



Pruebas de cianuración de oro de colas relaves procedentes de cooperativas mineras del norte/noreste de La Paz, sector Illimani

Bonifacio Alejo Ticona*, Edson Mamani Alvarado

Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales, Universidad Mayor de San Andrés,
Av. Las Américas No. 100, Villa Fátima, La Paz, Bolivia

Keys: Gold, Cyanidation, Extraction, Tailings, Mining, Illimani; **Claves:** Oro, Cianuración, Extracción, Colas Relaves, Minería, Illimani.

ABSTRACT

Gold cyanidation tests of tailings from cooperatives In this study, cyanidation tests of gold in alkaline medium were carried out using tailings from three mining cooperatives. The Aucapata sample showed a high head grade (12.49 g/t), with free particles ranging from 5–50 μm and occasionally up to 100 μm . However, cyanide-consuming minerals were present: pyrite (5%), chalcopirite (1%), magnetite (3%), and iron hydroxide (4%). Under 24 h leaching and P80 of 241.16 μm , recovery reached 70.08%, increasing to over 94% after regrinding to P80 of 74 μm . In San Pablo, coarse tailings (P80 = 478.83 μm) yielded 76.82% recovery in 24 h. In contrast, San Bartolomé, with finer particles (P80 = 158.57 μm), achieved 80.38% in the same period. These findings highlight that, given the predominance of fine gold particles, cyanide leaching is the most suitable method for materials with such characteristics.

RESUMEN

En este estudio se evaluó la cianuración de oro en medio alcalino utilizando colas de relaves de tres cooperativas mineras. La muestra de Aucapata presentó una ley de cabeza elevada (12.49 g/t), con partículas libres de 5–50 μm y algunas de hasta 100 μm . Sin embargo, coexistieron minerales cianicidas: pirita (5%), calcopirita (1%), magnetita (3%) e hidróxido de hierro (4%). Bajo condiciones de 24 h y P80 de 241.16 μm , la extracción alcanzó 70.08%, aumentando a más del 94% tras remolienda a P80 de 74 μm . En San Pablo, con colas “gruesas” de P80 = 478.83 μm , se logró 76.82% de recuperación en 24 h. En contraste, San Bartolomé, con granulometría “fina” (P80 = 158.57 μm), alcanzó 80.38% en el mismo tiempo. Estos resultados evidencian que, dado el predominio de partículas finas, la lixiviación con cianuro constituye el método más adecuado para este tipo de materiales.

Revista Boliviana de Química, 2026, 43, 103-114
ISSN 0250-5460, Rev. Bol. Quim. Paper edition
ISSN 2078-3949, Rev. boliv. quim. e-edition, Jan-Jun
30 junio 2026, <https://doi.org/10.53287/pyii9560fa26j>
© 2026 Universidad Mayor de San Andrés,
Facultad de Ciencias Puras y Naturales,
Carrera Ciencias Químicas, Instituto de Investigaciones Químicas
<https://bolivianchemistryjournaliiq.umsa.bo>

¹Received April 28, 2026, accepted June 7, 2026, published June 30, 2026. *Mail to: atb.92@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La cianuración del oro es un proceso ampliamente conocido desde la antigüedad en Sudáfrica, con la aplicación industrial del proceso desde el año 1887 por John Stewart McArthur^{1 2}.

Existen muchos estudios referentes a las variables operacionales; entre los más importantes: pH, concentración de oxígeno, porcentaje de sólidos, la granulometría, la velocidad de agitación y la concentración de cianuro libre^{2 3}.

Con la perspectiva de cuantificar las pérdidas de oro en las plantas de tratamiento; se ha programado hacer visitas al sector de las cooperativas mineras auríferas del norte de departamento de La Paz, más precisamente, las cooperativas del sector de Yani.

El proceso de recuperación del metal precioso en la mayoría de las cooperativas del sector se realiza hasta la actualidad mediante circuitos de tratamiento gravimétrico muy semejantes, compuesto por la trituración, seguida de molienda-amalgamación, y la recuperación de la amalgama de oro se efectúa en pequeñas canaletas con planchas de cobre..

La separación de oro del mercurio es realizada normalmente en dos etapas: la primera, por exprimido manual del mercurio mediante un material apropiado para el caso, y en la segunda parte, el mercurio remanente que queda con metal precioso es separado en retortas o simplemente es eliminado por volatilización al medio ambiente.

