, g/t	
		Au	Ag
Cabeza ensayada	0,0002	4,79	8,10
Cabeza calculada		4,77	8,42
Ripio	0,0003	0,05	1,05

Nota: Elaborado por el tesista

Tabla 3 Ensaye del contenido metálico de la cabeza y solución

Producto	Contenido Metálico, g	
	Au	Ag
Cabeza	0,000957	0,0016192
Solución	0,000943	0,001418
Ripio	0,000012	0,000266

Nota: Elaborado por el tesista

Tabla 4 Extracción total de la plata

Descripción	Volúmenes			Extracción, %			
	Elemento	Au	Ag	L 1	Individual		Total
					Au	Ag	Au Ag
CN-1 Sol. Fuerte	Unidad	mg/L	mg/L				
CN-1 Sol. Lavado				0,80	94,91	66,57	
HCl Sol. Fuerte		0,000	0,000	0,30	0,00	0,00	
HCl Sol. Lavado		0,000	0,000	0,30			98,79 84,22
CN-2 Sol. Fuerte		0,100	2,350	0,12	1,20	16,69	
CN-2 Sol. Lavado		0,000	0,000	0,24			
Agua regia Sol. Fuerte		0,065	0,200	0,35	2,38	4,32	
Agua regia Sol. Lavado		0,000	0,000	0,35			
Contabilidad					98,49	87,58	1,00 1,04

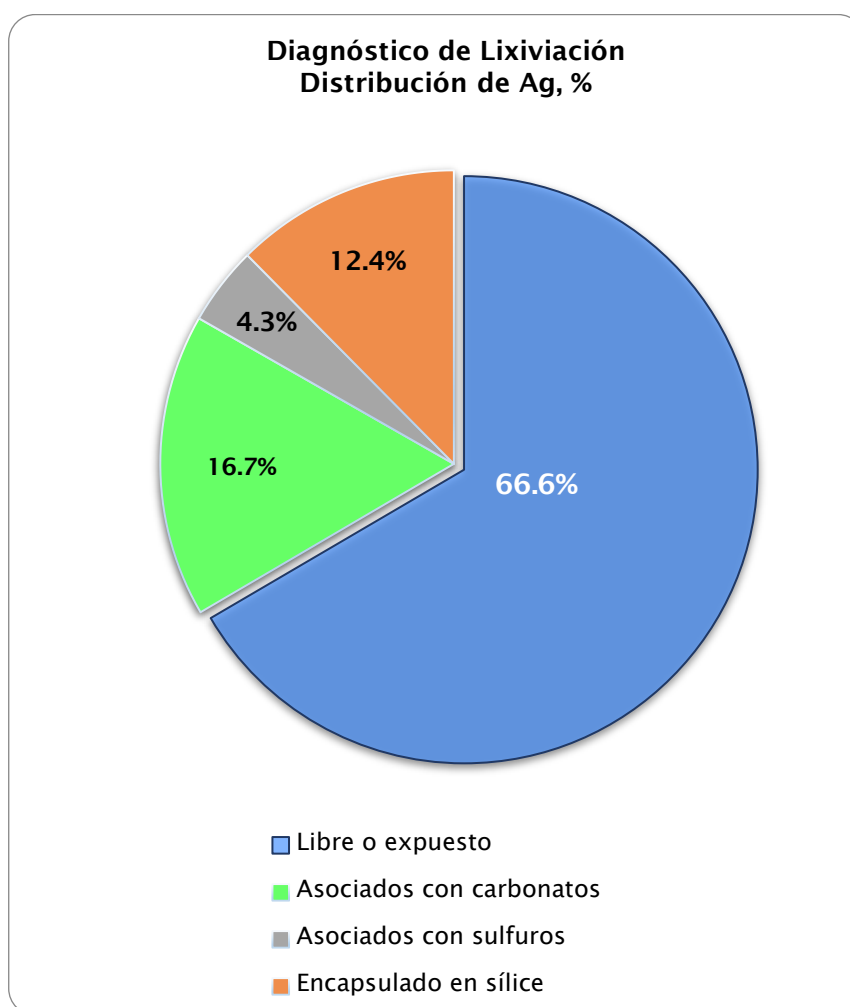
Nota: Elaborado por el tesista

Tabla 5 Asociación mineralógica de la muestra de óxido

Etapa	Asociación mineralógica	Extracción Au %	Extracción Ag %
NaCN	Libre o expuesto	94,9 %	66,6%
HCl / NaCN	Asociados con carbonatos	1,2 %	16,7%
Agua Regia	Asociados con sulfuros	2,4 %	4,3%
Residuo	Encapsulado en sílice	1,5 %	12,4%
Total		100,0	100,00

Nota: Elaborado por el tesista

Gráfico 4 Diagnóstico de lixiviación de la plata



Nota: Elaborado por el tesista

4.1.3. Pruebas de lixiviación

Las pruebas experimentales realizadas en el laboratorio de metalurgia de Cerro S.A.C. se han realizado después del diagnóstico se hizo una tentativa de dosificación de reactivos para luego ir recogiendo muestras cada cuatro horas para ir analizando la extracción de la plata.

Datos de la lixiviación:

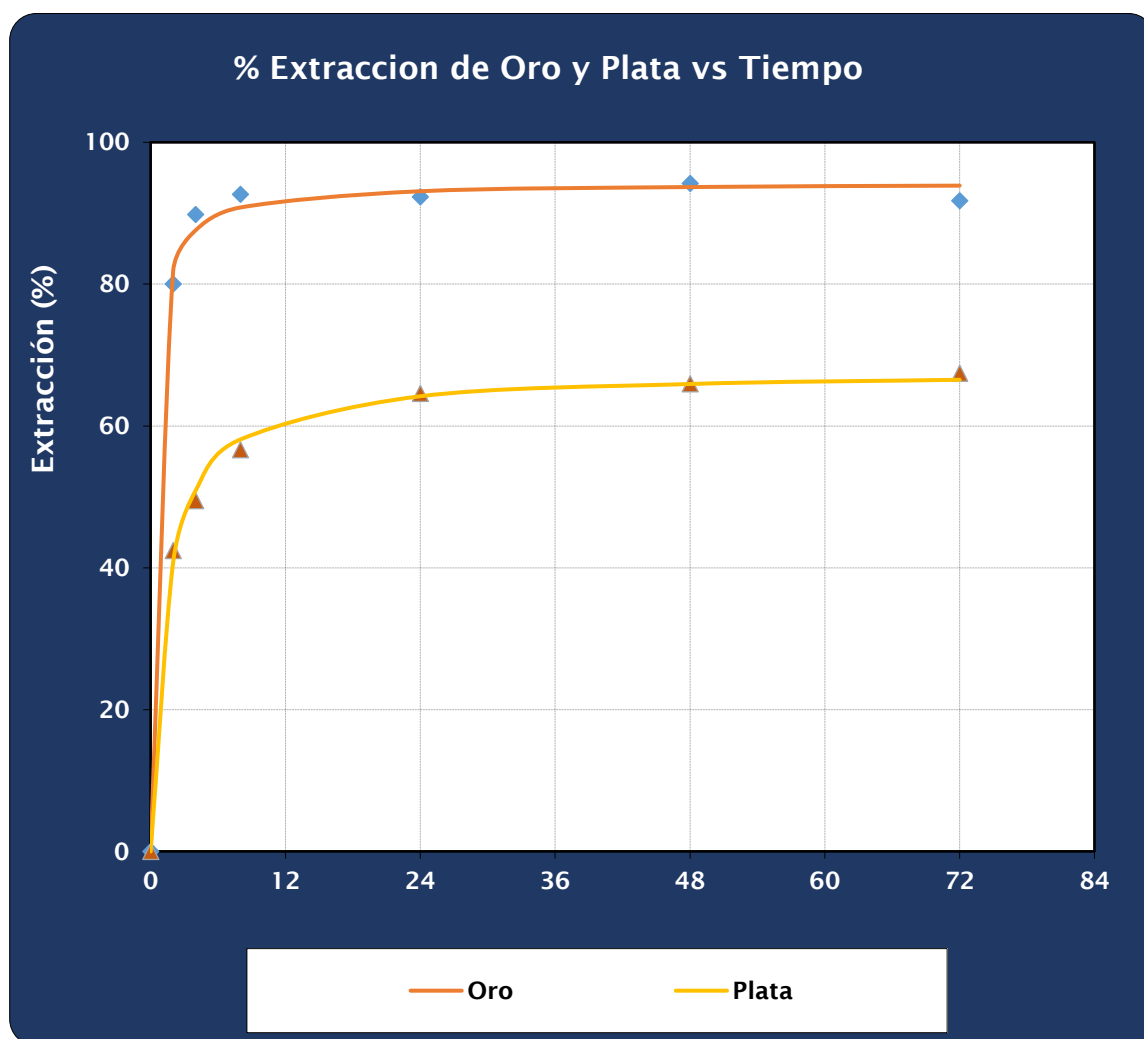
Prueba de Lixiviación 1:

ID Muestra :	Litología 1
Prueba Nro. :	JCM 1
NaCN [ppm] :	350 ppm
CN ⁻ [ppm] :	182
Granulometría :	45 µm
Peso mineral seco [g] :	559
Peso de solución [g] :	1118
Peso total [g] :	1677
Peso de carbón [g] :	0
pH inicial :	6,5
Sólidos [%] :	33,3
Densidad pulpa [g/L] :	1262
Grav. Espec. :	2,65
Ratio NaCN [kg/t] :	0,20
Ratio Cal [kg/t] :	1,25
Ratio Carbón [g/L] :	0

	Oro	Plata
Cabeza ensayada, g/t :	4,79	8,10
Residuo ensayado, g/t :	0,25	3,72
Carbón ensayado, g/t :	0,00	0,00
Cabeza calculada, g/t :	4,28	11,42
Metal en cabeza, mg :	2,68	4,53
Metal en solución, mg :	2,26	4,31
Metal en residuos, mg :	0,14	2,08
Metal en carbón mg :	0,00	0,00
Metal total, mg :	2,39	6,39
Recuperación Ensayada, % :	94,8	54,0
Recuperación Calculada, % :	94,2	67,4
Modelo Garc-Zuñ	Oro	Plata
Recuperación modelada, R _{máx.} :	92,6	67,7
Constante cinética, K :	0,99	1,11

Que de acuerdo al modelo matemático de García Zuñiga se tiene una recuperación del 67,7 % de plata, lo cual se debe de realizar más pruebas de lixiviación.

Gráfico 5 Extracción de oro y plata versus el tiempo



Nota: Elaborado por el tesista

La extracción de plata desde las 24 horas se hace constante hasta las 72 horas, presentándose 67,7 % de plata, con una constante de cinética de 1,11 de acuerdo al modelo de García Zuñiga.

Tabla 6 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido

Tiempo horas	NaCN ppm	CN ⁻ ppm	pH	Muestra ml	Reactivo agregado				Oro				Plata						
					NaCN, ml (2%)	NaCN mg	Cal g	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada
0	350	182	10,5	20	19,9	391	0,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
2	325	169	10,5	20	0,0	28	0,0	1,714	1,917	0,034	1,917	71,6	80,0	2,422	2,708	0,048	2,708	59,8	42,4
4	325	169	10,5	20	1,4	28	0,0	1,893	2,117	0,072	2,151	80,4	89,8	2,781	3,110	0,104	3,158	68,7	49,5
8	350	182	10,5	20	0,0	0	0,0	1,920	2,147	0,111	2,219	82,9	92,7	3,142	3,513	0,167	3,617	77,6	56,6
24	325	169	10,5	20	1,4	28	0,0	1,878	2,100	0,148	2,211	82,6	92,3	3,539	3,957	0,238	4,124	87,4	64,6
48	325	169	10,5	20	1,4	28	0,0	1,885	2,108	0,186	2,256	84,3	94,2	3,553	3,973	0,309	4,211	87,8	65,9
72	350	182	10,5	20	0,0	0	0,0	1,799	2,012	0,222	2,197	82,1	91,8	3,575	3,998	0,380	4,306	88,3	67,4

Nota: Elaborado por el tesista

De acuerdo a la tabla se observa que después de 72 horas de lixiviación se tiene un porcentaje de recuperación ensayada equivalente a 88,3% mientras que el porcentaje de recuperación calculada acumulada es del 67,4 % que es muy cercano al modelo matemático de García Zuñiga.

Prueba de lixiviación 2

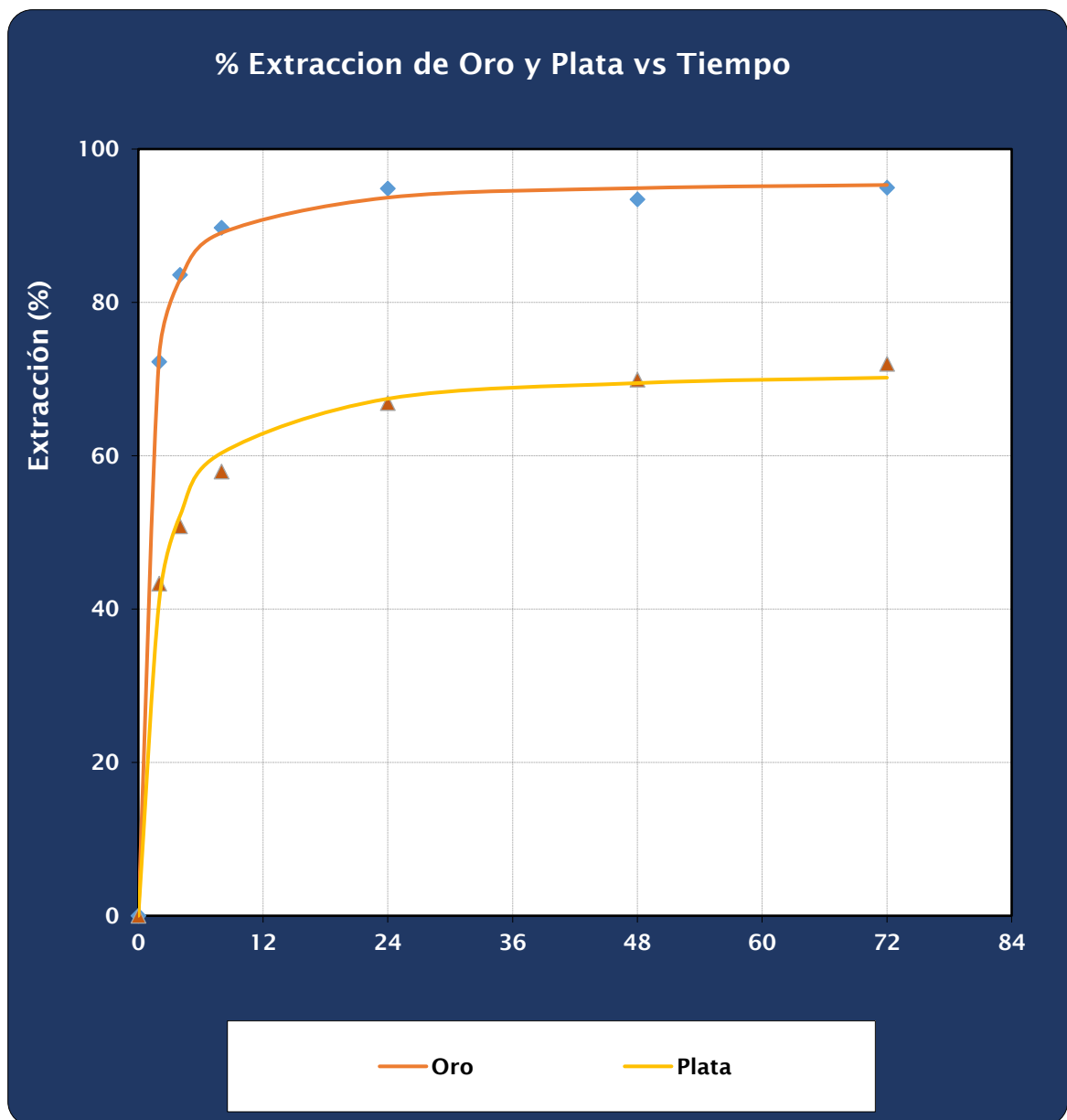
ID Muestra :	Litología 1
Prueba Nro. :	JCM 2
NaCN [ppm] :	650 ppm
CN ⁻ [ppm] :	338
Granulometría :	43 μ m
Peso mineral seco [g] :	566
Peso de solución [g] :	1131
Peso total [g] :	1697
Peso de carbón [g] :	0
pH inicial :	6,5
Sólidos [%] :	33,3
Densidad pulpa [g/L] :	1262
Grav. Espec. :	2,65
Ratio NaCN [kg/t] :	0,20
Ratio Cal [kg/t] :	1,41
Ratio Carbón [g/L] :	0

	Oro	Plata
Cabeza ensayada, g/t :	4,79	8,10
Residuo ensayado, g/t :	0,23	3,08
Carbón ensayado, g/t :	0,00	0,00
Cabeza calculada, g/t :	4,62	10,99
Metal en cabeza, mg :	2,71	4,58
Metal en solución, mg :	2,48	4,47
Metal en residuos, mg :	0,13	1,74
Metal en carbón mg :	0,00	0,00
Metal total, mg :	2,61	6,21
Recuperación Ensayada, % :	95,1	62,0
Recuperación Calculada, % :	95,0	72,0

Modelo Klimpel	Oro	Plata
Recuperación modelada, R _{máx.} :	95,6	71,6
Constante cinética, K :	2,01	0,93

De acuerdo al modelo matemático de Klimpel se tiene una recuperación moderada del 71,6 % de plata, lo cual se debe de realizar más pruebas de lixiviación.

