



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

**APLICACIÓN DEL LIXIVIANTE GDA COMO ALTERNATIVA AL
USO DEL CIANURO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA
EMPRESA MINERA Y CONSTRUCTORA COMINCOBOS S. A.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN MINAS

AUTORA:

FANNY GISSELA URQUIZO URQUIZO

Macas - Ecuador

2023



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

**APLICACIÓN DEL LIXIVIANTE GDA COMO ALTERNATIVA AL
USO DEL CIANURO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA
EMPRESA MINERA Y CONSTRUCTORA COMINCOBOS S. A.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de

INGENIERA EN MINAS

AUTORA:

FANNY GISSELA URQUIZO URQUIZO

DIRECTOR: Ing. FABIAN RICARDO OJEDA PARDO

Macas - Ecuador

2023

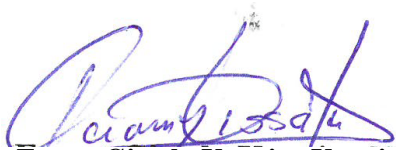
© 2023, Fanny Gissela Urquiza Urquiza

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

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

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

Macas, 23 de mayo 2023



Fanny Gissela Urquizo Urquizo

140087841-7

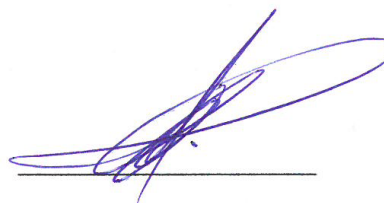
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **APLICACIÓN DEL LIXIVIANTE GDA COMO ALTERNATIVA AL USO DEL CIANURO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA MINERA Y CONSTRUCTORA COMINCOBOS S. A**, realizado por la señorita: **FANNY GISSELA URQUIZO URQUIZO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA


FECHA

Ing. Gregory Guillermo Cuesta Andrade
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



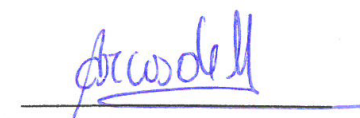
2023-05-23

Ing. Fabian Ricardo Ojeda Pardo
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-05-23

Ing. Jessica Paola Arcos Logroño
ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-05-23

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado para mis padres Vicente y María, mis hermanos Adriana y Darío, que siempre creyeron en mí y no dudaron de mis capacidades para lograr culminar la carrera.

Fanny.

AGRADECIMIENTOS

Agradecida primeramente con Dios por todas las cosas que él me ha dado, sin él nada de esto sería posible. Agradezco profundamente a mis padres por el esfuerzo y el apoyo que me brindaron durante estos cinco años de carrera, alentándome cada día a no rendirme y continuar. A todos mis docentes quienes compartieron conmigo sus conocimientos, pero principalmente agradecida con los ingenieros Juan Pablo Cedillo y Christian Ordoñez que durante la elaboración de este trabajo se mantuvieron apoyándome y guiándome como un amigo, además de brindarme las herramientas necesarias para sacar adelante este trabajo de titulación. Al Ing. Fabian Ojeda quien me asistió y corrigió con mucha paciencia. Finalmente agradezco a mi mejor amigo Paul quien a pesar de la distancia siempre me apoya y alienta.

Fanny.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
INDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1	Antecedentes	3
1.2	Planteamiento del problema	4
1.3	Justificación	4
1.4	Objetivos	5
1.5	Generalidades	5

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1	Minería del oro en Ecuador	7
2.1	El oro (Au)	8
2.2	Lixiviación.....	9
2.2.1	<i>Lixiviación de pulpas con agitación</i>	10
2.2.2	<i>Reactivos de lixiviación</i>	11
2.3	Lixiviación con cianuro.....	12
2.3.1	<i>Química de las soluciones de cianuro</i>	13
2.3.1	<i>Mecanismos de disolución de oro</i>	13
2.3.2	<i>Cinética de lixiviación</i>	14
2.3.3	<i>Efecto del oxígeno</i>	15
2.3.4	<i>Efecto de la concentración de cianuro</i>	15
2.3.5	<i>Efecto del tamaño de partícula</i>	16
2.3.6	<i>Efecto del Eh y pH diagrama de Pourbaix</i>	16
2.4	Contaminación por cianuro	17

2.5	Adsorción y reabsorción en carbón activado.....	19
2.6	Lixiviación con GDA.....	19
2.6.1	<i>Composición</i>.....	20
2.6.2	<i>Características de lixiviación con GDA</i>.....	20
2.6.3	<i>Aplicabilidad</i>.....	21
2.6.4	<i>Ajuste de alcalinidad</i>.....	21
2.6.5	<i>Dosis</i>.....	21

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	23
3.1	Tipo de investigación.....	23
3.2	Metodología.....	23
3.2.1	<i>Análisis in situ</i>.....	23
3.2.1.1	<i>Conminución y toma de muestras</i>.....	23
3.2.1.2	<i>Precipitación</i>.....	23
3.2.1.3	<i>pH y alcalinidad</i>.....	24
3.2.1.4	<i>Cianuración</i>.....	25
3.2.1.5	<i>Concentración de cianuro libre</i>.....	26
3.2.1.6	<i>Tiempo de lixiviación</i>.....	27
3.2.1.7	<i>Ley de concentración</i>.....	27
3.2.2	<i>Caracterización química</i>.....	27
3.2.3	<i>Pruebas experimentales de laboratorio</i>.....	28
3.2.3.1	<i>Ensayo al fuego</i>.....	28
3.2.3.2	<i>Determinación de porcentajes a escala laboratorio</i>.....	34
3.2.3.3	<i>Equipos, materiales y reactivos</i>.....	38
3.2.3.4	<i>Lixiviación por agitación con cianuro</i>.....	39
3.2.3.5	<i>Lixiviación por agitación con GDA</i>.....	45

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	53
4.1	<i>Análisis del ensayo a fuego</i>.....	53
4.2	<i>Análisis de lixiviación con cianuro</i>.....	55
4.3	<i>Análisis de lixiviación con GDA</i>.....	56
4.4	<i>Comparativa de lixiviación de cianuro y GDA</i>.....	61

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES..... 63

RECOMENDACIONES..... 64

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Comparación entre reactivos de lixiviación	11
Tabla 2-2:	Reacciones propuestas para la disolución de oro.	12
Tabla 3-2:	Propiedades de los compuestos de cianuro simples.	13
Tabla 4-3:	Rango de pH alcanzado en pulpa.	25
Tabla 5-3:	Cantidad y tiempo de cianuro empleado.	26
Tabla 6-3:	Comparativa de pesos iniciales vs pesos tostados	31
Tabla 7-3:	Componentes utilizados para fundición	31
Tabla 8-3:	Peso en miligramos de botones doré.	33
Tabla 9-3:	Peso botón de oro (Au) con separación por ácido nítrico.....	34
Tabla 10-3:	Cantidades para lixiviación con cianuro en 44 horas.	38
Tabla 11-3:	Cantidades para lixiviación con GDA en 44 horas.....	38
Tabla 12-3:	Equipos para pruebas experimentales de laboratorio.	38
Tabla 13-3:	Instrumentos para pruebas experimentales de laboratorio.....	38
Tabla 14-3:	Reactivos para pruebas experimentales de laboratorio.....	39
Tabla 15-3:	Cantidades de primera lixiviación con GDA en 60 horas.	51
Tabla 16-3:	Cantidades de segunda lixiviación con GDA en 60 horas.....	51
Tabla 17-4:	Ley de concentración de cianuro en lixiviación con cianuro (44h).....	55
Tabla 18-4:	Ley de concentración de GDA libre en lixiviación con GDA (44h).	57
Tabla 19-4:	Ley de concentración de GDA en lixiviación con 3.1g de GDA	58
Tabla 20-4:	Ley de concentración de GDA libre en lixiviación con 1,55g de GDA	59
Tabla 21-4:	Cantidades para lixiviación con GDA en la planta COMINCOBOS S. A.	62

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Ubicación de la planta de beneficio de la empresa Minera y Constructora ..	6
Ilustración 2-1:	Producción de oro anual en Ecuador.	7
Ilustración 3-2:	Velocidad de disolución de Ag a diferentes.....	16
Ilustración 4-2:	Diagrama de equilibrio potencial-pH para el.....	17
Ilustración 5-2:	Estructura molecular del GDA.....	20
Ilustración 6-3:	Proceso de agitación de pulpa.....	24
Ilustración 7-3:	Variación de pH en pulpa.	25
Ilustración 8-3:	Toma de muestra para medida de fuerza	26
Ilustración 9-3:	Partes por millón (ppm) de elementos químicos en muestra.	28
Ilustración 10-3:	Pasos para realización de ensayo al fuego	29
Ilustración 11-3:	Obtención de muestra representativa	30
Ilustración 12-3:	Cuarteo de muestras.....	30
Ilustración 13-3:	Colocación de muestra fundida en payonera.	32
Ilustración 14-3:	Botones doré obtenido en copelación.	33
Ilustración 15-3:	Vista de placa doré bajo estereomicroscopio.....	34
Ilustración 16-3:	Peso de muestra mineral.	36
Ilustración 17-3:	Muestra colocado en probeta.	36
Ilustración 18-3:	Peso de muestra mineral.	39
Ilustración 19-3:	Peso de cianuro.	40
Ilustración 20-3:	Peso de agua.....	40
Ilustración 21-3:	Variación de pH posterior a la colocación	41
Ilustración 22-3:	Adición de cianuro en pulpa.	41
Ilustración 23-3:	Filtrado de muestra.	42
Ilustración 24-3:	Cambio de coloración debido a la.....	42
Ilustración 25-3:	Peso de cianuro, segunda dosis.....	43
Ilustración 26-3:	Filtrado de muestra.	43
Ilustración 27-3:	Cambio de coloración con 2cm ³ de.....	44
Ilustración 28-3:	Disminución mínima de pH en	44
Ilustración 29-3:	Medida de concentración de cianuro,	45
Ilustración 30-3:	Peso de muestra mineral para	45
Ilustración 31-3:	Peso de GDA.	46
Ilustración 32-3:	Peso de agua.....	46
Ilustración 33-3:	pH inicial en pulpa.....	47

Ilustración 34-3:	pH posterior a colocación de cal.....	47
Ilustración 35-3:	Adición de GDA en pulpa.	48
Ilustración 36-3:	Nitrato de plata en jeringa de 10cm ³	48
Ilustración 37-3:	Cambio de coloración debido a la.....	49
Ilustración 38-3:	Peso de segunda dosis de GDA.	49
Ilustración 39-3:	Cambio de coloración con nitrato	50
Ilustración 40-3:	Medida de pH transcurrida 30 horas.....	50
Ilustración 41-3:	Cambio de coloración en muestra con	51
Ilustración 42-3:	Cambio de coloración debido a la adición.....	52
Ilustración 43-4:	Muestra 1 vista bajo estereoscopio.	53
Ilustración 44-4:	Muestra 1.1 vista bajo estereoscopio.	54
Ilustración 45-4:	Muestra 2 vista bajo estereoscopio.	54
Ilustración 46-4:	Muestra 2.1 vista bajo estereoscopio.	55
Ilustración 47-4:	Curva semilogarítmica de concentración de oro con 1,55g de	56
Ilustración 48-4:	Curva de concentración de oro con 1,55g de NaCN.....	56
Ilustración 49-4:	Curva semilogarítmica de concentración de oro con 1,55g	57
Ilustración 50-4:	Curva de concentración de oro 1,55g de GDA (44h).	58
Ilustración 51-4:	Curva semilogarítmica de concentración de oro 3.1g de GDA	59
Ilustración 52-4:	Curva de concentración de oro con 3.1g de GDA (60h).....	59
Ilustración 53-4:	Curva semilogarítmica de concentración de oro con 1.55g de	60
Ilustración 54-4:	Curva de concentración de oro con 1.55g de GDA (60h).....	60
Ilustración 55-4:	Curva comparativa de concentración NaCN vs. GDA	61

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** EQUIPO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) PARA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.
- ANEXO B:** ANÁLISIS QUÍMICO ELEMENTAL FRX.
- ANEXO C:** ENSAYO PESO DORÉ Y BOTÓN DE ORO / LECTURA DE AU POR ABSORCIÓN ATÓMICA.
- ANEXO D:** LECTURA DE AU POR ABSORCIÓN ATÓMICA.

RESUMEN

Con el objetivo de aplicar una alternativa al uso del cianuro en lixiviación, empleando el agente lixivante de oro (GDA), se establece el presente trabajo técnico, aplicando parámetros operacionales y dosificaciones similares a las utilizadas en la planta de beneficio de la Empresa Minera y Constructora COMINCOBOS S. A. Se realizaron pruebas experimentales a escala de laboratorio, en el que se consideró los siguientes parámetros de proceso: concentración de cianuro y GDA, control de pH y tiempo de lixiviación. Se aplicó la lixiviación en el laboratorio durante 44 horas tanto para el Cianuro y el GDA, donde se determinó las diferencias de concentración entre estos dos agentes lixiviantes, así mismo se realizó una prueba extra, para una mejor delimitación acerca de la concentración y tiempo que se debe emplear con el agente lixivante de oro (GDA). Con los resultados analizados durante la fase experimental se determinó que el cianuro posee una concentración más elevada, obteniendo un valor de 3.271 ppm sobre 2.802 ppm del GDA, además que el cianuro necesita menor tiempo de activación que el GDA. De esta manera, se concluye, que la lixiviación con GDA no es igual o mayor a la del cianuro en condiciones similares, sin embargo, no es un valor que se deba despreciar, ya que la diferencia de concentración resultante de la lixiviación es de 0.469 ppm por debajo de la del cianuro, por lo que se recomienda utilizar el agente lixivante de oro (GDA) en casos donde no se puedan tratar las colas de los lixiviados, puesto que es un lixivante amigable con el ambiente y el costo es igual que la del cianuro, de esta forma podemos contribuir a una minería más responsable.

Palabras clave: < HIDROMETALURGIA >, < LIXIVIACIÓN >, < AGENTE LIXIVIANTE >, < CIANURACIÓN >, < GOLD DRESSING AGENT>, < LEY DE CONCETRACIÓN >.

#1008-UPT-DBRA-2023



ABSTRACT

With the objective of applying an alternative to the use of cyanide in leaching, using the gold leaching agent (GDA), the present technical work is established, applying operational parameters and dosages similar to those used in the beneficiation plant of Empresa Minera y Constructora COMINCOBOS S. A. Experimental tests were carried out at laboratory scale, in which the following process parameters were considered: concentration of cyanide and GDA, pH control and leaching time. The leaching was applied in the laboratory for 44 hours for both cyanide and GDA, where the concentration differences between these two leaching agents were determined, and an extra-test was also carried out to better delimit the concentration and time to be used with the gold leaching agent (GDA). With the results analyzed during the experimental phase, it was determined that cyanide has a higher concentration, obtaining a value of 3,271 ppm over 2,802 ppm of GDA, in addition to the fact that cyanide needs less activation time than GDA. Thus, it is concluded, that the leaching with GDA is not equal or higher than that of cyanide under similar conditions, however, it is not a value to be despised, since the concentration difference resulting from the leaching is 0. 469 ppm below that of cyanide, so it is recommended to use the gold leaching agent (GDA) in cases where it is not possible to treat the leach tails, since it is an environmentally friendly leaching agent and the cost is the same as that of cyanide, thus we can contribute to a more responsible mining.

Keywords: < HYDROMETALLURGY >, < LEACHING >, < LEACHING AGENT >, < CYANIDE LEACHING >, < GOLD DRESSING AGENT>, < CONCENTRATION LAW >.

Lic. Jessica Galimberti Mg.

CI: 1756468482

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, se ha desarrollado la recuperación de metales preciosos mediante diferentes métodos, uno de ellos es la lixiviación con cianuro el cual consiste en un proceso químico para la recuperación de oro, que genera daños al medio ambiente. Debido a la problemática ambiental se busca la implementación de lixiviantes que sean amigables con el medio ambiente, con buena tasa de recuperación mineral.

Gold Dressing Agent (GDA) es un químico que principalmente se ha introducido en la minería a pequeña y mediana escala de China, esto con la perspectiva de que sea fácil de usar, ambientalmente ecológico e inofensivo para seres humanos y animales, además resulta conveniente su uso ya que propone la misma preparación que el uso del cianuro (Mkama, 2019, p. 7).

En metalurgia, existen varios métodos de lixiviación para la extracción desde un mineral generalmente oxidado un mineral de interés mediante soluciones ácidas o básicas que disuelven los elementos solubles y los concentran en una solución enriquecida, dependiendo del metal que se quiera obtener y su matriz rocosa, se puede utilizar diferentes solventes en el proceso, conocidos como lixiviantes, que de alguna forma, ayudan a incrementar la velocidad o selectividad del mineral requerido (Huaco, 2017, p. 11).

Por otra, parte la cianuración es un proceso que se ha utilizado durante cientos de años para la recuperación de oro, ya que posee una rápida cinética de lixiviación, haciendo relativamente fácil la recuperación del mineral. La cianuración consiste en lixiviar minerales auríferos con una solución diluida de cianuro, en el que la partícula de oro se disuelve de tal manera que forma complejos con el ion CN. (Vargas, 2021, pp. 17-18). Pero es necesario mencionar el alto grado de toxicidad que posee este producto, no solo provocando daños a la salud de los trabajadores si no se posee la protección y la capacitación apropiada para la utilización de este producto.

En la exposición a cianuros no hay nada patognomónico, pero ante su sobre exposición presenta síntomas y signos de hipoxia – cefalea, agitación, confusión, convulsiones, tendencia al sueño o coma. Cuando es ingerido se presentan trastornos gastrointestinales, dolor abdominal, náuseas y vómitos (Ramírez, 2010, p. 55). A pesar de que se han aplicado varias normativas y regulaciones de seguridad en cuanto al uso del cianuro, los riesgos ambientales y peligros de toxicidad a humanos aún permanece latente. Razón por la cual, en la actualidad se buscan nuevos reactivos o lixiviantes para realizar este proceso mucho más amigable con el ambiente.

Por ello se plantea este proyecto, con el propósito de mostrar los beneficios del lixivante GDA como una alternativa que puede competir con el uso convencional del cianuro ya que tiene características menos tóxicas, recuperando los metales preciosos de manera eficiente y con un impacto ambiental mucho menor en comparación con el cianuro.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En el Ecuador la minería ha constituido el modo de subsistencia de múltiples familias; actualmente se desarrolla como minería artesanal, pequeña, mediana y a gran escala; en el año 2015, el oro se consideró como el cuarto producto de mayor exportación no petrolera. La creciente actividad minera ha superado la extracción de petróleo crudo, gas natural y sus actividades de apoyo. (Herdoíza et al., 2017, p. 5)

En los últimos años en Ecuador la minería ha sido uno de los motores de fuente económica más rentables, generando trabajo y desarrollo económico, pero este además implica una serie de impactos que resultan negativos para el ambiente. Las concesiones mineras están situadas principalmente en los cantones Camilo Ponce Enríquez, Nambija y Portovelo – Zaruma.

Para la extracción de oro y plata que están contenidos en rocas metamórficas o volcánicas de depósitos meso a epitermales o de tipo skarn, el material es transportado hacia las plantas de beneficio, donde es procesado.

