



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
Y METALURGIA

“LIXIVIACIÓN DE SULFUROS PARA LA RECUPERACIÓN DE Au y Ag APLICANDO PERCARBONATO DE SODIO”

Memoria de Prácticas Profesionales

Que para obtener el título de:

INGENIERO METALÚRGICO

Presenta

YATES MORENO, CARLOS GUILLERMO

HERMOSILLO, SONORA

MARZO 2018

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

DEDICATORIA

*A mis padres Tomás y Ana,
gracias por todos los sacrificios
que han hecho por sus hijos.
Los amo.*

*A Ivonee, gracias por
ser mi pilar en todos
estos años.*

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia y a todos mis profesores a lo largo de mi carrera profesional.

A mis compañeros de carrera, con ustedes cree de los mejores recuerdos que llevare conmigo.

Al laboratorio y al área de planta ADR de la unidad minera La Colorada, por sus consejos, por su amistad y por todo lo que me enseñaron y especialmente al Ing. Iván Gerardo Muñoz Martínez por ser mi maestro y amigo durante mis prácticas profesionales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABLAS	v
RESUMEN.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1. OBJETIVO GENERAL	4
I.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	4
II. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	5
II.1. LIXIVIACIÓN DE SULFUROS	6
II.2. PROCESO DE CIANURACIÓN	6
II.3. OXIGENACIÓN EN EL PROCESO DE CIANURACIÓN.....	8
II.4. EFECTO DEL pH EN LA CIANURACIÓN.....	10
II.5. PROCESO PAL.....	12
II.6. PERCARBONATO DE SODIO	13
III. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	14
III.1. PREPARACIÓN DEL MINERAL	15
III.2. PREPARACIÓN DEL CIANURO.....	17
III.3. ANÁLISIS DE COLAS.....	18
IV. RESULTADOS	20
V. CONCLUSIONES.....	28
VI. RECOMENDACIONES	30
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea de la mina La Colorada.

Figura 2. Planta ADR, unidad La Colorada.

Figura 3. Zonas catódicas y anódicas de la cianuración del oro.

Figura 4. Efecto de la concentración del cianuro en la velocidad de disolución del oro y la plata en una solución saturada de aire.

Figura 5. Tasa de disolución de la plata a diferentes presiones de O_2 y diferentes concentraciones de NaCN a $24^\circ C$.

Figura 6. Formación de cianuro y ácido cianhídrico en solución acuosa en función del pH.

Figura 7. Quebradora utilizada para la preparación del mineral.

Figura 8. Ejemplo del cuarteo del mineral.

Figura 9. Pruebas de lixiviación en columnas.

Figura 10. Bomba utilizada para la dosificación de cianuro.

Figura 11. Criba Gilson utilizada para análisis granulométricos.

Figura 12. Extracción en % de oro en función del tiempo.

Figura 13. Extracción en % de plata en función del tiempo.

Figura 14. Extracción en % de cobre en función del tiempo.

Figura 15. Consumo de cianuro en las pruebas de lixiviación.

Figura 16. Consumo de cal en las pruebas de lixiviación.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Leyes del mineral.

Tabla 2. Análisis granulométrico y análisis de cabeza para el mineral del tajo El Crestón utilizado en las pruebas de lixiviación.

Tabla 3. Análisis granulométrico y análisis de colas del mineral de la prueba de lixiviación sin percarbonato de sodio.

Tabla 4. Análisis granulométrico y análisis de colas del mineral de la prueba de lixiviación con percarbonato de sodio.

Tabla 5. Datos generales de la prueba de lixiviación.

Tabla 6. Datos generales de la prueba de lixiviación con percarbonato de sodio.

RESUMEN

En el presente trabajo se compara la extracción de oro, plata y cobre de un mineral sulfuroso, proveniente del tajo El Crestón de la unidad minera La Colorada, en el municipio La Colorada, Sonora. Las pruebas de lixiviación se llevaron a cabo adicionando percarbonato de sodio ($2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$), al mineral para optimizar los resultados y comparar los resultados con una prueba sin este aditivo.

Ambas pruebas se llevaron a cabo utilizando los mismos parámetros de operación; densidad de flujo, granulometría, concentración de cianuro, cantidad de cal agregada y tiempo de lixiviación.

I. INTRODUCCIÓN

La mina La Colorada, se localiza en el Municipio La Colorada Sonora, aproximadamente a 40 km al sureste de Hermosillo Sonora, México (Figura 1). La mina originalmente operó como una mina subterránea de alta ley de oro, que cerró al comienzo de la Revolución Mexicana en 1914. Durante el principal período histórico de la minería de 1876-1914, se registró la producción de más de tres millones de onzas de oro.

En 1990, el Servicio Geológico Mexicano (SGM), midió 1.5 millones de toneladas de colas que fueron utilizados al comienzo de la producción a cielo abierto por Eldorado Gold Corp en 1993. Durante el período 1993-2000, Eldorado Gold desarrolló una operación de lixiviación por montones de varios tajos a cielo abierto; aunque la operación fue vendida a finales de 2000, la producción continuó por un propietario privado mexicano hasta abril de 2002, sin embargo, la mina nunca se cerró por la falta de oro.



Figura 1. Vista aérea de la mina La Colorada.

Actualmente (2017), la unidad minera La Colorada es trabajada por la compañía canadiense Argonaut Gold, la cual emplea un sistema de lixiviación por aspersion con NaCN para lixiviar el mineral a un tamaño de 3/8”.

La solución rica pasa a ser tratada en la planta ADR (adsorción, desorción y reactivación), en donde se aprovechan las propiedades adsorbentes del carbón activado para recuperar el oro en su forma iónica de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ (Figura 2).



Figura 2. Planta ADR, unidad La Colorada.

I.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los resultados de la lixiviación de sulfuros, en una prueba en columna y comparar el consumo de cianuro de sodio (NaCN) y cal (CaO) adicionando percarbonato de sodio al mineral.