Gráfico 6 Extracción de oro y plata versus el tiempo



Nota: Elaborado por el tesista

La extracción de plata desde las 24 horas se hace constante hasta las 72 horas, presentándose 71,6 % de plata, con una constante de cinética de 0,93 de acuerdo al modelo de Klimpel.

Tabla 7 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido

Tiempo horas	NaCN ppm	CN ⁻ ppm	pH	Muestra ml	Reactivo agregado					Oro				Plata					
					NaCN, ml (2%)	NaCN mg	Cal g	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada
0	650	338	11,0	0	38,0	735	0,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
2	650	338	11,0	20	0,0	0	0,0	1,667	1,886	0,033	1,886	69,7	72,2	2,379	2,692	0,048	2,692	58,8	43,3
4	650	338	11,0	20	0,0	0	0,0	1,899	2,149	0,071	2,182	80,6	83,6	2,748	3,109	0,103	3,157	67,9	50,8
8	600	312	11,0	20	2,9	57	0,0	2,008	2,272	0,111	2,343	86,6	89,8	3,092	3,498	0,164	3,601	76,4	57,9
24	625	325	11,0	20	1,5	28	0,0	2,090	2,365	0,153	2,476	91,5	94,8	3,527	3,990	0,235	4,155	87,1	66,9
48	650	338	11,0	20	0,0	0	0,0	2,021	2,287	0,194	2,440	90,1	93,5	3,634	4,112	0,308	4,346	89,8	69,9
72	625	325	11,0	20	0,0	0	0,0	2,020	2,285	0,234	2,479	91,6	95,0	3,683	4,167	0,381	4,475	91,0	72,0

Nota: Elaborado por el tesista

De acuerdo a la tabla se observa que después de 72 horas de lixiviación se tiene un porcentaje de recuperación ensayada equivalente a 91,0 % mientras que el porcentaje de recuperación calculada acumulada es del 72,0 % que es muy cercano al modelo matemático de Klimpel.

Prueba de Lixiviación 3

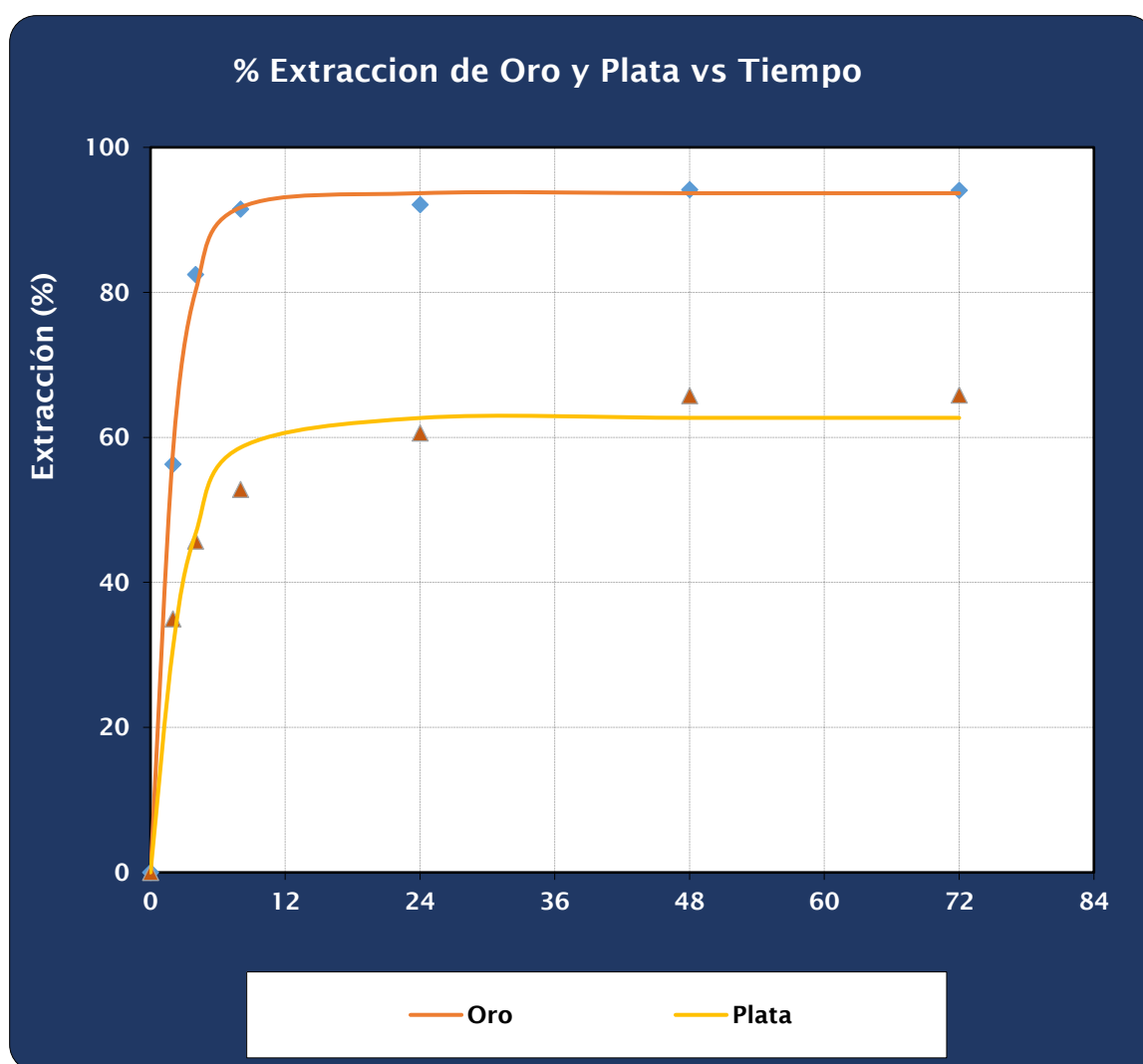
ID Muestra :	Litología 1
Prueba Nro. :	JCM 3
NaCN [ppm] :	500 ppm
CN ⁻ [ppm] :	260
Granulometría :	72 μ m
Peso mineral seco [g] :	569
Peso de solución [g] :	1137
Peso total [g] :	1706
Peso de carbón [g] :	0
pH inicial :	6,5
Sólidos [%] :	33,3
Densidad pulpa [g/L] :	1262
Grav. Espec. :	2,65
Ratio NaCN [kg/t] :	0,15
Ratio Cal [kg/t] :	1,23
Ratio Carbón [g/L] :	0

	Oro	Plata
Cabeza ensayada, g/t :	4,79	8,10
Residuo ensayado, g/t :	0,25	3,30
Carbón ensayado, g/t :	0,00	0,00
Cabeza calculada, g/t :	4,32	9,65
Metal en cabeza, mg :	2,72	4,60
Metal en solución, mg :	2,31	3,61
Metal en residuos, mg :	0,14	1,87
Metal en carbón mg :	0,00	0,00
Metal total, mg :	2,46	5,49
Recuperación Ensayada, % :	94,7	59,3
Recuperación Calculada, % :	94,2	65,9

Modelo Garc-Zuñ	Oro	Plata
Recuperación modelada, R _{máx.} :	93,7	67,0
Constante cinética, K :	0,48	0,78

De acuerdo al modelo matemático de García Zuñiga se tiene una recuperación moderada del 67,0 % de plata, lo cual se debe de realizar más pruebas de lixiviación.

Gráfico 7 Extracción de oro y plata versus el tiempo



Nota: Elaborado por el tesista

La extracción de plata desde las 24 horas se hace constante hasta las 72 horas, presentándose 67,0 % de plata, con una constante de cinética de 0,78 de acuerdo al modelo de García Zuñiga.

Tabla 8 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido

Tiempo horas	NaCN ppm	CN ⁻ ppm	pH	Muestra ml	Reactivo agregado					Oro				Plata					
					NaCN, ml (2%)	NaCN mg	Cal g	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada
0	500	260	11,0	0	29,2	569	0,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
2	500	260	11,0	20	0,0	0	0,0	1,217	1,384	0,024	1,384	50,9	56,3	1,687	1,918	0,034	1,918	41,7	35,0
4	500	260	11,0	20	0,0	0	0,0	1,761	2,002	0,060	2,027	74,5	82,4	2,175	2,473	0,077	2,507	53,7	45,7
8	475	247	11,0	20	1,5	29	0,0	1,925	2,189	0,098	2,248	82,6	91,5	2,481	2,821	0,127	2,898	61,3	52,8
24	475	247	11,0	20	1,5	15	0,0	1,905	2,166	0,136	2,264	83,2	92,1	2,814	3,200	0,183	3,326	69,5	60,6
48	475	247	11,0	20	1,5	15	0,0	1,916	2,178	0,174	2,315	85,1	94,2	3,012	3,425	0,243	3,608	74,4	65,7
72	475	247	11,0	20	0,0	0	0,0	1,880	2,138	0,212	2,312	85,0	94,1	2,964	3,370	0,303	3,613	73,2	65,9

Nota: Elaborado por el tesista

De acuerdo a la tabla se observa que después de 72 horas de lixiviación se tiene un porcentaje de recuperación ensayada equivalente a 73,2 % mientras que el porcentaje de recuperación calculada acumulada es del 65,9 % que es muy cercano al modelo matemático de García Zuñiga.

Prueba de lixiviación 4

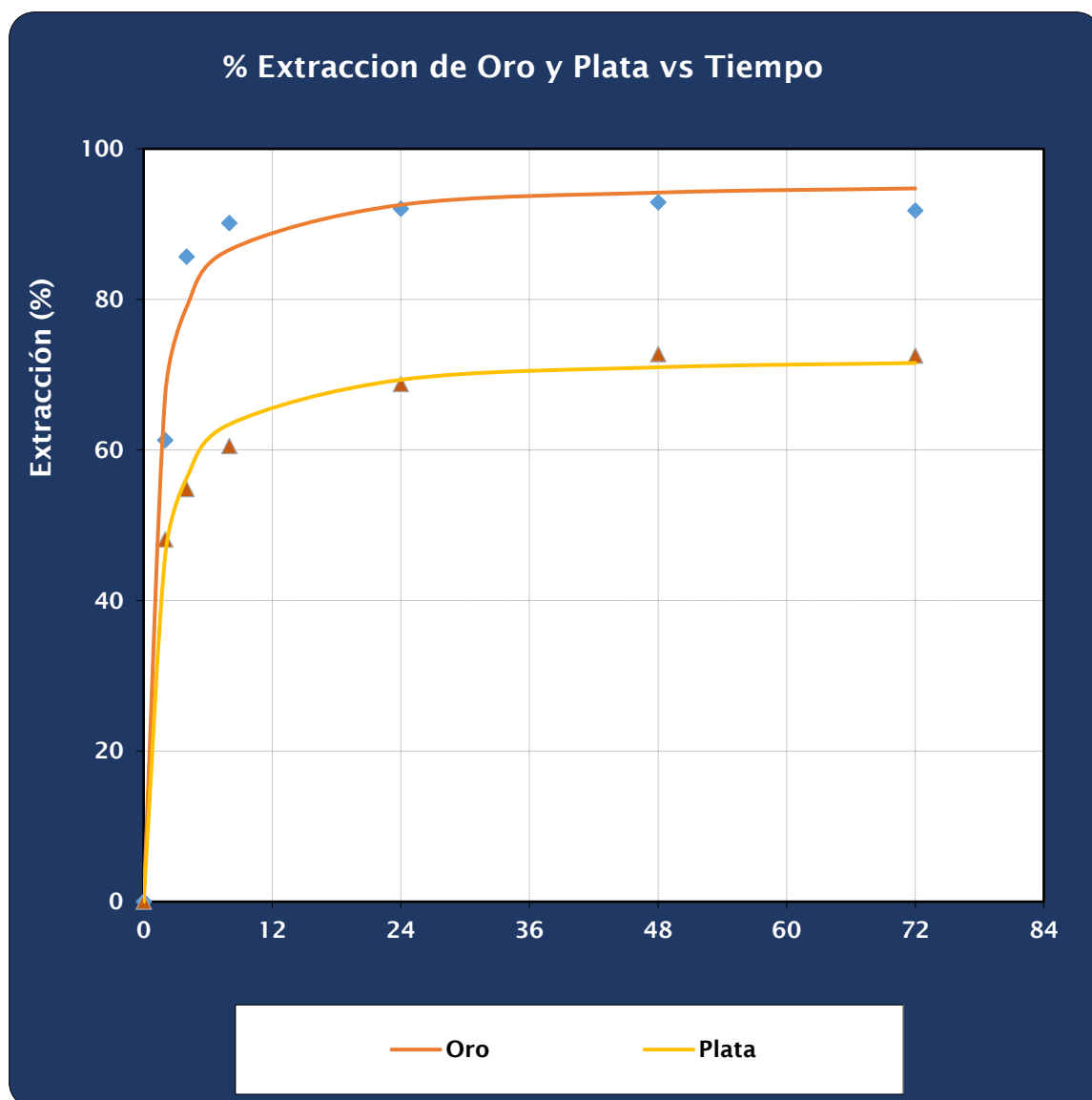
ID Muestra :	Litología 1
Prueba Nro. :	JCM 4
NaCN [ppm] :	500 ppm
CN ⁻ [ppm] :	260
Granulometría :	72 μ m
Peso mineral seco [g] :	572
Peso de solución [g] :	1144
Peso total [g] :	1717
Peso de carbón [g] :	0
pH inicial :	6,5
Sólidos [%] :	33,3
Densidad pulpa [g/L] :	1262
Grav. Espec. :	2,65
Ratio NaCN [kg/t] :	0,15
Ratio Cal [kg/t] :	1,22
Ratio Carbón [g/L] :	0

	Oro	Plata
Cabeza ensayada, g/t :	4,79	8,10
Residuo ensayado, g/t :	0,30	3,51
Carbón ensayado, g/t :	0,00	0,00
Cabeza calculada, g/t :	4,21	12,88
Metal en cabeza, mg :	2,74	4,63
Metal en solución, mg :	2,24	5,36
Metal en residuos, mg :	0,17	2,01
Metal en carbón mg :	0,00	0,00
Metal total, mg :	2,41	7,37
Recuperación Ensayada, % :	93,7	56,6
Recuperación Calculada, % :	92,9	72,7

Modelo Garc-Zuñ	Oro	Plata
Recuperación modelada, R _{máx.} :	92,3	72,7
Constante cinética, K :	0,57	1,17

De acuerdo al modelo matemático de García Zuñiga se tiene una recuperación moderada del 72,7 % de plata, lo cual se debe de realizar más pruebas de lixiviación.

Gráfico 8 Extracción de oro y plata versus el tiempo



Nota: Elaborado por el tesista

La extracción de plata desde las 36 horas se hace constante hasta las 72 horas, presentándose 72,7 % de plata, con una constante de cinética de 1,17 de acuerdo al modelo de García Zuñiga.

Tabla 9 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido

Tiempo horas	NaCN ppm	CN ⁻ ppm	pH	Muestra ml	Reactivo agregado					Oro				Plata					
					NaCN, ml (2%)	NaCN mg	Cal g	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada
0	500	260	11,0	0	29,3	572	0,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
2	500	260	11,0	15	0,0	0	0,0	1,292	1,479	0,019	1,479	54,0	61,3	3,099	3,546	0,046	3,546	76,6	48,1
4	500	260	11,0	20	0,0	0	0,0	1,788	2,046	0,055	2,066	75,4	85,7	3,487	3,991	0,116	4,037	86,1	54,8
8	475	247	11,0	20	0,0	29	0,0	1,851	2,118	0,092	2,173	79,4	90,1	3,795	4,343	0,192	4,459	93,8	60,5
24	475	247	11,0	20	0,0	29	0,0	1,859	2,127	0,129	2,220	81,1	92,1	4,260	4,875	0,277	5,067	105,2	68,8
48	475	247	11,0	20	0,0	29	0,0	1,844	2,110	0,166	2,240	81,8	92,9	4,440	5,081	0,366	5,358	109,7	72,7
72	500	260	11,0	20	0,0	0	0,0	1,789	2,047	0,202	2,214	80,8	91,8	4,351	4,979	0,453	5,345	107,5	72,6

Nota: Elaborado por el tesista

De acuerdo a la tabla se observa que después de 72 horas de lixiviación se tiene un porcentaje de recuperación ensayada equivalente a 107,5 % mientras que el porcentaje de recuperación calculada acumulada es del 72,6 % que es muy cercano al modelo matemático de García Zuñiga.