La cianuración es un proceso que se ha ido incorporando en el país desde hace aproximadamente dos décadas, y en la actualidad es una práctica extendida en el sector MAPE (minería artesanal y pequeña escala). Consiste básicamente en una reducción de tamaño con procesos de trituración y molienda hasta alcanzar un óptimo tamaño de partícula, generalmente 100 μm . Después, el material es colocado en grandes tanques donde se realiza la cianuración, en los cuales el cianuro disuelve el oro, formando complejos estables de cianuro de oro. Al realizar procesos de cianuración posteriormente se deben realizar otros procesos para la recuperación de oro, como la desorción con carbón activado o cementación con zinc para la recuperación de oro. (Ministerio del Ambiente, 2020, pp. 23-26)

El proceso que se lleva a cabo en la planta de beneficio “COMINCOBOS” consiste en la separación del material según sus tamaños mediante una zaranda vibratoria, el mineral de tamaño óptimo pasa al proceso de molienda que se realiza en molinos chilenos en el que se introduce el material cada cierto tiempo, las rocas que no cumplen con el tamaño requerido son descartadas y son llevadas a las escombreras, una vez que salen de los molinos, se realiza la concentración gravimétrica a través de canalones recubiertos por alfombras o toallas, en el que el oro queda

atrapado por su densidad, el material que ha tenido una concentración previa lo lleva al proceso de lixiviación.

La lixiviación con cianuro es un método ampliamente usado para recuperación de metales preciosos, cuenta con alta eficiencia y su costo es relativamente barato comparado con otros métodos como lixiviación con Tiourea o solventes orgánicos (aminoácidos).

1.2 Planteamiento del problema

La obtención de metales preciosos mediante la lixiviación con cianuro presenta un alto grado de eficiencia, por lo que es uno de los métodos más utilizados a nivel mundial, sin embargo, posee una alta toxicidad y su uso conlleva una problemática ambiental, envenenamiento maligno y diferentes tipos de eventos con hazaña social durante los procesos de transporte, custodia y uso.

El cianuro a pesar de ser biodegradable, los productos como cianatos y tiocianatos pueden persistir durante años es por ello que el uso de cianuro de sodio ha sido prohibido en muchos países y regiones del mundo.

1.3 Justificación

Debido a la problemática expuesta anteriormente y que además existen otras desventajas con el uso del cianuro, como grandes pérdidas en el procesamiento de minerales, se lleva a cabo la demanda de nuevas tecnologías para la extracción mineral.

En los procesos para concentrar y refinar oro no es posible extraer el oro en un 100%, por lo cual estos residuos o llamados también colas, con porcentaje de oro, resultantes de los procesos de cianuración son trasladados depósitos de relaves. Por lo tanto, han salido al mercado nuevos productos que ofrecen reemplazar al cianuro en la lixiviación, ya que poseen características como alta tasa de lixiviación es favorable con el medio ambiente, etc. Entre estos productos encontramos el GDA el cual está compuesto principalmente por cianato de sodio carbonizado $C_6Na_3O_3H_3N_6$.

Por ello se realiza este trabajo técnico, en el que se plantea usar el GDA como una alternativa al uso del cianuro, ya que este propone lixiviar efectivamente el átomo de oro, sin cambiar el proceso y equipo originales, siendo además un producto químico no peligroso, con ventajas como baja toxicidad, protección ambiental y alta recuperación.

1.4 Objetivos

Objetivo General

Aplicar el lixiviante GDA como alternativa al uso del cianuro, a escala laboratorio en la planta de beneficio de la empresa Minera y Constructora COMINCOBOS S. A.

Objetivos Específicos

- Determinar los procesos que usa la empresa Minera y Constructora COMINCOBOS S. A para la lixiviación con cianuro.
- Reproducir a escala laboratorio el uso del GDA en base a la dosificación de cianuro usada en la empresa Minera y Constructora COMINCOBOS S. A.
- Reportar la eficiencia del GDA comparado con el cianuro.

1.5 Generalidades

Ubicación

Planta de Beneficio, Minera y Constructora COMINCOBOS S. A. es una empresa ecuatoriana, que se encuentra ubicada en la provincia de Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez de la parroquia Bella Rica.

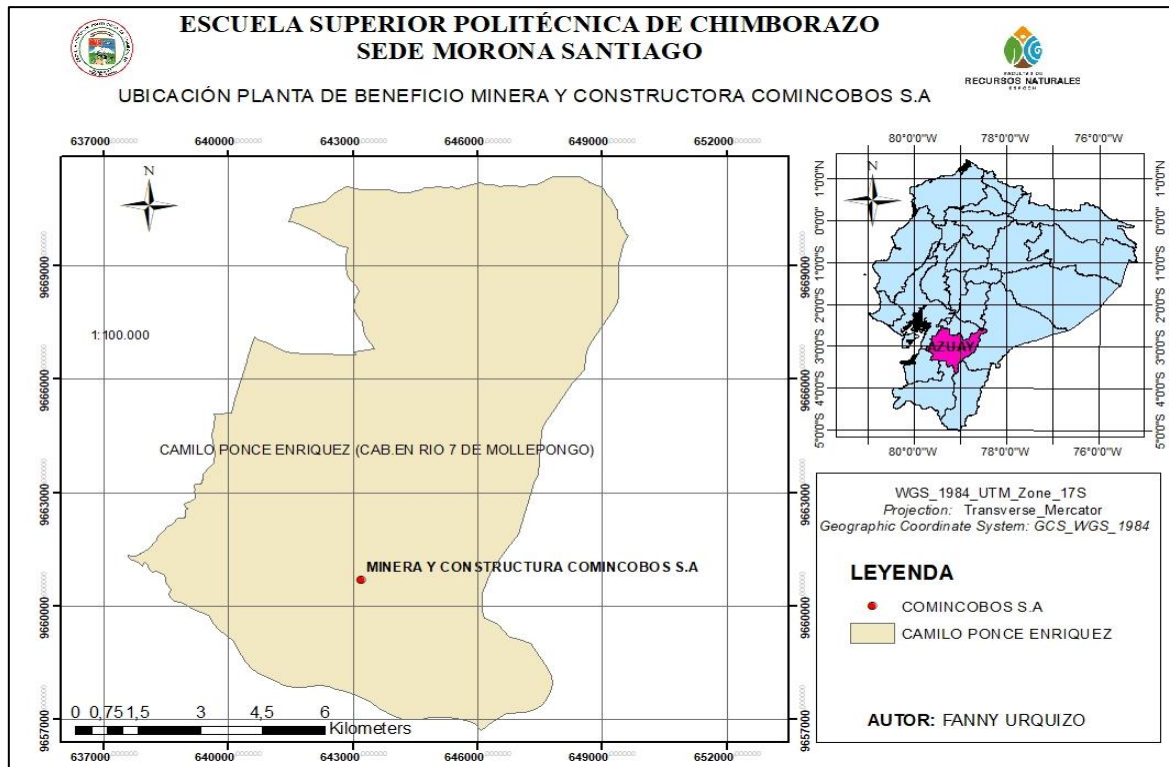


Ilustración 1-1: Ubicación de la planta de beneficio de la empresa Minera y Constructora COMINCOBOS S.A.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Minería del oro en Ecuador

Minería es toda actividad productiva que consiste en la extracción, explotación o beneficio de los minerales existentes en el suelo y subsuelo. Esta actividad ha generado una fuente de ingresos relativamente importantes la cual ha ido creciendo con el paso del tiempo en el país. En el Ecuador la extracción del metal precioso se da desde la época incaica, en las provincias de Loja, Portovelo y Zaruma (Ministerio del Ambiente 2020, p. 15).

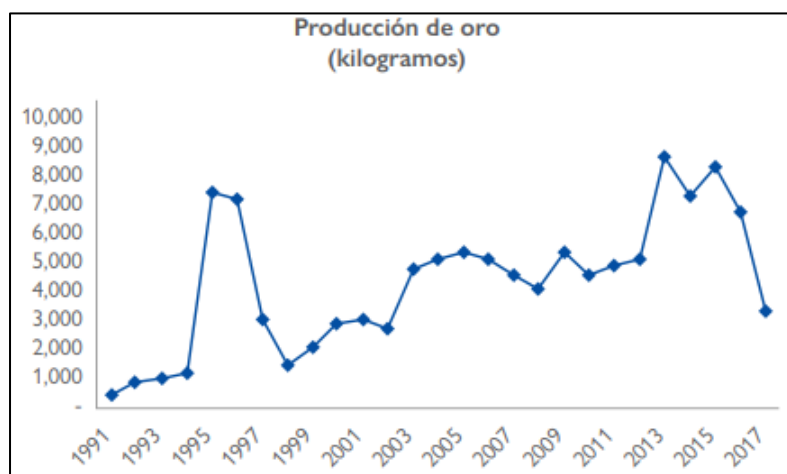


Ilustración 2-1: Producción de oro anual en Ecuador.

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2020).

Actualmente en nuestro país, se plantea cuatro tipos de explotación según la producción: minería artesanal, pequeña minería, mediana minería y minería a gran escala.

La industria minera, al ser desarrollarse sobre los recursos no renovables, se considera como área protegida para el estado, debido a su importancia económica, política, ambiental y social, para de esta forma poder administrar y gestionar esta industria (Herdoíza D, 2017, p.79).

Las exportaciones del sector minero para el año 2014 alcanzaron USD 998 millones, contribuyendo en un 4,15% del total de las exportaciones del Ecuador para ese año. Los destinos fueron Estados Unidos, Suiza e India, a los cuales se les exportó oro doré con una pureza de 95% - 97% (Banco Central del Ecuador, 2015; citado en Ministerio del Ambiente, 2020).

En el territorio nacional se puede observar un gran porcentaje de pequeña minería, esto debido a las carencias de políticas públicas que fomentan la industria a mediana y gran escala. Como una medida de solución hacia esto se planteó la regularización de la minería artesanal para de esta forma regularizar, controlar e impulsar la implementación de buenas prácticas en las labores realizadas en minería artesanal a nivel nacional. También se modificó la ley minera existente, para implementar estímulos que favorecen a la inversión internacional en minería a gran escala. De esta forma en los últimos años se han desarrollado proyectos polimetálicos a gran escala, iniciando la producción en el año 2020 con Fruta del Norte y Ecuacorriente (Ministerio del Ambiente 2020, pp. 14–15).

2.1 El oro (Au)

Es un elemento químico, símbolo Au, número atómico 79 y masa atómica 196.966569μ , siendo un metal muy denso, blando y de coloración amarilla. Funde fácilmente a 1063°C (Yannopoulos, 1991, p.2).

El oro en su estado nativo o natural es sólido. Se clasifica dentro de los metales pesados y nobles, se localiza distribuido por todo el planeta, pero debido a su escasez y limitación lo hacen un elemento raro, el oro metálico o natural, entre otros minerales telurúricos son las formas más únicas y exclusivas de oro presentes en el planeta. El oro nativo no solo existe en las rocas, si no también están en minerales de otros metales, estos suelen ser generalmente la pirita y el cuarzo, además puede estar disperso en gravas y arenas (oro de aluvión), este se distingue de piritas y calcopiritas debido a su maleabilidad, su insolubilidad en el ácido nítrico y peso específico (Yannopoulos, 1991, pp.3-5).

Se conocen dos sitios donde hay una cantidad considerable de oro: la primera en las venas hidrotermales, asociadas al cuarzo y pirita, la segunda, en los depósitos aluviales. No existe un elemento más codiciado, admirado y atesorado en toda la historia de la humanidad, ya que debido a sus características extraordinarias lo llevaron a convertirse en un símbolo de poder desde hace miles de años (Graue et al., 2019, p.114).

Una gran parte de oro producido son empleados en acuñación de monedas y joyería, en estos casos el oro es necesario que tenga una aleación con otros metales para aumentar su dureza. De tal forma para la acuñación de monedas se compondrá 90% oro y 10% plata, para el caso de joyería en cambio este contiene plata, cobre, cinc o níquel.

El oro se puede clasificar de la siguiente manera de acuerdo con su importancia económica:

- **Minerales de oro nativo.** Es considerado que está en su estado elemental y suele estar presente en vetas de origen hidrotermal ya sea ígneo o sedimentario debido a los depósitos aluviales. Para los depósitos mencionados primero, se realiza molienda, de esta forma queda expuesto el mineral de oro y se puede recuperar con procesos como concentración gravimétrica en el que el oro por su densidad y peso quedan retenidas. Y para los yacimientos de origen aluvial, generados por erosiones naturales, acarreo y sedimentación, es necesario una etapa de concentración para su recuperación ya que se encuentra naturalmente liberado. En cualquiera de los tipos mencionados es frecuente la amalgamación, pero debido a la problemática ambiental del mercurio en algunos países su uso está prohibido y en otros su uso es muy restringido (Suarez, 2013, p.5).
- **Oro asociado con sulfuros.** El oro se encuentra comúnmente cubierto o entrelazado de pirita o de minerales sulfurosos, generalmente la práctica más utilizada, para recuperar el oro de este tipo de mena se basa en el chancado del mineral, tanto como sea necesario o realizar un proceso de tostación a temperaturas que superiores a los 500 °C, para de esta forma oxidar a los sulfuros. Recibe el nombre de mineral refractario al estar asociada con sulfuros y/o arseniuros. En un concentrado expuesto a análisis mineralógico, se evidencia que los sulfuros se constituyen principalmente por pirita (FeS_2), calcopirita (CuFeS_2), calcosina (Cu_2S) y digenita (Cu_9S_5) (Arias et al., 2005, p.6).
- **Oro en otros minerales.** El oro también está contenido en minerales como la auroestibina (AuSb_2), kostovita (CuAuTe_4) y oro con cobre porfirítico (Suarez, 2013, p.5).

2.2 Lixiviación

El procedimiento para recuperar un metal precioso de una mena, mediante un disolvente y la separación de la solución resultante de la porción sin disolver, se conoce como lixiviación. Existen varios métodos para realizar lixiviación sin embargo en fundamental en todos los procesos tres factores: poner el disolvente en contacto con el material que se ha de lixiviar, para permitir la disolución del metal; separar la solución formada del residuo sólido, y precipitar el metal de la solución. Lo óptimo es realizar este proceso en el orden mostrado (Morrall et al., 1982, p.194).

La utilización de un lixivante en concreto se deberá seguir de acuerdo con las variables que se presenten para cada caso, estas son: naturaleza de la mena o del material que hay que disolver, posibilidades de regeneración, costo económico y acción corrosiva del agente lixivante y demás

condiciones operacionales, tales como la temperatura, el tiempo de contacto, la concentración y el pH. Existen muchos lixiviantes en el mercado, dentro de los más utilizados en la industria minera son: el agua, las disoluciones de sales en agua (sulfato férrico, carbonato sódico, cloruro sódico, cianuro sódico, sulfato sódico, tiosulfato sódico, etc.), agua de cloro, ácidos (sulfúrico, clorhídrico y nítrico) y bases (hidróxidos sódico y amónico). (Morral et al., 1982, p.194).

2.2.1 Lixiviación de pulpas con agitación

Las pulpas de mena o llamados también concentrados, se preparan moliendo el material extraído de mina, en una mezcla con agua para así evitar el polvo, el tiempo que sea necesario hasta producir el tamaño óptimo. La densidad de la pulpa va desde 40 a 70% de sólido, al cual se le añade un agente lixiviante mientras se agita la pulpa de forma continua. La agitación puede darse mediante (Morral et al., 1982, p. 200):

- Paletas mecánicas, usado generalmente para tanques pequeños.

- Aire comprimido, los tanques Pachuca: son tanques cilíndricos, de 12 pies de diámetro y 45 pies de alto, con un fondo cónico, de 60°, son construidos apropiadamente para este propósito, el material del cual está elaborado es madera o acero con recubrimiento de caucho. Contiene un tubo vertical, abierto en ambos extremos, de tal forma que el aire comprimido ingrese por el tubo produciendo la circulación de los materiales hacia arriba, por el tubo central, y hacia abajo, por el espacio anular, para que los sólidos se mantengan en suspensión (Morral et al., 1982, p. 201).

- Agitación mecánica combinada con aire, los agitadores Dorr son los más utilizados cuando se requiere hacer un agitación a gran escala, esto son circulares, de fondo plano, con el tubo central abierto en el fondo por el cual ingresa el aire comprimido, el mismo tubo sirve como soporte para dos brazos de agitación, uno arriba y otro abajo, el primero posee hojas raspadoras y una inclinación de tal forma que lleve el material hacia el tubo central, en el que quedará en suspensión debido al aire comprimido. En cambio, los brazos ubicados en la parte de arriba del tubo ayudan a distribuir la fase acuosa. La agitación combinada con aire comprimido resulta eficaz en la lixiviación con cianuro de menas de Au y Ag (Morral et al., 1982, p. 201).

La lixiviación de pulpa puede hacerse en una o dos etapas:

- Una etapa, de forma continua o discontinua, en el proceso continuo una proporción fija del baño imprégnate se sangra del circuito; el resto se devuelve al tanque como filtrado. Este tiene como ventaja la elevada economía, ya que su consumo de reactivo es minúsculo y es aplicada a menas que requieren una elevada concentración de reactivo, para lograr una recuperación buena (Morral et al., 1982, p. 201).
- Dos etapas, aquí las soluciones de la segunda etapa, en la que se hayan metales disueltos y el reactivo sin emplear, se introduce en la primera etapa. La ventaja de este método es recuperar el reactivo sin emplear (Morral et al., 1982, p. 201).

2.2.2 Reactivos de lixiviación

La aplicación de un reactivo para la lixiviación dependerá de una serie de variables que influyen decisivamente, las cuales se describen a continuación:

- Costo del agente lixivante.
- Selectividad del reactivo.
- Propiedad fisicoquímica del elemento requerido.
- Efecto del reactivo en el reactor lixiviación.
- Capacidad regenerativa para ser reincorporada al proceso.

El agua es considerada también como un reactivo, para lixiviar sulfatos y cloruros solubles. En el mercado existen una gran variedad de agentes que pueden usarse en la lixiviación de menas o pulpas minerales (Torres, 2018, p.7).

Según (Gökelman et al., 2016, p.7) de acuerdo con la revisión de diferentes trabajos científicos, se consideran los siguientes reactivos:

Tabla 1-2: Comparación entre reactivos de lixiviación

Reactivo	Toxicidad	Ventajas	Desventajas
Cianuro	Muy alto	Alta tasa de disolución	Cuestiones medio ambientales
Agua regia	Alto	Alta tasa de disolución	No hay aplicaciones factibles a gran escala
Cloración	Medio	Buena eficiencia	Altas temperaturas requeridas
Bromo y Yodo	Bajo	Alta tasa de disolución	Altos costos de reactivos

Tiocianato	Medio	Reciclable	Disponibilidad limitada
Tiosulfato	Medio	Reactivo barato	Costos de desintoxicación
Tiourea	Medio	Reducción del consumo	Disolución de metales pesados además del oro
Gérmenes	Bajo	Mayor rendimiento de lixiviación	Difícil control del proceso

Fuente: (Gökelman et al., 2016).

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

2.3 Lixiviación con cianuro

El proceso para disolver oro usando cianuro alcalino como agente complejante, implica el desarrollo de reacciones heterogéneas en la interfase sólido – líquido, destacando los pasos secuenciales que conducen a una óptima disolución. La disolución se da bajo condiciones oxidantes en el que el ion de cianuro posee la acción de disolver el oro y además las bases alcalinas de sodio, potasio y calcio las cuales son encargadas de dar estabilidad al compuesto (Yannopoulos, 1991, p.149).

Según (Restrepo et al., 2007, p.59) la reacción química que se produce en este proceso es representada con las siguientes ecuaciones de acuerdo con los diferentes autores:

Tabla 2-2: Reacciones propuestas para la disolución de oro.