I.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Determinar la viabilidad del uso del percarbonato de sodio en la lixiviación de sulfuros para el mineral de la unidad minera La Colorada, comparando:

- Extracciones de oro, plata y cobre.
- Consumo de reactivos (cianuro de sodio y cal) durante el mismo tiempo de lixiviación de ambas pruebas en columna.

II. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

II.1. LIXIVIACIÓN DE SULFUROS

Debido a la continua explotación de los yacimientos minerales oxidados, el estudio para tratar minerales sulfurados por métodos hidrometalúrgicos ha sido de gran interés en las últimas décadas, por los altos costos energéticos que representa que sea tratado por la vía pirometalúrgica.

El tratar las menas sulfuradas por la vía hidrometalúrgica ayuda a disminuir las emisiones de SO_2 generadas por los procesos pirometalúrgicos, también ayuda a separar la producción del metal de la producción de ácido sulfúrico [1].

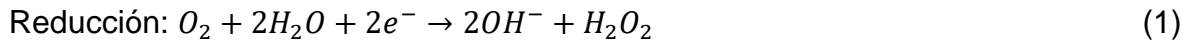
Los sulfuros son insolubles en agua incluso a altas temperaturas, pero pueden ser solubilizados por varios métodos:

- *Bajo condiciones reductoras.* Algunos sulfuros se disuelven en medios ácidos formando H_2S (ácido sulfhídrico), otros se disuelven en medios alcalinos formando el ion sulfuro.
- *Bajo condiciones oxidantes.* Usualmente se forma sulfuro elemental, pero por inestabilidad en un medio neutral o alcalino se oxida a sulfatos. En un medio ácido, hay una estrecha región donde se puede lograr formar sulfuro elemental [2].

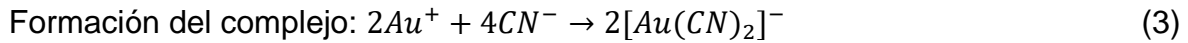
El oro se encuentra presente en diferentes compuestos, usualmente minerales sulfurados y el consumo de oxígeno para su lixiviación es mayor [3], para ello puede ser utilizado un potente agente oxidante como el peróxido de hidrogeno.

II.2. PROCESO DE CIANURACIÓN

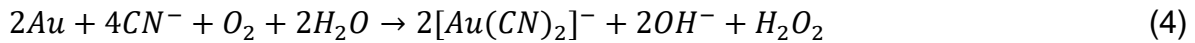
En la obtención del oro y la plata, el mineral es lixiviado con una solución de cianuro de sodio, con el fin de separar dichos metales del mineral. En la disolución del oro en soluciones de cianuro, el oxígeno es adsorbido en la superficie del mineral tomando electrones llevando a cabo la reducción a peróxido de hidrogeno (H_2O_2):



La oxidación del metal conduce al ion Au^+ a acomplejarse con el ion cianuro:



Formando una reacción global:



De acuerdo con las reacciones anteriores [4], la cianuración del oro es un proceso electroquímico, de oxidación-reducción donde el cianuro forma fuertes complejos con el ion Au^+ , solubles en agua, y con la reducción del oxígeno en la superficie del metal, se da lugar a la formación parcial de peróxido de hidrogeno y de iones hidroxilo (Figura 3) [5].

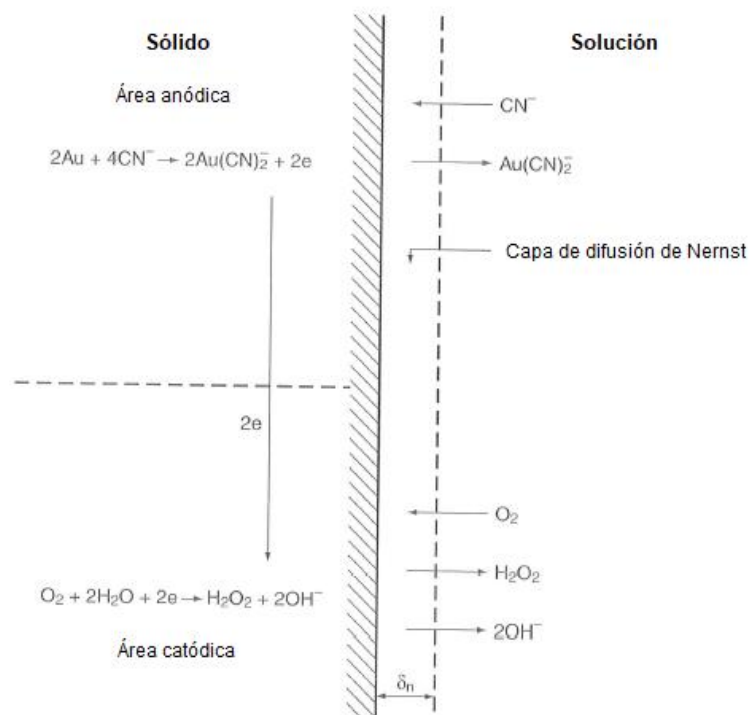


Figura 3. Zonas catódicas y anódicas de la cianuración del oro. [6]

Los factores que influyen en el proceso son:

- Tamaño de partícula. Se aumenta el área de contacto entre el mineral y la solución y también ayuda a liberar valores que pudiesen estar encapsulados en el mineral.
- Naturaleza del mineral (óxidos, sulfuros, etc.).
- Porosidad. Permite que el agente lixivante penetre en el mineral para disolver los metales de interés.
- Concentración del lixivante. Entre más concentrado sea el agente lixivante, los tiempos de lixiviación disminuyen.
- Temperatura. Al incrementar la temperatura durante la lixiviación se tendrán mejores recuperaciones para el mismo tiempo de contacto del mineral y la solución.
- Tiempo. A mayor tiempo de contacto entre el mineral y la solución, la extracción mejorará hasta agotarse los valores. [7]

II.3. OXIGENACIÓN EN EL PROCESO DE CIANURACIÓN

Para que se pueda obtener la disolución del oro por cianuración, son necesarios tanto el cianuro como el oxígeno, sin estos la reacción de cianuración no podrá llevarse a cabo. En la práctica, se ha descubierto que la velocidad de disolución del oro se incrementa linealmente con el incremento en la concentración del cianuro hasta alcanzar un máximo, más allá de dicho valor el cianuro no tendrá efecto (Figura 4).