Prueba de lixiviación 5

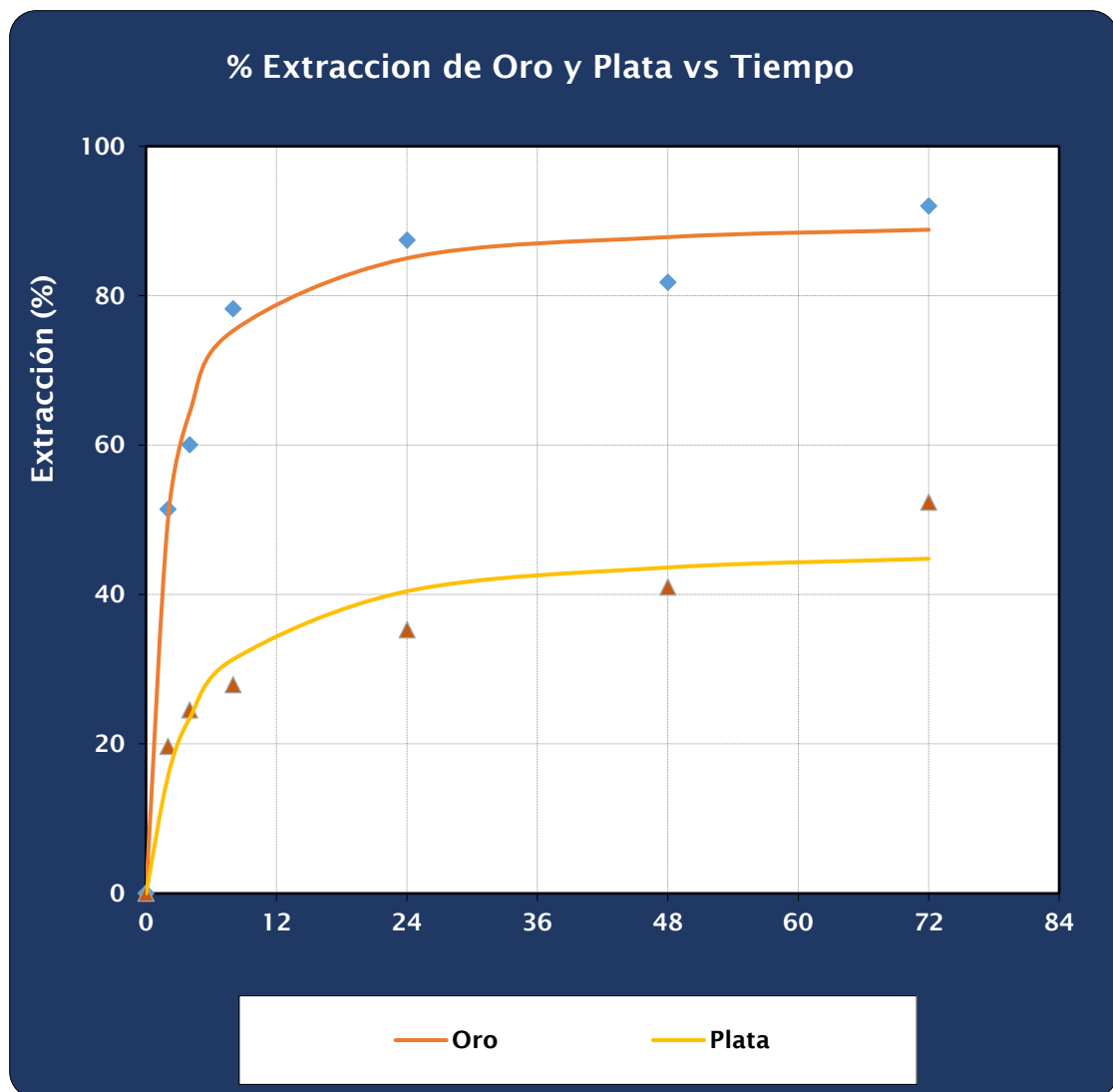
Fecha:	4/08/2021
ID Muestra :	Litología 1
Prueba Nro. :	JCM 5
NaCN [ppm] :	200 ppm
CN⁻ [ppm] :	104
Granulometría :	73 µm
Peso mineral seco [g] :	572
Peso de solución [g] :	1144
Peso total [g] :	1716
Peso de carbón [g] :	0
pH inicial :	6,5
Sólidos [%] :	33,3
Densidad pulpa [g/L] :	1262
Grav. Espec. :	2,65
Ratio NaCN [kg/t] :	0,10
Ratio Cal [kg/t] :	1,40
Ratio Carbón [g/L] :	0

	Oro	Plata
Cabeza ensayada, g/t :	4,79	8,10
Residuo ensayado, g/t :	0,36	6,15
Carbón ensayado, g/t :	0,00	0,00
Cabeza calculada, g/t :	4,53	12,90
Metal en cabeza, mg :	2,74	4,63
Metal en solución, mg :	2,39	3,86
Metal en residuos, mg :	0,21	3,51
Metal en carbón mg :	0,00	0,00
Metal total, mg :	2,59	7,38
Recuperación Ensayada, % :	92,5	24,1
Recuperación Calculada, % :	92,0	52,4

Modelo 2° Orden	Oro	Plata
Recuperación modelada, R_{máx.} :	90,9	47,3
Constante cinética, K :	0,66	0,52

De acuerdo al modelo matemático de 2° orden se tiene una recuperación moderada del 47,3 % de plata, lo cual se debe de realizar más pruebas de lixiviación.

Gráfico 9 Extracción de oro y plata versus el tiempo



Nota: Elaborado por el tesista

La extracción de plata desde las 24 horas es muy variable hasta las 72 horas, presentándose 47,3 % de plata, con una constante de cinética de 0,52 de acuerdo al modelo de García Zuñiga

Tabla 10 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido

Tiempo horas	NaCN ppm	CN ⁻ ppm	pH	Muestra ml	Reactivo agregado					Oro				Plata					
					NaCN, ml (2%)	NaCN mg	Cal g	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada
0	200	104	10,5	0	11,6	229	0,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
2	200	104	10,5	20	0,0	0	0,0	1,166	1,334	0,023	1,334	48,7	51,4	1,269	1,451	0,025	1,451	31,3	19,7
4	200	104	10,5	20	0,0	0	0,0	1,341	1,534	0,050	1,557	56,9	60,1	1,562	1,787	0,057	1,812	38,6	24,6
8	200	104	10,5	20	0,0	0	0,0	1,730	1,979	0,085	2,029	74,1	78,3	1,752	2,004	0,092	2,061	43,3	27,9
24	200	104	10,5	20	0,0	0	0,0	1,908	2,182	0,123	2,267	82,8	87,5	2,194	2,509	0,136	2,601	54,2	35,3
48	175	91	10,5	20	1,4	29	0,0	1,747	1,998	0,158	2,121	77,5	81,8	2,524	2,887	0,186	3,022	62,4	41,0
72	175	91	10,5	20	0,0	0	0,0	1,948	2,228	0,197	2,386	87,2	92,0	3,213	3,675	0,250	3,861	79,4	52,4

Nota: Elaborado por el tesista

De acuerdo a la tabla se observa que es muy variado la recuperación de plata, después de 72 horas de lixiviación se tiene un porcentaje de recuperación ensayada equivalente a 79,4 % mientras que el porcentaje de recuperación calculada acumulada es del 52,4 % que es muy cercano al modelo matemático de 2° orden.

Pruebas de lixiviación 6

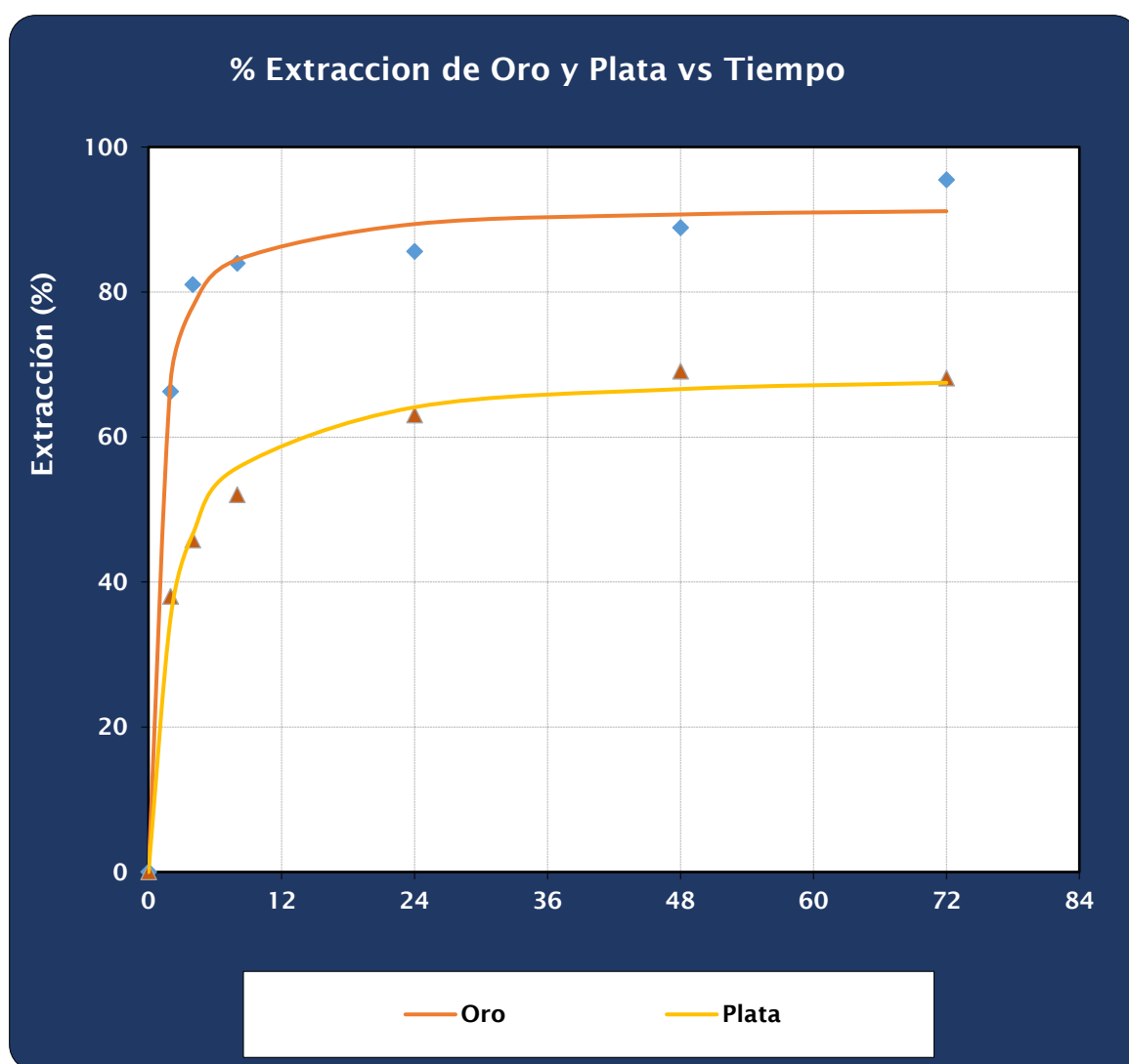
Fecha:	4/08/2021
ID Muestra :	Litología 1
Prueba Nro. :	JCM 6
NaCN [ppm] :	800 ppm
CN⁻ [ppm] :	416
Granulometría :	73 µm
Peso mineral seco [g] :	568
Peso de solución [g] :	1135
Peso total [g] :	1703
Peso de carbón [g] :	0
pH inicial :	6,5
Sólidos [%] :	33,3
Densidad pulpa [g/L] :	1262
Grav. Espec. :	2,65
Ratio NaCN [kg/t] :	0,45
Ratio Cal [kg/t] :	1,41
Ratio Carbón [g/L] :	0

	Oro	Plata
Cabeza ensayada, g/t :	4,79	8,10
Residuo ensayado, g/t :	0,21	3,15
Carbón ensayado, g/t :	0,00	0,00
Cabeza calculada, g/t :	4,75	10,19
Metal en cabeza, mg :	2,72	4,60
Metal en solución, mg :	2,58	4,00
Metal en residuos, mg :	0,12	1,79
Metal en carbón mg :	0,00	0,00
Metal total, mg :	2,70	5,78
Recuperación Ensayada, % :	95,5	61,1
Recuperación Calculada, % :	95,5	69,1

Modelo Klimpel	Oro	Plata
Recuperación modelada, R_{máx.} :	91,4	69,3
Constante cinética, K :	1,82	0,74

De acuerdo al modelo matemático de Klimpel se tiene una recuperación moderada del 69,3 % de plata, lo cual se debe de realizar más pruebas de lixiviación.

Gráfico 10 Extracción de oro y plata versus el tiempo



Nota: Elaborado por el tesista

La extracción de plata desde las 24 horas es una extracción ligeramente elevada hasta las 72 horas, presentándose 69,3 % de plata, con una constante de cinética de 0,74 de acuerdo al modelo de Klimpel.

Tabla 11 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido

Tiempo horas	NaCN ppm	CN ⁻ ppm	pH	Muestra ml	Reactivo agregado					Oro					Plata				
					NaCN, ml (2%)	NaCN mg	Cal g	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada
0	800	416	11,0	0	47,3	908	0,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
2	800	416	11,0	20	0,0	0	0,0	1,575	1,788	0,032	1,788	65,831	66,279	1,937	2,199	0,039	2,199	47,9	38,0
4	750	390	11,0	20	3,0	57	0,0	1,898	2,155	0,069	2,186	80,491	81,039	2,297	2,608	0,085	2,647	56,7	45,8
8	750	390	11,0	20	3,0	57	0,0	1,934	2,196	0,108	2,265	83,393	83,960	2,577	2,926	0,136	3,011	63,7	52,1
24	775	403	11,0	20	1,5	28	0,0	1,939	2,202	0,147	2,310	85,026	85,604	3,091	3,510	0,198	3,646	76,4	63,0
48	775	403	10,5	20	1,5	28	0,0	1,983	2,251	0,187	2,398	88,293	88,893	3,345	3,798	0,265	3,996	82,6	69,1
72	725	377	10,5	20	0,0	0	0,0	2,105	2,390	0,229	2,577	94,852	95,497	3,237	3,675	0,330	3,940	80,0	68,1

Nota: Elaborado por el tesista

De acuerdo a la tabla se observa que es muy variado la recuperación de plata, después de 72 horas de lixiviación se tiene un porcentaje de recuperación ensayada equivalente a 80,0 % mientras que el porcentaje de recuperación calculada acumulada es del 68,1 % que es muy cercano al modelo matemático de Klimpel.