Año	Autor	Reacción propuesta
1846	Elsner	$4\text{Au} + 8\text{NaCN} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{NaAu}(\text{CN})_2 + 4\text{NaHO}$
1888	Janin	$2\text{Au} + 4\text{NaCN} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaAu}(\text{CN})_2 + 2\text{NaHO} + \text{H}_2$
1896	Bodlander	$2\text{Au} + 4\text{NaCN} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NaAu}(\text{CN})_2 + 2\text{NaHO} + \text{H}_2\text{O}_2$
1896	Christy	$2\text{Au} + 4\text{NaCN} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NaAu}(\text{CN})_2 + 2\text{NaHO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{NaCN} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CN})_2$ $+ 2\text{NaHO} + 2\text{Au} + 2\text{NaCN} + (\text{CN})_2 \rightarrow 2\text{NaAu}(\text{CN})_2$
1967	Habashi	$2\text{Au} + 4\text{NaCN} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaAu}(\text{CN})_2 + 2\text{NaHO} + \text{H}_2\text{O}_2$

Fuente: (Restrepo et al., 2007).

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

El proceso de cianuración se da por percolación de mineral triturado generalmente proveniente de molienda, o la agitación de una pulpa del mineral molido con una solución de cianuro diluida, con menos de 0.3% de cianuro de sodio de fuerza. La pulpa debe ser alcalina con un pH básico entre 11 – 12 para prevenir la hidrólisis del cianuro y la pérdida del reactivo debido a los minerales asociados al mismo. El uso de cal (CaO) es común para llegar al pH óptimo requerido, también se puede utilizar hidróxido de sodio (NaOH) o carbonato de sodio (Na₂CO₃). Las soluciones no clarificadas pueden ser tratadas con carbón activado granular o resinas para que absorban los

valores metálicos del oro (Rivera, 2009, p.23).

2.3.1 Química de las soluciones de cianuro

Las sales de cianuro simples, como el cianuro de potasio, calcio y sodio se disuelven e ionizan en agua para de esta manera formar cationes metálicos e iones de cianuro libre, de esta forma:

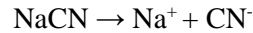


Tabla 3-2: Propiedades de los compuestos de cianuro simples.

Compuesto	Cianuro disponible	Solubilidad en agua a 25°C (g/100cc)
NaCN	53.1	48
KCN	40.0	50
Ca(CN) ₂	56.5	Descompone

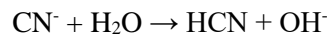
Fuente: (Marsden & House, 2006).

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

En la tabla 3-2, se muestra la solubilidad y el contenido relativo de cianuro de las diferentes sales de cianuro. En el cual las tres sales han demostrado ser eficaces a escala comercial como fuentes de cianuro para procesos de lixiviación.

Resultan mucho más solubles el cianuro de sodio y potasio que el cianuro de calcio, y se las encuentra generalmente en forma más pura, facilitando su manejo y distribución. El cianuro de sodio en solución acuosa evita la necesidad de disolver el reactivo en el lugar, reduciendo así los requisitos del proceso. Por ello dependerá del método de aplicación, el costo y disponibilidad la elección del tipo de cianuro (Marsden & House, 2006, p. 234).

Los iones de cianuro se hidrolizan en agua para formar iones de cianuro de hidrogeno molecular (HCN) e hidroxilo (OH), con el aumento en el pH de la siguiente forma:



2.3.1 Mecanismos de disolución de oro

Según (Yannopoulos, 1991, p. 149) existen varios pasos secuenciales en torno a la disolución del oro, como:

- Adsorción de oxígeno en seno de la solución.
- Transporte de oxígeno y cianuro disuelto hacia interfases de reacción.

- Adsorción de reactivos O_2 y CN^- en superficie de sólido.
- Reacción electroquímica.
- Desorción de complejo soluble aurocinuro $Au(CN)_2$
- Transporte de productos hacia el seno de la solución.

2.3.2 Cinética de lixiviación

Es un proceso el cual consiste en la evaluación global de la velocidad de reacción que regularmente son procesos determinados por la velocidad de la etapa más lenta, contrario a la pirometalurgia en el cual el proceso se lleva a cabo con temperaturas y velocidades de reacción elevadas, alcanzando el equilibrio rápidamente; en los procesos hidrometalúrgicos las temperaturas son poco elevadas de tal forma que su velocidad de reacción también y condicionantes limitantes de orden cinético. Es por ello por lo que, la velocidad de reacción es de gran importancia para estos casos (Restrepo et al., 2007, p.29).

La cinética de reacción resulta trascendental, es decir al aumentar la cinética representa la eficiencia del proceso. Las reacciones heterogéneas, se rigen por la cinética inerte de las reacciones químicas o por la velocidad de transferencia de masa de la especie reactiva individual (Torres, 2018, p.27).

Generalmente, las reacciones que se dan en los procesos hidrometalúrgicos son del tipo heterogénea, específicamente en lixiviación la reacción que se da es de un sólido con los reactivos en solución, en donde la velocidad de reacción durante el proceso estará determinada por la velocidad de la etapa más tardía que es la que controla la cinética global. Debido a esto, distintas etapas deben tomadas en cuenta, como las siguiente (Restrepo et al., 2007, p.29) :

- Transporte de los reactivos en solución hacia las interfases sólido / líquido.
- Adsorción de los reactivos en interfase.
- Desorción de los productos solubles hacia la solución.

También se considera la formación de una capa porosa de productos y subproductos solidos de la reacción, por el cual se debe considerar:

- Difusión de reactivos a través de la capa porosa.
- Difusión de productos a través de la capa porosa.

2.3.3 Efecto del oxígeno

El oxígeno afecta directamente proceso de oxidación de minerales, además, está asociada a la velocidad de reacción química, la lixiviación directa por oxígeno disuelto carece de eficiencia al tener velocidades bajas de extracción (Restrepo et al., 2007, p. 65).

Es muy importante el oxígeno en este tipo de procesos, ya que la cantidad de oxígeno disuelto en el cianuro se encuentra asociada a ciertos parámetros, tales como (Restrepo et al., 2007, p. 65):

- Tipo e intensidad de agitación.
- Temperatura en la solución.
- Altitud.
- Concentración de cianuro.

La ilustración 3-2, representa la velocidad de disolución de la plata expuesta a distintas presiones de oxígeno y concentraciones de NaCN, con temperatura de 25°C.

Cuando el cianuro tiene bajas concentraciones, la presión del oxígeno no afectara de manera significativa al proceso de disolución, en cambio si se tiene altas concentraciones la velocidad de disolución se realiza independiente de la concentración que tenga el solvente, la velocidad de la reacción es claramente dependiente de la presión de oxígeno. De esta forma, al incrementar el porcentaje de partículas en la pulpa, disminuye la concentración o resistencia del oxígeno, al igual que cuando el tamaño de grano de la partícula mineral sea menor. Se puede decir que, a un aumento de la concentración de oxígeno, deberá corresponder un aumento en la recuperación y en la velocidad de extracción del metal requerido, ya que actuará destruyendo cianicidas (Restrepo et al., 2007, p.65).

2.3.4 Efecto de la concentración de cianuro

En los sistemas de lixiviación de minerales, se puede requerir niveles más altos de cianuro debido a la competencia de otras especies por el cianuro. En la práctica, las concentraciones de cianuro generalmente se mantienen por encima de aquellas en las que se observa una disminución en la extracción, aunque las preocupaciones ambientales a menudo dictan que las concentraciones de cianuro se mantengan en lo más bajas posible (Marsden & House, 2006, pp. 243-246).

La presencia del cianuro libre, hace que el proceso de disolución sea lento, debido a: La formación de complejos cianurados, la reducción de un sulfuro auroso insoluble sobre la superficie del oro,

la deposición de peróxidos, la presencia de cianuros insolubles, la adsorción sobre la ganga especialmente de aluminosilicatos y cuarzo , además la presencia de zantatos en el mineral flotado forma una capa fina de zantato aurico insoluble el cual evita la disolución de oro y la degradación del cianuro por hidrolisis, el cual depende de la cantidad de álcali libre; por último, las concentraciones que presentan porcentajes muy bajos de cianuro, siendo menores a 0.001% que no son capaces de disolver oro (Restrepo et al., 2007, p.65).

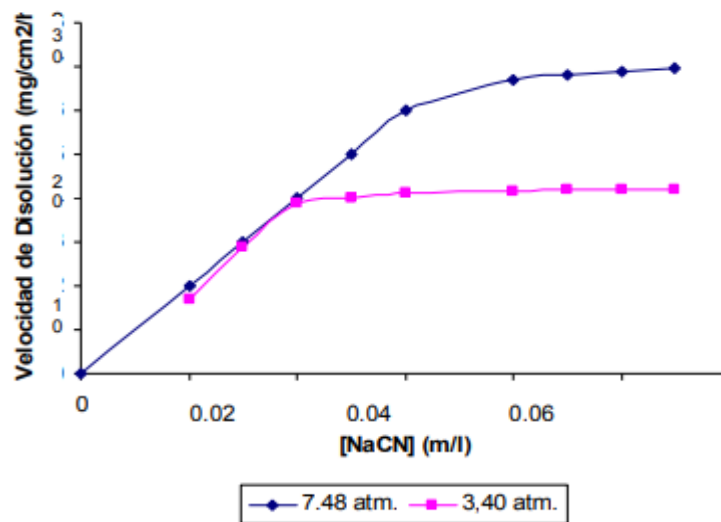


Ilustración 3-2: Velocidad de disolución de Ag a diferentes presiones de oxígeno y NaCN.

Fuente: (Restrepo et al., 2007).

2.3.5 Efecto del tamaño de partícula

El tamaño de partícula es directamente proporcional al tiempo que se emplea en la cianuración, es decir, que determina el tiempo de lixiviación necesario, a mayor diámetro mayor será el tiempo (Huaco M, 2017, p.9).

Las partículas de oro libre con un tamaño de grano cercanas a la malla 325 (45µm), requiere de un tiempo aproximado de 13 horas para su disolución, partículas de malla 100 (150µm), requieren un tiempo de 44 horas, esto de acuerdo con los datos reportados por Barsky, donde se demostró que la velocidad de disolución es del orden de 3.36µm/h, suponiendo que el grano de oro es una partícula tridimensionalmente similar. Si la asociación del mineral es con plata metálica, es mayor el tiempo que se emplea para dicho proceso (Restrepo et al., 2007, p.66).

2.3.6 Efecto del Eh y pH diagrama de Pourbaix

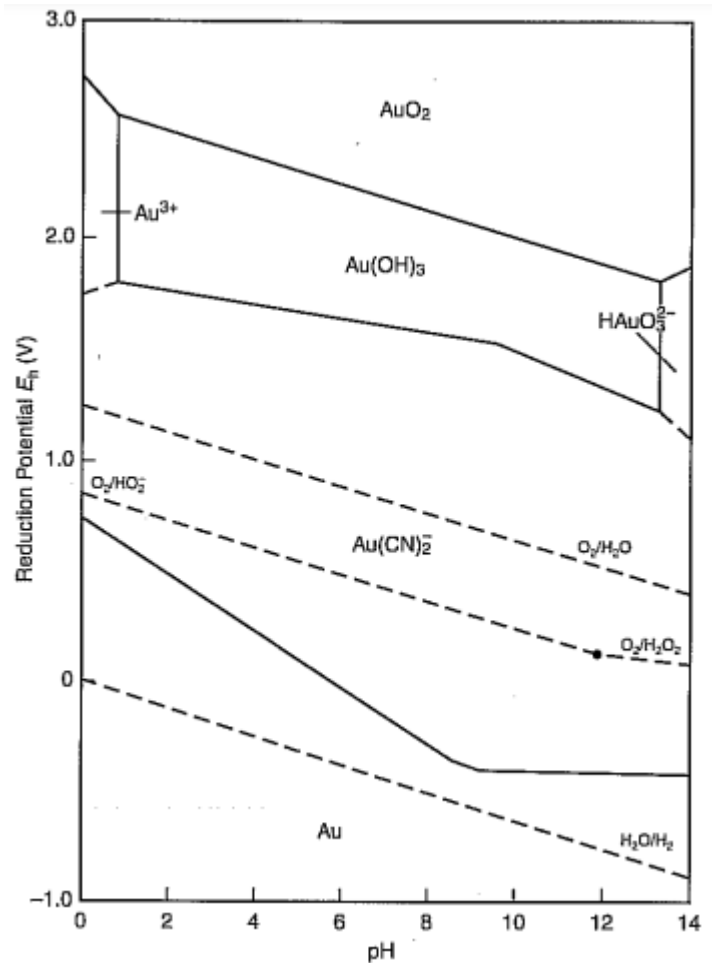


Ilustración 4-2: Diagrama de equilibrio potencial-pH para el sistema Au-H₂O-CN a 25°C.

Fuente: (Marsden & House, 2006).

En la ilustración 4-2, se muestra el diagrama E_h -pH de estabilidad para el sistema, en el que se puede observar que la fuerza impulsora electroquímica para la disolución, es decir, la diferencia de potencial entre las líneas que representan las reacciones de oxidación del oro y reducción de oxígeno maximizan el rango de pH alrededor de 9 y 9,5. Generalmente el proceso de lixiviación con cianuro se realiza con valores mayores a 9,4 para evitar una pérdida excesiva de cianuro por hidrólisis. Ocasionalmente, se puede usar un pH bajo para reducir las concentraciones de cianuro en el efluente del sistema de lixiviación o para disminuir la velocidad y el alcance de otros efectos secundarios indeseables, por ejemplo, la disolución de minerales de antimonio y arsénico asociados a la mena (Marsden & House, 2006, p. 248).

2.4 Contaminación por cianuro

A pesar de los grandes beneficios que trae consigo el uso de cianuro, ha sido necesaria la búsqueda de alternativas a este proceso, debido a factores que inciden negativamente, tales como:

- Uso inadecuado del producto causando impactos ambientales.
- Afectaciones a la salud por el mal manejo del producto.
- Problemas de recuperación de oro asociados a minerales refractarios.
- Prohibición de uso en algunos países.

El uso de cianuro para minería está prohibido en algunos países como Alemania, Turquía, República Checa o Hungría y Eslovaquia. En Ecuador el uso de cianuro aún no está prohibido, según el (Ministerio del Ambiente 2016, p.33) en el reglamento de actividades mineras, en el artículo 108 menciona la búsqueda de alternativas técnico-ambientales para eliminar el uso del mercurio, sancionando el uso de este con la revocatoria de la licencia ambiental.

Naturalmente podemos encontrar cianuro ya sea en aguas, aire y suelo, pero no llega a ser tóxico debido al alto porcentaje de microorganismos presentes que se encargan de degradar el cianuro de forma natural. En el agua la mayor parte de cianuro forma cianuro de hidrógeno, mismo que se evaporará y otra parte de este será transformado en sustancias químicas debido a los microorganismos, este proceso es muy efectivo, pero al aumentar los niveles de cianuro en fuentes de agua o suelo, llegan a matar estos microorganismos formando concentraciones de cianuro altamente tóxicas y contaminadas, debido a la intoxicación de los microorganismos encargados de realizar la degradación natural, como consiguiente se tiene suelos contaminados que afectan donde habitan la mayoría de seres vivos. En el suelo los cianuros resultan ser más móviles pudiendo llegar a aguas subterráneas. (Ramírez, 2010, pp.54-58)

El cianuro en sí, puede entrar al medio ambiente de dos formas: por evaporación de cuencas de lixiviación abiertas o fugas. Mediante la lixiviación de cianuro, además del oro, también se puede extraer otros metales pesados como el arsénico, níquel, cadmio, cobalto, cobre y mercurio de los recursos de oro y estos metales que se encuentran disueltos poseen cruciales daños medio ambientales (BBU, 2008; citados en Göknelma et al., 2016).

Tanto el mercurio, cianuro de sodio y de potasio de conformidad con el acuerdo No. 003 del Ministerio del Ambiente, fundamentan la eliminación progresiva y controlada de estas sustancias, consideradas como sustancias químicas peligrosas de uso severamente restringido en el Ecuador, por consiguiente, se menciona en sus artículos 2 y 3, sobre la restricción de formulación,

fabricación, comercialización, transporte, almacenamiento, uso y tenencia en el territorio nacional, siendo sancionada por las instituciones con potestad legal sobre la materia (Ministerio del Ambiente, 2013, pp.1-2).

2.5 Adsorción y reabsorción en carbón activado

Los metales preciosos como el oro y la plata en soluciones cianuradas son recuperadas con éxito mediante la adsorción en carbón activado granular. Los iones de calcio presentes en las soluciones cianuradas favorecen la adsorción del complejo aurocianuro, mientras que los iones de sodio inhiben la adsorción, particularmente sobre pH 10. Es decir, los iones son retenidos en la superficie del carbón activado, formando una película líquida en la superficie del sólido (Rivera, 2009, p.28).

La desorción tiene como objetivo separar el oro de la superficie del carbón, una operación típica se realiza en una solución conteniendo 1% de NaOH, 0,1% de NaCN a temperaturas de 80°C, para carbones típicamente cargados con 200 a 600 onzas de oro y plata combinados por tonelada corta de carbón. Este proceso dura generalmente de 40 a 60 horas. Las soluciones cargadas son llevadas a un proceso de electro refinamiento, el cual consiste en recuperar las partículas de oro y plata en cátodos de acero. Posteriormente el carbón puede ser reutilizado, después de reactivaciones periódicas por tratamiento térmico a 600°C (Rivera, 2009, p.28).

2.6 Lixiviación con GDA

Según (Guangxi Senhe High Technology Co. Ltd) que es uno de los principales fabricantes, expone que el Agente de Lixiviación de Oro (GDA) es un producto de alta tecnología desarrollado con éxito por Senhe High-tech en 2010, es un químico que ha sido introducido principalmente desde China a los mineros de oro de pequeña y mediana escala para la lixiviación de oro con la perspectiva de que sea fácil de usar, ambientalmente ecológico e inofensivo para los seres humanos y animales, además siendo conveniente de usar, ya que se usa de la misma forma que el tradicional cianuro de sodio.

Para el uso del lixivante GDA no se varía el procedimiento ni los equipos usados en la lixiviación tradicional con cianuro (Guangxi Senhe High Technology Co. Ltd).

Este lixivante es aplicable para tratar mineral de oro oxidado, oro primario, relaves de procesos por gravedad, concentrado de oro de flotación, etc., aplicable en procesos tradicionales de NaCN,

CIP, lixiviación en pilas, lixiviación en piscina, lixiviación in situ, lixiviación por agitación (Guangxi Senhe High Technology Co. Ltd).

2.6.1 Composición

El GDA está compuesto principalmente de cianato de sodio carbonizado $C_6Na_3O_3H_3N_6$

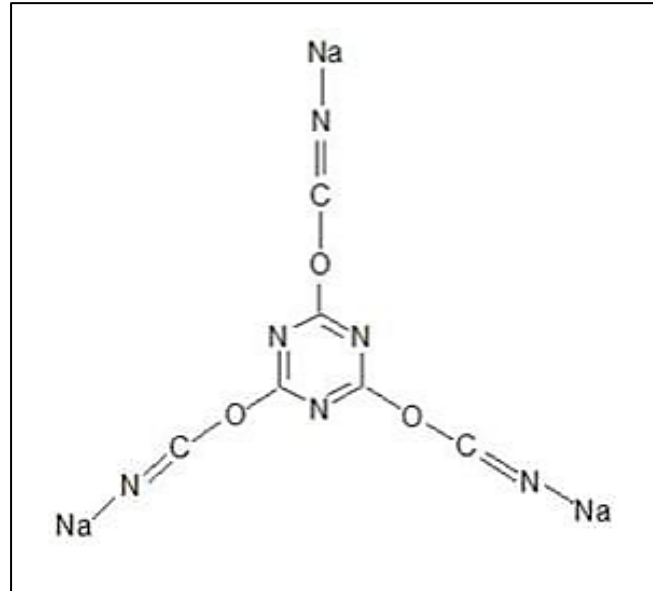
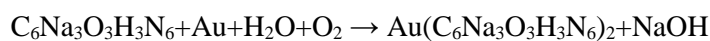


Ilustración 5-2: Estructura molecular del GDA.