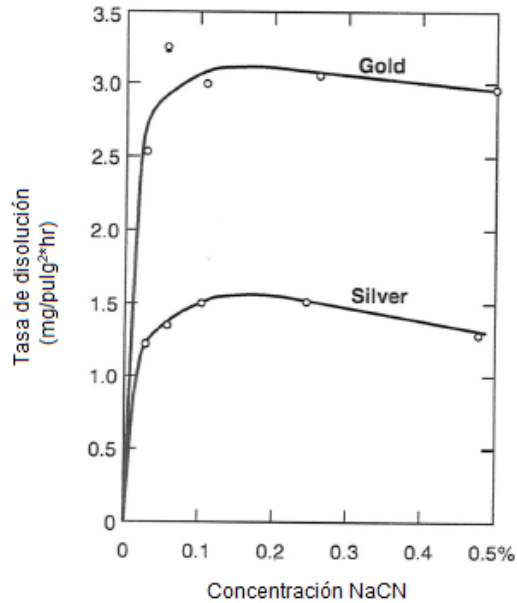


Figura 4. Efecto de la concentración del cianuro en la velocidad de disolución del oro y la plata en una solución saturada de aire. [2]

Variando la presión del oxígeno se descubrió que, a bajas concentraciones de cianuro, la velocidad de disolución dependía únicamente de la concentración del cianuro, mientras que a altas concentraciones es independiente de la concentración del cianuro y depende únicamente de la presión de oxígeno (Figura 5).

A bajas concentraciones de cianuro (y alta presión de oxígeno) es la oxidación-formación de complejos, las reacciones que predomina. A altas concentraciones de cianuro (y baja presión de oxígeno), es la reducción del oxígeno la reacción que predomina [2, 3].

Desde un punto de vista técnico, ni el oxígeno disuelto (aireación), ni la concentración de cianuro son determinantes por si solas en el proceso de cianuración, si no la proporción de ambas concentraciones. Sin embargo, se tiene que tener siempre a consideración que, si se tiene un exceso de cianuro en la solución, pero la cantidad de oxígeno disuelto esta debajo de la teórica requerida, este exceso será desperdiciado.

Debido a los elevados costos de operación al utilizar oxígeno puro en los procesos, se recomienda utilizar aire atmosférico.

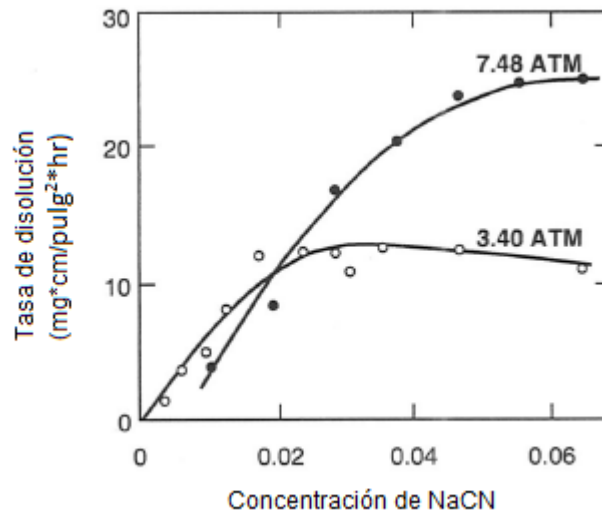


Figura 5. Tasa de disolución de la plata a diferentes presiones de O₂ y diferentes concentraciones de NaCN a 24°C. [2]

II.4. EFECTO DEL pH EN LA CIANURACIÓN

Es esencial mantener la alcalinidad en las soluciones de cianuro durante la lixiviación para prevenir la formación de HCN (ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno), el cual es un gas extremadamente tóxico. El HCN se puede formar por el resultado de la absorción del CO₂ atmosférico [2,7]:



Mantener una alta alcalinidad ayuda mantener baja la tasa de formación de HCN por absorción de CO₂ o por hidrólisis (Figura 6), como se muestra en la siguiente reacción:



En la práctica se mantienen valores de pH alrededor de 11 y 12 aplicando cal viva (CaO) al mineral antes de ser lixiviado.

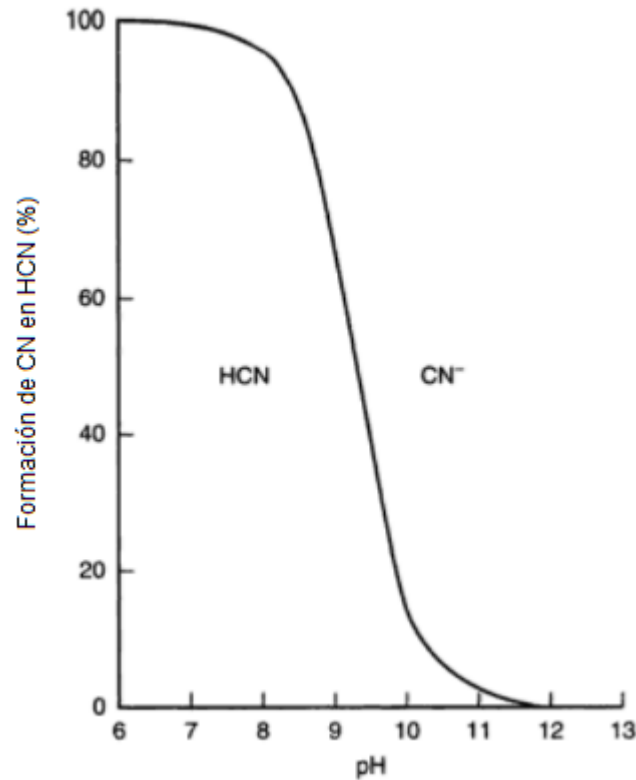


Figura 6. Formación de cianuro y ácido cianhídrico en solución acuosa en función del pH. [2]

El ácido cianhídrico y el cianuro libre puede ser oxidado a cianato en presencia de oxígeno y bajo ciertas condiciones oxidantes (Figura 7), las siguientes reacciones nos muestran cómo se lleva a cabo:



Estas reacciones son indeseables durante la lixiviación, ya que reducen el cianuro libre en la solución y el cianato formado no disuelve el oro (Marsden, 2006).