Pruebas de lixiviación 7

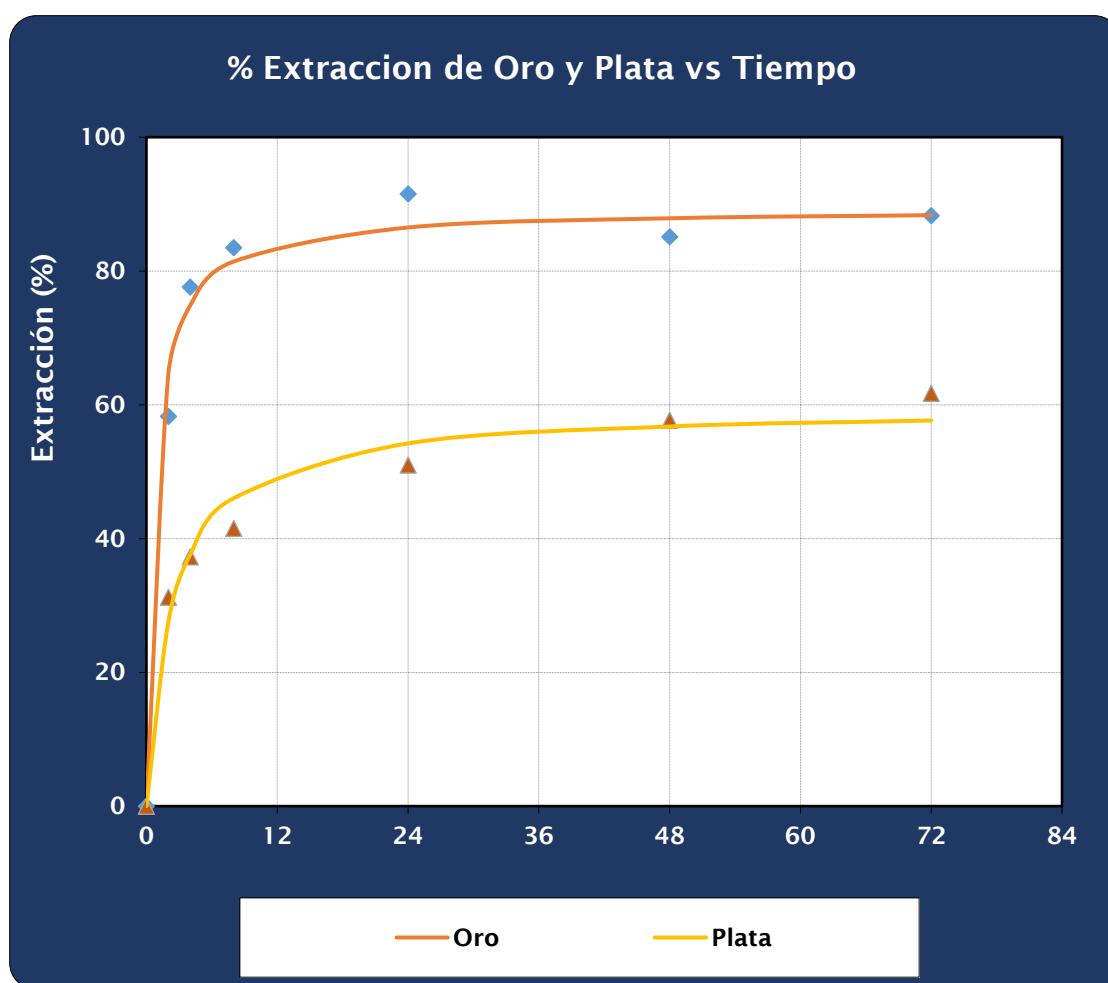
Fecha:	4/08/2021
ID Muestra :	Litología 1
Prueba Nro. :	JCM 7
NaCN [ppm] :	350 ppm
CN ⁻ [ppm] :	182
Granulometría :	100 µm
Peso mineral seco [g] :	619
Peso de solución [g] :	1239
Peso total [g] :	1858
Peso de carbón [g] :	0
pH inicial :	6,5
Sólidos [%] :	33,3
Densidad pulpa [g/L] :	1262
Grav. Espec. :	2,65
Ratio NaCN [kg/t] :	0,10
Ratio Cal [kg/t] :	1,29
Ratio Carbón [g/L] :	0

	Oro	Plata
Cabeza ensayada, g/t :	4,79	8,10
Residuo ensayado, g/t :	0,39	4,10
Carbón ensayado, g/t :	0,00	0,00
Cabeza calculada, g/t :	4,61	10,71
Metal en cabeza, mg :	2,96	5,01
Metal en solución, mg :	2,61	4,09
Metal en residuos, mg :	0,24	2,54
Metal en carbón mg :	0,00	0,00
Metal total, mg :	2,86	6,63
Recuperación Ensayada, % :	91,8	49,4
Recuperación Calculada, % :	91,5	61,7

Modelo Garc-Zuñ	Oro	Plata
Recuperación modelada, R _{máx.} :	86,1	59,5
Constante cinética, K :	0,61	0,72

De acuerdo al modelo matemático de García Zuñiga se tiene una recuperación moderada del 59,5 % de plata, lo cual se debe de realizar más pruebas de lixiviación.

Gráfico 11 Extracción de oro y plata versus el tiempo



Nota: Elaborado por el tesista

La extracción de plata desde las 24 horas es una extracción ligeramente elevada hasta las 72 horas, presentándose 59,5 % de plata, con una constante de cinética de 0,72 de acuerdo al modelo de García Zuñiga.

Tabla 12 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido

Tiempo horas	NaCN ppm	CN ⁻ ppm	pH	Muestra ml	Reactivo agregado					Oro					Plata				
					NaCN, ml (2%)	NaCN mg	Cal g	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada
0	350	182	11,0	0	22,1	434	0,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
2	350	182	11,0	20	0,0	0	0,0	1,343	1,663	0,027	1,663	56,1	58,2	1,671	2,070	0,033	2,070	41,3	31,2
4	350	182	11,0	20	0,0	0	0,0	1,768	2,190	0,062	2,217	74,8	77,6	1,967	2,436	0,039	2,470	48,6	37,3
8	325	169	11,0	20	1,6	31	0,0	1,875	2,322	0,100	2,385	80,5	83,5	2,189	2,711	0,044	2,751	54,1	41,5
24	350	182	11,0	20	0,0	0	0,0	2,030	2,514	0,140	2,614	88,2	91,5	2,695	3,338	0,054	3,382	66,6	51,0
48	325	169	11,0	20	1,6	31	0,0	1,849	2,290	0,177	2,430	82,0	85,1	3,044	3,770	0,061	3,824	75,2	57,7
72	350	182	11,0	20	0,0	0	0,0	1,892	2,343	0,215	2,521	85,1	88,3	3,255	4,032	0,065	4,093	80,4	61,7

Nota: Elaborado por el tesista

De acuerdo a la tabla se observa que es muy variado la recuperación de plata, después de 72 horas de lixiviación se tiene un porcentaje de recuperación ensayada equivalente a 80,4 % mientras que el porcentaje de recuperación calculada acumulada es del 61,7 % que es muy cercano al modelo matemático de García Zuñiga.

Prueba de lixiviación 8

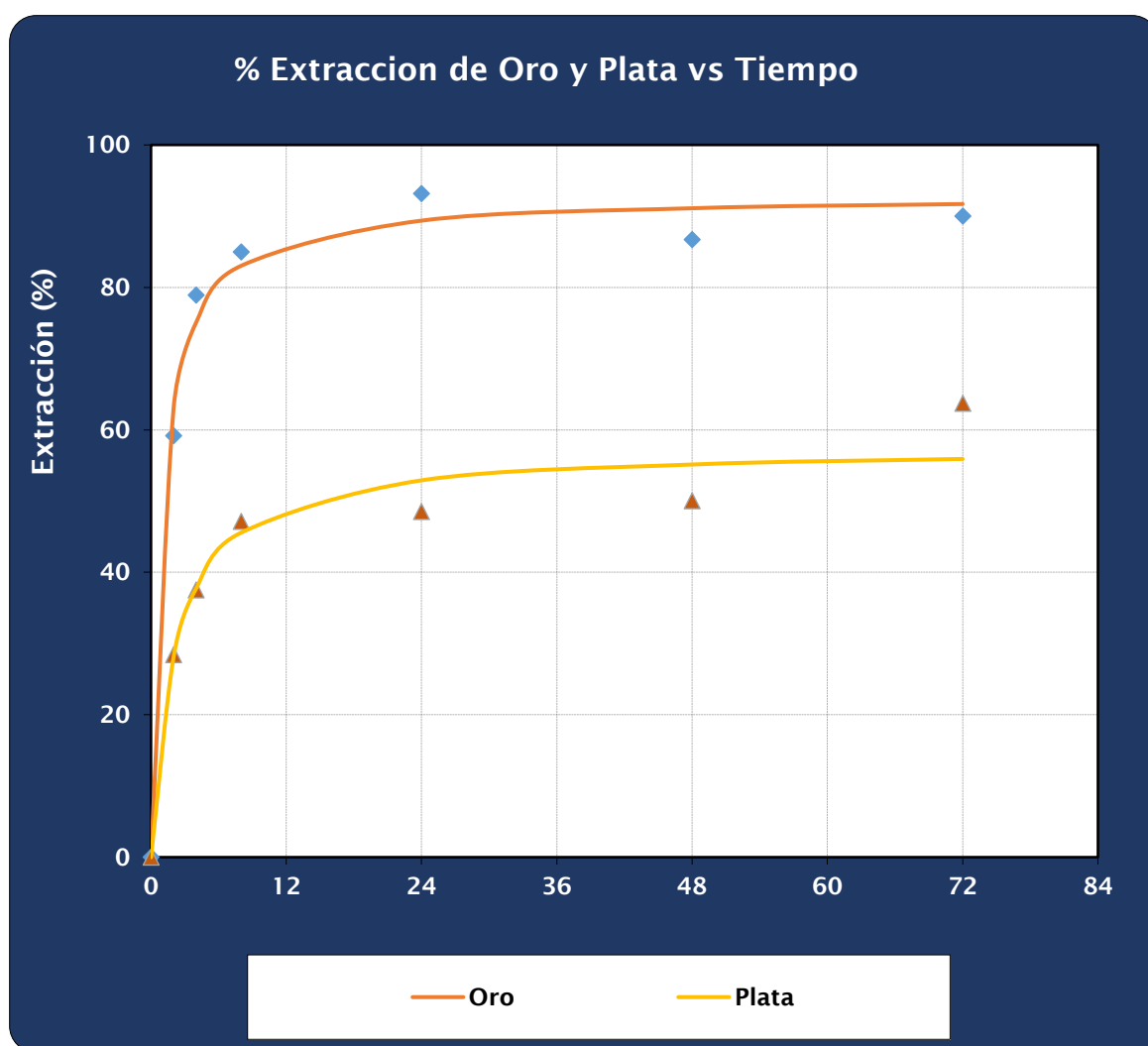
Fecha:	4/08/2021
ID Muestra :	Litología 1
Prueba Nro. :	JCM 8
NaCN [ppm] :	650 ppm
CN⁻ [ppm] :	338
Granulometría :	101 μ m
Peso mineral seco [g] :	592
Peso de solución [g] :	1184
Peso total [g] :	1776
Peso de carbón [g] :	0
pH inicial :	7,0
Sólidos [%] :	33,3
Densidad pulpa [g/L] :	1262
Grav. Espec. :	2,65
Ratio NaCN [kg/t] :	0,15
Ratio Cal [kg/t] :	1,35
Ratio Carbón [g/L] :	0

	Oro	Plata
Cabeza ensayada, g/t :	4,79	8,10
Residuo ensayado, g/t :	0,31	3,98
Carbón ensayado, g/t :	0,00	0,00
Cabeza calculada, g/t :	4,54	10,97
Metal en cabeza, mg :	2,83	4,79
Metal en solución, mg :	2,50	4,14
Metal en residuos, mg :	0,18	2,35
Metal en carbón mg :	0,00	0,00
Metal total, mg :	2,69	6,49
Recuperación Ensayada, % :	3,5	50,9
Recuperación Calculada, % :	93,2	63,7

Modelo Garc-Zuñ	Oro	Plata
Recuperación modelada, $R_{m\acute{a}x}$:	89,1	57,5
Constante cinética, K :	0,54	0,83

De acuerdo al modelo matemático de García Zuñiga se tiene una recuperación moderada del 57,5 % de plata, lo cual se debe de realizar más pruebas de lixiviación.

Gráfico 12 Extracción de oro y plata versus el tiempo



Nota: Elaborado por el tesista

La extracción de plata es muy variable en el proceso de extracción sin embargo, a partir de las 72 horas, presentándose 57,5 % de plata, con una constante de cinética de 0,83 de acuerdo al modelo de García Zuñiga.

Tabla 13 Porcentaje de recuperación de plata ensayada y calculada de la muestra de óxido

Tiempo horas	NaCN ppm	CN ⁻ ppm	pH	Muestra ml	Reactivo agregado					Oro				Plata					
					NaCN, ml (2%)	NaCN mg	Cal g	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada	Ley ppm	Contenido mg	Descartado acumulado mg	Total mg	% Recup Ensayada Acumulada	% Recup Calculada Acumulada
0	650	338	11,0	0	39,8	769	0,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
2	650	338	11,0	20	0,0	0	0,0	1,343	1,590	0,027	1,590	56,1	59,2	1,559	1,846	0,031	1,846	38,5	28,4
4	650	338	11,0	20	0,0	0	0,0	1,768	2,093	0,062	2,120	74,8	78,9	2,032	2,405	0,072	2,437	50,2	37,5
8	625	325	11,0	20	1,5	30	0,0	1,875	2,220	0,100	2,282	80,6	85,0	2,524	2,988	0,122	3,060	62,4	47,1
24	625	325	11,0	20	1,5	30	0,0	2,030	2,403	0,140	2,503	88,4	93,2	2,558	3,028	0,173	3,150	63,2	48,5
48	625	325	11,0	20	1,5	30	0,0	1,849	2,189	0,177	2,329	82,2	86,7	2,597	3,074	0,225	3,248	64,2	50,0
72	650	338	11,0	20	0,0	0	0,0	1,892	2,240	0,215	2,417	85,3	90,0	3,305	3,912	0,292	4,138	81,6	63,7

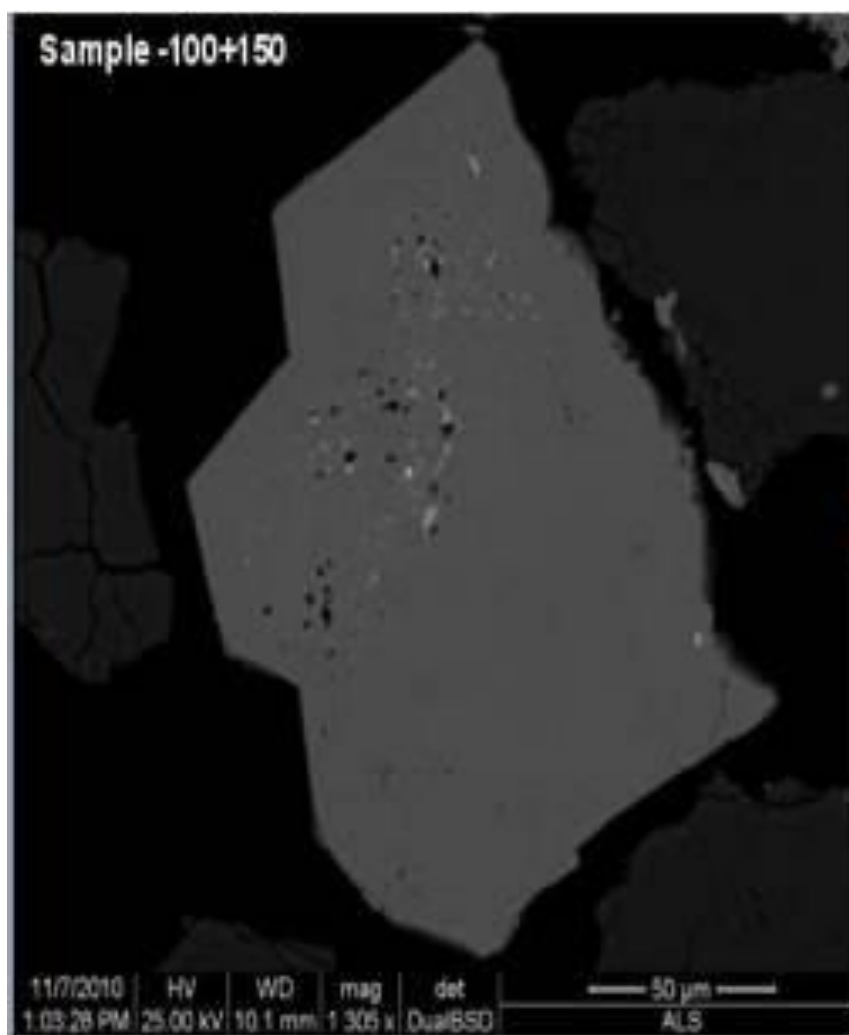
Nota: Elaborado por el tesista

De acuerdo a la tabla se observa que es muy variado la recuperación de plata, después de 72 horas de lixiviación se tiene un porcentaje de recuperación ensayada equivalente a 81,6 % mientras que el porcentaje de recuperación calculada acumulada es del 63,7 % que es muy cercano al modelo matemático de García Zuñiga.

4.1.4. Estudio mineralógico

Uno de los mayores problemas en la lixiviación de plata, es la disolución parcial de los minerales de plata. Para realizar la caracterización mineralógica Cuantitativa se utilizó el microscopio petrográfico Karl Zeiss 350. Los resultados obtenidos se muestran en las figuras siguientes.

