

## **I. LIXIVIACIÓN DE ORO ALUVIAL CON SOLUCIONES CLORURADAS EN PRESENCIA DE EDTA**

**Autora y Afiliación: Darssy Argélida Carpio Ramos / Universidad Nacional del Altiplano Puno / dcarpio@unap.edu.pe**

### **II. RESUMEN**

Según el diario Gestión (2023) actualmente y a lo largo de los próximos años, nuestro país tiene el potencial de oro para liderar el crecimiento en América Latina. Como es sabido, el oro constituye uno de los metales más nobles, importantes y de alto valor comercial, que justifica cualquier método convencional aplicado para su extracción. Particularmente, la lixiviación de oro aluvial obliga a extraerlo usando métodos convencionales, que si bien es cierto son muy económicos y efectivos; sin embargo, son contaminadores del aire, agua y suelo. Uno de los métodos muy usado para extraer oro aluvial es el de amalgamación; donde el mercurio constituye el reactivo adecuado para cumplir este objetivo, Sin embargo, el mercurio por encima de -12°C empieza volatilizar, aumentando su efecto nocivo al elevar la temperatura, provocando alteraciones en las funciones del sistema nervioso de trabajadores y habitantes en comunidades mineras, expuestas a pequeñas cantidades de mercurio. Así, el 40% de mercurio se acumula en peces en forma de metilmercurio, pasando luego al hombre al consumirlo, convirtiéndose en un foco de contaminación. A través del presente trabajo de investigación “LIXIVIACIÓN DE ORO ALUVIAL CON SOLUCIONES CLORURADAS EN PRESENCIA EDTA” se pretende obtener oro a partir de yacimientos de oro aluvial con reactivos amigables al medio ambiente. Para tal efecto, se ha propuesto los siguientes objetivos: Efecto de la dosificación de reactivos para el proceso. Efecto del pH sobre la lixiviación. Y efecto de la temperatura. La metodología se basa en secar y pesar arena aurífera, moliendo a una determinada malla, para luego realizar pruebas de dosificación de reactivos. Pruebas que permitan trabajar en un rango adecuado de pH, analizando además el efecto de la temperatura.

#### **PALABRAS CLAVES**

Lixiviación, EDTA, oro aluvial, soluciones cloruradas.

### **III. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto tiene su justificación al constituirse en un trabajo que podría ser parte de la solución, al problema de contaminación de suelo tierra y aire por presencia de mercurio generada por la amalgamación de oro aluvial y su posterior operación de su destilación a altas temperaturas. Esto debido a que la propuesta es a base de reactivos amigables al medio ambiente, lo que podría dar lugar a un nuevo método alternativo para extraer oro desde las arenas auríferas. De acuerdo con la ciencia, generaría un nuevo proceso alternativo para extraer oro desde arenas auríferas. En cuanto al beneficio económico, pues daría lugar a buenos dividendos económicos en vista de que el EDTA es reciclable. En el aspecto social, generará el consumo de

agua, peces y vegetales exento de mercurio, al no formar parte de su extracción; así mismo mayores puestos de trabajo.

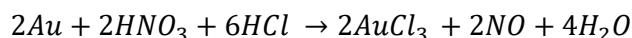
#### IV. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El Perú es un país eminentemente productor de oro. Regiones como Arequipa, Puno, Madre de Dios, La libertad, Cajamarca son las principales productoras de oro en el Perú de acuerdo con el boletín informativo Estadístico Minero (BEM) del Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2021).

El oro es un metal valioso que se encuentra en diferentes yacimientos mineralógicos; dentro de ellos se tienen los yacimientos de oro aluvial, los cuales tienen lugar, cuando algunos ríos corren por zonas ricas en oro, constituyéndose el agua en factor erosivo al eliminar las rocas y dejando al oro en forma de pequeñas partículas en forma de escamas finas o pepitas que se resisten al arrastre, debido a su alta densidad.

A través de información bibliográfica se puede inferir que los iones cloruro podrían constituirse en un extractante de oro; para tal efecto se pone de manifiesto algunos trabajos de investigación que contribuyeron a inferir que es posible usar sales cloruradas para lograr extraer el oro junto al EDTA. Así, se presenta los siguientes trabajos de investigación que constituyen la base teórica que forma parte de la investigación preliminar para lograr los objetivos planteados en el siguiente trabajo de investigación.

Para llevar a cabo la lixiviación de oro existen diferentes reacciones que representan la oxidación del oro y están representadas a través de las siguientes reacciones, así:

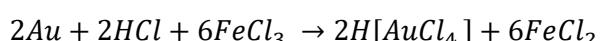


Dos reacciones en donde el agua regia reacciona con diferentes proporciones; en la 1ra reacción la relación de HCl:  $HNO_3$  es de 3:1, mostrando cierto grado de reversibilidad; mientras que la segunda reacción muestra una mayor proporción de ácido clorhídrico lo que asegura una disolución completa del oro, en forma de complejo (Misari, 2010).