II.5. PROCESO PAL

El sistema de lixiviación ayudado por la acción del peróxido de hidrógeno (PAL, por sus siglas en inglés), permite el uso de este potente oxidante en la cianuración, mientras se evita una reacción entre H_2O_2 y cianuro. El uso del peróxido de hidrógeno ayuda significativamente a la cinética de extracción del oro y la plata, en comparación a un sistema de lixiviación empleando únicamente aire atmosférico [8].

La principal aplicación del proceso PAL, se encuentra en la explotación de menas sulfurosas, debido a la gran cantidad de oxígeno que es requerido para la oxidación y tener una extracción considerable. El uso de peróxido de hidrogeno, como oxidante ayuda a la extracción en la lixiviación de oro y plata por cianuración entre un 5% - 15% [9].

El peróxido de hidrogeno, actúa en la superficie del mineral que contiene azufre, oxidando el área donde está en contacto, esto da lugar a una reducción en el consumo de cianuro formando tiocianato (SCN).

El percarbonato de sodio en solución se disocia en carbonato de sodio (Na_2CO_3) y peróxido de hidrogeno, de esta manera se aumenta la concentración de oxígeno para lograr una mejor mayor disolución de los metales de interés.



El carbonato de sodio ayuda a mantener elevado el pH en las soluciones cianuradas y evitar la formación de ácido cianhídrico.

II.6. PERCARBONATO DE SODIO

Nombre químico: Peroxihidrato de carbonato de sodio

Fórmula molecular: $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$

Peso molecular: 314.02

Número de CAS: 15630-89-4

El percarbonato de sodio, también se llama peróxido de hidrógeno sólido. Es un tipo de compuesto de carbonato de sodio y peróxido de hidrógeno, que se descompone al generar oxígeno, agua y carbonato de sodio. Su contenido de oxígeno activo iguala el peróxido de hidrógeno de 27.5%. El percarbonato de sodio, no solo tiene la función del peróxido de hidrógeno líquido, sino también puede descomponerse rápidamente a baja temperatura, al generar oxígeno para lavar, limpiar y blanquear, desinfectar y desodorizar. Además, puede descomponerse a carbonato de sodio, que puede aumentar el valor de pH, reducir la capacidad del ion de calcio y magnesio, además suavizar el agua.

El percarbonato de sodio se utiliza mucho en las industrias y los productos de uso civil. Se utiliza en vez del perborato de sodio en el polvo de lavar, el blanqueador de color, los detergentes de suelo y alfombra y otros productos cosméticos y domésticos. Se utiliza para hacer las bactericidas y el proveedor de oxígeno en el estanque de peces, en el tratamiento de agua de desecho y también en las desinfecciones médicas, etcétera. Además, se utiliza en el blanqueamiento de comida y pasta y en la industria textil.

III. MATERIALES Y METODOLOGÍA

III.1. PREPARACIÓN DEL MINERAL

Para las realizar las pruebas en columna se utilizó como guía el manual de pruebas de lixiviación en columna de Kappes, Cassidy & Associates. [10]

Se utilizaron aproximadamente 700 kgs para realizar las pruebas de lixiviación él cual fue tratado de la siguiente manera:

- El mineral se trituro a un tamaño de 3/8”.
- Todo el mineral se apilo para posteriormente homogenizarlo tres veces.
- Se cuarteo y se tomaron aproximadamente 40 kgs de dos extremos opuestos para el análisis de cabeza. El resto se volvió a homogenizar.
- El material volvió a ser cuarteado y separado en dos mitades.
- Cada mitad volvió a ser cuarteada para poder separar 50 kgs, aproximadamente de cada una. Esta cantidad es la que se utilizó en cada columna.

A cada columna se le agrego 2 g de cal /kg de mineral para mantener el pH elevado.

A una columna se le agrego 5 g de percarbonato de sodio /kg de mineral para poder comparar las extracciones.

Tabla 1.Leyes del mineral.

Prueba	Cabeza (g/T)		
	Au	Ag	Cu
Composito junio 2017	0.48	13.12	41.93
Composito junio 2017 con Percarbonato	0.48	13.18	36.04



Figura 7. Quebradora utilizada para la preparación del mineral.



Figura 8. Ejemplo del cuarteo del mineral.



Figura 9. Pruebas de lixiviación en columnas.

Las pruebas se llevaron a cada en un total de 46 días. Se alimento solución pobre para lixiviar por 33 días. Transcurridos los 33 días, se dejó que la solución en la columna escurriera por 7 días y finalmente se agregó agua por 6 días para eliminar el cianuro y cal en el mineral.

III.2. PREPARACIÓN DEL CIANURO

Para las pruebas de lixiviación que se llevaron a cabo, se utilizó un flujo de entrada de 10 L/hr-m^2 , alimentando 5 litros al día de una solución pobre de 500 mg/L de cianuro de sodio, y adicionando 1000 mg/L de cal para mantener un pH de 11, aproximadamente, para evitar la descomposición del cianuro en ácido cianhídrico.