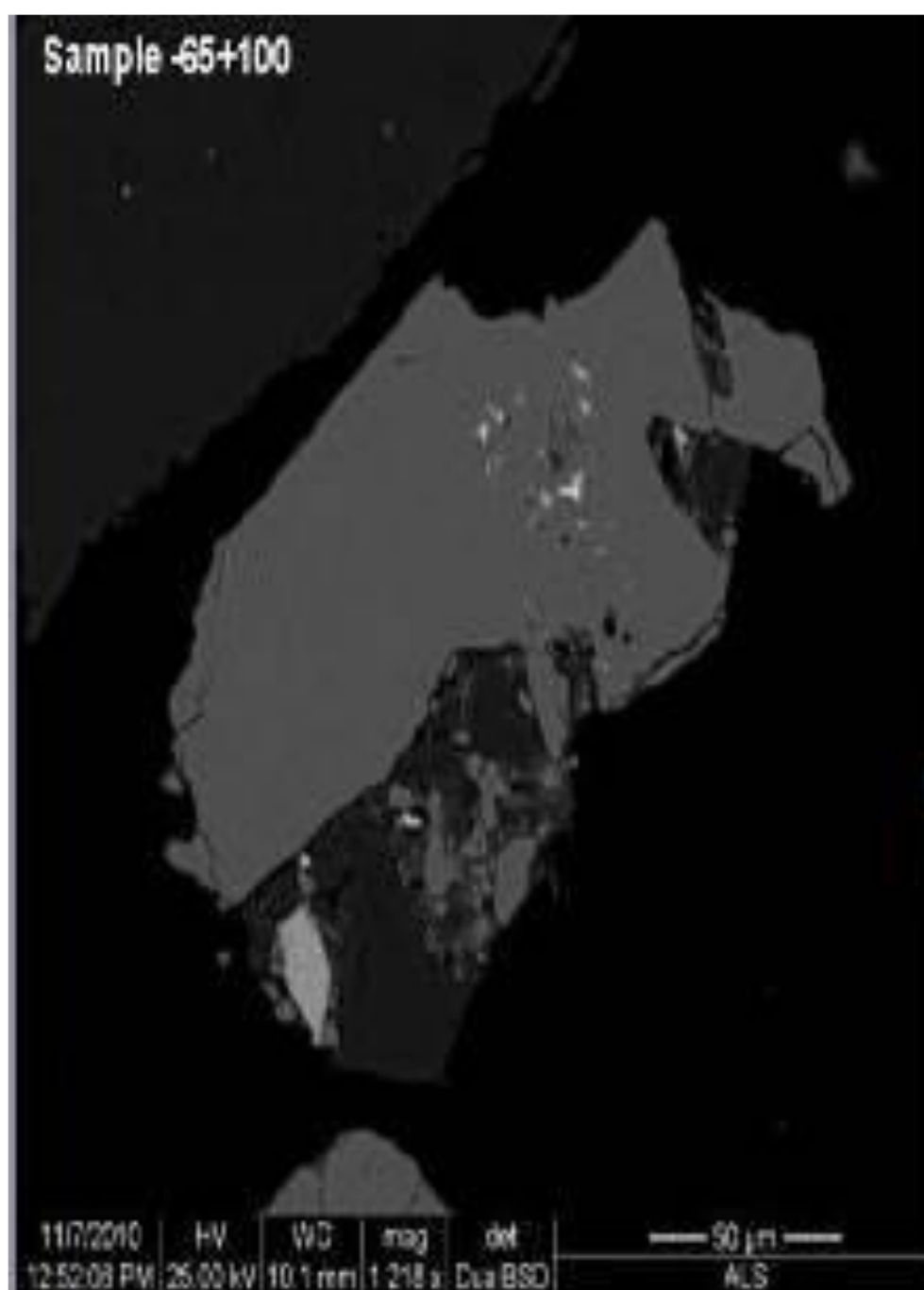
Gráfico 13 Briqueta con relave entre las mallas -100 +150



Nota: Laboratorio petrográfico UNMSM

Comentario: Se observa granos de freibergita y argentita finamente diseminados en una matriz de pirita con diámetros aproximados que van de 3 a 5 micrones.

Gráfico 14 Briqueta con relave entre las mallas -65 +100



Nota: Laboratorio petrográfico UNMSM

Comentario: Se observa granos muy finos de argentita en una matriz de pirita, lo que hace refractario a la plata, con diámetros aproximados de 5 micrones.

Gráfico 15 Briqueta con relave entre las mallas -65 +200



Nota: Laboratorio petrográfico UNMSM

Comentario: Se observa a la partícula de argentita al borde de la pirita, donde se puede someter a disolución química por cianuración.

Gráfico 16 Briqueta con relave entre las mallas -200 +325



Nota: Laboratorio petrográfico UNMSM

Comentario: Se observa granos de freibergita en tetraedrita y tenantita, al borde de una partícula de pirita.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula que se ha obtenido después de haber realizado una diversidad de pruebas de moliendabilidad, el que se ajusta más al trabajo de investigación es el que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 14 Resultados del test de moliendabilidad

TEST DE MOLIENDABILIDAD				
Descripción	Tiempo 1 (Min)	Tiempo 2 (Min)	Tiempo 3 (Min)	Tiempo 4 (Min)
	12,0	25,0	42,0	46,0
Peso Muestra (g)	571,3	579,8	501,8	565,4
Tiempo. Mol. (min)	12,0	25,0	42,0	46,0
P ₉₅ (µm)	138,0	71,9	42,0	43,2
% Malla -200	73,7	97,0	98,9	99,9

Nota: Elaborado por el tesista

En la segunda molienda con un peso de muestra equivalente de 579,8 gramos de mineral de óxido con un tiempo de 25,0 minutos a un P95 encontramos que el tamaño de partícula de mayor área superficial es de 72 micras con un 97,0 % de malla -200.

4.2.2. pH de la solución

Que de acuerdo al diagnóstico de lixiviación del mineral de óxido de Cerro S.A.C. se ha determinado que el pH esta en un medio alcalino desde los 9 a 11. Por lo que las pruebas se han realizado entre 10, 10,5 y 11,0 de pH

4.2.3. Análisis e interpretación del análisis químico

De acuerdo diagnóstico de lixiviación realizada se determina que:

Etapas N° 01: la solución de CN ataca solamente a las partículas de oro que se encuentran libres y son dóciles a la cianuración, solamente aquellas que se pueden cianurar sin inconveniente.

- **Etapas N° 02:** El ataque con HCl y luego con NaCN; primeramente, se disuelven todos los carbonatos en ácido para liberar el oro y luego son

cianurados con una solución fuerte de cianuro para medir el porcentaje de recuperación.

- **Etapas N° 03:** Ataque con agua regia disuelve los sulfuros de plata, atenúa su efecto, para luego ser cianurados y recuperados.
- **Residuo:** Se realiza un análisis de las colas por copelación y fundición para determinar la presencia de plata.

Flotación:

En esta etapa se recuperan los sulfuros de cobre plata flotables.

El Au en pirita se flota a pH neutro (natural), generalmente los sulfuros flotan con buena eficiencia a pH 9 a 11.

Los sulfuros secundarios de plata flotan constantemente y son los que contienen la mayor cantidad de plata soluble en cianuro.

La arsenopirita, flota el arsénico que es penalizable y su flotabilidad depende de las condiciones del mineral.

Es conveniente realizar un análisis mineralógico del concentrado de plata con el objetivo de analizar las especies mineralógicas que flotan y lixivian.

Pre Oxidación:

El propósito de la pre oxidación es descomponer los sulfuros generalmente marcasita, pirita; bajando o inhibiendo la capacidad cianicida.

El efecto oxidante altera (pasiva) la superficie de los sulfuros (generalmente por encontrarse molido con granulometría reducida donde el efecto de la pasivación es más eficiente), produce alteración de su ordenamiento cristalino haciéndolo vulnerable e inhibiendo su efecto cianicida.

El carbón se descompone con el oxígeno, generando CO_3 por oxidación, actuando sobre superficies activas del carbón.

Efectos de Azufre:

El azufre que actúa con el cianuro es generalmente el S-2 (desprendido generalmente de los sulfuros), los cuales forman tiocianatos. Los sulfatos son especies estables que tiene poca reacción con los sulfuros.

La oxidación de los sulfuros en la transición de S0 a S+6, pasa por S-2 que reacciona para formar tiocianato.

Es importante realizar la identificación del tipo de minerales de plata que alojan cobre soluble en cianuro, así como los compuestos orgánicos y pirita como consumidores de oxígeno.

4.2.4. Análisis e interpretación del análisis microscópico

Después de reconocer las muestras con el microscopio, se puede entender que la plata se encuentra como argentita y freibergita, finamente incluidos en una matriz de pirita, lo que hace muy difícil su recuperación. Esta formación geológica es el resultado de su formación ígnea con enfriamiento asociado en un mismo tiempo y escenario.

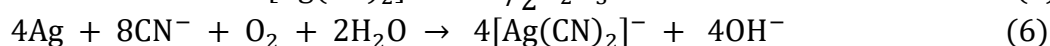
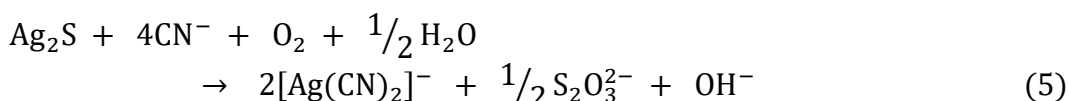
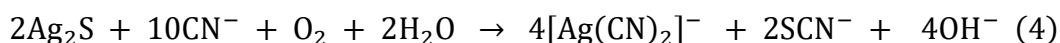
De observarse partículas de freibergita al borde de la pirita, se tiene que por su propia naturaleza es refractaria ($\text{Ag}_6\text{Cu}_4\text{Fe}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$).

Una alternativa a los relaves para una segunda recuperación es el acondicionamiento previo con soluciones ácidas (H_2SO_4), para liberar parcialmente a la plata.

4.2.5. Cristaloquímica de los minerales de plata

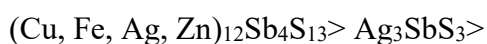
Los estudios realizados de la cinética de cianuración de la plata se basaron en la plata metálica y en menor grado en la argentita (Ag_2S). Sin embargo, la plata ocurre en cantidades variables en aproximadamente 200 minerales, siendo escasa en su forma nativa (elemental). La mayor fuente de plata son los calcogenuros,

Y¹⁰ (Y: S, Se, Te), y en particular asociados al S, donde la plata tiene un estado de oxidación +1, por lo que el mecanismo de reacción con cianuro es distinto al de la plata metálica. En este caso el agente oxidante actúa sobre el sulfuro [Ecs. (4) y (5)], mientras que, en el otro, actúa sobre la plata metálica [Ec. (6)].



Investigaciones publicadas sobre las diferencias de la cianuración de acantita (α – Ag₂S), estefanita (Ag₅SbS₄) y pirargirita (Ag₃SbS₃). El análisis realizado a la superficie lixiviada de acantita muestra formación de polisulfuros, lo que sugiere que pueden ser las especies responsables de su carácter refractario, ya que sólo el 37 % de la plata es extraída durante 48 horas de lixiviación en 500 ppm de NaCN.

El carácter refractario (resistencia a la disolución en cianuro) de algunos minerales de plata disminuye en el siguiente orden:



Por lo tanto, un mayor carácter refractario puede estar relacionado a una mayor complejidad del mineral, a nivel de su estructura y composición. Las menas de plata tienen por lo general cinco o seis, y en algunos casos, hasta diez minerales de plata. Esta complejidad en la mineralogía es un factor que limita la extracción de plata, ya que cada fase puede reaccionar de manera distinta al mismo agente de lixiviación.

Actualmente la mayor parte de la producción mundial de plata proviene de las menas de alta ley: acantita, α – Ag₂S, proustita, Ag₃AsS₃, y pirargirita,

Ag_3SbS_3 . Los dos últimos minerales pertenecen al grupo de sulfosales y son esencialmente especies semiconductoras de As^{3+} y Sb^{3+} . Cabe señalar que los sulfosales se caracterizan por contener grupos piramidales ZS_3^{3-} (Z:¹¹ As, Sb, Bi) en su estructura. En general, el As sustituye isomórficamente al Sb en los tioantimonitos, mientras que el Sb sustituye al As en los tioarsenitos, formando soluciones sólidas. Desde un punto de vista químico, los minerales Ag_3AsS_3 y Ag_3SbS_3 , también denominadas menas de plata roja o rubí, pueden ser considerados como una de las más sencillas sulfosales que contienen plata. Por lo tanto, el conocimiento de la reactividad de estos sólidos en un medio alcalino de cianuro puede proporcionar una visión amplia sobre el grupo completo de sulfosales de plata.

La variabilidad en la composición química de un mineral puede modificar en cierta medida sus propiedades fisicoquímicas y de lixiviación, dependiendo del tipo de impureza que contenga.

La reactividad de un sólido depende de su composición, pero sobre todo de la estructura cristalográfica.

Una comprensión profunda de la reactividad puede ser conseguida tomando en cuenta aspectos electrónicos y de la estructura cristalina (composición, características del enlace y conectividad).

4.3. Prueba de Hipótesis

La hipótesis general que se ha planteado es: “Si realizamos el análisis físico químico de relaves de plata entonces podemos incrementar la recuperación en la planta de óxidos”. En el que el análisis físico está vinculado al tamaño del mineral o partícula de mayor área superficial es de 72 micras con un 97,0 % de malla -200.

En lo referente al análisis e interpretación del químico damos una interpretación a los modelos matemáticos de García Zuñiga, Klimpel y Modelo de 2° orden.

Prueba de Lixiviación 1:

Modelos cinéticos (matemáticos) de extracción de plata

Tabla 15 Modelos cinéticos de extracción de plata

Modelos cinéticos de extracción de plata						
Tiempo horas	Modelo Garc-Zuñ		Modelo Klimpel		Modelo 2° Orden	
	Rmáx	64,0	Rmáx	66,6	Rmáx	67,7
	K	0,45	K	1,11	K	0,01
	% Ext	Error	% Ext	Error	% Ext	Error
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
2	37,7	21,6988	39,9	6,2653	40,7	2,8543
4	53,2	14,3974	51,8	5,6222	50,9	1,9880
8	62,2	31,0931	59,1	6,2472	58,1	2,1171
24	64,0	0,2934	64,1	0,1937	64,2	0,1533
48	64,0	3,5859	65,4	0,2964	65,9	0,0003
72	64,0	11,5026	65,8	2,6437	66,5	0,8455
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
		82,5713		21,2685		7,9587

Nota: Elaborado por el tesista

$$R_t = R_{\infty} (1 - e^{-kt})$$

$$R_t = R_{\infty} (1 - \frac{1}{kt} (1 - e^{-kt}))$$

$$R_t = \frac{R_{\infty}^2 (kt)}{1 + R_{\infty} * kt}$$

Que de acuerdo a la tabla mostrada se observa que de acuerdo al modelo de García Zuñiga se tiene una extracción del 64,0 %, en el modelo de Klimpel se presenta como extracción un 66,6 % y de acuerdo al modelo de 2° orden se tiene una extracción 67,7 %.

Las ecuaciones manifestadas corresponden a cada modelo respectivamente, que nos ayuda a tener un acercamiento a la extracción de plata en cada una de las pruebas.

Prueba de Lixiviación 2:

Tabla 16 Modelos cinéticos de extracción de plata

Modelos cinéticos de extracción de plata						
Tiempo horas	Modelo Garc-Zuñ		Modelo Klimpel		Modelo 2° Orden	
	Rmáx	67,4	Rmáx	70,3	Rmáx	71,6
	K	0,41	K	1,01	K	0,01
	% Ext	Error	% Ext	Error	% Ext	Error
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
2	37,8	30,6211	40,1	10,3575	41,0	5,4092
4	54,4	12,9299	53,2	5,7339	52,1	1,8130
8	64,9	48,5426	61,6	13,3415	60,4	5,8245
24	67,4	0,3262	67,4	0,2941	67,4	0,3380
48	67,4	6,2917	68,8	1,1860	69,5	0,2148
72	67,4	20,8839	69,3	7,1112	70,2	3,3050
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
		119,5955		38,0242		16,9046

Nota: Elaborado por el tesista

Que de acuerdo a la tabla mostrada se observa que de acuerdo al modelo de García Zuñiga se tiene una extracción del 67,4 %, en el modelo de Klimpel se presenta como extracción un 70,3 % y de acuerdo al modelo de 2° orden se tiene una extracción 71,6 %.

Las ecuaciones manifestadas corresponden a cada modelo respectivamente, que nos ayuda a tener un acercamiento a la extracción de plata en cada una de las pruebas.

Prueba de Lixiviación 3:

Tabla 17 Modelos cinéticos de extracción de plata

Modelos cinéticos de extracción de plata						
Tiempo horas	Modelo Garc-Zuñ		Modelo Klimpel		Modelo 2° Orden	
	R _{máx}	62,7	R _{máx}	65,6	R _{máx}	67,0
	K	0,34	K	0,81	K	0,01
	% Ext	Error	% Ext	Error	% Ext	Error
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
2	31,0	15,8470	33,1	3,2906	34,3	0,4425
4	46,6	0,9305	46,2	0,2263	45,4	0,1012
8	58,6	33,3248	55,5	7,1423	54,1	1,6487
24	62,7	4,2428	62,2	2,5192	62,1	2,0957
48	62,7	9,3073	63,9	3,4503	64,4	1,7107
72	62,7	9,9477	64,5	1,9587	65,3	0,3357
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
		73,6000		18,5874		6,3345

Nota: Elaborado por el tesista

Que de acuerdo a la tabla mostrada se observa que de acuerdo al modelo de García Zuñiga se tiene una extracción del 62,7 %, en el modelo de Klimpel se presenta como extracción un 65,6 % y de acuerdo al modelo de 2° orden se tiene una extracción 67,0 %.

Las ecuaciones manifestadas corresponden a cada modelo respectivamente, que nos ayuda a tener un acercamiento a la extracción de plata en cada una de las pruebas.

Prueba de Lixiviación 4:

Tabla 18 Modelos cinéticos de extracción de plata

Modelos cinéticos de extracción de plata						
Tiempo	Modelo Garc-Zuñ		Modelo Klimpel		Modelo 2° Orden	
	R _{máx}	68,8	R _{máx}	71,6	R _{máx}	72,7
	K	0,50	K	1,25	K	0,01
horas	% Ext	Error	% Ext	Error	% Ext	Error
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
2	43,3	22,9365	45,2	8,4245	45,8	5,3723
4	59,4	20,9434	57,3	6,3610	56,2	2,0256
8	67,5	48,4162	64,4	15,0026	63,4	8,3436
24	68,8	0,0001	69,2	0,1653	69,3	0,3045
48	68,8	15,7068	70,4	5,5184	71,0	3,0445
72	68,8	14,3341	70,8	3,1439	71,6	0,9962
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
		122,3372		38,6157		20,0866

Nota: Elaborado por el tesista

Que de acuerdo a la tabla mostrada se observa que de acuerdo al modelo de García Zuñiga se tiene una extracción del 68,8 %, en el modelo de Klimpel se presenta como extracción un 71,6 % y de acuerdo al modelo de 2° orden se tiene una extracción 72,7 %.

Las ecuaciones manifestadas corresponden a cada modelo respectivamente, que nos ayuda a tener un acercamiento a la extracción de plata en cada una de las pruebas.

Prueba de Lixiviación 5:

Tabla 19 Modelos cinéticos de extracción de plata

Modelos cinéticos de extracción de plata						
Tiempo horas	Modelo Garc-Zuñ		Modelo Klimpel		Modelo 2° Orden	
	R _{máx}	42,5	R _{máx}	45,3	R _{máx}	47,3
	K	0,20	K	0,42	K	0,01
	% Ext	Error	% Ext	Error	% Ext	Error
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
2	13,7	35,5654	14,8	23,9011	15,5	17,1771
4	23,0	2,4509	23,5	1,0679	23,4	1,3778
8	33,5	31,4457	32,4	20,3184	31,3	11,4005
24	42,1	46,3244	40,9	31,6964	40,4	26,7813
48	42,5	2,2014	43,1	4,5872	43,6	6,9770
72	42,5	97,6593	43,9	72,0166	44,8	57,0702
0	0,0	0,000	0	0,0000	0,0	0,0000
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
		215,6470		153,5875		120,7839

Nota: Elaborado por el tesista

Que de acuerdo a la tabla mostrada se observa que de acuerdo al modelo de García Zuñiga se tiene una extracción del 42,5 %, en el modelo de Klimpel se presenta como extracción un 45,3 % y de acuerdo al modelo de 2° orden se tiene una extracción 47,3 %.

Las ecuaciones manifestadas corresponden a cada modelo respectivamente, que nos ayuda a tener un acercamiento a la extracción de plata en cada una de las pruebas.

Prueba de Lixiviación 6:

Tabla 20 Modelos cinéticos de extracción de plata

Modelos cinéticos de extracción de plata						
Tiempo horas	Modelo Garc-Zuñ		Modelo Klimpel		Modelo 2° Orden	
	Rmáx	64,8	Rmáx	67,7	Rmáx	69,3
	K	0,33	K	0,80	K	0,01
	% Ext	Error	% Ext	Error	% Ext	Error
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
2	31,6	41,9645	34,0	15,9594	35,1	8,5013
4	47,7	3,8738	47,5	2,9954	46,6	0,7133
8	60,3	67,8258	57,2	26,3860	55,7	13,5322
24	64,8	2,9415	64,2	1,3304	64,1	1,1292
48	64,8	18,6579	66,0	9,9124	66,6	6,2191
72	64,8	11,2619	66,5	2,5603	67,5	0,4266
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
0	0,0	0,0000	0	00000	0,0	0,0000
		146,5254		59,1440		30,5217

Nota: Elaborado por el tesista

Que de acuerdo a la tabla mostrada se observa que de acuerdo al modelo de García Zuñiga se tiene una extracción del 42,5 %, en el modelo de Klimpel se presenta como extracción un 45,3 % y de acuerdo al modelo de 2° orden se tiene una extracción 47,3 %.

Las ecuaciones manifestadas corresponden a cada modelo respectivamente, que nos ayuda a tener un acercamiento a la extracción de plata en cada una de las pruebas.

Prueba de Lixiviación 7:

Tabla 21 Modelos cinéticos de extracción de plata

Modelos cinéticos de extracción de plata						
Tiempo horas	Modelo Garc-Zuñ		Modelo Klimpel		Modelo 2° Orden	
	Rmáx	55,1	Rmáx	57,8	Rmáx	59,5
	K	0,29	K	0,69	K	0,01
	% Ext	Error	% Ext	Error	% Ext	Error
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
2	24,5	45,4540	26,5	22,1735	27,4	14,6727
4	38,1	0,6883	38,2	0,9838	37,5	0,0691
8	49,8	69,8876	47,4	35,2055	46,0	20,5725
24	55,1	16,4290	54,3	11,1497	54,2	10,3375
48	55,1	6,6135	56,1	2,5342	56,8	0,8647
72	55,1	43,8102	56,7	25,5894	57,6	16,6579
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
		182,8826		97,6360		63,1744

Nota: Elaborado por el tesista

Que de acuerdo a la tabla mostrada se observa que de acuerdo al modelo de García Zuñiga se tiene una extracción del 55,1 %, en el modelo de Klimpel se presenta como extracción un 57,8 % y de acuerdo al modelo de 2° orden se tiene una extracción 59,5 %.

Las ecuaciones manifestadas corresponden a cada modelo respectivamente, que nos ayuda a tener un acercamiento a la extracción de plata en cada una de las pruebas.

Prueba de Lixiviación 8:

Tabla 22 Modelos cinéticos de extracción de plata

Modelos cinéticos de extracción de plata						
Tiempo horas	Modelo Garc-Zuñ		Modelo Klimpel		Modelo 2° Orden	
	Rmáx	53,5	Rmáx	56,2	Rmáx	57,5
	K	0,33	K	0,75	K	0,01
	% Ext	Error	% Ext	Error	% Ext	Error
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
2	25,6	8,1401	27,1	1,8300	28,0	0,1468
4	38,9	1,9261	38,4	0,7162	37,7	0,0317
8	49,5	5,7091	46,8	0,0854	45,6	2,4565
24	53,5	24,3696	53,1	20,5596	52,9	19,1817
48	53,5	11,9654	54,6	21,1311	55,1	26,0314
72	53,5	105,0957	55,1	73,8442	55,9	61,2469
0	0,0	0,00	0	0,0000	0,0	0,0000
0	0,0	0,0000	0	0,0000	0,0	0,0000
		157,2061		118,1665		109,0950

Nota: Elaborado por el tesista

Que de acuerdo a la tabla mostrada se observa que de acuerdo al modelo de García Zuñiga se tiene una extracción del 53,5 %, en el modelo de Klimpel se presenta como extracción un 56,2 % y de acuerdo al modelo de 2° orden se tiene una extracción 57,5 %.

Las ecuaciones manifestadas corresponden a cada modelo respectivamente, que nos ayuda a tener un acercamiento a la extracción de plata en cada una de las pruebas.

Según la primera hipótesis específica “Si caracterizamos física y químicamente los relaves de plata entonces podemos incrementar la recuperación en la planta de óxidos” que de acuerdo al modelo de García Zuñiga se tiene una extracción del 68,8 %, en el modelo de Klimpel se presenta como extracción un

71,6 % y de acuerdo al modelo de 2° orden se tiene una extracción **72,7 %**. Por lo tanto, se tiene una **extracción aceptable**.

De acuerdo a la segunda hipótesis alternativa “Si determinamos las causas de refractariedad de los minerales de plata en el proceso de cianuración entonces podemos incrementar la recuperación en la planta de óxidos” y después de realizar un análisis mineralógico se ha determinado que la plata esta presente en **freibergita** y **argentita** finamente diseminados en una matriz de pirita con diámetros aproximados que van de 3 a 5 micrones.

4.4. Discusión de resultados

Tabla 23 Resumen de las pruebas de extracción

JCM	Tamaño Partícula	pH Natural	Condiciones de Cianuración		Ley Cabeza Calculada g/t		Extracción %		Reactivos kg/t		Cte. Cinética K, h ⁻¹
			NaCN	pH	Au	Ag	Au	Ag	NaCN	Cal	
JCM 6	73 µm	6.5	800 ppm	11.0	4.75	8.10	91.4	69.3	0.45	1.4	1.8
JCM 8	101 µm	7.0	650 ppm	11.0	4.54	8.10	89.1	57.5	0.15	1.4	0.5
JCM 7	100 µm	6.5	350 ppm	11.0	4.61	8.10	86.1	59.5	0.10	1.3	0.6
JCM 5	73 µm	6.5	200 ppm	10.5	4.53	8.10	90.9	47.3	0.10	1.4	0.7
JCM 1	45 µm	6.5	350 ppm	10.5	4.28	8.10	92.6	67.7	0.20	1.3	1.0
JCM 2	43 µm	6.5	650 ppm	11.0	4.62	8.10	95.6	71.6	0.22	1.4	2.0
JCM 3	72 µm	6.5	500 ppm	11.0	4.32	8.10	93.7	67.0	0.15	1.2	0.5
JCM 4	72 µm	6.5	500 ppm	11.0	4.21	8.10	92.3	72.7	0.15	1.2	0.6

Nota: Elaborado por el tesista

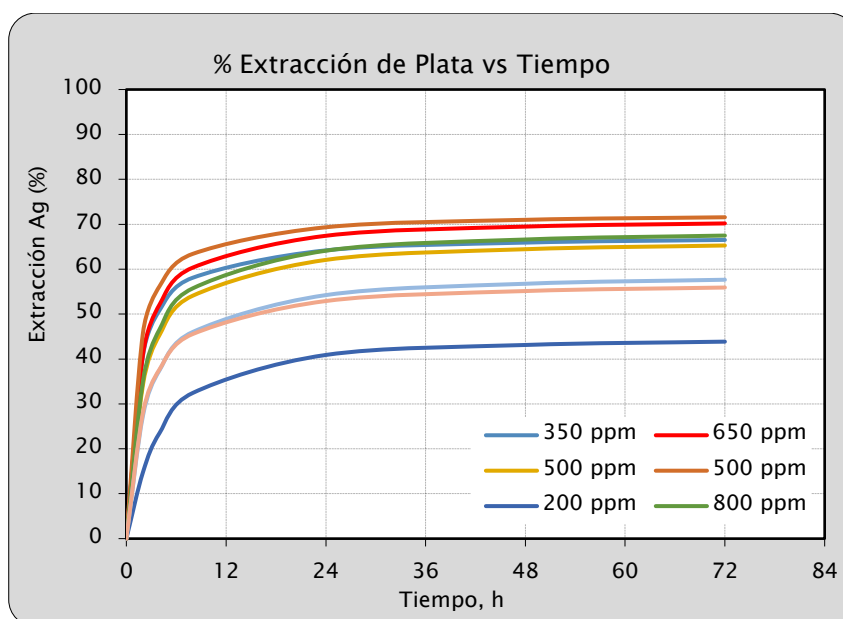
De acuerdo a las pruebas realizadas se determina que en la cuarta prueba se tiene una extracción del **72,7 % de plata** y un **92,3 % de oro** a un tamaño de partícula equivalente a 72 micras con un 6,5 de pH con un consumo de NaCN de 500 ppm en un medio alcalino de 11, asimismo se ha mantenido la cabeza calculada como una constante en 8,10 gramos por tonelada.

Por otro lado, se puede observar en la gráfica de extracción de plata versus el tiempo que después de 72 horas se hace constante el porcentaje de extracción,

dándonos a conocer que es muy importante el control de extracción en cada tiempo de recolección para dar por culminado el proceso.

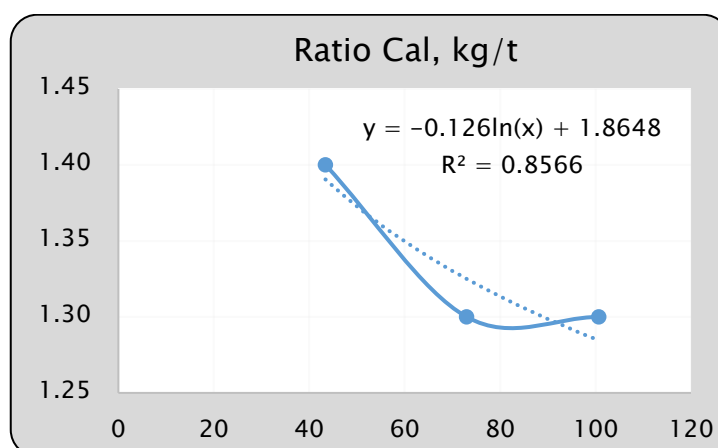
Lo mismo ocurre con el oro, damos a conocer por ser una extracción de interés ya que el motivo de la tesis se centra en la extracción de la plata.

Gráfico 17 Porcentaje de extracción de plata versus tiempo



Nota: Elaborado por el tesista

Gráfico 18 Ratio de cal



Nota: Elaborado por el tesista

- Los informes del proceso de lixiviación, demuestran que las recuperaciones de plata por cianuración son del 48 % en promedio, debido a que solo la disolución química se da en la plata nativa, argentita y después de revisar las observaciones al microscopio petrográfico, se concluye que la plata se encuentra como argentita y freibergita, en diámetros que van de 2 a 10 micrones ocluido en la pirita que se comporta como un material cementante o matriz en todas las presentaciones.
- En las microfotografías se observa granos libres de galena, esfalerita o asociado a la pirita, óxidos de hierro como limonita, hematita y presencia de tetratedrita.

CONCLUSIONES

1. Después de evaluar física y químicamente los relaves de plata, se demuestra que, para llevar adelante el proceso de cianuración, se procedió a liberar alcanzando un tamaño del mineral o partícula de mayor área superficial es de **72 micras con un 97,0 % de malla -200**. % de granulometría, las leyes reportan que en la cuarta prueba se tiene una extracción del **72,7 % de plata** y un **92,3 % de oro** a un tamaño de partícula equivalente a 72 micras con un 6,5 de pH de inicio, con un consumo de NaCN de 500 ppm en un medio alcalino de 11, asimismo se ha mantenido la cabeza calculada como una constante en 8,10 gramos por tonelada de valores presentes en promedio en los relaves; la disolución media de la plata en la cianuración es 47,99 %, lo que indica que un apreciable porcentaje aún falta recuperar.
2. Después de reconocer las muestras con el microscopio petrográfico, se puede concluir que durante el proceso de cianuración se disolvió la plata nativa y argentita y la mayor dificultad para recuperar por lixiviación se debe a la presencia de minerales complejos entre ellos la freibergita, que por su propia naturaleza es refractaria ($\text{Ag}_6\text{Cu}_4\text{Fe}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) y se encuentran finamente incluidos en una matriz de pirita, lo que hace muy difícil su recuperación, debido a su formación ígnea con enfriamiento asociado en un mismo tiempo y escenario.
3. Una alternativa a los relaves de plata con mineralización compleja es el desarrollo de pretratamientos con soluciones básicas antes de la lixiviación para oxidar parcialmente la superficie de los minerales complejos, los resultados requieren de análisis con Espectroscopia Raman, siendo una dificultad no tener en el país.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar más pruebas metalúrgicas, de pre tratamientos con soluciones básicas, por ser minerales de plata incluidos en una matriz de pirita y evaluar sus resultados en laboratorios extranjeros.
2. Un proceso previo para recuperar la plata que aún queda en los relaves sería desarrollar pruebas de biolixiviación a las condiciones ambientales de Pasco, para la disolución de la pirita y liberar los valores de plata.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernal, C. (2016). *Metodología de la investigación*. Bogotá: Pearson.
- Carrasco, L. (2017). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*. Bogotá: Limusa.
- Chaguayo, E. y. (2012). *Estudio de optimización para mejorar la lixiviación cianurante de un mineral refractario de oro y plata conteniendo antimonio de la zona de Huampar Lima*. Huancayo: UNCP.
- Col., O. -A. (1984). *Diagramas de predominancia con varios metales con cianuro*. Cali: UTP.
- Deschenes, G. (1998). *Effect of the composition of some sulphide minerals on cyanidation and use of lead nitrate and oxygen to alleviate their impact* . Montreal: Hydrometallurgy.
- Fink, O. (1950) *TecniSAZQAZ* <cas de recolección de datos, Bogota. Limusa pp 82
- Habashi, F. (1967). *Kinetics and Mechanism of Gold and Silver Dissolution in Cyanide Solution* . Montana: Bureau of Mines and Geology.
- Habashi, F. (1967). *Metalurgia extractiva*. Vancouver: Routledge.
- Hernández, R. y. (2006). *Metodología de la investigación*. México D. F.: Mc-Graw Hill.
- Kameda, M. (1949). Fundamental Studies on Dissolution of Gold in Cyanide Solutions III. *Repositorio Inst. Tohoku University*, 435 - 444.
- Kudryk, V. (1954). Mechanism and rate - controlling factors in the dissolution of gold in cyanide solutions. *Journal of Metals*, 541 - 548.
- Luna, R. (2003). *Estudio integral del comportamiento de la cianuración de plata en concentrados minerales* . Iztapalapa: UAMI.
- Meléndez, A. (2011). *Estudio fisicoquímico de las sulfosales isoestructurales Ag_3AsS_3 (proustita) y Ag_3SbS_3 (pirargirita) en soluciones de cianuro: extracción de plata*. Iztapalapa: UAMI.