Fuente: (Guangxi Senhe High Technology Co. Ltd, s/f).

Reacción con el oro:



2.6.2 Características de lixiviación con GDA

Según (Guangxi Senhe High Technology Co. Ltd) menciona las siguientes características:

- Favorable al medio ambiente, GDA ha sido probado por la autoridad y certificado como un químico común.
- Alta tasa de lixiviación, GDA puede alcanzar por completo o incluso superar la tasa de lixiviación de cianuro de sodio.
- Buena estabilidad, el componente principal $C_6Na_3O_3H_3N_6$ de GDA no es fácil descomponerse en condiciones alcalinas.
- Lixiviación más rápida, se agrega GDA con una cantidad adecuada de aditivos de lixiviación, lo que acelerará la reacción entre $C_6Na_3O_3H_3N_6$ y el oro.
- Menos consumo, después de numerosas encuestas de datos de producción, la cantidad de

GDA utilizada en las minas de oro es muy similar a la del cianuro de sodio. En comparación con los agentes de extracción de oro ecológicos anteriores, la cantidad de GDA utilizada es al menos 4/5 menos.

- Uso conveniente, GDA podría usarse directamente, sin ningún cambio en las condiciones de proceso tradicionales de cianuro de sodio.

2.6.3 Aplicabilidad

Este lixivante puede ser utilizado posterior a disolver completamente la pulpa con cal a temperatura normal, en general el proceso de disolución puede ser acelerado por agitación completa, las piscinas de dosificación se pueden construir cerca de la piscina de solución estéril en el proceso de lixiviación en pilas para dejar que el agua se acumule (Mkama, 2019, p.10).

2.6.4 Ajuste de alcalinidad

Para realizar el ajuste de alcalinidad se puede realizar con cal, con el cual el pH debe alcanzar entre 11-12, esto para reducir su capacidad disolvente y corrosiva, cuando el valor de pH del agua estancada disminuya, la alcalinidad se ajustará oportunamente; en caso de que el pH sea demasiado alto; es decir más de 12, durante mucho tiempo, se genera suciedad alcalina causando una afección en la adsorción de carbón activado o se producirá la pasivación del líquido que afectara el efecto de lixiviación (Mkama, 2019, p. 10).

2.6.5 Dosis

De acuerdo con (Mkama, 2019, p. 11) la dosis utilizada generalmente es similar a la que se utiliza en la lixiviación con cianuro. Es recomendable realizar una prueba de beneficio y referir a sus condiciones óptimas.

- Para el proceso de lixiviación en pilas o lixiviación en piscinas, se inicia por la trituración del material, entrada a bomba o piscina, lixiviación, adsorción con carbón activado, electrodeposición de resolución y finalmente la fundición.
- En el caso de lixiviación por agitación, primero se realiza la trituración del material, molienda de mineral, lixiviación de carbón, electrolisis y fundición.
- Para un mejor proceso de lixiviación con GDA se puede realizar a una temperatura de más de 15 grados centígrados.

- La velocidad de lixiviación de oro es relativamente grande, por lo tanto, se recomienda detectar el grado de solución, el valor de pH y la concentración de GDA en tiempos regulares.
- No se recomienda la utilización de óxidos fuertes (peróxido de hidrogeno, permanganato de potasio) junto con GDA.
- Se puede utilizar agua amoniacal, sulfuro de sodio, nitrato de plomo, ferricianuro de potasio o hipoclorito de sodio, así como otros medicamentos secundarios para el pretratamiento de minerales complejos, ya que no afectan la lixiviación de oro con GDA.
- El GDA y el cianuro de sodio no se rechazan en caso de utilizarse al mismo tiempo.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

La aplicación del lixivante GDA como alternativa al uso del cianuro en la planta de beneficio de la empresa minera y constructora COMINCOBOS S. A. requerirá una investigación tipo descriptiva experimental a escala laboratorio, el cual nos permite establecer las diferencias entre el uso del lixivante GDA con el cianuro, e identificar las variables o factores de mayor influencia sobre el proceso generado. Las pruebas metalúrgicas del presente trabajo se desarrollarán mediante diseños experimentales.

3.2 Metodología

3.2.1 *Análisis in situ*

3.2.1.1 *Comminución y toma de muestras*

Para la presente investigación, se toma material mineral, de la planta de beneficio de la empresa minera y constructora COMINCOBOS.

Este material es clasificado mediante la utilización de una zaranda vibratoria modelo 3YS1236, que cumple la función de clasificar el material correspondiente a la malla 1 in, de esta forma, solo el mineral con tamaño inferior o igual a 25mm pasa a través de ella al piso más bajo, durante este proceso también se realiza el lavado del mineral.

Las partículas con tamaño aproximado de 25mm pasan a molinos chilenos para reducir el tamaño y de esta forma sea óptimo para el proceso de lixiviación, las partículas salientes del molino deben tener un tamaño de aproximadamente 75 micrones (malla 200).

3.2.1.2 *Precipitación*

Este proceso se lleva a cabo para tener una mezcla homogénea del mineral más fino con el grueso provenientes del molino.

Consiste en la agitación que inicia a partir de las 16:10 h, durante un lapso de 1:30 horas del mineral con agua en un tanque con capacidad de 26m³ de pulpa.



Ilustración 6-3: Proceso de agitación de pulpa.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

3.2.1.3 pH y alcalinidad

La cianuración conlleva un proceso en el cual el pH óptimo de la pulpa debe ser básico, por el cual inicialmente es medido con indicadores de pH de papel, el cual señala que tan ácida, neutra o básica es la pulpa.

Para que se dé una buena lixiviación se debe considerar que el pH se encuentre entre el rango de 11 a 12, este cambio de pH se obtiene agregando Cal a la pulpa, de esta forma no genera una pérdida excesiva del cianuro por hidrólisis o por acción del dióxido de carbono del aire, además neutralizando los compuestos ácidos contenidos en el mineral.



Ilustración 7-3: Variación de pH en pulpa.

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

Para lograr el pH deseado se coloca en los 26m³ de pulpa 6 costales de Cal, cada uno con 25 kg, el equivalente a un total de 150kg, este producto ayudará a aumentar la alcalinidad, cabe mencionar que no siempre se utiliza esa cantidad para los 26m³, ya que dependerá netamente del tipo de material que se esté tratando.

En la tabla 4-3 se puede observar el pH natural de la pulpa, el cual transcurrido 1 hora se toma nuevamente el pH, con el cual se comprobará el rango de alcanzado.

Tabla 4-3: Rango de pH alcanzado en pulpa.

Hora	pH	Observaciones
17:40	7	pH natural
18:40	12	pH óptimo para lixiviación con cianuro

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

3.2.1.4 Cianuración

Se agrega al tanque de agitación 75kg de cianuro, el cual mantiene una agitación constante durante un periodo de 13 horas, en este tiempo se procede a medir la concentración de cianuro libre.

En la tabla 5-3 se detalla las cantidades de cianuro añadidas durante todo el proceso de lixiviación con cianuro, ya que, transcurrido 21 horas desde la primera aplicación de cianuro, nuevamente se coloca 75kg más de cianuro, considerando que se necesita aumentar la ley de concentración. Siendo un total de 150kg de cianuro utilizados para la lixiviación de 26m³ de pulpa.

Tabla 5-3: Cantidad y tiempo de cianuro empleado.

Hora	Cantidad de cianuro
18:42	75kg
16:00	75kg

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

3.2.1.5 Concentración de cianuro libre

La concentración de cianuro libre, muestra el ion de cianuro disuelto en el agua del dicho proceso, por lo tanto, es medida para determinar si el cianuro colocado en la fase inicial es suficiente o requiere un porcentaje mayor.

- A las 08:10 se procede con la toma de muestra para su respectiva medición.
- Para este proceso se utiliza yoduro de potasio y nitrato de plata al 10%.
- Se coloca 3 gotas de yoduro de potasio en 5cm³ de muestra del material
- El nitrato de plata se coloca en una jeringuilla de 10cm³ y se va colocando lentamente en los 5cm³ de la muestra hasta notar un cambio en la coloración.
- Cada cm³ de nitrato de plata colocado representa 500 x cubicaje del tanque.
- Con esta medida se da 1500 como resultado de la fuerza del cianuro, lo que nos indica que la cantidad de cianuro aplicada es correcta.
- En el caso de dar un resultado menor a 1200 es un indicativo de la falta de cianuro en el tanque de agitación.



Ilustración 8-3: Toma de muestra para medida de fuerza del cianuro.

Fuente: Urquizo, Fanny, 2023.

3.2.1.6 Tiempo de lixiviación

En la tabla 5-3 se observa el tiempo de lixiviación inicial 21 horas. Una vez finalizado este tiempo se procede a tomar una muestra para ser enviada a laboratorio, en el cual nos indicará la ley de cabeza que posee.

Para aumentar la ley de cabeza se requiere agregar mayor cantidad de cianuro y aumentar el tiempo de lixiviación, por el cual se empleó un total de 44 horas, para finalizar el proceso.

3.2.1.7 Ley de concentración

Como resultado de la muestra enviada a laboratorio inicialmente con 21 horas de lixiviación y 75kg de cianuro colocados, nos indica una ley de concentrado de 3,70.

Al observar una ley de concentrado con porcentaje bajo se procede a la colocación de mayor cantidad de cianuro, como se menciona en la tabla 5-3, en el que nos arroja una ley de concentrado de 4,2.

3.2.2 Caracterización química

Con el propósito de determinar la composición química de la muestra obtenida en la planta de beneficio de la empresa minera y constructora COMINCOBOS S. A se realiza un análisis por la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX).

Tiene como objetivo principal el análisis químico elemental, cuantitativo y cualitativo de los elementos comprendidos en la muestra pulverizada.

Este análisis se llevó a cabo en un espectrómetro de fluorescencia de rayos X portátil Niton XL3t que tiene una calibración específica para cada elemento reportado, para el cual se consideró una muestra de 20g de mineral con partículas de 75 micrones, en el que se realiza 5 disparos en diferentes sitios de la muestra considerando los siguientes resultados:

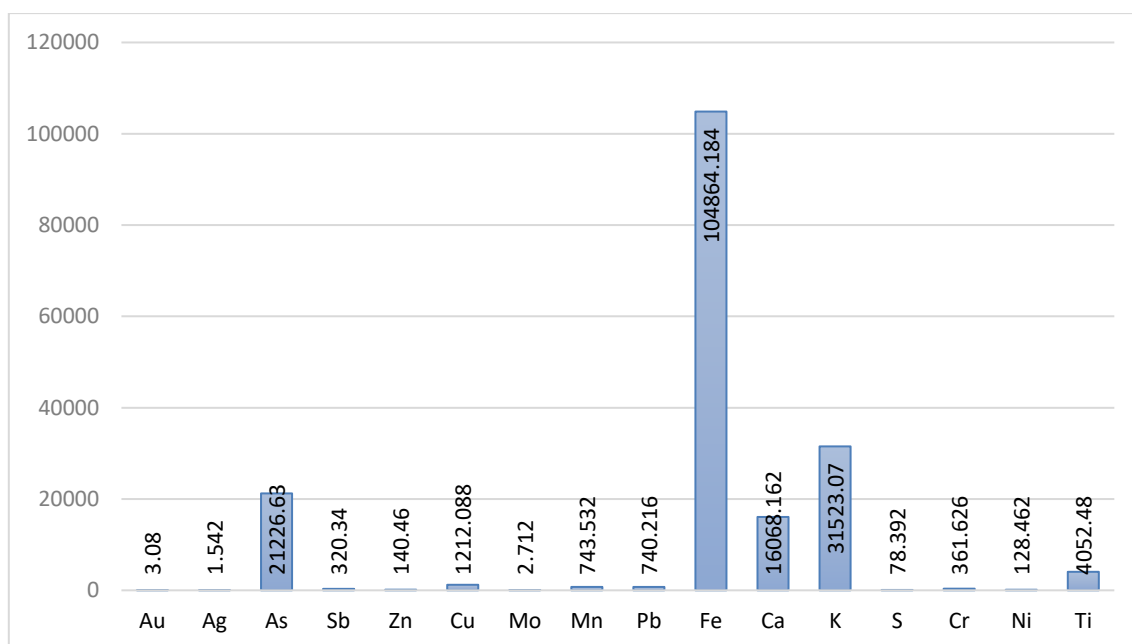


Ilustración 9-3: Partes por millón (ppm) de elementos químicos en muestra.

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

La ilustración 9-3 indica cantidades considerables de hierro, arsénico, zinc, antimonio y cobre, que resultan ser cianicidas, es decir, consumen los reactivos de cianuración sin beneficio para el proceso, impidiendo que el cianuro pueda disolver los metales preciosos y consumiendo el oxígeno de la solución de cianuro.

3.2.3 Pruebas experimentales de laboratorio

3.2.3.1 Ensayo al fuego

Método analítico que consiste en la realización de un procedimiento pirometalúrgico, mediante el cual se puede llegar a determinar cuantitativamente los metales preciosos que están contenidos en el material, usando reactivos adecuados para obtener dos fases líquidas: la fase metálica compuesta por plomo y la escoria compuesta por silicatos complejos.

Este procedimiento comprende varias fases las cuales se detallan en la ilustración 10-3:



Ilustración 10-3: Pasos para realización de ensayo al fuego

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

Una vez secado la muestra para eliminación de la humedad, se obtuvo una muestra representativa de 25g partiendo de una muestra total de 15kg de la planta de beneficio de la empresa minera y constructora COMINCOBOS S. A, para ello se utilizó un cuarteador de rifles que nos ayuda a hacer el cuarteo en un menor tiempo, la muestra es colocada desde la parte superior y pasa por los rifles, cayendo en dos costales colocados en la parte inferior del cuarteador separando la muestra en partes iguales. Este procedimiento es repetido 4 veces, de tal forma que se obtiene menor porcentaje de muestra.



Ilustración 11-3: Obtención de muestra representativa utilizando cuarteador de rifles.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Se divide la muestra en 4 partes iguales y 2 de ellas nos servirán para obtener una muestra representativa.



Ilustración 12-3: Cuarteo de muestras

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

En la tabla 6-3 se puede evidenciar la diferencia de pesos de las 4 muestras, las cuales se colocaron a tostación en la mufla marca HYSC durante 3 horas a temperatura de 800°C para eliminar el contenido de humedad y la oxidación parcial de sulfuros presentes, comúnmente como la calcopirita, pirrotina, pirita, galena, esfalerita y arsenopirita, que puede provocar un efecto nocivo en la fundición, ya que interfieren en la recuperación de los metales precisos. Por lo tanto, es necesario oxidar los sulfuros, con la tostación previo a realizar el ensayo al fuego.

Tabla 6-3: Comparativa de pesos iniciales vs pesos tostados

Cod.	Peso (g)	Peso(g) material tostado
1	25.502	23.47
1.1	25.504	23.52
2	25.488	21.46
2.1	25.520	21.50

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

La muestra ya enfriada se coloca en crisoles de arcilla debidamente homogenizada con la carga fundente. Esta carga fundente consiste en la mezcla de reactivos químicos que ayuden a la formación de las dos fases líquidas, la metálica constituida por plomo en la que se encuentra los metales preciosos como oro y plata, y la segunda fase, en la que se encuentra la escoria.

Tabla 7-3: Componentes utilizados para fundición

Nombre	Peso(g)
Litargirio	40
Bórax	20
Sílice	15
Harina	6
Carbonato de sodio	55

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Litargirio. Es considerado como un fundente básico ya que es un material fácilmente fundible, actúa además como agente desulfurante y oxidante. Posee gran afinidad por la sílice, por esta razón cuando la muestra del mineral no contiene suficiente cantidad de sílice el óxido de plomo II (PbO) o litargirio atacará las paredes del crisol provocando agujeros o rompiéndolo. Su punto de fusión es 883°C y una vez reducido actúa como proveedor del plomo necesario para la colección de metales nobles (Salazar et al., 2020, p.7).

Bórax. Es un fundente ácido, activo y muy fusible, disuelve la mayoría de los óxidos metálicos por ende tiene como objetivo en la fundición ayudar a formar escoria, formando un vidrio viscoso, debido a que se funde a 742°C en su propia agua de cristalización. Si se aplica en pocas cantidades, reduce la temperatura para formación de escoria, generando una fusión ordenada y tranquila. En la disolución del bórax se funde en forma vidriosa y transparente, el cual es el resultado de una mezcla de metaborato de sodio y anhídrido bórico (Cartagena R, 2011, p. 33).

Sílice. Su punto de fusión es de 1750°C siendo uno de los más fuertes materiales fundentes de carácter ácido para los procesos de ensayo al fuego. Actúa combinándose con minerales oxidados formando grasas y compuestos silicosos. Al ser un material ácido se utiliza en la fundición para que reaccione con los materiales básicos constituyentes del mineral. Así mismo protege al crisol de la acción corrosiva del óxido de plomo (Salazar et al., 2020, p.8).

Harina. La harina de trigo actúa como agente reductor, reduciendo una parte del litargirio a plomo metálico en el que se acumulará los metales preciosos (Salazar et al., 2020, p. 8).

Carbonato de sodio. Debido a su pureza y al ser un reactivo de fusión fuertemente alcalino, este al estar en presencia de aire oxida los sulfuros convirtiéndolos en sulfatos, por ello es considerado como un fundente oxidante y desulfurante. Funde a 852°C, el carbonato de sodio con el litargirio y bórax ayudan a la formación de un medio en el que se forman complejos metálicos boratados y silicatos, exponiendo a los metales nobles a la acción extractante del plomo (Cartagena 2011, pp. 34–35).

La carga fundente y el mineral se cubre completamente con bórax la superficie para evitar algún tipo de derrame en la mufla. La mufla es colocada a temperatura de 1100°C durante 3 horas, una vez alcanzado la fusión total de la muestra transcurrido el tiempo, se coloca el contenido del crisol en una payonera metálica la cual está previamente caliente a 200°C en donde se deja enfriar para observar la escoria en la parte superior, siendo frágil y quebradizo, a diferencia de la parte inferior en la que se encuentra el plomo metálico que es fácil para moldear y separar de la escoria. Con la acción de un martillo se puede separar estas dos fases para moldear el plomo en forma de cubo.



Ilustración 13-3: Colocación de muestra fundida en payonera.

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2022.

La copelación consiste en someter a la fase metálica de plomo obtenida en fundición a una elevada temperatura para obtener una esfera (doré) con metales preciosos.

Los metales preciosos no se oxidan a altas temperaturas por lo cual, se aprovecha esta propiedad de diferentes puntos de fusión comparado con el plomo, para su separación.

Se coloca la copela en la mufla a temperatura de 900°C durante 3 horas, en la que gran parte del total de plomo es absorbida por la copela ya que tiene una masa porosa construida por una mezcla de cemento gris con ceniza de hueso, que ayuda a su absorción.



Ilustración 14-3: botones doré obtenidos en copelación.