Se recolectan 30 mL de solución rica cada día, para el cálculo de cianuro y cal libre, medir su pH y análisis en absorción atómica de los metales preciosos.



Figura 10. Bomba utilizada para la dosificación de cianuro.

III.3. ANÁLISIS DE COLAS

Al finalizar la prueba de lixiviación se procede a desmontar la columna y vaciar el mineral lixiviado, para secarlo a una temperatura de 300°F (148.88°C).

Una vez que el mineral se ha secado, se le realiza un análisis granulométrico con las mallas +1/2" (12500 µm), +3/8" (9500 µm), +1/4" (6700 µm), +10 (1700 µm), +50 (850 µm), +100 (150 µm), +140 (75 µm), -140. Estas muestras son enviadas a analizar para conocer los valores de oro, plata y cobre que aun contienen.



Figura 11. Criba Gilson utilizada para análisis granulométricos.

IV. RESULTADOS

Tabla 2. Análisis granulométrico y análisis de cabeza para el mineral del tajo El Crestón utilizado en las pruebas de lixiviación.

Malla	% Peso	% Peso Acumulativo (-)	Au	Ag	Cu
			Ley (g/Ton)	Ley (g/Ton)	Ley (g/Ton)
+1/2	5.11	91.89	0.15	7.87	34.85
+3/8	14.28	80.61	1.35	12.20	29.91
+1/4	22.61	58.01	0.32	45.03	51.03
+10	30.22	27.79	0.23	13.30	70.76
+50	19.16	8.63	0.45	12.81	81.70
+100	5.36	3.27	0.55	17.59	100.70
+140	1.58	1.69	1.09	17.86	107.12
-140	1.69	0.00	0.92	19.91	112.21
TOTAL	100				
CABEZA CALCULADA			0.49	20.36	63.61

En la tabla 2 se muestra el análisis granulométrico de cabeza del mineral utilizado en las pruebas de lixiviación, a distintos tamaños de malla para conocer en qué tamaño de partícula se encuentra la mayor cantidad de valores. Es en la malla 3/8” en donde se obtuvo una mayor ley de oro y plata.

Tabla 3. Análisis granulométrico y análisis de colas del mineral de la prueba de lixiviación sin percarbonato de sodio.

Prueba 1					
Malla	% Peso	% Peso Acumulativo (-)	Au	Ag	Cu
			Ley (g/Ton)	Ley (g/Ton)	Ley (g/Ton)
+1/2	6.27	93.73	0.14	7.43	12.56
+3/8	17.44	76.28	0.26	7.97	24.48
+1/4	24.32	51.96	0.16	12.89	35.98
+10	28.38	23.58	0.14	9.92	18.02
+50	16.08	7.50	0.13	14.00	9.02
+100	4.43	3.08	0.07	7.65	8.26
+140	1.17	1.91	0.06	8.46	2.82
-140	1.91	0.00	0.07	9.60	3.32
TOTAL	100.00				
CABEZA CALCULADA			0.16	10.68	20.84

Tabla 4. Análisis granulométrico y análisis de colas del mineral de la prueba de lixiviación con percarbonato de sodio.

Prueba 2					
Malla	% Peso	% Peso Acumulativo (-)	Au	Ag	Cu
			Ley (g/Ton)	Ley (g/Ton)	Ley (g/Ton)
+1/2	4.65	95.35	0.12	9.23	19.34
+3/8	15.02	80.33	0.11	9.94	34.60
+1/4	22.10	58.23	0.10	10.25	18.76
+10	29.30	28.93	0.16	12.44	7.10
+50	19.80	9.12	0.07	10.03	11.14
+100	6.63	2.49	0.05	5.96	3.08
+140	1.23	1.26	0.07	4.20	4.18
-140	1.26	0.00	0.09	3.34	32.00
TOTAL	100.00				
CABEZA CALCULADA			0.11	10.31	15.19

En la tabla 3 y 4 se muestra el análisis de colas de las pruebas de lixiviación de la prueba 1 y 2 con las respectivas leyes a distintos tamaños de mallas.

Tabla 5. Datos generales de la prueba de lixiviación.

Prueba 1			
Condiciones de prueba		Concentración de CN⁻ (mg/L)	500
Inicio de prueba	01/07/2017	Diámetro columna (cm)	15.24
Cal agregada (kg/ton)	2	Altura Inicial Mineral (cm)	167
% de CaO en cal	78	Altura Final Mineral (cm)	155
Peso de muestra húmeda (kg)	49.960	Densidad del mineral =	1.609
Peso de muestra seca (kg)	49.001	% humedad =	1.92

Tabla 6. Datos generales de la prueba de lixiviación con percarbonato de sodio.

Prueba 2			
Condiciones de prueba		Concentración de CN⁻ (mg/L)	500
Inicio de prueba	01/07/2017	Diámetro columna (cm)	15.24
Cal agregada (kg/ton)	2	Altura Inicial Mineral (cm)	166
% de CaO en cal	78	Altura Final Mineral (cm)	155
Peso de muestra húmeda (kg)	49.945	Densidad del mineral =	1.618
Peso de muestra seca (kg)	48.986	% humedad =	1.92

En las tablas 5 y 6 se presentan las especificaciones de la cantidad de reactivos agregados a las pruebas de lixiviación 1 y 2, la concentración de la solución cianurada que se dosifico a las columnas y datos técnicos de la columna.

En las siguientes gráficas se muestran los resultados obtenidos en la extracción de oro, plata y cobre. Esto ayuda a demostrar como el percarbonato de sodio, utilizado como un aditivo en la lixiviación de sulfuros con contenidos de Au y Ag, ayuda a mejorar la disolución de estos metales.