- Nicol, M. y. (1979). A modern study of the kinetics and mechanism of the cementation of gold. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 191 - 198.
- Osseo - Asare, X. T. (1984). Solution Chemistry of Cyanide Leaching Systems. *Metallurgical Society of AIME*, 173 - 197.
- Ramos, A. (2019). *Recuperación de plata de los relaves de flotación mediante lixiviación en la empresa administradora Cerro SAC*. Lima: UNMSM.
- Ramos, A. (2019). *Recuperación de plata de los relaves de flotación*, . Lima: UNMSM.
- Wadsworth. (1989). *Simulación de los resultados experimentales de disco rotatorio obtenidos por Kudryk y col. (1954) para oro. metálico ..* Utha: UNUTHA.
- Wadsworth, M. (1989). *Precious Metals Industries and Role of Cyanide*. Amsterdam: A. E. Torma and I. H. Gundiler.
- Xue, T. y.-A. (1985). Heterogeneous equilibria in the Au-CN-H₂O and AgCN-H₂O systems. *Metallurgical Transactions*, 455 - 463.hang (1997)
- Zhang, A. (1997) Recuperación de plata por flotación en Symposium Bolivia. pp 56

ANEXOS:

Instrumentos de recolección de datos

MODELAMIENTO DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

$$\% \text{Recu} = 83.1 + 0.0244 [\text{NaCN}] + 0.193 \text{ P95} - 0.000020 [\text{NaCN}] * [\text{NaCN}] - 0.00213 \text{ P95} * \text{P95} - 0.000000 [\text{NaCN}] * \text{P95}$$

$$\text{NaCN}(\text{kg/Tm}) = 0.457 - 0.00108 [\text{NaCN}] + 0.0003 \text{ P95} + 0.000001 [\text{NaCN}] * [\text{NaCN}] - 0.000019 \text{ P95} * \text{P95} + 0.0000023 [\text{NaCN}] * \text{P95}$$

[NaCN] P95	200 ppm	300 ppm	400 ppm	500 ppm	600 ppm	700 ppm	800 ppm
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
40	91.49	92.93	93.97	94.61	94.85	94.69	94.13
41	91.51	92.95	93.99	94.63	94.87	94.71	94.15
42	91.53	92.97	94.01	94.65	94.89	94.73	94.17
43	91.54	92.98	94.02	94.66	94.90	94.74	94.18
44	91.55	92.99	94.03	94.67	94.91	94.75	94.19
45	91.55	92.99	94.03	94.67	94.91	94.75	94.19
46	91.55	92.99	94.03	94.67	94.91	94.75	94.19
47	91.55	92.99	94.03	94.67	94.91	94.75	94.19
48	91.54	92.98	94.02	94.66	94.90	94.74	94.18
49	91.52	92.96	94.00	94.64	94.88	94.72	94.16
50	91.51	92.95	93.99	94.63	94.87	94.71	94.15
51	91.48	92.92	93.96	94.60	94.84	94.68	94.12
52	91.46	92.90	93.94	94.58	94.82	94.66	94.10
53	91.43	92.87	93.91	94.55	94.79	94.63	94.07
54	91.39	92.83	93.87	94.51	94.75	94.59	94.03
55	91.35	92.79	93.83	94.47	94.71	94.55	93.99
56	91.31	92.75	93.79	94.43	94.67	94.51	93.95
57	91.26	92.70	93.74	94.38	94.62	94.46	93.90
58	91.21	92.65	93.69	94.33	94.57	94.41	93.85
59	91.15	92.59	93.63	94.27	94.51	94.35	93.79
60	91.09	92.53	93.57	94.21	94.45	94.29	93.73
61	91.03	92.47	93.51	94.15	94.39	94.23	93.67
62	90.96	92.40	93.44	94.08	94.32	94.16	93.60
63	90.89	92.33	93.37	94.01	94.25	94.09	93.53
64	90.81	92.25	93.29	93.93	94.17	94.01	93.45
65	90.73	92.17	93.21	93.85	94.09	93.93	93.37
66	90.64	92.08	93.12	93.76	94.00	93.84	93.28
67	90.55	91.99	93.03	93.67	93.91	93.75	93.19
68	90.45	91.89	92.93	93.57	93.81	93.65	93.09
69	90.36	91.80	92.84	93.48	93.72	93.56	93.00
70	90.25	91.69	92.73	93.37	93.61	93.45	92.89
71	90.15	91.59	92.63	93.27	93.51	93.35	92.79
72	90.03	91.47	92.51	93.15	93.39	93.23	92.67
73	89.92	91.36	92.40	93.04	93.28	93.12	92.56
74	89.80	91.24	92.28	92.92	93.16	93.00	92.44
75	89.67	91.11	92.15	92.79	93.03	92.87	92.31
76	89.55	90.99	92.03	92.67	92.91	92.75	92.19
77	89.41	90.85	91.89	92.53	92.77	92.61	92.05

78	89.28	90.72	91.76	92.40	92.64	92.48	91.92
79	89.13	90.57	91.61	92.25	92.49	92.33	91.77
80	88.99	90.43	91.47	92.11	92.35	92.19	91.63
81	88.84	90.28	91.32	91.96	92.20	92.04	91.48
82	88.68	90.12	91.16	91.80	92.04	91.88	91.32
83	88.53	89.97	91.01	91.65	91.89	91.73	91.17
84	88.36	89.80	90.84	91.48	91.72	91.56	91.00
85	88.20	89.64	90.68	91.32	91.56	91.40	90.84
86	88.02	89.46	90.50	91.14	91.38	91.22	90.66
87	87.85	89.29	90.33	90.97	91.21	91.05	90.49
88	87.67	89.11	90.15	90.79	91.03	90.87	90.31
89	87.49	88.93	89.97	90.61	90.85	90.69	90.13
90	87.30	88.74	89.78	90.42	90.66	90.50	89.94
91	87.10	88.54	89.58	90.22	90.46	90.30	89.74
92	86.91	88.35	89.39	90.03	90.27	90.11	89.55
93	86.71	88.15	89.19	89.83	90.07	89.91	89.35
94	86.50	87.94	88.98	89.62	89.86	89.70	89.14
95	86.29	87.73	88.77	89.41	89.65	89.49	88.93
96	86.08	87.52	88.56	89.20	89.44	89.28	88.72
97	85.86	87.30	88.34	88.98	89.22	89.06	88.50
98	85.64	87.08	88.12	88.76	89.00	88.84	88.28
99	85.41	86.85	87.89	88.53	88.77	88.61	88.05
100	85.18	86.62	87.66	88.30	88.54	88.38	87.82
101	84.94	86.38	87.42	88.06	88.30	88.14	87.58
102	84.71	86.15	87.19	87.83	88.07	87.91	87.35
103	84.46	85.90	86.94	87.58	87.82	87.66	87.10
104	84.21	85.65	86.69	87.33	87.57	87.41	86.85
105	83.96	85.40	86.44	87.08	87.32	87.16	86.60

MICROSCOPIA DE MINERALES

✓ Preparación de briquetas

Se realizó el pesaje y secado de las muestras aproximadamente 10 gr de muestra (relave)

Figura 1. Pesaje de resina



Nota: Elaboración propia

Se pesó 14 gr de resina epóxica, mas 2 gr de endurecedor por muestra.

La muestra se depositó en un molde de 3 cm de diámetro estandarizado universalmente para el tamaño de una briqueta; y que facilitó su manipulación para mejor protección de la muestra.

Figura 2. Vaciado y secado de muestra



Nota: Elaboración propia

El moldeado de la muestra se realizó usando la resina en frio para evitar la alteración del componente de la muestra ya que estas mezclas de resina más endurecedor producen reacciones exotérmicas.

✓ **Lapeado o desgastado**

La muestra se desgastó con lijas de carburo de silicio sobre un vidrio teniendo como lubricante el agua en el siguiente orden:

***Tabla 24.** Desgaste de las briquetas con abrasivos*

Abrasivo (SiC) Malla (micras)	Cantidad (g)	Tiempo (min)	Lado
200	15	10	Cara - reverso
400	10	10	Cara
600	7	5	Cara - reverso
1000	3	5	Cara

Nota: Elaboración propia

***Figura 3.** Ilustración de las etapas del lapeado*



Nota: Elaboración propia

✓ **Pulido preliminar, intermedio y fino**

La primera etapa. Se realizó con un paño de jeans con la adición de alúmina disuelto en agua, a una proporción de 1 a 1 por un periodo de tiempo de 3-5 min.

La segunda etapa se realizó haciendo uso de la pulidora semiautomática Labopol-6 Struer con sus paños respectivos, lubricante de aceite orgánico y en medio con los granos de suspensión de diamantes.

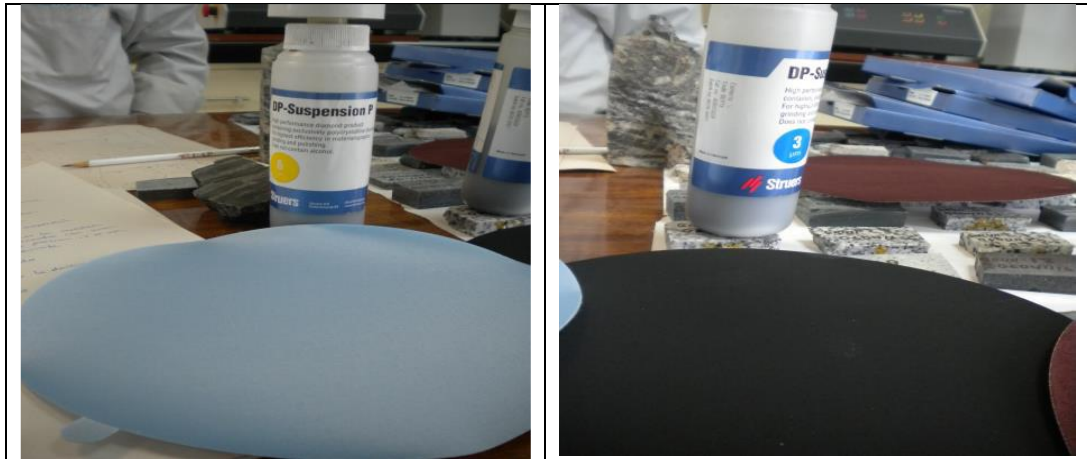
Los paños que se utilizó en la etapa de pulido fueron los adecuados: como los autoadhesivos o magnéticos con pelo, con baja elasticidad y buena propiedad de retención de la suspensión de diamante, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 25. *Etapas del Pulido de las briquetas*

Suspensión de diamantes (micrones)	Tiempo (min)	Velocidad (RPM)	Presión (Newton)
6 a 10	3 a 8	400 - 600	30 a 40
3 a 6	3 a 4	300	20
1 a 1.4	1	100 - 150	10

Nota: Elaboración propia.

Figura 4. *Paños para el pulido*



Nota: Elaboración propia

Después del lapeado y pulido toda briquea debe cumplir con las siguientes características:

- La briquea no debe presentar micro porosidad.
- La briquea no debe presentar rayaduras.

- La briqueta debe tener una superficie totalmente plana por ambos lados.

Se pretende obtener información acerca de la **mineralogía**, génesis, **grado de liberación**, conteo de **granos** y la composición de la muestra; **haciendo uso de las propiedades ópticas** como color, hábito, pleocroísmo, maclas, reflectividad que poseen los minerales al ser incididos por la luz polarizada.

✓ **Preparación de plaquetas**

Solo se necesitó de 3 a 5 gramos de muestra de material pulverizado (cabeza y relave a malla +200 y - 200 respectivamente)

Utilizando esmalte sintético, se llevó a cabo el pegado de las muestras en los portaobjetos, con índice de refracción 1,53 (respecto al aire) y tratando de pulverizar en forma uniforme con un alambre y calentado por un corto tiempo.

✓ **Desbaste**

Mediante el desbaste se consiguió poner al descubierto la superficie del mineral, reduciendo el espesor, eliminando todo lo que pudiera obstaculizar sus características naturales, a la vez que se obtiene una superficie plana con pequeña rugosidad, y se realiza sobre un vidrio triple con la acción de un aglutinante (agua); hasta alcanzar un espesor ideal de 30 micras.

Tabla 26. Etapas de lapeado para cada plaqueta

Abrasivo (SiC) Malla (micras)	Cantidad (g)	Tiempo (min)	Lado	Espesor (micras)
400	5	7	Cara	100
600	10	10	Cara	40
1000	7	5	Cara	30

Nota: Elaboración propia.

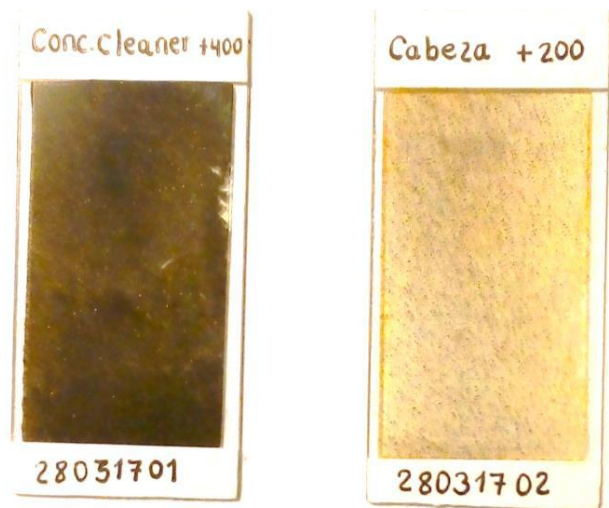
✓ Montaje del cubre objeto

Una vez que la plaqueta tiene el espesor aproximado de 30 micras, se coloca la lámina cubre objeto sobre muestra depositada en la resina y endurecedor, presionando cuidadosamente el vidrio de cubierta con una pinza para expulsar las burbujas de aire atrapadas y el excedente del esmalte. Para sujetarse se llevó a la plancha a 40°C, por recomendación técnica de los expertos.

✓ Rotulado y codificación

La limpieza de las plaquetas se realiza mediante la aplicación alcohol, como disolvente.

Figura 5. Plaquetas codificadas

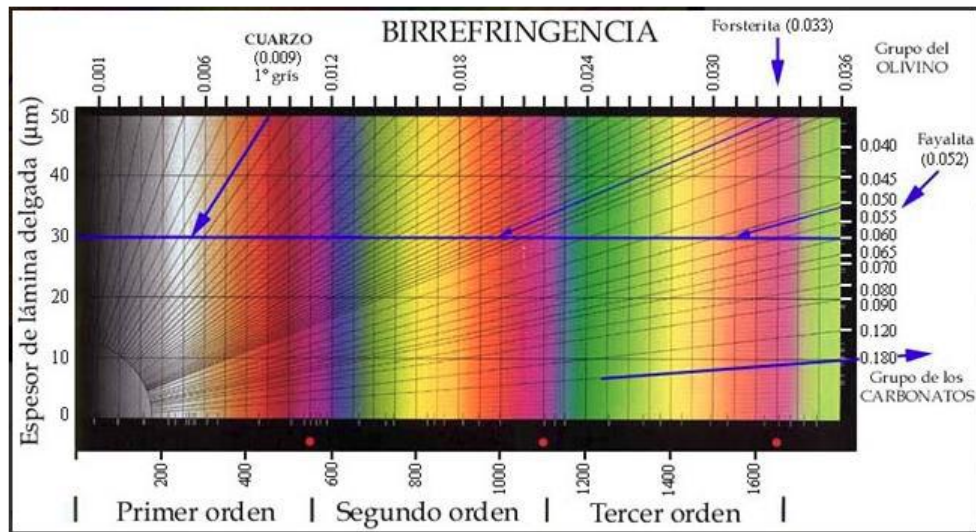


Nota: Elaboración propia.

✓ Control de calidad de las plaquetas

El espesor de las briquetas debe corresponder al estudio a realizar. Tomando como referencia la coloración del cuarzo, plagioclasas, etcétera a fin de alcanzar las 30 µm de espesor aproximadamente, para láminas delgadas, este control se basa a la Tabla de colores de interferencia de Michel Levy.

Tabla 27. Tabla de colores de interferencia de Michel Levy



Nota: INGEMMET (2017). Dirección de Laboratorios - Área de Petrotomía.

La empresa tiene personal que diariamente está muestreando, para llevarlo a los laboratorios de análisis petrográfico, químico, metalúrgico, dejando a empresas especializadas la simulación computacional de las operaciones por secciones o etapas.

- El responsable de la obtención de muestras es el personal del laboratorio metalúrgico y tiene ubicado los puntos a muestrear cada cierto tiempo, ya programado. Cada punto muestreado es depositado en un cilindro, luego llevado al secado para luego de sucesivas etapas de cono y cuarteado, se entrega las muestras para fines diversos de investigación y comprobación de los resultados del proceso de lixiviación.