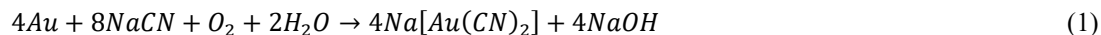
Durante la visita se hace el recojo de muestras de colas relaves de las plantas de tratamiento, más precisamente de las Cooperativas Mineras Auríferas como San Pablo S.R., Entre Ríos S.R. y San Vicente S.R.

El análisis químico por contenido de oro de cada una de las muestras de colas relaves arroja leyes bastante interesantes de 22.14 g/t de la Cooperativa San Vicente y 10.77 g/t de la cooperativa San Pablo⁴. Esta información confirma la precariedad de las plantas de procesamiento gravimétrico con pérdidas muy significativas del metal precioso. Los métodos molienda-amalgamación y la recuperación en canaletas de planchas de cobre utilizados no son atractivos para el tratamiento de materiales con contenido de oro; una de las alternativas para la recuperación de partículas finas de oro es la cianuración⁵.

El presente estudio busca establecer el tratamiento a nivel de laboratorio mediante la lixiviación con cianuro, empleando tres muestras de granulometría original de colas de relaves provenientes de dos sectores de cooperativas ubicadas al norte y noreste de La Paz, específicamente en el sector Illimani..

Fundamento teórico

La cianuración es un proceso basado en la utilización de soluciones diluidas de cianuro de sodio como medio lixivante de oro en minerales con contenido de metal precioso. La disolución del oro mediante el cianuro libre en medio alcalino en presencia del oxígeno ocurre a través de la ecuación de ELSNER⁶, dada por la reacción (1).



Las especies presentes en el proceso de cianuración de oro, están mostradas en el diagrama de estabilidad Eh-pH (ver Figura 1). Donde, el principal complejo iónico de interés es $Au(CN)_2^-$ con un amplio campo de estabilidad a pH por encima de 10, con el fin de evitar la pérdida de cianuro por hidrólisis^{7 8}.

La cinética de cianuración de oro es un aspecto muy importante a tomar en cuenta para maximizar la eficiencia del proceso. Es importante identificar la etapa controlante del proceso de difusión o reacción química. Como se sabe, la reacción de menor velocidad es la etapa controlante, donde se lleva a cabo la reacción en gran parte.

En una reacción heterogénea donde se hallan involucradas una fase sólida y la otra líquida, ocurren cinco pasos consecutivos según Yannopoulos⁹:

- 1) Transporte de reactivos a la superficie,
- 2) Adsorción de reactivos (CN^- y O_2),
- 3) Reacción en superficie,
- 4) Desorción de los complejos solubles de oro-cianuro ($Au(CN)_2^-$),
- 5) Transporte de los productos hacia seno de la solución.

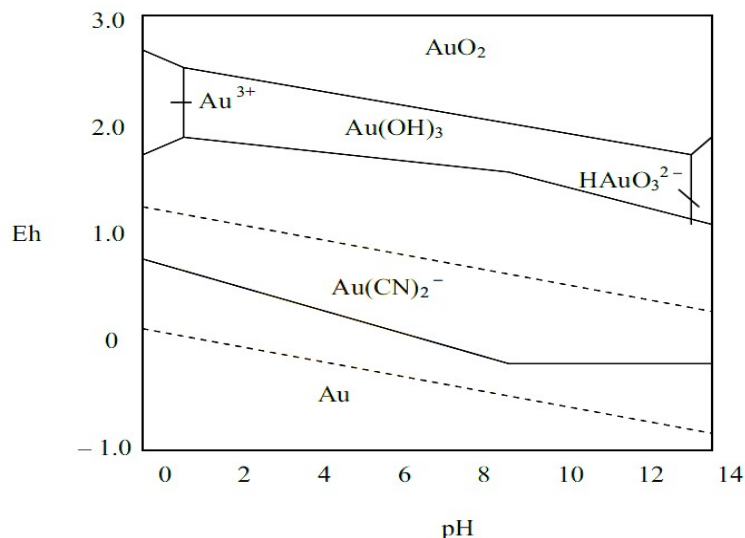


Figura 1. Diagrama de estabilidad de oro, potencial - pH para el sistema de Au-H₂O-CN⁻ a 25° C. Las concentraciones de todas las especies solubles de oro = 10⁻⁴ M⁸.

Cuando la difusión es lenta, es necesaria una mayor agitación para acelerar el transporte por difusión y si la reacción química es lenta, es necesario elevar la temperatura para aumentar la colisión de las moléculas según la relación de Arrhenius^{10 11}.

EXPERIMENTAL

Materiales y métodos

La cianuración del oro en medio alcalino se realizó empleando la granulometría suministrada por las cooperativas, mientras que una cuarta parte del ensayo se efectuó con material previamente remolido.

Las determinaciones de análisis químico, pesos específicos (P.e.), análisis granulométrico, pruebas experimentales con muestras fueron realizadas en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y Materiales (IIMETMAT). Los análisis mineralógicos fueron realizados en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Geológicas y Medio Ambiente (IIGEMA) de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA).

La primera muestra, de aproximadamente 4 m³, fue proporcionada por la cooperativa minera San Pablo S.R.L. y correspondió a colas de mesa de concentración, con un tamaño de partícula inferior a 10 mallas Tyler (2000 µm). La segunda muestra, de alrededor de 30 kg, procedía de colas de canaleta de la cooperativa minera Aucapata, con partículas menores a 20 mallas Tyler (850 µm). Ambas muestras fueron recolectadas en el norte de La Paz. Finalmente, la tercera muestra, de unos 28 kg, fue entregada por la cooperativa San Bartolomé y consistió en colas de relaves del proceso gravimétrico en canaleta, con un tamaño máximo de 20 mallas Tyler, provenientes del sector nor-este de La Paz.

El esquema para caracterización de las muestras procedentes de las cooperativas se aprecia en la Figura 2.

Los equipos utilizados para las pruebas cianuración de oro fueron, un molino de bolas de laboratorio de 12x12 pulgadas, una celda agitación de una capacidad de 18 litros con motor de agitación de 2HP y una compresora de aire. Un RO-TAP DECO F856B para tamización, un pHmetro marca Hanna Instrument, una balanza de precisión de 2000g, un filtro a presión de tamaño de 10x12 pulgadas y un termómetro. En la Figura 3 se aprecia el equipo de cianuración del presente trabajo¹².

Los reactivos utilizados fueron cal de una pureza de 82.97 % de CaO y cianuro de sodio de grado industrial. Nitrato de plata y yoduro de potasio fueron de grado de pureza Q.P.

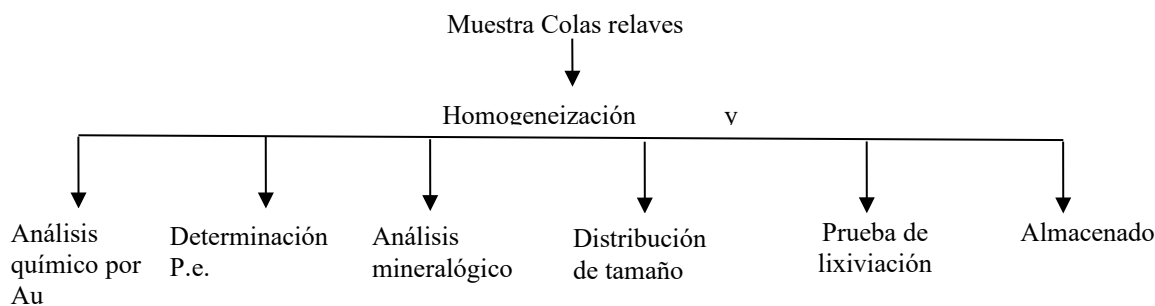


Figura 2. Esquema de caracterización de las muestras



Figura 3. Equipo de cianuración por agitación de una capacidad de 18 litros¹³

Los reactivos utilizados fueron cal de una pureza de 82.97 % de CaO y cianuro de sodio de grado industrial. Nitrato de plata y yoduro de potasio fueron de grado de pureza Q.P.

La determinación de los parámetros involucrados en el modelo seleccionado para la distribución granulométrica en función del tamaño de la partícula a partir de los datos experimentales, fue en base al algoritmo de búsqueda de gradientes conjugados de Fletcher y Powell modificado^{14 15}. El algoritmo de regresión minimiza una función objetivo, FO , de mínimos cuadrados ponderados, esto es:

$$\min FO = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^0 \text{ calc} - f_i^0 \text{ exp})^2 \quad (2)$$

Donde W_i , es el i ésimo factor de ponderación, cuyo valor depende de la estructura de errores de los datos, $f_i^0 \text{ exp}$ y $f_i^0 \text{ calc}$ son los valores experimentales y calculados de la variable dependiente (Distribución de tamaño), $F(x_i)$ y siendo la variable independiente el tamaño de la partícula, x_i .

El modelo utilizado para el ajuste de datos experimentales fue la distribución de tamaños de Rosin Rammler de dos parámetros.

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left[\frac{x}{k}\right]^m\right) \quad (3)$$

Donde, k es módulo de tamaño y m es la distribución de tamaños, estos parámetros son obtenidos por ajuste no lineal a partir de datos experimentales $\{x_i, F_3(x_i)\}_i^n$, siendo n el número de datos.

El medio líquido de un volumen 12.06 litros fue ajustado el pH con lechada de cal a 10.5; seguidamente, es ajustada la concentración de cianuro libre de 300ppm (0.03%). Luego se procede a la lixiviación a una concentración de sólidos de 40% (un peso de 8.04 kilos) a una velocidad de agitación de 700 rpm. El control de consumo de cianuro

libre fue cada 6 horas hasta llegar a 24 horas mediante la titulación con nitrato de plata en presencia del indicador de yoduro de potasio.

Finalizado el proceso, se procedió a la separación sólido/líquido mediante la operación de filtrado en un filtro prensa. Las muestras de PLS (Pregnant Leaching Solution) de líquidos y de sólidos fueron enviadas al Laboratorio Químico para el análisis químico por oro.

El esquema de tratamiento de las pruebas de cianuración de colas relaves con contenido de oro esta mostrada en la Figura 4.

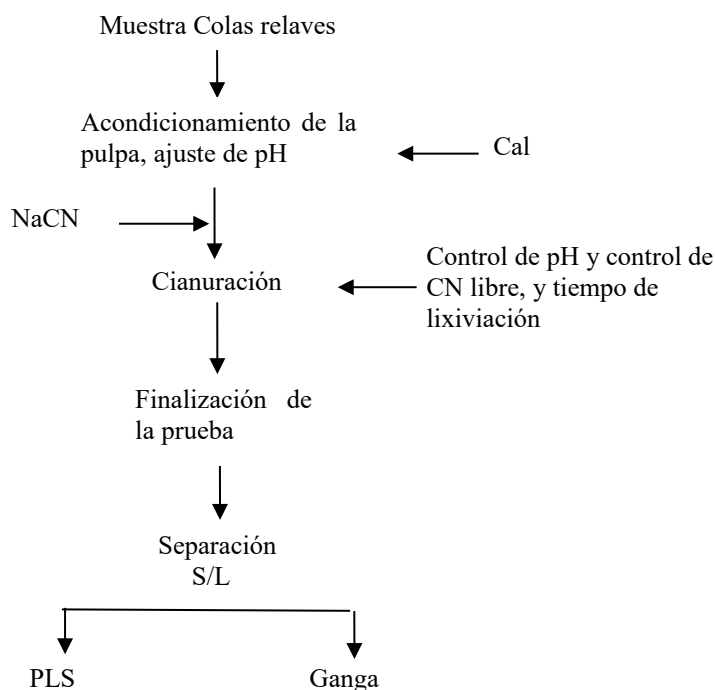


Figura 4. Esquema de la prueba experimental de cianuración.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los contenidos importantes de oro de la ley de cabeza de las muestras de colas relaves de mayor ley fueron de la cooperativa Aucapata con 12.27 g/t; seguidos de menor ley, fueron de San Pablo y San Bartolomé con 3.42 y de 2.89 g/t.

Análisis mineralógico de colas relaves

La composición mineralógica de las colas relaves está constituida mayoritariamente por cuarzo, roca y la presencia importante de especies cianicidas que acompañan a cada una de las muestras con contenido del metal precioso, que influyen en el consumo de cianuro libre y la cal como regulador de pH de un ambiente alcalino.

Muestra cooperativa San Pablo¹⁵

La mineralización de esta muestra de colas relaves se encuentra en la siguiente proporción:

Oro	<1%
Cuarzo	20%
Hidróxido de hierro	7%
Circon	<1%
Roca	73%
Total	100%

En la muestra se identificaron 7 trazas de oro de formas subredondeadas y angulosas; todas se encuentran como partículas libres. Miden entre 10 y 50 μm .

El cuarzo presenta formas subredondeadas y subangulosas. Miden entre 50 y 500 μm . Los hidróxidos de hierro de origen secundario, se encuentran como partículas libres, asociadas al cuarzo y a la roca. Miden entre 30 y 250 μm . Los fragmentos de roca son subangulosos, compuestos por rocas sedimentarias y miden entre 50 μm y 1.2 mm. Es importante señalar que la granulometría de esta muestra se encuentra en rangos gruesos y el metal precioso se encuentra liberado y en tamaños finos.

Muestra cooperativa Aucapata¹⁵

Las proporciones de la mineralización de la muestra están dadas por:

Oro	<1%
Pirita	5%
Calcopirita	1%
Magnetita	3%
Hidróxido de hierro	4%
Circón	1%
Cuarzo	20%
Roca	66%
Total	100%

El informe mineralógico de esta muestra de oro presenta formas subredondeadas y subangulosas, encontrándose como partículas libres. Generalmente miden entre 10 y 20 μm , de manera excepcional se observó una partícula de 100 μm .

La pirita presenta formas angulosas, se encuentra libre y asociada al cuarzo; la magnetita mide entre 20 y 600 μm . La calcopirita presenta formas subangulosas e irregulares, ocasionalmente se hallan ligeramente reemplazadas por covelina y asociadas al cuarzo, con tamaños entre 10 y 150 μm . La magnetita presenta formas redondeadas, subangulosas y angulosas, con dimensiones comprendidas entre 30 y 400 μm .

Los hidróxidos de hierro tienen formas subangulosas e irregulares, son de origen secundario, se encuentran como partículas libres y reemplazando a la magnetita, miden entre 40 y 500 μm . Los microcristales de circón tienen formas angulosas en promedio miden 200 μm . El cuarzo presenta formas angulosas y subangulosas, se encuentra como partículas libres y asociadas a la magnetita, hidróxidos de hierro y calcopirita, miden en promedio 300 μm . Los fragmentos de roca son subangulosas, están compuestas por roca sedimentaria y miden entre 40 μm y 1.7 mm.

El análisis mineralógico de esta muestra es muy similar tanto en tamaño de las partículas como en contenido del metal precioso.

Muestra cooperativa San Bartolomé¹⁵

Las respectivas proporciones mineralógicas de la muestra están dadas por:

Oro	<1%
Pirita	4%
Calcopirita	1%
Magnetita	<1%
Hidróxido de hierro	1%
Circón	1%
Cuarzo	93%
Total	100%

Las partículas de oro se encuentran como partículas libres y en menor proporción asociadas al cuarzo, su presencia es muy escasa. Miden entre 5 y 20 μm .

La pirita presenta formas subredondeadas, subangulosas y angulosas, ocasionalmente se encuentran asociadas al cuarzo, miden entre 20 y 200 μm . La calcopirita tiene formas subangulosas, se encuentran siempre como partículas libres. Miden entre 20 y 130 μm .

La magnetita se encuentra como partículas libres con formas redondeadas y en menor proporción asociadas al cuarzo, miden hasta 280 μm . Los hidróxidos de hierro tienen formas subangulosas, subredondeadas e irregulares, provienen del reemplazo de la pirita, en promedio miden 150 μm . Los cristales de circón tienen formas subangulosas y miden en promedio 200 μm . Los fragmentos de cuarzo tienen formas subangulosas y angulosas, miden entre 10 y 700 μm .

La información mineralógica de las tres muestras de los sectores mencionados permite esperar una respuesta adecuada al proceso de cianuración, principalmente en el consumo de cianuro de sodio con mineralogía con especies afines al cianuro.

Análisis granulométrico

En la Tabla 1 está reportada la distribución granulométrica de la muestra de la cooperativa San Pablo. Las partículas se encuentran por debajo de la malla 10 con un acumulativo pasante de 99.43%, siendo el P80 que se encuentra en la región de gruesos de 478.83 micrones (encima de la malla 35 de la serie Tyler).

Tabla 1. Distribución granulométrica, cooperativa San Pablo

No.	Tamaño Malla	Tamaño Mic.	Peso %	Acum. pasante %
1	4	4750	-	100.00
2	10	2000	0.57	99.43
3	20	810	5.12	94.31
4	35	500	12.03	82.28
5	60	250	29.78	52.49
6	100	150	21.52	30.97
7	200	75	18.83	12.14
8	270	53	6.89	5.25
9	325	45	1.83	3.42
10	-325	-45	3.42	
			100.00	

En cambio, la granulometría de la muestra de la cooperativa Aucapata se encuentra mayoritariamente a alrededor de las mallas 60 y 200 en 79.85% en peso, con P80 de 241.16 micrones, o cercana a la malla 60 (ver Tabla 2), es decir, las partículas se encuentran en la región de finos; en cambio, con la remolienda se obtiene un P80 de 74.48 micrones (malla 200 de la serie Tyler).



Tabla 2 Distribución granulométrica, cooperativa Aucapata

No.	Tamaño Malla	Tamaño Mic.	Peso %	Acum. pasante %
1	10	2000	0.00	100.00
2	20	810	2.66	97.34
3	35	500	2.87	94.47
4	60	250	12.38	82.08
5	100	150	25.12	56.97
6	200	75	42.39	14.58
7	270	53	8.49	6.10
8	325	45	1.54	4.56
9	-325	-45	4.56	
			100.00	

La distribución granulométrica de la muestra de la cooperativa San Bartolomé posee un P80 de 158.57 micrones, o cercana a la malla 100 en una proporción de 68.72% en peso entre las mallas 100 y 270, (ver Tabla 3).

Tabla 3 Distribución granulométrica, cooperativa San Bartolomé

No.	Tamaño Malla	Tamaño Mic.	Peso %	Acum. pasante %
1	10	2000	0.00	100.00
2	20	810	0.10	99.90
3	35	500	0.28	99.62
4	60	250	4.34	95.28
5	100	150	16.97	78.31
6	200	75	36.49	41.82
7	270	53	15.26	26.56
8	325	45	6.48	20.07
9	-325	-45	20.07	
			100.00	

La distribución granulométrica de las tres muestras se aprecia en la Figura 5.

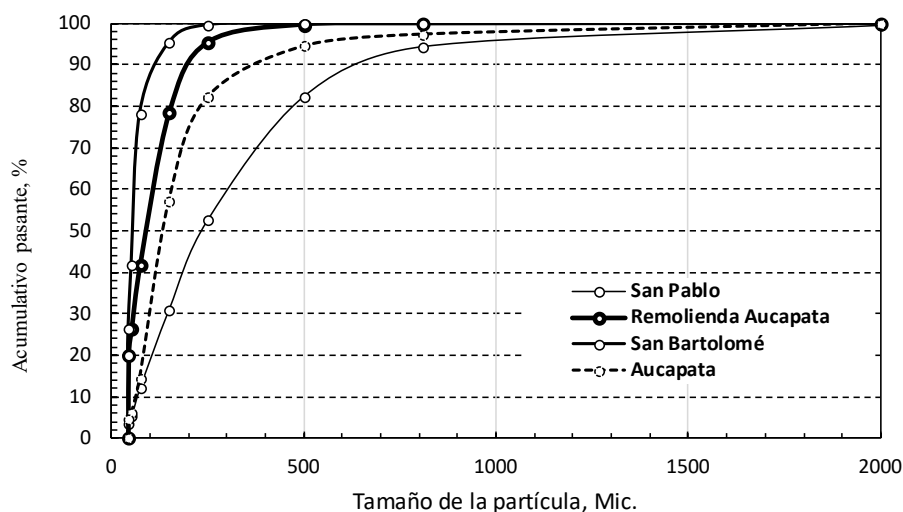


Figura 5. Distribución granulométrica de las tres muestras de las cooperativas San Pablo, Aucapata, San Bartolomé y Remolienda de Aucapata.

Pruebas de cianuración

La cianuración de oro de las tres muestras de minerales colas relaves es llevado a cabo según el esquema de la Figura 4 bajo los parámetros señalados.

Cianuración mineral: colas relaves de la cooperativa San Pablo

Los resultados del proceso están reportados los índices metalúrgicos en el Balance Metalúrgico de la Tabla 4. La extracción es muy interesante, aun con material de una granulometría bastante gruesa, los porcentajes de extracción alcanzados al cabo de 12 y 24 horas del proceso fueron de 33.22% y 43.60%. Siendo el total alcanzado del 76.82% (33.22+43.60), valor que puede ser considerado como bastante aceptable. Este resultado confirma el proceso aplicado en la extracción de partículas finas de oro. Sin embargo, en el relave final se mantiene un buen contenido del metal precioso de 0.67 g/t.

Tabla 4. Balance Metalúrgico de la muestra de cooperativa San Pablo.

Producto	Peso Kg	Vol. sol l	Ley Au g/t	Ley Au mg/l	Finos Au	Extracción %
PLS-2 (24h)		12.06	-	0.84	0.01013	43.60
PLS-1 (12h)	-	12.06	-	0.64	0.00772	33.22
Relave final	8.04	.-	0.67		0.00539	23.18
Cab. Calc.			2.89		0.02324	100.00
Cab. Ens.			1.00			

Los consumos de cal y NaCN fueron de 3.5 kg/t y de 6.80 Kg/t, respectivamente.

Cianuración de la muestra de la cooperativa Aucapata

Al cabo de 12 horas del proceso de cianuración, se consigue extraer un PLS de 1.48 mg/l de oro con un porcentaje de extracción de 18.10% y al completar las 24 horas se logra un 4.25 mg/l con una extracción del 51.98% (ver Tabla 5), haciendo un total de 70.08% de extracción, índice que puede ser considerado como bastante interesante en vista

de la presencia de compuestos afines con cianuro en proporciones considerables como pirita (5%), hidróxido de hierro (4%), magnetita (3%) y calcopirita (1%).

Tabla 5. Balance Metalúrgico, muestra de la cooperativa Aucapata.

Producto	Peso Kg	Vol. sol l	Ley Au g/t	Ley Au mg/l	Finos Au, g	Extracción %
PLS-2	-	12.06	-	4.25	0.0513	51.98
PLS-1	-	12.06	-	1.48	0.0178	18.10
Relave final	8.04	.-	3.67	-	0.0295	29.92
Cab. Calc.			12.27		0.0986	100.00
Cab. Ens.			8.33			

Sin embargo, el relave final aún contiene un contenido importante de oro de 3.67 g/t. Este caso conduce a realizar una remolienda para lograr un mayor grado de liberación del metal precioso, más precisamente hasta un P80 de 74 micrones (200 mallas Tyler). El resultado después de 72 horas de proceso se obtiene una extracción del 94.23% (ver Tabla 6). Como se puede observar, la remolienda favorece notablemente el grado de liberación de oro, el PLS final alcanzado es de 7.29 mg/l, haciendo una cantidad de importante en miligramos de finos de oro de 87.92. Este valor es superior en 5.37 miligramos por encima de 24 horas del proceso con la granulometría original de P80 de 241.16 micrones.

Tabla 6. Balance Metalúrgico con muestra remolida, cooperativa Aucapata

Producto	Peso Kg	Vol. Sol l	Ley Au g/t	Ley Au mg/l	Finos Au, g	Extracción %	Ex. Ac. %
PLS-6 (72h)	-	12.06	-	0.34	0.00410	4.39	94.23
PLS-5 (60h)	-	12.06	-	0.20	0.00241	2.59	89.83
PLS-4 (48h)	-	12.06	-	0.29	0.00350	3.75	87.25
PLS-3 (36h)	-	12.06	-	4.54	0.05475	58.68	83.50
PLS-2 (24h)	-	12.06	-	1.82	0.02195	23.52	24.82
PLS-1 (12h)	-	12.06	-	0.10	0.00121	1.29	1.29
Relave final	8.04	.-	0.67	-	0.00539	5.77	
Cab. Calc.			11.61		0.09330	100.00	
Cab. Ens.			8.33				

El consumo de cianuro libre se puede considerar como bastante considerable, este caso se puede atribuir a la presencia de partículas finas de mayor superficie específica y a especies cianicidas. Los consumos reportados de cal y cianuro de sodio en 24 y 72 horas están mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Consumo de reactivos en la cianuración de la muestra de Aucapata

Etapa		Kg/t
1	Cal	42.41
2	NaCN	4.40
Con remolienda:		
1	Cal	45.90
2	NaCN	9.34

Cianuración de muestra de la cooperativa San Bartolomé

Según el Balance Metalúrgico de la Tabla 8, el material lixiviado con la granulometría original muestra índices metalúrgicos bastante interesantes al igual que con las dos muestras anteriores. Como se podrá apreciar, al cabo de 12 horas de proceso, la extracción supera los 75.75% del metal amarillo y en 24 horas supera los 80%, esto se puede atribuir a la presencia minoritaria de especies cianicidas y al tamaño de la granulometría de P80 de 158.57 micrones. A pesar de la presencia de pirita (4%) y otras especies en menor proporción como son calcopirita (1%), magnetita (<1%) e hidróxido de hierro (1%), la extracción se puede considerar como bastante satisfactoria.

Tabla 8. Balance Metalúrgico, muestra de la cooperativa San Bartolomé.

Producto	Peso Kg	Vol. sol l	Ley Au g/t	Ley Au mg/l	Finos Au, g	Extracción %
PLS-2	-	12.06	-	0.11	0.0013	4.83
PLS-1	-	12.06	-	1.72	0.0207	75.55
Relave final	8.04	.-	0.67	-	0.0054	19.62
Cab. Calc.			3.42		0.0275	100.00
Cab. Ens.			5.00			

El consumo de reactivos, la cal y el cianuro de sodio para la prueba de cianuración fue de 3.73 Kg/t y de 3 Kg/t.

CONCLUSIONES

La muestra de colas relaves con mejor ley de cabeza de oro es de la cooperativa Aucapata con un contenido de 12.49 g/t. La extracción lograda con la granulometría de P80 de 241.16 micrones en un tiempo de 24 horas de proceso es del 70.08%. En cambio, la extracción de oro del material remolido está por encima del 94% con una granulometría de P80 de 74 micrones, el proceso favorece notoriamente para este tamaño de partículas.

La extracción del metal precioso de la muestra de la cooperativa San Pablo es de 76.82% con una granulometría gruesa de P80 de 478.83 micrones en un tiempo de contacto de 24 horas. Es también de resaltar, la extracción de oro de la muestra de la cooperativa San Bartolomé al mismo tiempo de contacto de las anteriores es del 80.38% con una granulometría de P80 de 58.57 micrones.



Las pruebas experimentales de cianuración de las muestras colas relaves con granulometría original es posible alcanzar buenos resultados de extracción del oro por encima del 70%.

Cooperativa	Ley de cabeza (g/t)	Granulometría P80 (μm)	Extracción en 24 h (%)	Observaciones
Aucapata	12.27	241.16 (remolienda a 74 μm)	70.08 $\rightarrow$ >94%	Oro libre en partículas finas; presencia de minerales cianicidas (pirita, calcopirita, magnetita, $\text{Fe}(\text{OH})_3$).
San Pablo	3.42	478.83 (gruesa)	76.82	Colas con granulometría gruesa; recuperación moderada en 24 h.
San Bartolomé	2.89	158.57 (fina)	80.38	Granulometría fina favorece mayor extracción en el mismo tiempo de contacto.

RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a la Dirección del IIMETMAT, al Lic. Oscar Calle, Jefe de Laboratorio de Análisis Químico y al Ayudante del Laboratorio de Procesamiento de Minerales, Sr. Wilfredo Valencia, por haber hecho posible la conclusión del presente trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- ¹ D. Harvie, John Stewart MacArthur: pioneer gold and radium refiner, *Endeavour*, 1989, **13**, 179.
- ² E. Garcia-Rosales, J. Camporredondo-Saucedo, L. Castruita-Avila y F. Equihua-Guillen, Principios termodinámicos y cinéticos de la cianuración de oro y sus efectos en el proceso. Una revisión, 2021
- ³ A. Romero y S. Flores. La influencia de la velocidad de agitación en la lixiviación dinámica de minerales alterados, Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 2010.
- ⁴ B. Alejo, y A. Alejo. Informe proyecto: Planta Piloto de Procesamiento de Minerales de oro del IIMETMAT, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2017.
- ⁵ N. Rojas. Recuperación de oro y plata desde residuos ferríticos mediante cianuración (Tesis de Magíster), Universidad de Concepción- Chile, 2003.
- ⁶ Elsner., *Jal. F. prak. Chem.*, 1846, **37**, 141.
- ⁷ N. Hedley and H. Tabachnick, 'Chemistry of cyanidation', Mineral Dressing Notes, 23, American Cyanamid Company, New York, 1958.
- ⁸ J. Marsden, and I. House. 'The Chemistry of Gold Extraction. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration', 2nd edition, 2006, pp. 682.
- ⁹ J. Yannopoulos. The Extractive Metallurgy of Gold, 1991.
- ¹⁰ S. Kim, J. Lee and K. Yoo, Leaching of tin from waste Pb-free solder in hydrochloric acid solution with stannic chloride, *Hydrometallurgy*, 2016, **165**, 143.
- ¹¹ T. Yang, P. Zhu, W. Liu, L. Chen and D. Zhang, Recovery of tin from metal powders of waste printed circuit boards, *Waste Management*, 2017, **68**, 449.
- ¹² E. Mamani y B. Alejo, **2022**, Implementación de pruebas de cianuración agitada a minerales de oro previo al tratamiento a nivel planta piloto, (BSc tesis), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- ¹³ B. Alejo, **1993**, Efecto del tamaño, Distribución de Tamaño y Concentración en la Viscosidad de Suspensiones, (MSc tesis), Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- ¹⁴ B. Alejo, A. Barrientos, Model for Yield Stress of Quartz Pulps and Cooper Tailings, *Int. J. Miner. Process*, 2009, **93**, 213.
- ¹⁵ H. Resnikowski, Caracterización mineralógica y grado de liberación de oro, Informe de resultados, Instituto de Geología y Medio Ambiente (IIGMA), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2021.