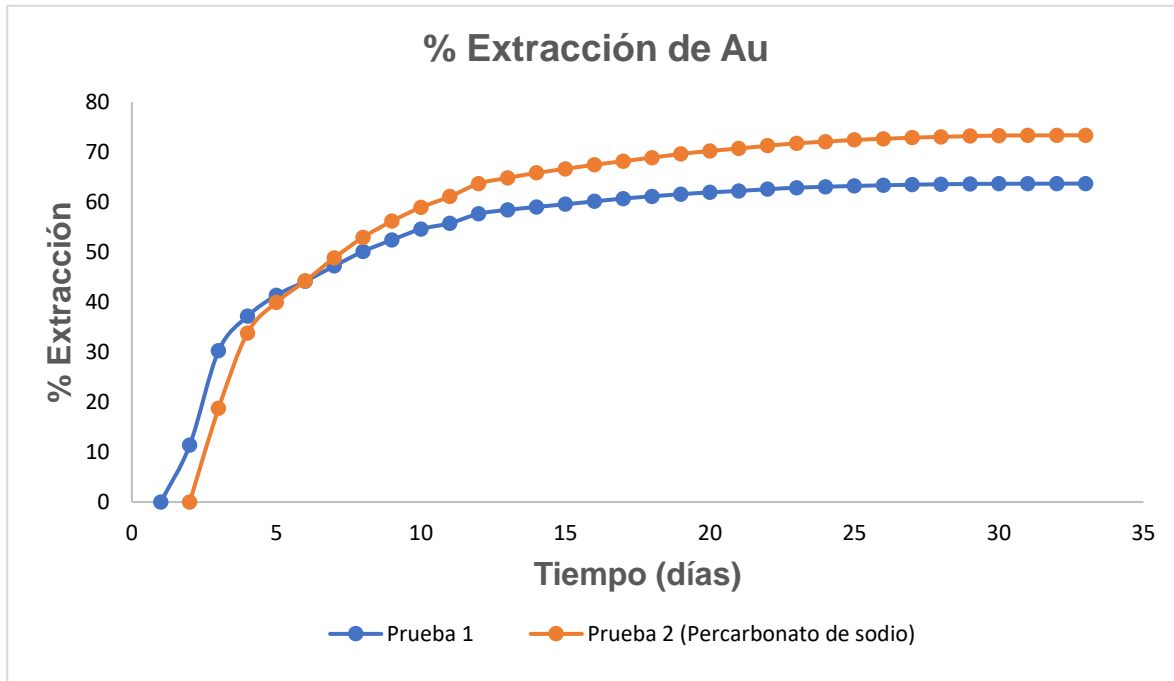


Figura 12. Extracción en % de oro en función del tiempo.

En la figura 11, se puede observar como la extracción de oro aumenta significativamente con el uso del percarbonato de sodio, los resultados de estas pruebas son comparables con los obtenibles en otros estudios en los que se utilizó peróxido de hidrogeno directamente en la solución [9]. Se puede observar que al utilizar el percarbonato de sodio, a los 10 días de lixiviación se obtiene el 60% de extracción, en comparación de los 15 días que le toma a la prueba sin este aditivo.

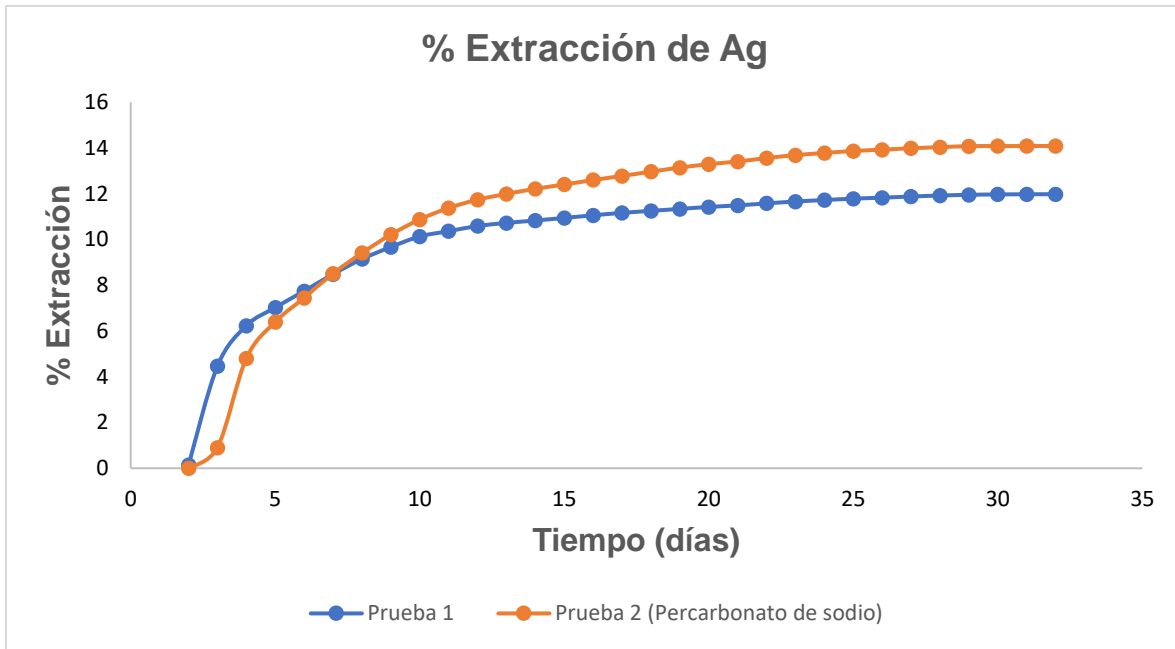


Figura 13. Extracción en % de plata en función del tiempo.

La extracción de la plata también se incrementó considerablemente en comparación con la primera prueba realizada.