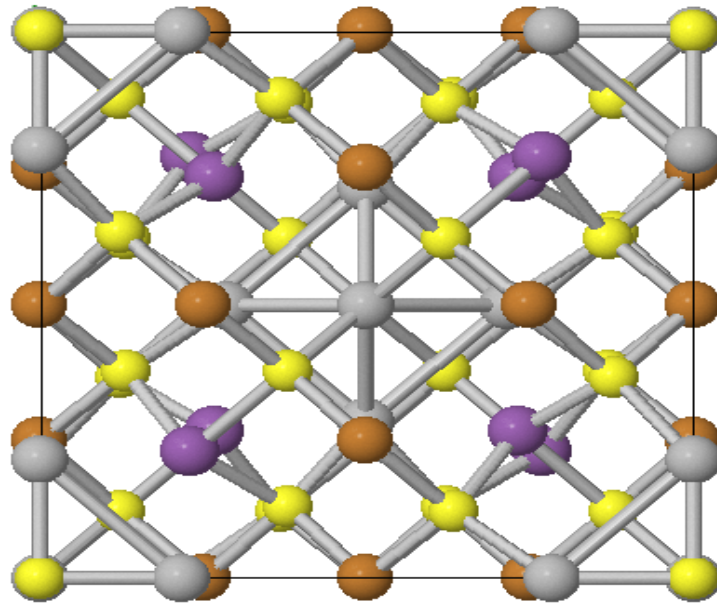
Las muestras representativas obtenidas se derivan a las empresas especializadas para el respectivo análisis por microscopía electrónica de barrido, de acuerdo a los requerimientos de la empresa.

La experiencia de los profesionales en metalurgia y la constante participación de consultores externos, permitió evaluar diariamente el comportamiento

metalúrgico, para obtener las mejores recuperaciones que a diario se solicita a operaciones, ensayando con otros insumos, para una posible respuesta de mejora en el proceso de lixiviación, por lo complejo de su mineralización.

Estructura cristalina de la Freibergita

Figura 6. Cristalización de la Freibergita



Nota: Mindat.org.

En la Figura se muestra la celda unitaria de la Freibergita ($\text{Ag}_6\text{Cu}_4\text{Fe}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), la estructura cristalina está basada en un empaquetamiento de grupos AsS_3^{3-} o SbS_3^{3-} y especies de Ag^+ .

REPORTE DIARIO DE ENSAYES QUÍMICOS DE LA PLANTA DE ÓXIDOS – CERRO S.A.C.

GUARDIA A								
SOLIDOS	Ag (gr/TM)	Au (gr/TM)	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	% Solidos	% m-270	% H2O
Faja 3	223.08	1.199	0.11	0.41	0.46	OxCu (%)	75.90	
Cabeza General	200.40	0.685	0.10	0.31	0.47		% m-200	5.62
Descarga cianuracion	121.42	0.386	0.08	0.21	0.42			
U/F E-3	102.11	0.282	0.08	0.27	0.42			
Cabeza Detox.	103.00	0.307	0.06	0.28	0.40			
Relave Detox.	104.64	0.307	0.08	0.28	0.39			

SOLUCIONES	Ag (ppm)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)
Cabeza General	18.200	0.2320	1171.30	525.80	0.16
Descarga cianuracion	54.875	0.3890	1218.50	879.80	0.15
U/F E-3	1.931	0.0300	1240.50	875.70	0.15
Cabeza Detox.	0.671	0.0160	228.38	104.05	0.17
Relave Detox.	0.015	0.0190	3.72	23.38	0.27

TMH (SALA CONTROL)	
1362.04	

MERRIL CROWE	Ag (ppm)	Au (ppm)	Cu (ppm)	pH	Pb (ppm)
Sol. Rica 20:00 horas	27.800	0.2091		10.69	
Sol. Barren 20:00 horas	0.010	0.0150			
Sol. Rica 22:00 horas	29.125	0.2147		10.84	
Sol. Barren 22:00 horas	0.010	0.0160			
Sol. Rica 00:00 horas	28.850	0.2063	1280.20	10.81	0.35
Sol. Barren 00:00 horas	0.010	0.0150	1271.10		0.15
Sol. Rica 2:00horas	28.400	0.2047		10.85	
Sol. Barren 2:00horas	0.010	0.0120			
Sol. Rica 4:00 horas	27.0750	0.1986		10.67	
Sol. Barren 4:00 horas	0.0100	0.0140			
Sol. Rica 6:00 horas	28.8250	0.1931		10.70	
Sol. Barren 6:00 horas	0.0100	0.0150			
Composito Sol. Rica	28.2500	0.2030	1259.20		0.26
Composito Sol. Barren	0.0100	0.0140	1250.00		0.13
Composito Agua proceso	2.163	0.0410	1103.10		

FLUJO m3 (MERRIL)	
5138.17	

FLUJO m3 (Procesos)	
2357.00	

CIANUROS	CN-L (ppm)	CN-W(ppm)	CN-T(ppm)	pH
Cabeza General	500.44	1928.20	2053.23	10.63
Descarga cianuracion	911.22	2911.58	2893.61	10.49
U/F E-3	765.49	2584.24	2670.86	10.28
Cabeza Detox.	126.98	425.09	450.93	9.18
Relave Detox.	0.00	4.81	5.76	8.57
Composito Agua proceso	623.25	2162.81	2394.43	10.50

Reporte diario de ensayos químicos diario de la planta de óxidos – Cerro S.A.C.

GUARDIA B								
SOLIDOS	Ag (gr/TM)	Au (gr/TM)	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	% Solidos	% m-270	% H2O
						OxCu (%)	75.20	
Faja 3	235.22	1.249	0.10	0.26	0.55	0.03	% m-200	5.58
Cabeza General	180.94	0.677	0.09	0.33	0.44	29.95	85.20	
Descarga cianuracion	116.69	0.355	0.08	0.25	0.43	36.17		
U/F E-3	110.98	0.282	0.09	0.30	0.44	56.81		
Cabeza Detox.	111.00	0.287	0.06	0.28	0.40	44.71		
Relave Detox.	108.64	0.282	0.09	0.28	0.37			
SOLUCIONES	Ag (ppm)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)			
Cabeza General	18.225	0.2440	1110.40	502.40	0.14			
Descarga cianuracion	58.600	0.4140	1235.60	907.30	0.14			
U/F E-3	2.469	0.0340	1203.50	862.40	0.14			
Cabeza Detox.	0.804	0.0250	269.65	126.18	0.17			
Relave Detox.	0.033	0.0310	12.59	3.25	0.57			
						TMH (SALA CONTROL)		
						1360.70		
MERRIL CROWE	Ag (ppm)	Au (ppm)	Cu (ppm)	pH	Pb (ppm)			
Sol. Rica 8:00 horas	25.575	0.2050		*				
Sol. Barren 8:00 horas	0.012	0.0140				CN-L		
Sol. Rica 10:00 horas	25.750	0.2080		*		*		
Sol. Barren 10:00 horas	0.010	0.0130				*		
Sol. Rica 12:00 horas	25.500	0.2140	1127.80	*	0.38			
Sol. Barren 12:00 horas	0.010	0.0150	1099.20		0.13			
Sol. Rica 14:00horas	26.125	0.2060		*		FLUJO m3 (MERRIL)		
Sol. Barren 14:00horas	0.010	0.0180				5142.30		
Sol. Rica16:00 horas	27.250	0.2080		*		*		
Sol. Barren 16:00 horas	0.010	0.0200				*		
Sol. Rica 18:00 horas	27.225	0.2000		*				
Sol. Barren 18:00 horas	0.010	0.0240						
Composito Sol. Rica	26.200	0.2074	1267.30		0.32			
Composito Sol. Barren	0.010	0.0170	1258.60		0.15	FLUJO m3 (Procesos)		
Composito Agua proceso	3.317	0.0730	1094.50			2360.50		
CIANUROS	CN-L (ppm)	CN-W(ppm)	CN-T(ppm)	pH				
Cabeza General	444.44	1929.20	1983.23	10.63				
Descarga cianuracion	931.22	2811.58	2893.61	10.49				
U/F E-3	772.49	2584.24	2670.86	10.28				
Cabeza Detox.	126.98	409.09	450.93	9.18				
Relave Detox.	0.00	4.21	5.02	8.57				
Composito Agua proceso	677.25	2262.81	2334.43	10.5				

INFORME DE ENSAYO
PNT-JUL21-0015

Tipo de Muestra:	Líquidas	Cliente:	Óxidos de Pasco SAC.
Procedencia:	Planta Óxidos	Solicitado por:	Ingeniero Jaime Sánchez
Muestreado por:	Laboratorio Químico	Cantidad de muestras:	32
Descripción:	Reporte Puntual DETOX	Condición de las muestras:	Conforme
Fecha de Recepción:	12/07/2021	Fecha de Reporte:	12/07/2021

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificación de la muestra			Análisis					
N°	Método Analito Unidad Límite de Detección	Hora de muestreo	pH Unidad de pH	CN_Libre ppm	CN Wad ppm 0.001	CN_Total ppm 0.001	QM_Q04AA-7 Ag ppm 1.000	QM_Q04AA-7 Cu ppm 0.01
1	CABEZA DETOX	3:00 a.m.	9.25	74.07	398.31	448.45	0.838	241.10
2	TK 1	3:00 a.m.	8.73	0.00	82.13	110.41	0.251	123.53
3	TK 2	3:00 a.m.	8.52	0.00	25.95	39.47	0.095	57.75
4	TK 3	3:00 a.m.	8.36	0.00	6.73	7.15	0.012	3.39
5	TK 4	3:00 a.m.	8.43	0.00	9104	153.89	0.356	153.60
6	TK 5	3:00 a.m.	8.49	0.00	21.12	30.78	0.111	40.38
7	TK 6	3:00 a.m.	8.42	0.00	8.96	9.15	0.015	4.78
8	RELAVE	3:00 a.m.	8.41	0.00	7.27	8.96	0.018	3.74

Identificación de la muestra			Análisis					
N°	Método Analito Unidad Límite de Detección	Hora de muestreo	pH Unidad de pH	CN_Libre ppm	CN Wad ppm 0.001	CN_Total ppm 0.001	QM_Q04AA-7 Ag ppm 1.000	QM_Q04AA-7 Cu ppm 0.01
1	CABEZA DETOX	9:00 a.m.						
2	TK 1	9:00 a.m.						
3	TK 2	9:00 a.m.						
4	TK 3	9:00 a.m.						
5	TK 4	9:00 a.m.						
6	TK 5	9:00 a.m.						
7	TK 6	9:00 a.m.						
8	RELAVE	9:00 a.m.						

Identificación de la muestra			Análisis					
N°	Método Analito Unidad Límite de Detección	Hora de muestreo	pH Unidad de pH	CN_Libre ppm	CN Wad ppm 0.001	CN_Total ppm 0.001	QM_Q04AA-7 Ag ppm 1.000	QM_Q04AA-7 Cu ppm 0.01
1	CABEZA DETOX	3:00 p.m.						
2	TK 1	3:00 p.m.						
3	TK 2	3:00 p.m.						
4	TK 3	3:00 p.m.						
5	TK 4	3:00 p.m.						
6	TK 5	3:00 p.m.						
7	TK 6	3:00 p.m.						
8	RELAVE	3:00 p.m.						

Identificación de la muestra			Análisis					
N°	Método Analito Unidad Límite de Detección	Hora de muestreo	pH Unidad de pH	CN_Libre ppm	CN Wad ppm 0.001	CN_Total ppm 0.001	QM_Q04AA-7 Ag ppm 1.000	QM_Q04AA-7 Cu ppm 0.01
1	CABEZA DETOX	9:00 p.m.						
2	TK 1	9:00 p.m.						
3	TK 2	9:00 p.m.						
4	TK 3	9:00 p.m.						
5	TK 4	9:00 p.m.						
6	TK 5	9:00 p.m.						
7	TK 6	9:00 p.m.						
8	RELAVE	9:00 p.m.						

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de LABORATORIO QUÍMICO - OXIDOS"

Emitido en Cerro de Pasco el 12 de Julio del 2021


Ismael Ramos Anquiya
Jefe de Laboratorio Químico
CIP. 148946


Astrid M. Casas Quispe
Coordinadora de Calidad
CIP. 201132

JUICIO DE EXPERTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y nombres del experto: LUNA PORTILLO, Héctor
- 1.2 Grado Académico: Ingeniero Metalúrgico
- 1.3 Cargo e institución donde labora: Cía Minera LAS BAMBAS
- 1.4 Título de la investigación: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE RELAVES DE PLATA PARA INCREMENTAR LA RECUPERACIÓN EN LA PLANTA DE ÓXIDOS – VOLCAN COMPAÑIA MINERA S. A. A. – PASCO – 2021
- 1.4 Autor del instrumento: Joel CALDERON MEZA
- 1.5 Tesis: Ingeniero metalúrgico
- 1.6 Nombre del instrumento: Validez del instrumento

INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41- 60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado en lenguaje apropiado				✓	
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables					✓
3. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de la ciencia y tecnología					✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					✓
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad				✓	
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de estudio					✓
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio					✓
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables					✓
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio					✓
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías					✓
SUB TOTAL						
TOTAL						80%

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.20):

VALORACION CUALITATIVA:

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: *puede aplicarlo*

Lugar y fecha: *7.18/08/2022*

.....
[Firma]
Firma del experto

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO

1. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y nombres del experto: MAUTINO ROSALES, Marco Antonio
- 1.2 Grado Académico: Ingeniero Metalúrgico
- 1.3 Cargo e institución donde labora: Cía. Minera Volcan - Alpamarca
- 1.4 Título de la investigación: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE RELAVES DE PLATA PARA INCREMENTAR LA RECUPERACIÓN EN LA PLANTA DE ÓXIDOS – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S. A. A. – PASCO – 2021
- 1.5 Autor del instrumento: Joel CALDERÓN MEZA
- 1.6 Tesis: Ingeniero metalúrgico
- 1.7 Nombre del instrumento: Validez del instrumento

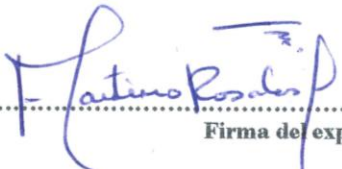
INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41- 60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
19. CLARIDAD	Está formulado en lenguaje apropiado				X	
20. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables				X	
21. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de la ciencia y tecnología					X
22. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
23. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad					X
24. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de estudio					X
25. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio				X	
26. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables					X
27. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio				X	
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías					X
SUB TOTAL						
TOTAL					84.00	

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.20):

VALORACION CUALITATIVA:

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: *puede aplicarse sin problema*

Lugar y fecha: *Santeramo 10/09/20*



 Firma del experto

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE RELAVES DE PLATA PARA INCREMENTAR LA RECUPERACIÓN EN LA PLANTA DE ÓXIDOS – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S. A. A. – PASCO – 2021

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS Y VARIABLES	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES																
<u>Problema General</u> ¿Cómo evaluar la mineralogía de los relaves de plata para incrementar la recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco - 2021? <u>Problemas Específicos:</u> • ¿Cómo caracterizar física y químicamente los relaves que se procesaron en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco - 2021? • ¿Qué causas determinan la refractariedad de los minerales de plata en el proceso de cianuración que impiden mayor recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021?	<u>Objetivo general:</u> Evaluar la mineralogía de los relaves de plata para incrementar la recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021 <u>Objetivos Específicos:</u> • Caracterizar física y químicamente los relaves de plata que se procesaron en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021. • Determinar las causas de refractariedad de los minerales de plata en el proceso de cianuración que impidieron mayor recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021	<u>Hipótesis General</u> Conociendo la mineralogía de los relaves de plata se podrá desarrollar procesos que permitan incrementar la recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021 <u>Hipótesis operacionales:</u> • Caracterizando física y químicamente los relaves de plata; comprenderemos los factores que impiden la recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021. • Determinando las causas de refractariedad de los minerales de plata; comprenderemos los factores que impidieron mayor recuperación en la planta de óxidos – Volcan Compañía Minera S. A. A. – Pasco – 2021.	Variables: <u>V. Independiente:</u> Evaluación mineralógica de relaves de plata ✓ Análisis químico <table><tr><th>Dimensiones</th><th>Indicadores</th></tr><tr><td>Plata y otros elementos</td><td>Oz/TM y %</td></tr></table> ✓ Análisis microscópico <table><tr><th>Dimensiones</th><th>Indicadores</th></tr><tr><td>Diagnóstico mineralógico</td><td>Reconocimiento de asociación de minerales</td></tr></table> ✓ Enlaces atómicos <table><tr><th>Dimensiones</th><th>Indicadores</th></tr><tr><td>Evaluación referencial</td><td>Estructuras cristalinas</td></tr></table> <u>Dependiente:</u> Incremento de disolución <table><tr><th>Dimensiones</th><th>Indicadores</th></tr><tr><td>Recuperación de plata</td><td>ppm Ag/l</td></tr></table>	Dimensiones	Indicadores	Plata y otros elementos	Oz/TM y %	Dimensiones	Indicadores	Diagnóstico mineralógico	Reconocimiento de asociación de minerales	Dimensiones	Indicadores	Evaluación referencial	Estructuras cristalinas	Dimensiones	Indicadores	Recuperación de plata	ppm Ag/l
Dimensiones	Indicadores																		
Plata y otros elementos	Oz/TM y %																		
Dimensiones	Indicadores																		
Diagnóstico mineralógico	Reconocimiento de asociación de minerales																		
Dimensiones	Indicadores																		
Evaluación referencial	Estructuras cristalinas																		
Dimensiones	Indicadores																		
Recuperación de plata	ppm Ag/l																		