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

La disolución consiste en someter el botón (doré) obtenida después del proceso de copelación, al ataque de ácidos, previo a este proceso con una balanza analítica para mayor precisión y debido al tamaño del botón (doré) se pesan, dando como resultado para cada uno de ellos, los pesos marcados en la tabla 8-3:

Tabla 8-3: Peso en miligramos de botones doré.

Cod.	Doré(mg)
1	0.609
1.1	0.607
2	0.441
2.1	0.429

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

El botón es colocado sobre una plancha metálica y sometida a golpes con martillo para aplanar su forma esférica, quedando de forma planar ayuda a tener mayor superficie de contacto con al ácido nítrico y a su vez mayor velocidad de reacción, es por ello, que cuando se tenga que someter a una reacción un sólido, conviene aumentar la superficie de contacto.

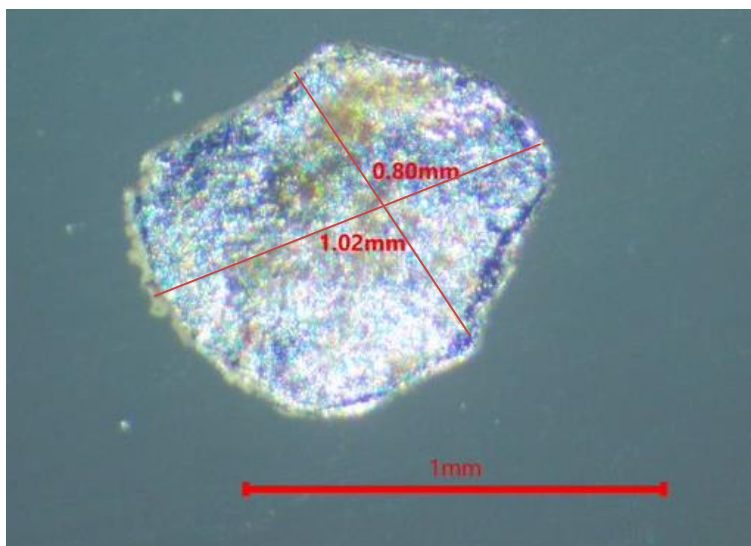


Ilustración 15-3: Vista de placa doré bajo estereomicroscopio.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Las 2 muestras se llevan a un crisol de porcelana para ser sometido a ataque químico. Este proceso consiste en colocar cada muestra con una parte de ácido nítrico combinado con una tercera parte de ácido clorhídrico, formando agua regia, este, al ser un líquido altamente corrosivo al entrar en contacto con los metales es capaz de disolverlos.

En la tabla 9-3 se observa los pesos de las muestras sometidas al ataque químico con agua regia, quedando botones únicamente compuestos con oro (Au).

Tabla 9-3: Peso botón de oro (Au) con separación por ácido nítrico.

Cod.	Botón Au(mg)
1	0.176
1.1	0.177

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

3.2.3.2 Determinación de porcentajes a escala laboratorio

Para determinar la masa en suspensión de la pulpa en la planta de beneficio de la empresa minera

y constructora COMINCOBOS S. A se procede a recolectar una muestra de pulpa y se pesa en una balanza, la masa en suspensión es una mezcla de fluido (agua) con un sistema particulado disperso (partículas sólidas de mineral), ya que está sometido a la acción de fuerzas mecánicas del agitador.

$$\text{Masa de la suspensión} = \text{masa de fluido} + \text{masa de partículas}$$

Para la obtención de masa de partículas se deja secar la masa de suspensión hasta eliminar todo el porcentaje de agua, y se realiza el pesado.

- Masa de suspensión (m_{SP}): 74.127g

- Masa de partículas (m_p): 19.277g

- Masa de fluido (m_F):

$$m_{SP} = m_F + m_p$$

$$m_F = m_{SP} - m_p$$

$$m_F = 74.127 - 19.277$$

$$m_F = 54.85$$

- Fracción de sólidos:

$$\emptyset_P = \frac{\text{masa de partículas en suspensión}}{\text{masa de la suspensión}} = \frac{m_p}{m_{SP}}$$

$$\emptyset_P = \frac{19.277g}{74.127g}$$

$$\emptyset_P = 0.26 \approx 0.3$$

- Densidad de partículas:

Para determinar la densidad de las partículas se utiliza el método basado en el principio de Arquímedes, en el cual se mide el empuje que sufre el líquido al introducir un sólido de masa conocida.

-Se pesa una determinada masa de la muestra, dando como resultado 25.186g



Ilustración 16-3: Peso de muestra mineral.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Se coloca una probeta con 50cm³ de agua, para después colocar los 25.186g de masa de partículas, dando como resultado un aumento de 9cm³ en la probeta.

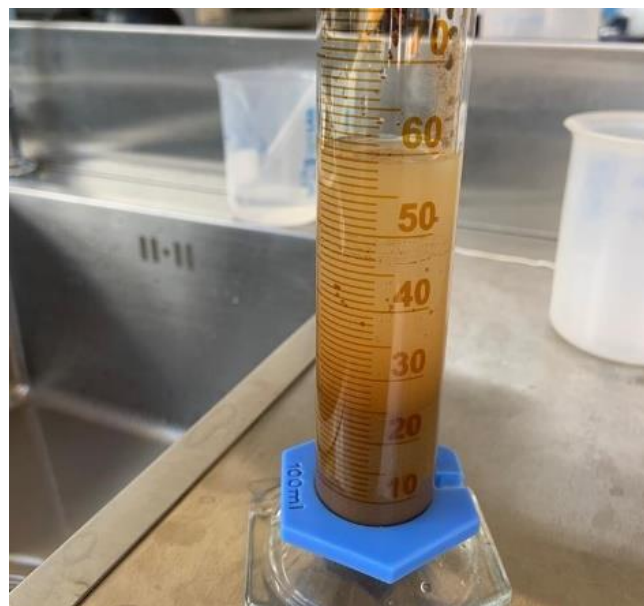


Ilustración 17-3: Muestra colocado en probeta.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

La densidad se determina dividiendo los datos medidos

$$\rho_P = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\rho_P = \frac{25.186\text{g}}{9\text{cm}^3}$$

$$\rho_P = 2.798\text{g/cm}^3$$

- Densidad de suspensión:

$$\rho_{SP} = \frac{1}{\phi_P \left(\frac{1}{\rho_P} - 1 \right) + 1}$$

$$\rho_{SP} = \frac{1}{0.3 \left(\frac{1}{2.798} - 1 \right) + 1}$$

$$\rho_{SP} = 1.238$$

- Dilución:

$$D = \frac{1}{\phi_P} - 1$$

$$D = \frac{1}{0.3} - 1$$

$$D = 2.333$$

Teniendo en cuenta que el tanque de agitación tiene una capacidad de 26m³ se tiene:

Volumen de suspensión = volumen de fluido + volumen de partículas

$$V_{SP} = 26\text{m}^3$$

- Fracción de sólidos: 0.26 = 0.3

- Densidad de partícula: 2.798 g/ cm³

- Densidad de suspensión: 1.238

- Masa de suspensión:

$$m_{SP} = \rho_{SP} * V_{SP}$$

$$m_{SP} = 1.226415 * 26$$

$$m_{SP} = 31.88679 \rightarrow 31886.79\text{kg}$$

- Masa de partículas:

$$m_p = \phi_P * m_{SP}$$

$$m_p = 0.3 * 31886.79$$

$$m_p = 9566.038\text{kg}$$

- Masa de fluido:

$$m_F = m_{SP} - m_p$$

$$m_F = 31886.79 - 9566.038$$

$$m_F = 22320.75\text{kg}$$

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en las ecuaciones anteriores, en la tabla 10-3 se explica

las cantidades necesarias para realizar la lixiviación con cianuro a escala laboratorio con 200g de masa de partículas.

Tabla 10-3: Cantidades para lixiviación con cianuro en 44 horas.

Masa	Cantidad
Masa de suspensión	666.66g
Masa de partículas	200g
Masa de agua	466.66g
Masa de cianuro 1	1.55g
Masa de cianuro 2	1.55g

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

En la siguiente tabla 11-3 se especifica las cantidades para realizar la lixiviación con GDA a escala laboratorio con 200g en masa de partículas.

Tabla 11-3: Cantidades para lixiviación con GDA en 44 horas.

Masa	Cantidad
Masa de suspensión	666.66g
Masa de partículas	200g
Masa de agua	466.66g
Masa de GDA 1	1.55g
Masa de GDA 2	1.55g

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

3.2.3.3 Equipos, materiales y reactivos

Tabla 12-3: Equipos para pruebas experimentales de laboratorio.

Equipo	Cantidad
Agitador magnético PHOENIX RSM-10A.	2
PHmetro OAKTON	1
Balanza de tres decimales	1

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Tabla 13-3: Instrumentos para pruebas experimentales de laboratorio.

Instrumento	Cantidad
Embudo pequeño	2
Vaso de precipitados de 1lt	2
Pipeta de 10ml	1
Balón de aforo de 100ml	4

Soporte metálico universal	2
Frasco lavador	2
Vasos plásticos	30
Jeringa de 10ml	10
Jeringa de 60ml	2
Frasco plástico para muestra	20
Papel filtro	20

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

Tabla 14-3: Reactivos para pruebas experimentales de laboratorio.

Reactivos	Cantidad
Nitrato de plata (AgNO_3)	100ml
Yoduro de potasio (KI)	100ml
Cianuro	400g
GDA	400g
Cal	400g

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

3.2.3.4 Lixiviación por agitación con cianuro

Acorde a las dosificaciones obtenidas en la tabla 10-3, las cuales se plantean a escala laboratorio conforme con las dosificaciones utilizadas con cianuro en la planta COMINCOBOS S. A. se reproduce el siguiente proceso de lixiviación.

Para el proceso de lixiviación con cianuro se lleva a cabo primero pesando 200.135g de muestra de tamaño $75\mu\text{m}$.



Ilustración 18-3: Peso de muestra mineral.

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

Se pesa también 1.557g de cianuro.



Ilustración 19-3: Peso de cianuro.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

La cantidad de agua necesaria en este proceso es de 466.082g. El agua se coloca en un vaso de precipitados de 1lt para evitar pérdidas durante el proceso de agitación.



Ilustración 20-3: Peso de agua.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Las cantidades detalladas anteriormente de agua y muestra mineral son colocadas conjuntamente en el vaso de precipitados y colocado en el agitador magnético PHOENIX RSM-10A.

Posteriormente se realiza una medida del pH inicial con un PHmetro de sobremesa marca OAKTON dando como resultado 3.45 siendo una solución muy ácida, por lo cual es necesario agrega cal hasta alcanzar un pH de 12.07, para ser óptimo en el proceso de cianuración.

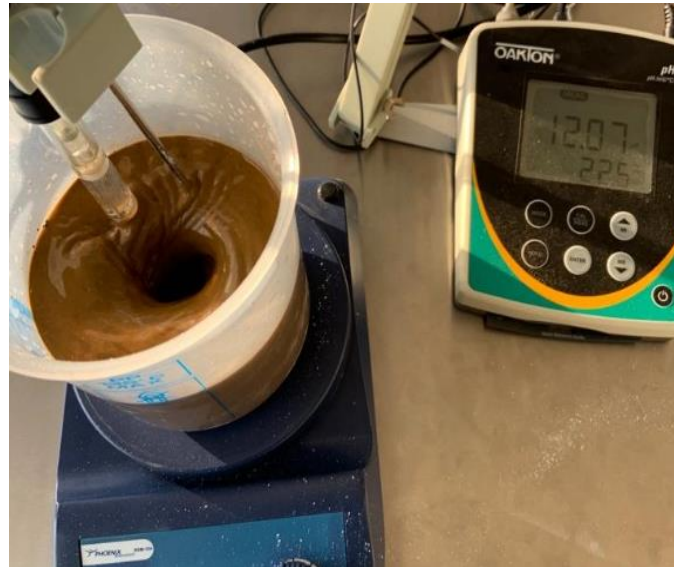


Ilustración 21-3: Variación de pH posterior a la colocación de cal.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Una vez logrado el pH básico de 12 con el cual se trabaja en la planta de beneficio de la empresa minera y constructora COMINCOBOS S. A, se agrega el 1.557g de cianuro disuelto previamente.

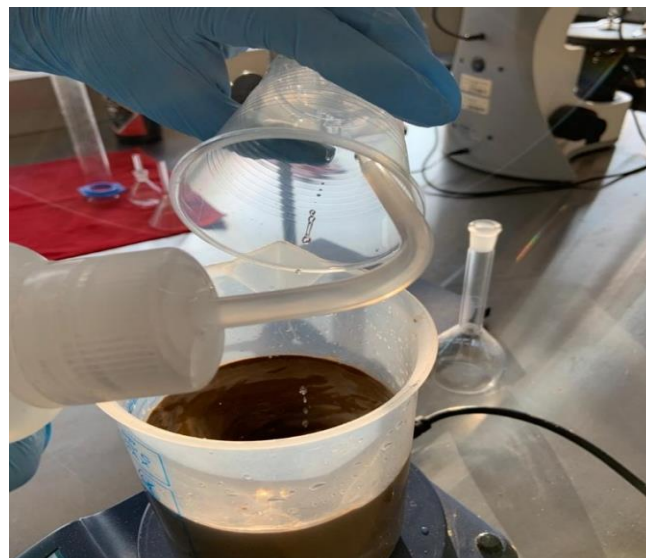


Ilustración 22-3: Adición de cianuro en pulpa.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

El proceso de cianuración se mantiene durante un periodo de 44 horas, para tener el mismo resultado de planta, iniciando a partir de las 07:00 am.

La recolección de muestras para su posterior análisis de laboratorio se realiza cada 10 horas, obteniendo así, la primera muestra de cianuración a las 17:00pm. La muestra se toma sin detener la agitación en ningún momento. Con la ayuda de una jeringa se toma 20cm^3 y se pone a filtración con papel filtro dentro de un embudo y abajo un balón de aforo para su respectiva recolección.

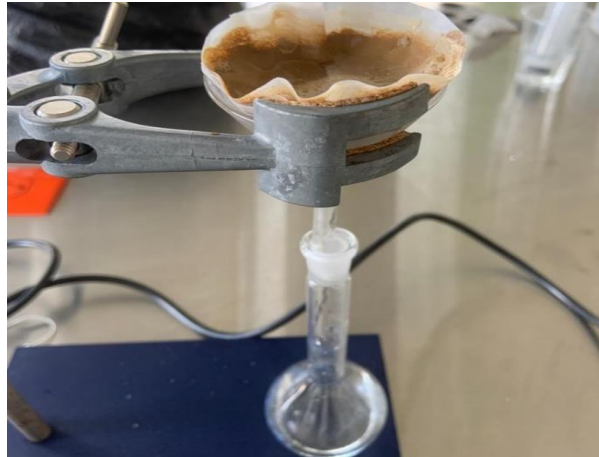


Ilustración 23-3: Filtrado de muestra.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Pasadas las 10 horas, además de la recolección de muestra, se realiza una medida de concentración de cianuro, el proceso consiste en colocar 3 gotas de yoduro de potasio en una muestra de 10cm^3 e ir agregando nitrato de plata hasta notar un cambio de coloración en la muestra. En la primera muestra con 1cm^3 se pudo observar el cambio de coloración.



Ilustración 24-3: Cambio de coloración debido a la colocación de nitrato de plata.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Trascurridas 20 horas, se procede a retirar la segunda muestra de cianuración, además se toma una muestra de 10cm^3 para medir la concentración de cianuro, observando cambio de coloración con 1cm^3 nuevamente. Posterior a ello, se coloca la segunda dosis de 1.597g de cianuro, replicando el proceso de cianuración en planta.

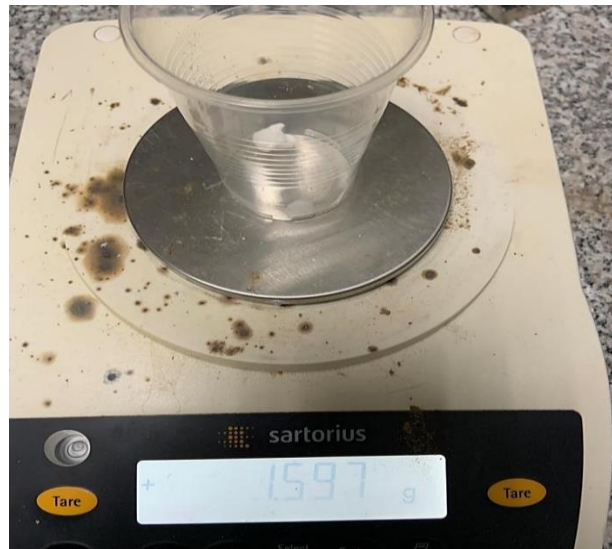


Ilustración 25-3: Peso de cianuro, segunda dosis.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Después de 30 horas, se retira la tercera muestra, nuevamente colocando sobre papel filtro 20cm^3 .



Ilustración 26-3: Filtrado de muestra.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Además, se realiza nuevamente la medida de concentración de cianuro en el cual el cambio de coloración se pudo notar con 2cm^3 de nitrato de plata a diferencia de las muestras anteriores.



Ilustración 27-3: Cambio de coloración con 2cm^3 de nitrato de plata.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Se llevó un control de pH para verificar el estado básico requerido en la cianuración, dando como resultado un pH igual a 11.74, en el que se pudo notar una pequeña disminución del pH de 12.07 en el que se inició dicho proceso de lixiviación.



Ilustración 28-3: Disminución mínima de pH en lixiviación con cianuro.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Con 44 horas de lixiviación, se procede a tomar la cuarta muestra para su respectiva filtración. También se realiza la medida de concentración de cianuro en el cual el cambio de coloración se dio con 2cm^3 de nitrato de plata.



Ilustración 29-3: Medida de concentración de cianuro, con adición de nitrato de plata.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

3.2.3.5 Lixiviación por agitación con GDA

Como se busca realizar una comparativa entre la lixiviación con cianuro y con GDA, se utiliza las mismas cantidades que el proceso anterior, detallado en la tabla 11-3.

Para el proceso de lixiviación con GDA se pesa 200.217g de muestra de tamaño $75\mu\text{m}$.



Ilustración 30-3: Peso de muestra mineral para lixiviación con GDA.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

El GDA a colocar tiene un peso de 1.557g.

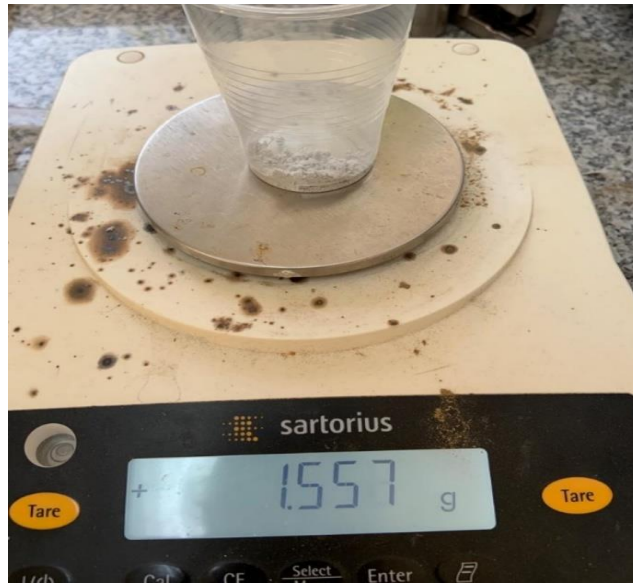


Ilustración 31-3: Peso de GDA.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Se pesa una cantidad de 466.137g de agua, y se coloca en el agitador magnético PHOENIX RSM-10A en un vaso de precipitados de 1 litro, juntamente con los 200g de mineral.



Ilustración 32-3: Peso de agua.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

El pH inicial de la pulpa es de 3.44, siendo este una solución ácida. Para el proceso de lixiviación se busca tener un pH básico, por lo tanto, se agrega Cal, para neutralizar su acidez.

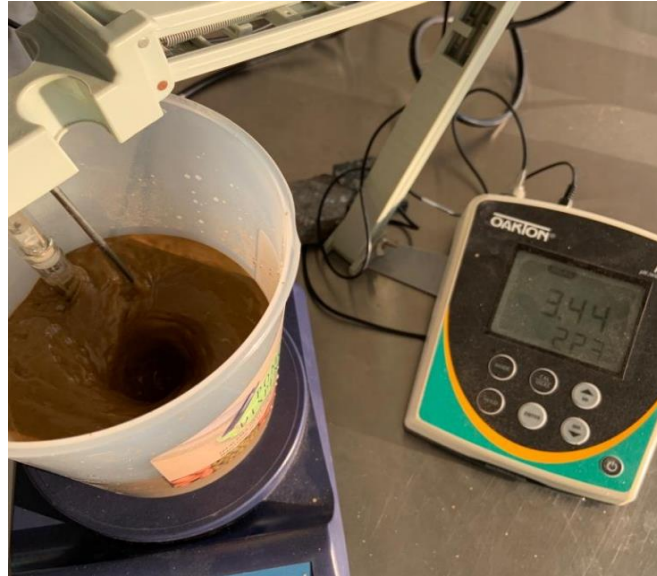


Ilustración 33-3: pH inicial en pulpa.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

De esta forma se agrega suficiente Cal, hasta obtener un pH básico de 12.04.

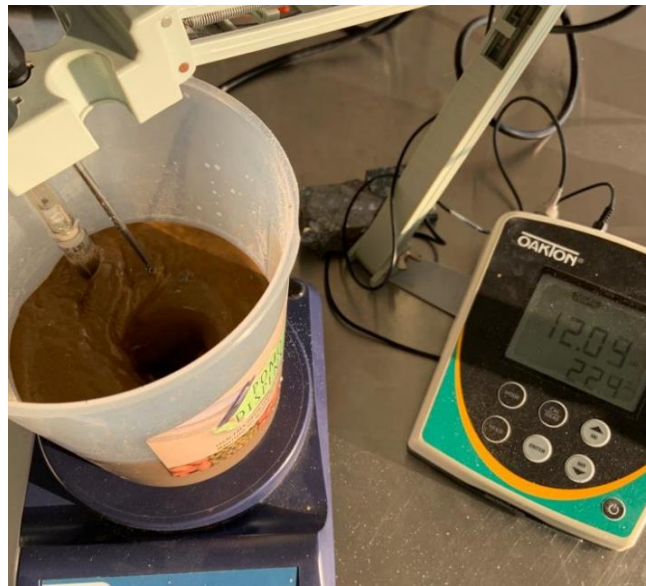


Ilustración 34-3: pH posterior a colocación de cal.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Alcanzado el pH básico necesario para la lixiviación se procede a agregar 1.557g de GDA, para el proceso de lixiviación durante 44 horas.

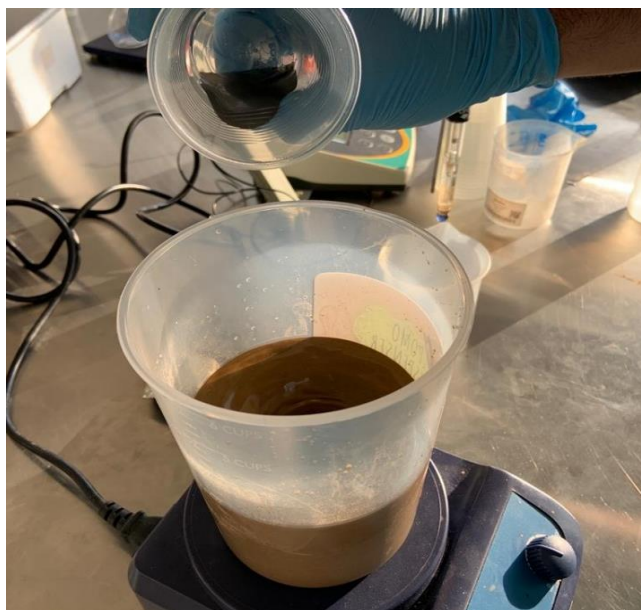


Ilustración 35-3: Adición de GDA en pulpa.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

El proceso de muestreo y medida de concentración de GDA se realiza cada 10 horas. Transcurridas las primeras 10 horas, se procede a hacer la toma de medida de concentración de GDA, de la misma forma que con el cianuro, se aplica 3 gotas de yoduro de potasio, junto con 10cm^3 de muestra, después con una jeringa se aplica 1cm^3 de nitrato de plata, para observar el cambio de coloración.



Ilustración 36-3: Nitrato de plata en jeringa de 10cm^3 .

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.



Ilustración 37-3: Cambio de coloración debido a la adición de nitrato de plata.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Transcurridas 20 horas, se toma una muestra para su respectivo filtrado, además de la medida de concentración de GDA en el cual continua en 1cm^3 . Así mismo, se procede a añadir una segunda dosis de 1.510g de GDA en la pulpa.

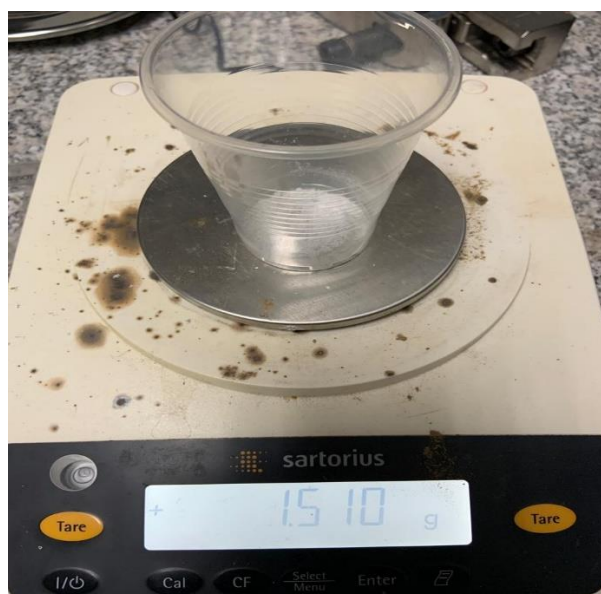


Ilustración 38-3: Peso de segunda dosis de GDA.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Transcurridas 30 horas, se procede a extraer una nueva muestra para su filtrado. Además, se realiza la medición de concentración de GDA, en el cual no hay ningún cambio a la anterior, pues con 1cm^3 de nitrato de plata, se observa el cambio de coloración en la muestra.

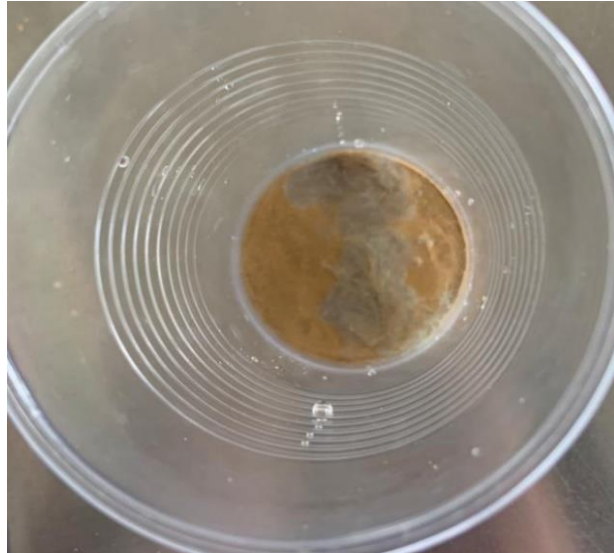


Ilustración 39-3: Cambio de coloración con nitrato de plata en muestra.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Se procede a realizar una verificación del pH inicial, obteniendo como resultado un pH de 12.15, en el cual se puede evidenciar que después de 30 horas el pH básico se mantiene estable.



Ilustración 40-3: Medida de pH transcurrida 30 horas.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Completado las 44 horas de lixiviación, similar al realizado en planta, se efectúa la recolección de la última muestra, para ser filtrada. Se realiza, además, la medida de concentración de GDA respectiva, en el cual no se detecta ninguna variación, ya que con 1cm^3 de nitrato de plata, hay un notable cambio de color en la muestra.



Ilustración 41-3: Cambio de coloración en muestra con AgNO_3 , en 44 horas de lixiviación.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Para el proceso de lixiviación con GDA se realizan dos ensayos más, en el cual se busca aumentar el tiempo de lixiviación a 60 horas.

Tabla 15-3: Cantidades de primera lixiviación con GDA en 60 horas.

Masa	Cantidad
Masa de partículas	200g
Masa de agua	466.66g
Masa de GDA 1	3.1g
Masa de GDA 2	3.1g

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Tabla 16-3: Cantidades de segunda lixiviación con GDA en 60 horas.

Masa	Cantidad
Masa de partículas	200g
Masa de agua	466.66g
Masa de GDA 1	1.55g
Masa de GDA 2	1.55g

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

De acuerdo con la tabla 15-3, se realiza la lixiviación en el que la cantidad de GDA se duplica a la dosis inicial, a 3.1g, pero la masa de partículas y de agua se mantienen. Previo a añadir la dosis de GDA se mide el pH dando como resultado un pH ácido de 3.6 y posterior a añadir Cal, de alcanza un pH de 12. Durante este proceso se realiza un muestreo cada 10 horas, en el que se

coloca 20cm³ de pulpa sobre un embudo con papel filtro y bajo este, un balón de aforo. Así mismo se realiza una medida de la concentración de GDA cada 10 horas, indicando en las 6 medidas tomadas que con 1cm³ de nitrato de plata (AgNO₃) se visualizaba un cambio de coloración.

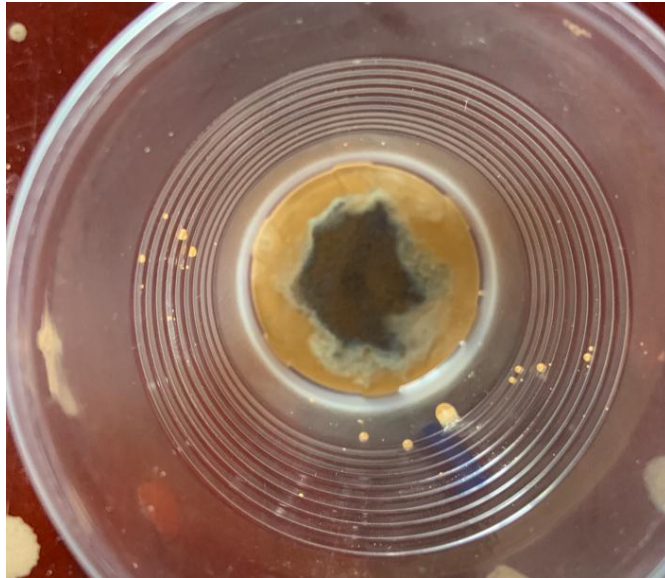


Ilustración 42-3: Cambio de coloración debido a la adición de AgNO₃.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

A lo largo de este proceso de lixiviación se toma un total de 6 muestras para su respectivo análisis de laboratorio, para la determinación de oro (Au) por absorción atómica.

Así mismo, en este tiempo se realiza la lixiviación con las cantidades detalladas en la tabla 16-3. Previo a añadir la dosis de GDA se mide el pH dando como resultado un pH ácido de 3.6 y posterior a añadir Cal, de alcanza un pH de 12. Se toma muestras de pulpa cada 10 horas, también se realiza la medida de concentración de GDA en el que se obtuvo un mismo resultado para todas las tomas de medida, cambiando su coloración con 1cm³ de nitrato de plata.

En este proceso se recolectó un total de 6 muestras para ser enviadas a un análisis de absorción atómica en laboratorio.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis del ensayo a fuego

Los cuatro botones doré obtenidos del ensayo a fuego, son puesto bajo el estereoscopio para obtener una vista más detallada y poder tomar las medidas que cada uno de los doré posee, en el cual se puede observar que en la ilustración 43-4 e ilustración 44-4 tienen una muy pequeña diferencia en tamaño en comparación a las de la ilustración 45-4 e ilustración 46-4. Esto se debe a que fueron realizadas con misma muestra mineral cuarteada y agregado las mismas cantidades para de material fundente en dicho ensayo.

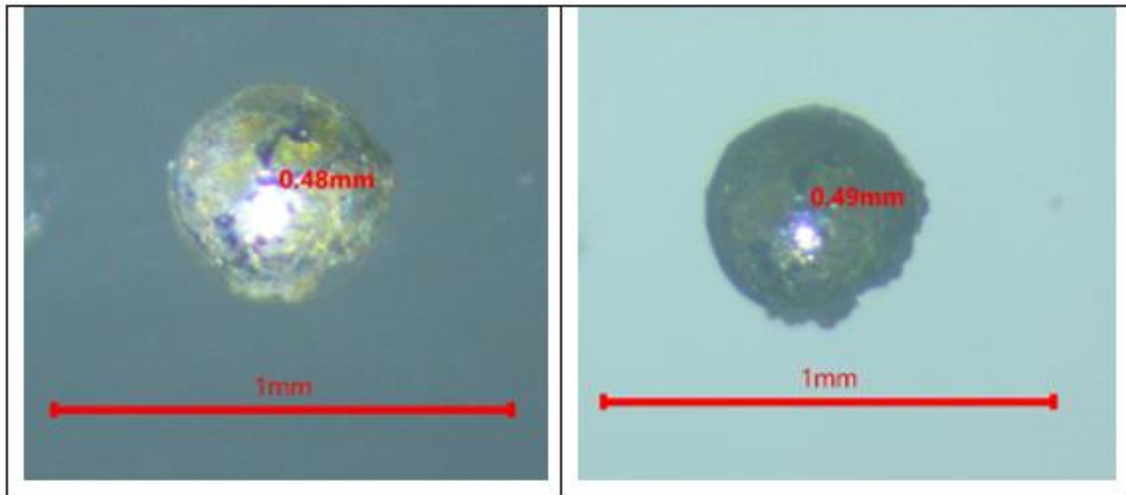


Ilustración 43-4: Muestra 1 vista bajo estereoscopio.

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

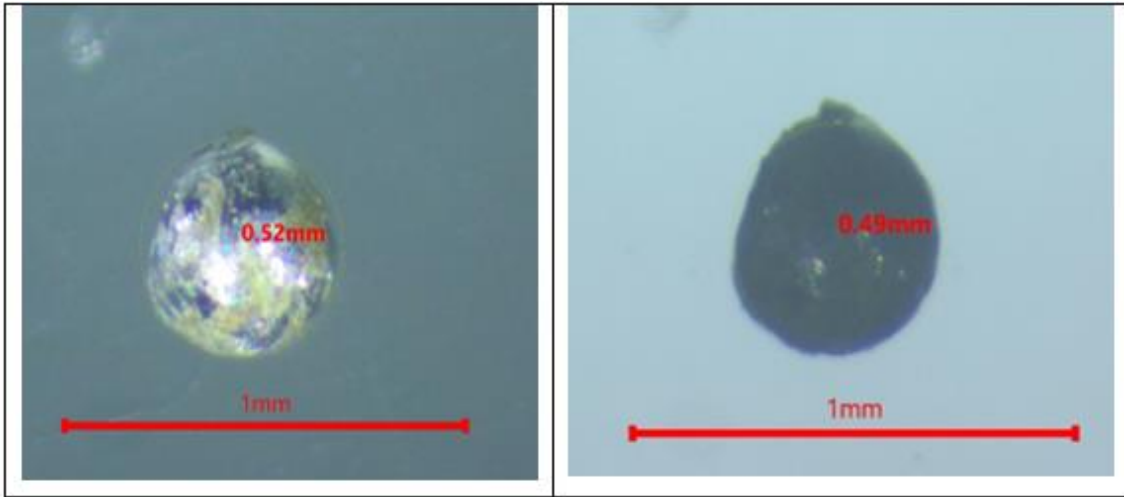


Ilustración 44-4: Muestra 1.1 vista bajo estereoscopio.

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

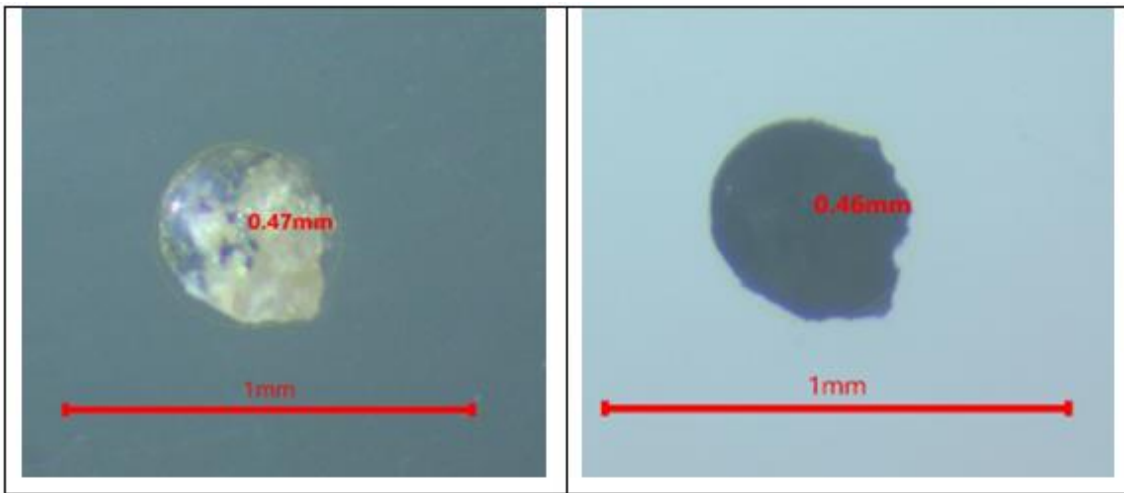


Ilustración 45-4: Muestra 2 vista bajo estereoscopio.

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

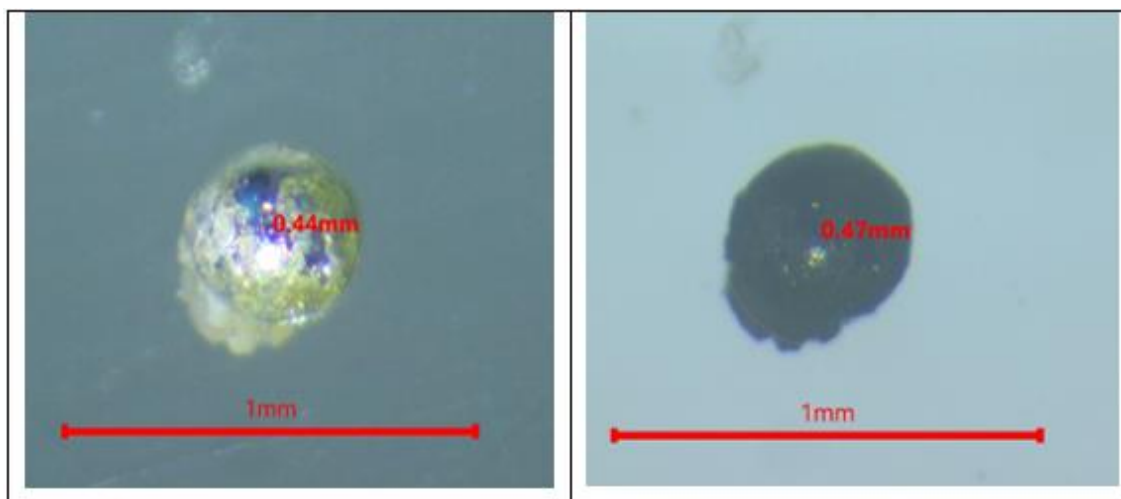


Ilustración 46-4: Muestra 2.1 vista bajo estereoscopio.