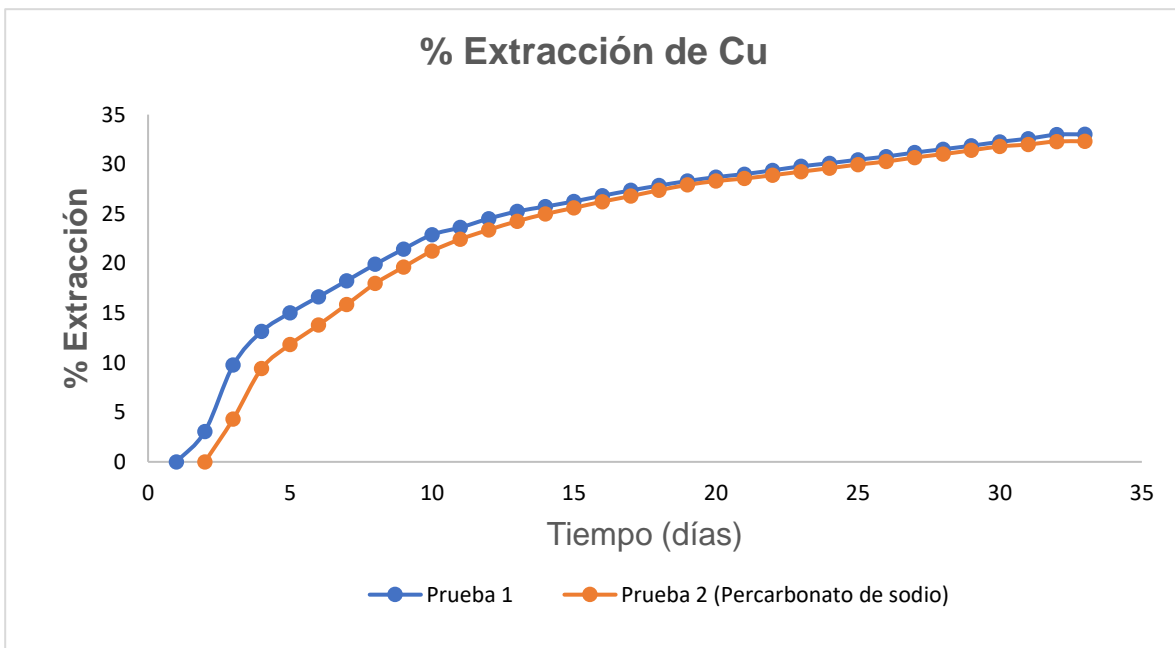


Figura 14. Extracción en % de cobre en función del tiempo.

La extracción de cobre se mantuvo igual en las dos pruebas. Este resultado es favorable debido a que la presencia del cobre en la solución rica provoca altos consumos de cianuro en la etapa de adsorción en carbón (ADR).

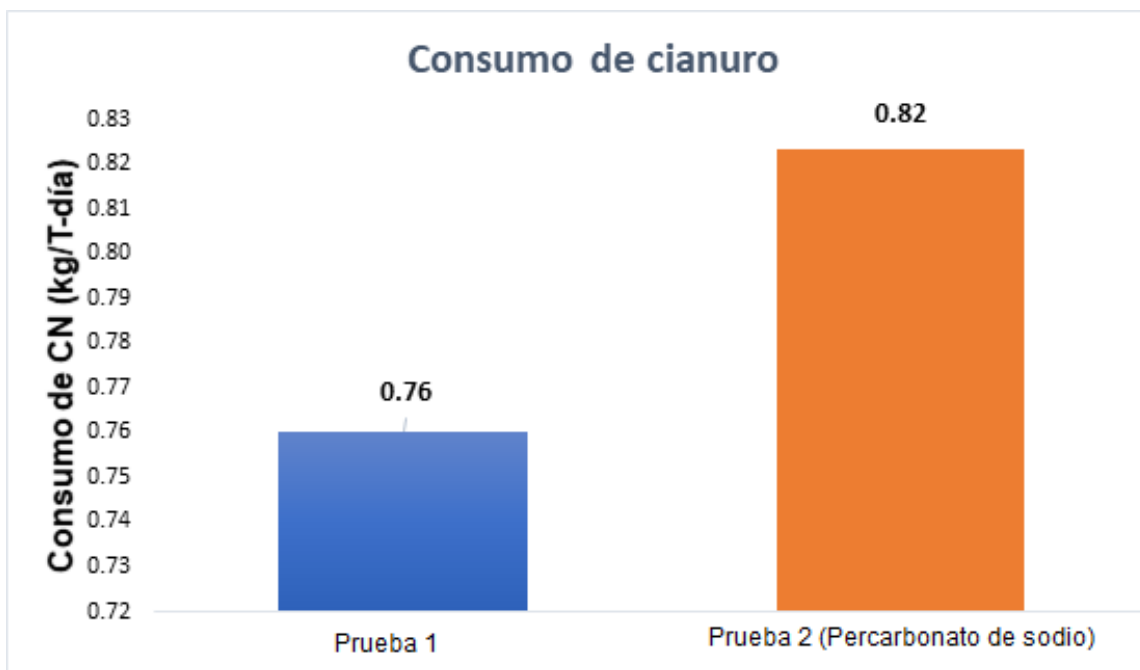


Figura 15. Consumo de cianuro en las pruebas de lixiviación.