Por otro lado, se tiene la siguiente reacción que representa la disolución del oro formando una solución compleja de tetracloruro áurico de hidrógeno :

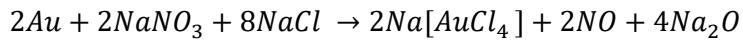


En efecto, se presenta también una reacción en donde el cloruro férrico cumple un papel preponderante al reducirse a cloruro ferroso, logrando disolver el oro metálico y formando una solución compleja de tetracloruro áurico de hidrógeno. Una reacción que podría generarse es la siguiente:



Ahora bien, el cloruro férrico puede actuar como un agente oxidante, y podría ser un reactivo alternativo para lograr la disolución de oro; inclusive es usado en un 60 % en el tratamiento de aguas o de consumo humano, debido a su alto poder floculante, bajo costo y eficaz (Santiago et al., 2012).

Además, se tiene la reacción propuesta por Severo



La cual permite extraer oro a partir de menas, con sales oxidantes a pH ácido (Severo, 2007).

En Pucamarca-Minsur a través de su trabajo de investigación para mejorar el proceso de extracción de oro y plata usando peróxido de hidrógeno, logró incrementar el nivel de oxígeno y por consiguiente oxidar al oro, logrando incrementar las extracciones de oro de 76.3 a 80.6 con una variación de gasto de 10-12% de peróxido de hidrógeno (Fora, 2018)

Muchos autores han realizado trabajos de investigación en donde han estudiado los procesos de cianuración dinámica para analizar la incidencia de inyección de aire dentro de la pulpa de oro, determinándose que a medida que se incrementa la inyección del caudal de oxígeno gracias al aire insuflado en un  $0,14 \text{ m}^3/\text{h}$  aumenta la recuperación de oro; logrando recuperar el oro desde un 23.052% hasta un 27,056%. La concentración de oxígeno esta dado en 5ppm. A través de tablas de solubilidad del oxígeno podemos determinar la concentración de oxígeno a una determinada altura sobre el nivel del mar, así como presión y temperatura (Valencia et al, 2021).

Se investigó también la eficiencia de extracción del oro en medio acuoso- ácido con GLICOL POLIETILENO (PEG) utilizando como agentes lixiviantes, iones cloruro, analizando la influencia de parámetros como la concentración de los cloruros cuya concentración estuvo por encima de 0,08M, el pH de trabajo de la solución que fue  $\leq 3.0$ , llegando a obtener extracciones de aproximadamente mayores al 98% (Bulgariu & Bulgariu, 2011). Esto de alguna manera demuestra cómo actúan los cloruros frente al oro metálico.

Además, otros autores investigaron la electrogeneración anódica de cloro molecular a partir de cloruro de sodio en una celda electrolítica, produciendo ácido hipocloroso en medio ácido. Señalan que tanto el cloruro con el ácido hipocloroso, lixivian el oro aluvial formando los complejos  $[AuCl]^-$  y  $[AuCl_2]^-$ . Indican además que la concentración óptima para lixiviar oro empleando sólo NaCl acuoso en medio neutro fue de 10g/L; mientras que a pH 2 demuestra que es el producto oxidado de cloruro el que cumple la función de oxidante, evitando así el uso indiscriminado de mercurio (Quiroz, et. al.,2015).

Los iones cloruro son los agentes de extracción que actúan junto al EDTA, constituyendo el mecanismo de reacción del método alternativo para el presente trabajo de investigación.

Por otro lado, para evaluar este efecto del EDTA, se lixivió 25 g. de mineral, a una temperatura de 75°C, tamaño de partícula de 44 micrones, a diferentes concentraciones de EDTA. Cuando se lixivio el mineral a una concentración estequiométrica de 0.047 M; esto es; a una relación molar de EDTA:Cu de 1:1, se obtuvo 78.83% de cobre, mientras que con una concentración de 0.1 M; esto es, relación molar EDTA:Cu de 2:1, solo se llegó a extraer una mínima diferencia adicional de 0.04%; esto es: 78.84% de Cu. Se demuestra, que la concentración prácticamente no ejerce mayor efecto sobre la extracción de cobre, cuando se añade un exceso, por encima del cálculo estequiométrico a altas temperaturas, contraviniendo así pues, a las afirmaciones de Bauer y Lindstrom quienes concluyeron, que al aumentar la temperatura y la relación EDTA:Cu, se lograba mayores extracciones (Bauer, 1971). Sin embargo, se comprobó experimentalmente, que un aumento en la concentración de EDTA por encima de la relación estequiométrica, no influye casi sobre el proceso. Resultado consistente con la afirmación de Harris quien indica que un exceso por encima de la relación molar EDTA:Cu es 1:1 no necesariamente trae como resultado mejores extracciones, al contrario, podría contaminar el cobre lixiviado con otros iones metálicos (Harris, 2018).

El NaCl es un reactivo ancestral usado en joyería para limpiar joyas, luego se usó este reactivo en el trabajo de investigación titulado “Decapado de joyas en presencia de EDTA” con el apoyo de FEDU Universidad Nacional del Altiplano Puno. por la autora (Carpio, 2020); Así mismo otros trabajos como “Extracción selectiva de oro desde soluciones de cloruros metálicos con etilendiaminatetraacetato disódico” en donde se demuestra que es posible trabajar con los reactivos propuestos (Carpio, 2022).

## **V. HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

Se puede lixiviari oro aluvial usando soluciones cloruradas en presencia de EDTA.

## **VI. OBJETIVO GENERAL**

Lixiviari oro aluvial con soluciones cloruradas en presencia de EDTA.

## **VII. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Efecto de la dosificación de reactivos para el proceso.
- Efecto del pH sobre la lixiviación.
- Efecto de la temperatura

## **VIII. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

Para llevar a cabo la investigación planteada se propuso la siguiente metodología: Se pesará una cantidad determinada de mineral, previamente molida y luego se determinará el efecto de cada uno de los reactivos sobre el mineral. Se analizará por vía seca el oro presente en el mineral de cabeza y relaves obtenidos y por estequiometría se determinará el contenido de oro dentro de la solución lixiviada.

Por otro lado, se procederá con la lixiviación del mineral analizando su comportamiento a diferentes valores de pH.

La temperatura es otra variable importante para medir, en efecto, se procederá con la lixiviación del mineral a diferentes temperaturas. Como en los casos anteriores, se analizará los relaves para verificar la presencia de oro y por estequiometría determinar el oro presente en la solución lixiviada.

#### **IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Bauer, D. J. (1971). *Use of chelating agents for recovery of copper from carbonate and silicate ores*. May, 31–32.

Bulgariu, L., & Bulgariu, D. (2011). Extraction of gold(III) from chloride media in aqueous polyethylene glycol-based two-phase system. *Separation and Purification Technology*, 80(3), 620–625. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.06.018>

Harris, D. C. (2018). *Análisis químico cuantitativo*. Reverté.

Misari, F. (2010). *METALURGIA DEL ORO: Vol. Vol. I* (A. Paredes (ed.); Primera edición).

Quiroz, U., Baena A. y Toro A. (2015). Uso de cloro electrogenerado a partir de NaCl en medio ácido como una propuesta para la lixiviación de oro aluvial

Santiago, D., Bracho, N., Tapia, I., & Saules, L. (2012). Evaluación del cloruro férrico como coagulante en el proceso de potabilización. *Ciencia*, 20(1), 43–51.

Fora J., (2018). Mejoramiento del proceso de extracción de oro y plata usando peróxido de hidrógeno en la Unidad Minera Pucamarca- Minsur- Tacna.

Valencia F. y Aguilar B. (2021). Aplicación de preaireación en lixiviación con cianuro de sodio en el mineral de interés de la mina “Cristhian David”, Pasaje-El oro.

#### **X. USO DE LOS RESULTADOS Y CONTRIBUCIONES DEL PROYECTO**

Los resultados del presente proyecto servirán para incrementar el acervo bibliográfico de la EPIM; así mismo se publicarán en alguna revista del área y se divulgará en algunos eventos del área de metalurgia.

#### **XI. IMPACTOS ESPERADOS**

#### **XII. RECURSOS NECESARIOS**

#### **XIII. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto tendrá lugar en las instalaciones del Laboratorio de Joyería y Pirometalurgia de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica Universidad Nacional del Altiplano-Puno.

#### **XIV. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

	Trimestres
--	------------

Actividad	E n e b	F e a r	M a b r	A b r	M a y	J u n	J u l	A g o	S e p	O c t	N o v	D i c
Investigación bibliográfica	X	X	X	X								
Adecuación de equipos y reactivos y pruebas Preliminares.				X	X	X						
Pruebas experimentales definitivas								X	X	X		
Redacción del informe final									X	X	X	

## XV. PRESUPUESTO

Descripción	Unidad de medida	Costo Unita rio (S.)	Cant.	Costo total (S.)
Litargirio	kg	80	1	80
Bicarbonato	Kg.	12	1	12
EDTA	kg.	420	1	420
Bórax	Kg	20	1	20
NaOH	kg	300	1	300
Sales	kg	80	1	80
Mallas	Malla 100.150 y 200	1100	1	1100
Materiales (vasos de precipitados, fiolas, embudos, Kitasato, crisoles, copelas, etc.)	Unidades		varios	1100
Agitador magnético con control de velocidad de agitación y temperatura	Unidad	10 000	1	10 000
Reactor calefactor de vidrio o acero inoxidable	Unidad	7 000	1	7000
TOTAL				20 112