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

4.2 Análisis de lixiviación con cianuro

El análisis de los resultados obtenidos de las pruebas a escala laboratorio de lixiviación realizadas con cianuro siguiendo los parámetros indicativos In Situ de la planta de beneficio de la empresa minera y constructora COMINCOBOS S. A son presentados en la tabla 17-4.

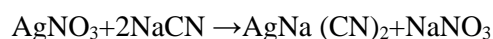
Tabla 17-4: Ley de concentración de cianuro en lixiviación con cianuro (44h).

Cod.	Hora	Tiempo	Día	Au (ppm)	Concentración NaCN (ml)
C1	17:00pm	10	Martes	3.060	1
C2	03:00am	20	Miércoles	3.150	1
C3	13:00pm	30	Miércoles	3.267	2
C4	03:00am	44	Jueves	3.271	2

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

De acuerdo con los resultados de los análisis obtenidos de absorción atómica, se puede evidenciar que la ley de oro (Au) va incrementando en relación con el tiempo de lixiviación, así mismo que, transcurrida 20 horas de lixiviación al agregar una nueva cantidad de 1,55g de cianuro existe un pequeño incremento de ley de 0.117 (ppm).

La concentración o porcentaje en gramos por litro o ppm de cianuro libre se mide de acuerdo con la siguiente relación:



De dicha relación se desprende que siendo el peso molecular de AgNO_3 igual a 169.9g, saturan

98g de NaCN. Siendo que por 1ml que se consume de AgNO₃ significa que en la solución hay 0.0098015g de cianuro.

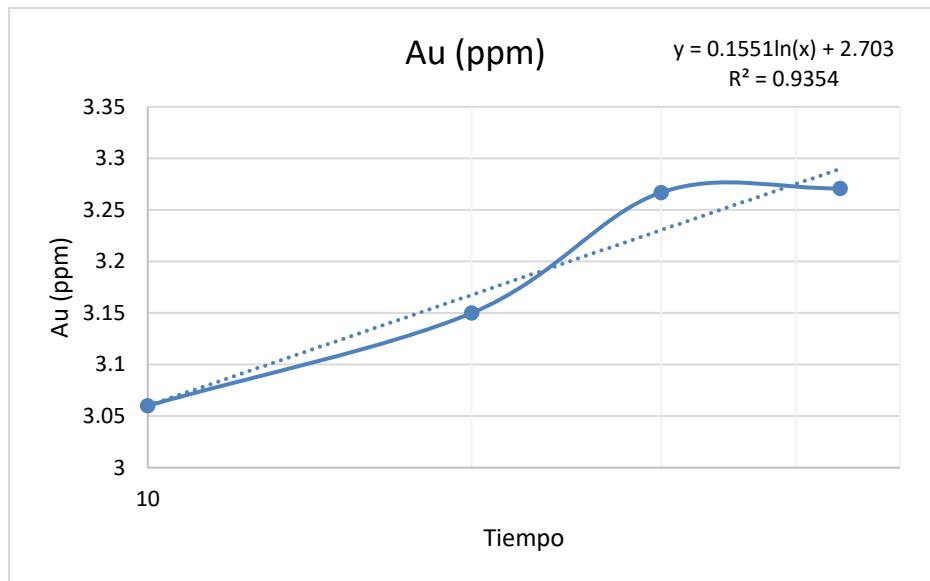


Ilustración 47-4: Curva semilogarítmica de concentración de oro con 1,55g de NaCN.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

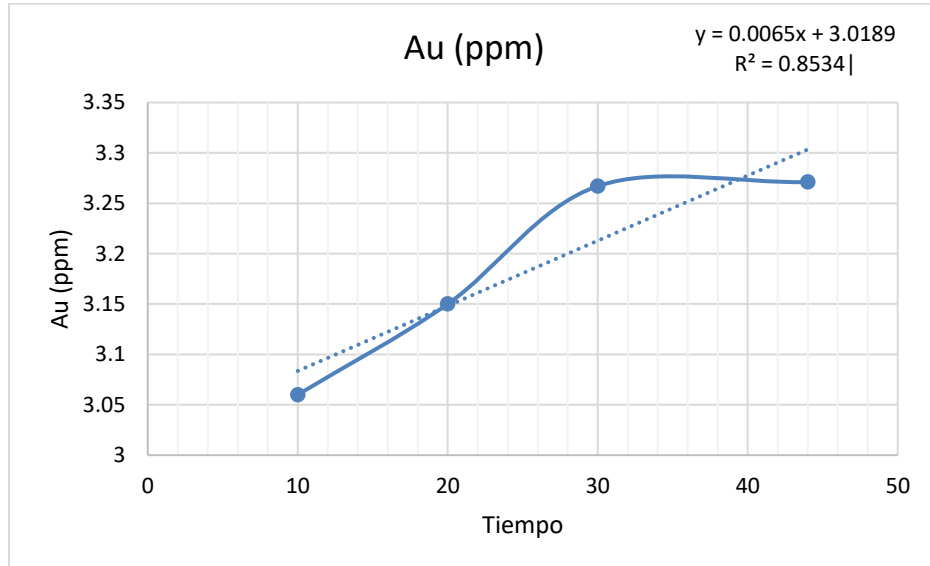


Ilustración 48-4: Curva de concentración de oro con 1,55g de NaCN.

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

4.3 Análisis de lixiviación con GDA

El análisis de los resultados obtenidos de las pruebas a escala laboratorio de lixiviación realizadas con GDA siguiendo los parámetros indicativos In Situ de la planta COMINCOBOS S. A son

presentados en la tabla 18-4.

Tabla 18-4: Ley de concentración de GDA libre en lixiviación con GDA (44h).

Cod.	Hora	Tiempo	Día	Au (ppm)	Concentración GDA (ml)
G1	17:00pm	10	Martes	1.550	1
G2	03:00am	20	Miércoles	1.850	1
G3	13:00pm	30	Miércoles	2.593	1
G4	03:00am	44	Jueves	2.802	1

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

La ley de concentración es determinada por un análisis de absorción atómica en laboratorio, en el cual se indica que, existe una semejanza que no supera las 2(ppm) en su ley de concentración hasta las 20 horas de lixiviación, a partir de ello, luego de añadir una nueva dosis de 1.55g de GDA se incrementa la ley de concentración siendo superior a 2.5(ppm).

Al no existir una medida de concentración de GDA libre estandarizada, por ser un reactivo relativamente nuevo en el mercado, se utiliza la misma relación que para determinar la concentración de cianuro libre, es decir que por 1ml que se consuma de AgNO_3 significa que en la solución hay 0.0098015g de GDA.

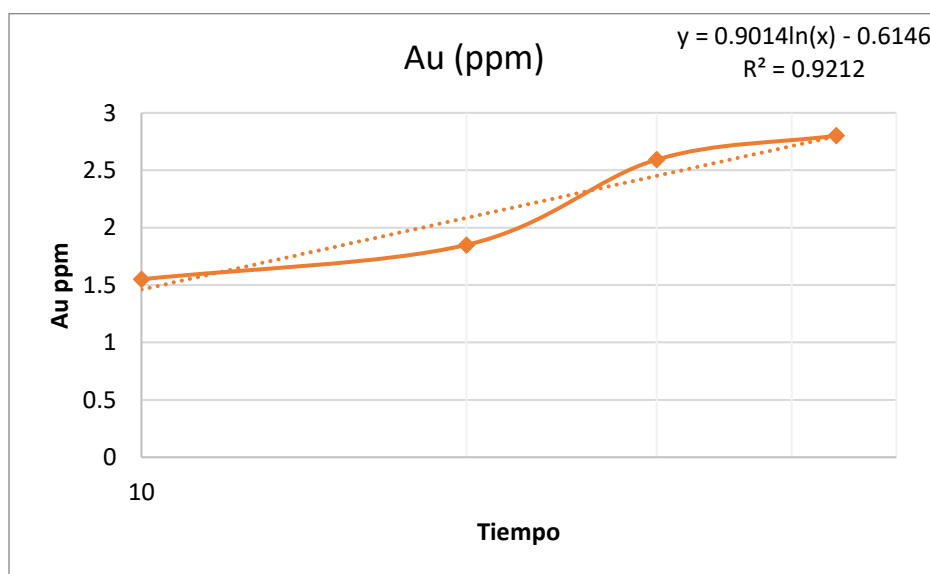


Ilustración 49-4: Curva semilogarítmica de concentración de oro con 1,55g de GDA (44h).

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

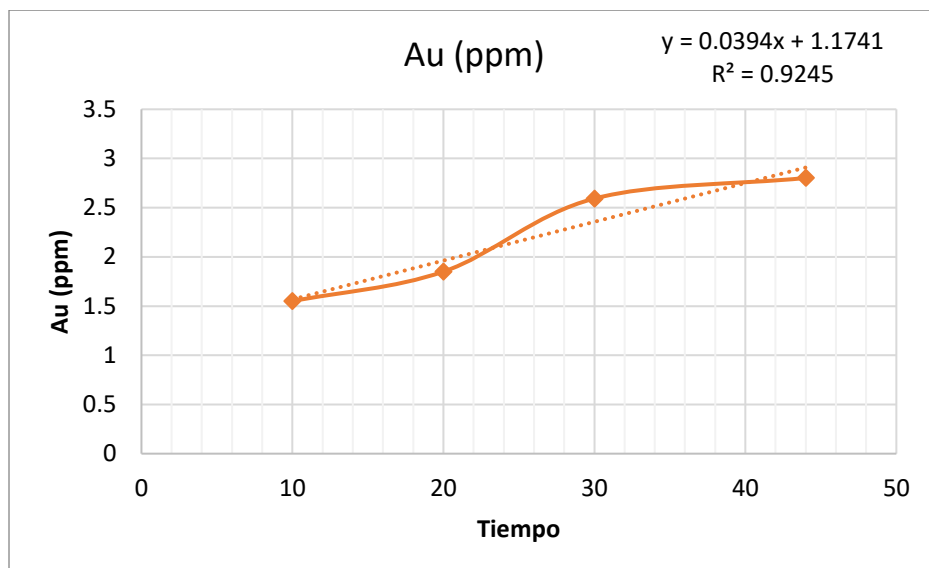


Ilustración 50-4: Curva de concentración de oro 1,55g de GDA (44h).

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

En la tabla 19-4, se detalla la lixiviación con GDA durante un periodo total de 60 horas, para el cual se incrementó la cantidad de GDA a 3.1g duplicando la cantidad inicial de 1,55g utilizado para la primera lixiviación, con el propósito de analizar la ley de concentración resultante de este y alcanzar una mejor comparativa.

De tal forma se puede evidenciar que la ley de concentración en esta lixiviación posee un incremento mucho más favorable que el de la tabla 20-4 en el que se utilizó 1,55g de GDA durante el mismo período de tiempo, alcanzando con 3.1g de GDA en 60 horas de lixiviación una ley de 3.965(ppm) y para 1,55g de GDA una ley de concentración de 2.927(ppm).

Tabla 19-4: Ley de concentración de GDA en lixiviación con 3.1g de GDA (60h).

Cod.	Hora	Tiempo	Día	Au (ppm)	Concentración GDA (ml)
G1.1	19:00pm	10	Viernes	2.678	1
G1.2	05:00am	20	Sábado	3.046	1
G1.3	15:00pm	30	Sábado	3.215	1
G1.4	01:00am	40	Domingo	3.636	1
G1.5	10:00am	50	Domingo	3.798	1
G1.6	20:00pm	60	Domingo	3.965	1

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

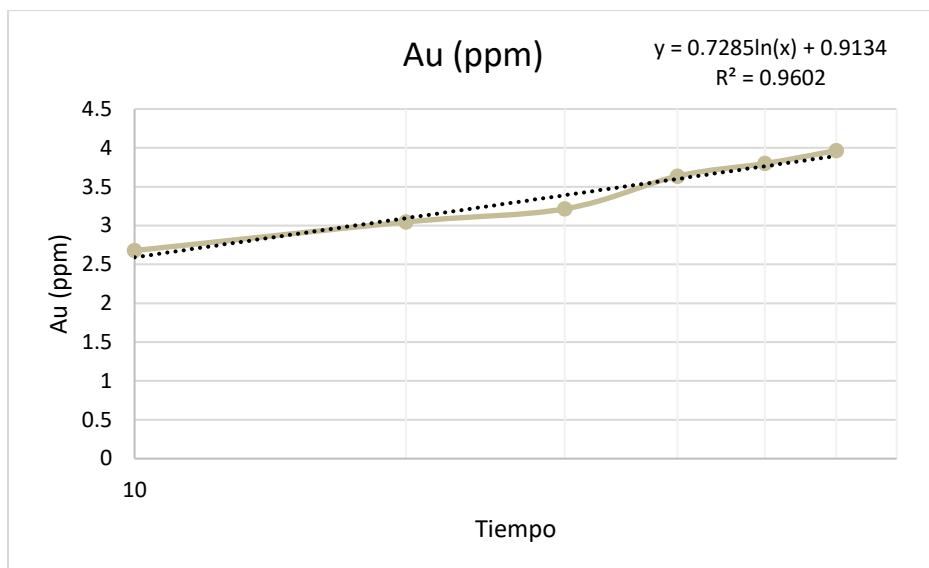


Ilustración 51-4: Curva semilogarítmica de concentración de oro 3.1g de GDA (60h).

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

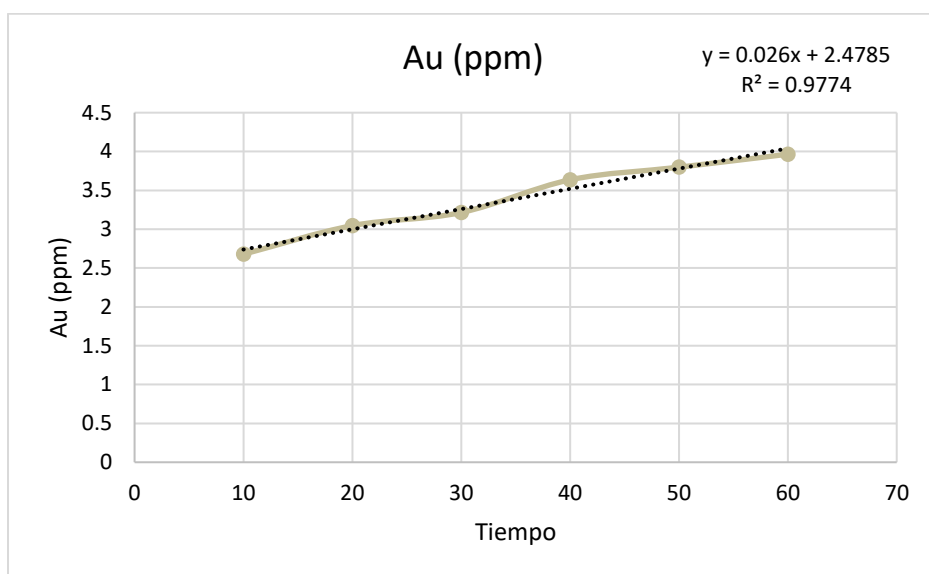


Ilustración 52-4: Curva de concentración de oro con 3.1g de GDA (60h).

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Tabla 20-4: Ley de concentración de GDA libre en lixiviación con 1,55g de GDA (60h).

Cod.	Hora	Tiempo	Día	Au (ppm)	Concentración GDA (ml)
G2.1	19:00pm	10	Viernes	1.643	1
G2.2	05:00am	20	Sábado	1.760	1
G2.3	15:00pm	30	Sábado	1.986	1
G2.4	01:00am	40	Domingo	2.676	1

G2.5	10:00am	50	Domingo	2.822	1
G2.6	20:00pm	60	Domingo	2.927	1

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

En todas las lixiviaciones realizadas con GDA no existe variación en cuanto a la concentración de GDA libre, ya que se utilizó 1ml de nitrato de plata para que haya un notable cambio en la coloración de la muestra, es decir cómo sé menciono anteriormente, con 1ml que se consume de AgNO_3 significa que en la solución hay 0.0098015g de GDA.

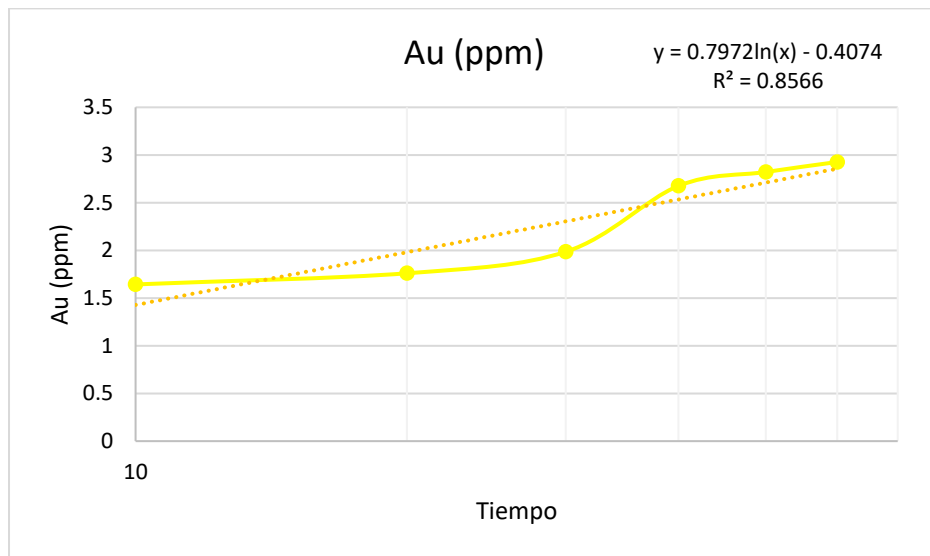


Ilustración 53-4: Curva semilogarítmica de concentración de oro con 1.55g de GDA (60h).

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

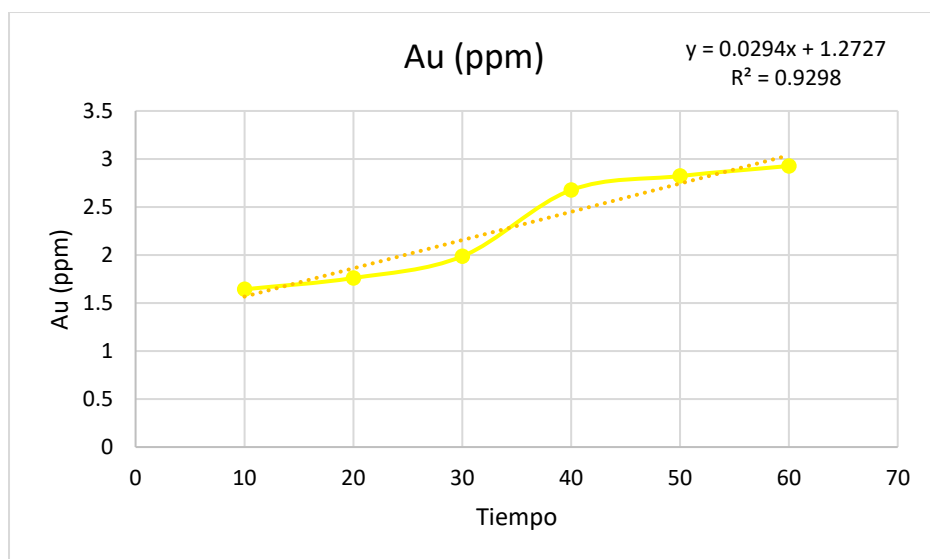


Ilustración 54-4: Curva de concentración de oro con 1.55g de GDA (60h).

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

4.4 Comparativa de lixiviación de cianuro y GDA

En la ilustración 55-4 se presenta una comparativa de las concentraciones obtenidas durante las diferentes lixiviaciones realizadas. En el cual se puede evidenciar que, durante las 44 horas de lixiviación realizadas a escala laboratorio siguiendo los parámetros realizados para la lixiviación con cianuro en la planta COMINCOBOS S. A. se obtiene un mayor porcentaje de ley de concentración en la lixiviación con cianuro, con una diferencia de 0,469(ppm) más que en la lixiviación con GDA.

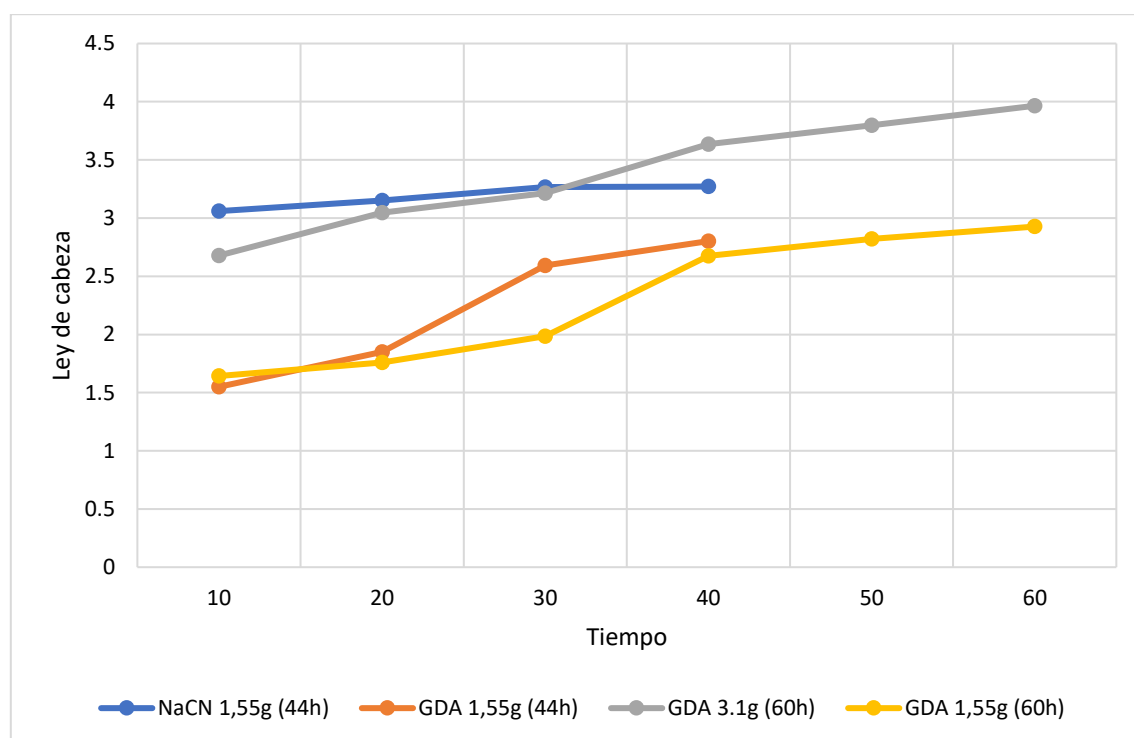


Ilustración 55-4: Curva comparativa de concentración NaCN vs. GDA

Realizado por: Urquizo, Fanny, 2023.

Aplicando una mayor cantidad (3.1g) de GDA para el proceso de lixiviación se puede obtener mejores resultados, haciendo que a las 40 horas ya se tenga una ley de cabeza mucho más elevada que la del cianuro.

Es decir, para la aplicación de GDA en la planta COMINCOBOS S. A. aspirando una ley mayor a la que se obtiene en la cianuración se debe tener en cuenta lo detallado en la tabla 21-4.

Tabla 21-4: Cantidades para lixiviación con GDA en la planta COMINCOBOS S. A.

Masa	Cantidad
Volumen de suspensión	26m ³
Masa de suspensión	32195.53kg
Masa de partículas	9658.66kg
Masa de agua	22536.87kg
Masa de GDA 1	150kg
Masa de GDA 2	150kg

Realizado por: Urquiza, Fanny, 2023.

Al analizar los resultados que se obtuvieron durante la fase experimental del presente trabajo técnico podemos decir que, al realizar una comparación en condiciones similares entre el cianuro de sodio y el GDA demostramos que:

- El cianuro tiene una concentración más elevada siendo de 3.271 ppm sobre 2.802 ppm del GDA
- El cianuro necesita menor tiempo de activación que el GDA esto lo podemos observar en las curvas de concentración vs tiempo
- La curva de concentración vs tiempo del cianuro tiene un comportamiento según la ecuación $y = 0.0065x + 3.0189$, siendo “y” el valor de concentración en ppm y “x” el tiempo de proceso de cianuración en horas.
- La curva de concentración vs tiempo del GDA en condiciones similares al cianuro tiene un comportamiento según la ecuación $y = 0.0394x + 1.1741$, siendo “y” el valor de concentración de GDA en ppm y “x” el tiempo de proceso de cianuración en horas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Se determinó que, la planta de beneficio de la empresa Minera y Constructora COMINCOBOS S. A. al ser una empresa que no solo realiza procesos de concentración de su propia mina, si no que brinda servicios de renta para los procesos de chancado, flotación y lixiviación mineral, se ve expuesto a un cambio constante del tipo de mineral que ingresa a la planta, es por ello, que se tiene establecido en cuanto al proceso de lixiviación con cianuro, la colocación inicial de 75kg de cianuro de sodio en un periodo de tiempo aproximado de 21 horas, trascurrido este período de tiempo se realiza un análisis de laboratorio para conocer la ley de concentración que mantiene, en caso que dicha ley sea menor de 3ppm se procese a nuevamente colocar 75kg de cianuro e incrementar el tiempo de lixiviación, de este modo alcanzando una ley de concentración más alta.

Se observó que, siguiendo los parámetros establecidos en planta, a escala de laboratorio el cianuro tiene 44 horas de lixiviación el cianuro tiene mayor concentración en comparación del GDA siendo la concentración del cianuro de 3.271ppm, durante las 44 horas de lixiviación del GDA en el mismo periodo de tiempo se obtuvo de 2.802ppm demostrando así que si se mantienen las cantidades iguales de estos dos reactivos el Cianuro presente un valor mayor de concentración.

Se reportó que, la lixiviación con GDA no es igual o mayor a la del cianuro en condiciones similares, sin embargo es un valor el cual no se deba despreciar, ya que la diferencia de concentración resultante de la lixiviación es de 0.469ppm por debajo de la del cianuro, por lo que se debería utilizar en casos donde no se puedan tratar las colas de los lixiviados, al considerarse un lixivante amigable con el ambiente y en la parte económica son valores iguales al cianuro, y de esta forma se contribuye a una minería más responsable, De las pruebas de lixiviación realizadas también se puede concluir que, para obtener una concentración de oro mayor a la del cianuro con el lixivante GDA se debe incrementar el tiempo de acción del GDA puesto que al realizar el análisis en periodo de tiempo mayor la concentración aumenta, obteniendo en un tiempo de 60 horas una concentración de oro de 2.927 ppm.

De igual forma según una prueba extra realizada al duplicar la dosis de GDA logramos obtener una concentración de oro de 3.965 ppm que es superior a la del cianuro por lo que se podría concluir que si aumentamos la dosis podremos obtener concentraciones superiores.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO SEDE MORONA SANTIAGO, contar con un laboratorio en el que se puedan realizar las pruebas de concentración al instante de ser tomadas las soluciones, con el fin de contar con una base de datos mayor para poder determinar y ajustar mejor la curva de concentración vs tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS, Vladimir, CORONADO, Rosa, PUENTE, Luis & LOVERA, Daniel. “Refractariedad de concentrados auríferos”. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG* [en línea], 2005, (Perú), 16(8), pp. 5-14. [Consulta: 21 agosto 2022]. ISSN: 1561-0888. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol8_n16/a01.pdf

CARTAGENA, Ricardo. Análisis de oro y plata de concentrados gravimétricos auríferos mediante ensayo al fuego utilizando cobre como colector (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería). [en línea] Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería. Quito, Ecuador. 2011. Pp. 33-35. [Consulta: 1 diciembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1189/1/101175.pdf>

GÖKELMA, Mertol, BIRICH, Alexander, STOPIC, Srecko, FRIEDRICH, Bernd. “A Review on Alternative Gold Recovery Reagents to Cyanide”. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering* [en línea], 2016, (Alemania), 8(4), pp. 8–17. [Consulta: 25 agosto 2022]. Disponible en: DOI 10.4236/MSCE.2016.48002.

GRAUE, Enrique, PASSARGE, María and CENICEROS, Guillermo. *La tabla de los elementos* [en línea]. México: Universidad Nacional Autónoma de México, La Cabra Ediciones S.A. de C.V, 2019. [Consulta: 21 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.universum.unam.mx/assets/temp/la-tabla-de-los-elementos/la-tabla-de-los-elementos-catalogo.pdf>

GUANGXI SENHE HIGH TECHNOLOGY CO. LTD. *Research and Development of GDA* [blog]. [Consulta: 28 agosto 2022]. Disponible en: <http://www.gda.gold/public/en/article/480.html>

HERDOÍZA, David Larenas, FIERRO RENOY, Virginia & FIERRO RENOY, Claudia. “Minería a Gran Escala, Una Nueva Industria para Ecuador”. *Polémika* [en línea], 2017, (Ecuador), 12(5), pp. 67-91. [Consulta: 18 agosto 2022]. ISSN: 2528-7796. Disponible en: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/956>

HUACO, Marilia Consuelo. Evaluación del porcentaje de disolución de oro en la lixiviación con Sandioss mediante diseños experimentales (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería). [en línea], Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela

Profesional de Ingeniería Metalúrgica, Arequipa, Colombia. 2017. P.9 [Consulta: 10 julio 2022].
Disponible en:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3361/IMhucomc.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>

MARSDEN, John and HOUSE, C. *The Chemistry of Gold Extraction Society*. 2nd edición: For Mining, Metallurgy, and Exploration, 2006, pp.234-248.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Acuerdo Ministerial N° 3 - Listados de sustancias químicas consideradas de uso severamente restringido en el Ecuador*. (2013). Disponible en: <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC183209/>

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Acuerdo Ministerial N° 37 - Reglamento ambiental de actividades mineras, ministerio ambiente*. (2016). Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Reglamento-Ambiental-Actividades-Mineras-MAE.pdf>

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Línea Base Nacional para la Minería Artesanal y en Pequeña Escala de Oro en Ecuador, Conforme la Convención de Minamata sobre Mercurio*. (2020). Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/NAP-Inventario-de-Mercurio-Ecuador.pdf>

MKAMA, Alex. “Investigation of Environmental and Health Impact of the Gold Dressing Agent (GDA) Used for Gold Extraction”, *African Minerals and Geosciences Center (AMGC)* [en línea], 2019, (Tanzania), pp 4-24. [Consulta: 6 octubre 2022]. Disponible en: 10.13140/RG.2.2.31115.54565

MORRAL, F R, JIMENO, E and MOLERA, P. *Metalurgia general* [en línea]. Volumen I. Barcelona-España: Editorial Reverte. [Consulta: 17 agosto 2022] Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/esepoch/titulos/176158>

RAMÍREZ, Augusto. “Toxicidad del cianuro: Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre”. *Anales de la Facultad de Medicina* [en línea], 2010, (Perú), 1(71), pp. 54–61. [Consulta: 25 octubre 2022]. ISSN: 1025-5583. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832010000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es

RESTREPO, Oscar, BUSTAMANTE, Moisés and GAVIRIA, Ana. *Notas de clase: Hidrometalurgia aplicada* [en línea]. Medellín-Colombia: Colección Facultad de Minas. 2007. [Consulta: 26 agosto 2022] Disponible en:
<https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/cuadernos/notas-de-clase-hidrometalurgia-aplicada>

RIVERA, Luis. Recuperación de oro refractario aplicando lixiviación con tiosulfato y resina en pulpa en la UEA condestable (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería). [en línea] Universidad Nacional del Centro de Perú, Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales, Huancayo, Perú. 2009. Pp.23-28 [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en:
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2226/Rivero%20Brice%C3%B1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SALAZAR, Alan, SORIA, Maria & CARRILLO, Francisco. “Ensayo al fuego de muestras tipos óxidos de un proceso gravimétrico. Una evaluación de las mezclas fundentes utilizadas”. *Geomimet* [en línea], 2020, (México), 348, pp. 7-12. [Consulta 1 diciembre 2022]. ISSN: 0185-1314. Disponible en: <https://www.revistageomimet.mx/2020/12/ensaye-al-fuego-de-muestras-tipos-oxidados-de-un-proceso-gravimetrico-una-evaluacion-de-las-mezclas-fundentes-utilizadas/>

SUAREZ, Tobón. Estudio de la Hidrofobicidad de Oro Nativo y su Efecto en la Flotación Espumante Directa (Trabajo de titulación) (Tesis doctoral). [en línea] Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Departamento de Materiales, Medellín, Colombia. 2013. P.5 [Consulta: 21 agosto 2022]. Disponible en:
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/20970/43435771.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TORRES, Karla Dayanna, Electro-lixiviación de oro utilizando tiosulfato de sodio como lixivante (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería). [en línea] Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Minas, Azuay, Ecuador. 2018. Pp.7-27. [Consulta: 10 julio 2022]. Disponible en:
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8011/1/13735.pdf>

VARGAS, Yessica Botero, Estudio de mecanismos de cianuración de oro considerando interacciones fisicoquímicas de interfase (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Departamento de Materiales y Minerales,

Medellín, Colombia. 2021. [Consulta: 18 agosto 2022]. Disponible en:
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80515>

YANNOPOULOS, J, *The Extractive Metallurgy of Gold* [en línea]. New York-EE. UU.: Van
Nostrand Reinhold, 1991. [Consulta: 28 agosto 2022]. Disponible en:
<https://dokumen.tips/documents/the-extractive-metallurgy-of-goldpdf.html?page=1>



ANEXOS

ANEXO A: Equipo de fluorescencia de rayos X (FRX) para caracterización química.



ANEXO B: Análisis químico elemental FRX.

Nº	Units	Au	Ag	As	Sb	Zn	Cu	Mo	Mn
1	ppm	15.41	< LOD	454.61	< LOD	49.01	26.87	< LOD	168.47
2	ppm	< LOD	< LOD	24197.72	576.91	165.53	1284.51	8.58	876.33
3	ppm	< LOD	< LOD	24984.18	< LOD	139.97	1569.61	4.98	849.15
4	ppm	< LOD	7.71	28926.02	535.94	177.78	1617.17	< LOD	933.73
5	ppm	< LOD	< LOD	27570.63	488.85	170.01	1562.28	< LOD	889.98
Promedio:		3.08	1.542	21226.63	320.34	140.46	1212.09	2.712	743.53
Nº	Units	Pb	Fe	Ca	K	S	Cr	Ni	Ti
1	ppm	582.1	21134.5	7495.49	11391.61	391.96	558.79	48.91	3695.25
2	ppm	714.09	119707.43	19662.64	4684.02	< LOD	324.24	135.9	3927.12
3	ppm	870.18	125746.2	17546.59	5699.18	< LOD	325.81	139.91	4518.04
4	ppm	797.46	129078.13	17456.49	4913.09	< LOD	318.17	177.66	4086.59
5	ppm	737.25	128654.66	18179.6	4835.17	< LOD	281.12	139.93	4035.4
Promedio:		740.22	104864.18	16068.16	31523.07	78.392	361.63	128.46	4052.48

ANEXO C: Ensayo peso doré y botón de oro / Lectura de Au por absorción atómica.




INFORME DE ENSAYO

Cliente: Fanny Gissela Urquizo Urquizo
Fecha: 13/12/2022
Tipo de ensayo: Peso de doré y botón de oro /
Lectura de Au por Aborsción Atómica

ID de la Muestra	Doré mg	Botón Au mg	Au ppm
1	0,609	0,176	165,20 *
1.1	0,607	0,177	-
2	0,441	-	-
2.1	0,429	-	-
GDA 1. 5 pm	-	-	1,550
GDA 2. 3 am	-	-	1,552
GDA 3. 13 pm	-	-	2,593
GDA 4. 3 am	-	-	2,802
Cianuro 1. 5 pm	-	-	3,060
Cianuro 2. 3 am	-	-	3,021
Cianuro 3. 13 pm	-	-	3,271
Cianuro 4. 3 am	-	-	3,267

*Disolución del botón de Au y lectura por Absorción Atómica


Cinthia Ríos
Jefe de Laboratorio



ANEXO D: Lectura de Au por absorción atómica.

REPORTE DE LABORATORIO

Cliente: Fanny Gissela Urquizo Urquizo Fecha: 21/12/2022 Tipo de ensayo: Lectura de elementos por Absorción Atómica
--

ID de la Muestra	Au g/m ³	CN Consumo ml	Ag ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm	Fe ppm
GDA 1.1 - 7pm	2,678						
GDA 1.2 - 5am	3,046						
GDA 1.3 - 3pm	3,215						
GDA 1.4 - 1am	3,636						
GDA 1.5 - 10am	3,798						
GDA 1.6 - 8pm	3,965						



Cuenca: Francisco de Orellana y Cristóbal Colón, Condominios Yanuncay bloque A, oficina 2A | Sucursal Piñas: Angel Salvador Ochoa 13-01 | Cel. Of.: 593 992143528
Celular: 593 9 99188480 | E-mail: albexxus@yahoo.com / palvarez-r@hotmail.com.ar | Ecuador - Sudamérica

REPORTE DE LABORATORIO

Cliente: Fanny Gissela Urquizo Urquizo Fecha: 21/12/2022 Tipo de ensayo: Lectura de elementos por Absorción Atómica
--

ID de la Muestra	Au g/m ³	CN Consumo ml	Ag ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm	Fe ppm
GDA 2.1 - 7pm	1,643						
GDA 2.2 - 5am	1,760						
GDA 2.3 - 3pm	1,986						
GDA 2.4 - 1am	2,676						
GDA 2.5 - 10am	2,822						
GDA 2.6 - 8pm	2,927						



Cuenca: Francisco de Orellana y Cristóbal Colón, Condominios Yanuncay bloque A, oficina 2A | Sucursal Piñas: Angel Salvador Ochoa 13-01 | Cel. Of.: 593 992143528
Celular: 593 9 99188480 | E-mail: albexxus@yahoo.com / palvarez-r@hotmail.com.ar | Ecuador - Sudamérica



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 / 06 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Fanny Gissela Urquizo Urquizo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Minas
Título a optar: Ingeniera en Minas
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz


Ing. Cristhian Fernando Castillo

1008-DBRA-UTP-2023