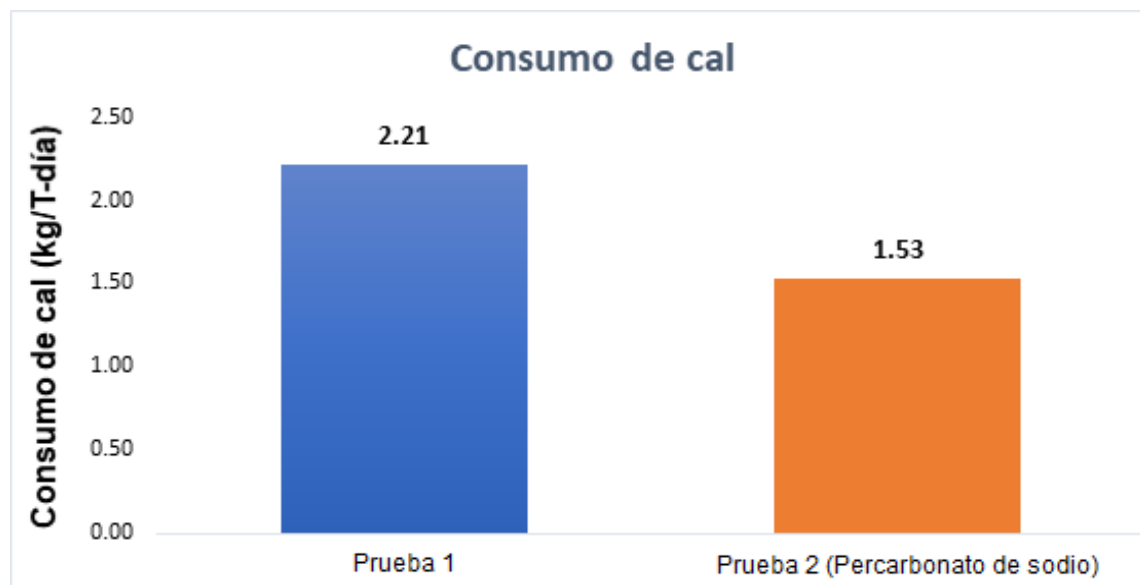


Figura 16. Consumo de cal en las pruebas de lixiviación.

En general el consumo de reactivos no se ve muy afectado con el uso de percarbonato de sodio. El cianuro no se ve afectado por la oxidación del cianuro a cianatos en presencia de peróxido de hidrogeno [9,11]. La cal presenta notoriamente un ahorro en su consumo durante los primeros días de las pruebas, esto se debe a que el carbonato de sodio aumenta aún más el pH y hace necesaria una menor cantidad de cal para controlar este parámetro.

V. CONCLUSIONES

Se muestra un ahorro en el consumo de cal y una disminución de cianuro libre en la solución, esto es señal del incremento en la recuperación de los metales de interés. Se notaron mejoras muy significativas en la extracción del oro y plata, hasta de un 10% en el caso del oro y un 3% con la plata; no alterando significativamente la extracción en el cobre.

Los resultados obtenidos nos muestran una disminución en el tiempo de lixiviación. Es importante señalar que, pese a la mejora en el consumo de la cal, el percarbonato de sodio no puede sustituir a este reactivo y su dosificación no puede disminuir considerablemente debido a los altos riesgos que este puede implicar para la seguridad humana, para trabajar en los valores de pH a los cuales el manejo de la solución es seguro.

Se logro el propósito del proyecto, logrando aumentar la extracción de oro y plata durante la lixiviación para el mineral en cuestión, también se demostró que con el uso del percarbonato, se tiene una mejor eficiencia del cianuro debido al oxígeno disuelto que aporta este reactivo.

Considero de gran ayuda en mi formación profesional el haber participado en este proyecto, dándome la oportunidad de formar parte de un equipo de trabajo para desarrollar este proyecto y darme más confianza al momento de desarrollarme en el campo laboral. El poder participar en este proyecto me ha ayudado mucho en aspectos técnicos para llevar a cabo las pruebas y seguir los estándares de control de calidad de un laboratorio metalúrgico.

VI. RECOMENDACIONES

Para la continuidad del proyecto y poder conocer la viabilidad de éste, se recomendó continuar las pruebas utilizando el composito normal de los meses siguientes y realizar las mismas pruebas con el mineral del tajo La Gran Central para así poder tener una mayor seguridad en la factibilidad de la implementación del percarbonato de sodio en su etapa de lixiviación.

En la etapa de trituración de la mina La Colorada se mezclan minerales oxidados y sulfuros y ya que el percarbonato de sodio dio buenos resultados al agregarse a la lixiviación con cianuro de minerales sulfurosos, se recomienda su implementación cuando se tengan grandes cantidades de sulfuros.

Debido a que el percarbonato de sodio también aporta carbonato de sodio, se sugirió hacer pruebas de adsorción en carbón activado con la solución rica para conocer si la cal y el carbonato de sodio inhiben aún más la adsorción del oro.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Limpo, J. L. (1996). *Lixiviación oxidante de sulfuros complejos en soluciones de cloruro amónico: cinética de la lixiviación de la esfalerita*. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Madrid, España.
- [2]. Habashi, F. (1999). *Textbook of Hydrometallurgy, Metals*. Laval University, Quebec City, Canada. P. 207-209; 290
- [3]. Jara, J. O. & Bustos, A. A. (1993). *Effect of oxygen on gold cyanidation: laboratory results*. Department of research and technology, Canadian Liquid Air. Quebec, Canadá.
- [4]. Sohn, H. Y., Wadsworth M. E. (1986). *Rate processes of extractive metallurgy* P. 211. Plenum Press, New York.
- [5]. Habashi, F. (2005). *A short history of hydrometallurgy*. Department of Mining, Metallurgical, and Materials Engineering, Laval University, Quebec City.
- [6]. Marsden, O. J. & House, C.I. (2006). *The Chemistry of Gold Extraction, 2nd ed.* Colorado, USA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- [7]. Félix B., E. (1990). *Lixiviación de minerales complejos de oro y plata, oxidados y sulfurosos, con soluciones de cianuro de sodio y Bio-Leachent*. Sonora, México: Universidad de Sonora.
- [8]. Loroesch, J., H. Knorre & A. Griffiths. (1988). *Developments in gold leaching using hydrogen peroxide*. Arizona, USA: SME-AIME.
- [9]. Troya, M. (1993). *Procesos alternativos de cianuración*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- [10]. Kappes, Cassiday and Associates. (2011). *Report for metallurgical test work*. Reno, Canadá.
- [11]. Griffiths, A., H. Knorre, S. Gos, R. Higgins. (1987). *The detoxification of gold mill tailings with hydrogen peroxide*. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy.