



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe) ISSN 0079-1091

## Alternativas de beneficio para la recuperación de oro y mercurio en relaves y concentrados de arenas aluviales

Daniel Alex Merino Natorce<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Candidato a Doctor en Medio Ambiente con mención en Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

<sup>1</sup>[daniel.merino.n@uni.pe](mailto:daniel.merino.n@uni.pe)

### RESUMEN

Los Mineros del oro Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en la región de Madre de Dios trabajan en suelos aluviales utilizando el mercurio como principal insumo químico para la recuperación de oro, y obteniendo como subproductos relaves mineros producidos de la mezcla de mercurio y el concentrado de arenas aluviales. Estos relaves mineros no tienen ningún tipo de tratamiento y se almacenan temporalmente en los campamentos mineros o desechan en los suelos aluviales, contaminando el medio ambiente. El presente trabajo de investigación busca evaluar alternativas de beneficio para la recuperación de oro y/o mercurio en relaves mineros y concentrados de arenas aluviales (alce), con el fin de optimizar la recuperación de oro en los concentrados y gestionar los relaves producidos de las actividades de la Minería de oro Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en la región de Madre de Dios, Perú. La investigación está enfocada en resolver problemas prácticos, a través de métodos de recuperación eficientes, prácticos y de bajo costo. El proceso metalúrgico se inició con el muestreo y análisis químico del mineral de cabeza o concentrado de arena aluvial (alce). Este alce es sometido a diferentes equipos de concentración gravimétricas, para recuperar fracciones gruesas y flotación para recuperar las partículas finas de oro aluvial. Durante la clasificación del concentrado sobre la mesa gravimétrica se realiza el muestreo selectivo del concentrado

rico en oro, el concentrado con metales pesados y oro y el desmonte. La microscopía electrónica identifica las características físicas y distribución del oro, así como los minerales que abundan en los concentrados de arenas aluviales. Los resultados preliminares en concentración gravimétrica reportan recuperación de oro entre 60% y 70% en concentrados de arenas aluviales.

**Palabras Claves:** Suelos aluviales, concentrado, beneficio, concentración gravimétrica

### ABSTRACT

The Artisanal and Small-Scale Gold Miners (ASGM) in the Madre de Dios region work on alluvial soils using mercury as the main chemical input for gold recovery, and obtaining as by-products tailings produced from mercury mixture and alluvial sands concentrate. These tailings are not treated in any way and are temporarily stored in the mining camps or disposed of in alluvial soils, polluting the environment. The present research paper seeks to evaluate beneficial alternatives for the recovery of gold and/or mercury in mining tailings and alluvial sands concentrates (alce), in order to optimize the recovery of gold in the concentrates and to manage tailings produced from the Artisanal and Small-Scale Gold Mining (MAPE) activities in the Madre de Dios region of Peru. The research is focused on solving practical problems, through efficient, practical and low-cost recovery methods. The metallurgical process began with

the sampling and chemical analysis of the head ore or alluvial sand concentrate (alce). This alce is subjected to different gravimetric concentration equipment, to recover coarse fractions and flotation to recover fine alluvial gold particles. During the classification of the concentrate on the gravimetric table, selective sampling of the gold-rich concentrate, the heavy metal and gold concentrate and the clearing is carried out. Electron microscopy identifies the physical characteristics and distribution of gold, as well as the minerals that are abundant in alluvial sand concentrates. Preliminary results in gravimetric concentration report gold recovery between 60% and 70% in alluvial sands concentrates.

**Key Words:** Recovery, gold, gravimetric table.

## INTRODUCCIÓN

Los Mineros de oro Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en la región de Madre de Dios trabajan en suelos aluviales utilizando el mercurio como principal insumo químico para la recuperación de oro, y obteniendo como subproductos relaves mineros producidos de la mezcla de mercurio y el concentrado de arenas aluviales. Estos relaves mineros no tienen ningún tipo de tratamiento y se almacenan temporalmente en los campamentos mineros o desechan en los suelos aluviales, contaminando el medio ambiente. La mayoría de los mineros en esta región desconocen sobre otras tecnologías limpias libres de mercurio, por lo que el uso de mercurio es su principal insumo para recuperación de oro, el cual conlleva al uso indiscriminado del mismo. Existen varios métodos de recuperación de oro a ser aplicados en los concentrados de arenas y los relaves aluviales, por lo que el presente trabajo de investigación realizará varias pruebas piloto usando métodos combinados de concentración gravimétrica y flotación. El objetivo de esta investigación es evaluar alternativas de beneficio para la recuperación de oro y/o mercurio en relaves mineros y concentrados de arenas aluviales (alce), con el fin de optimizar la recuperación de oro en los concentrados y gestionar los relaves producidos de las actividades de la Minería Artesanal de oro y Pequeña Minería (MAPE) en la región de Madre de Dios, Perú.

## DESARROLLO Y DISCUSIÓN

En la actualidad, en el Perú la minería aluvial de oro es desarrollada por los Mineros Artesanales de oro y Pequeños Mineros (MAPE); toda su produc-

ción diaria se reduce a concentrados de arenas aluviales, que contienen magnetita, ilmenita, metales pesados, cuarzo y oro libre. Estos concentrados (por lo general entre 10Kg a 20 kg) son mezclados con mercurio con el fin de recuperar todo el oro contenido en los concentrados de arenas aluviales. Una vez adherido el mercurio con el oro se forma la amalgama que es llevado a la retorta para separar por calentamiento el oro del mercurio. El material restante que contiene concentrado de arenas aluviales y residuos de mercurio es denominado relaves mineros. Estos relaves son almacenados temporalmente en sacos, pozas, enterrados y muchas veces son desechados al suelo y pozas de agua donde realizan sus actividades de extracción de mineral.

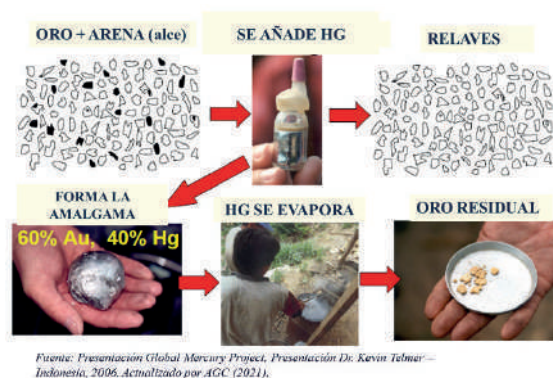


Gráfico 1. Proceso de obtención del relave y oro residual

## Metodología de la investigación

El proceso metalúrgico se inicia con el muestreo y análisis químico del mineral de cabeza o concentrado de arena aluvial (alce). Este alce será sometido a diferentes equipos de concentración gravimétrica, un concentrador centrifugo para recuperar fracciones gruesas de oro, una mesa gravimétrica para recuperar partículas de oro gruesa, media y fina y flotación para recuperar las partículas finas de oro aluvial. Inicialmente se ha recolectado muestras representativas del concentrado de arena aluvial, para realizar estudios de microsonda electrónica, Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), Difractometría de Rayos X (XRD), Fluorecencia de Rayos X (XRF), Malla valorada, y análisis de ensayo al fuego (Au-FFAA). Estos estudios servirán de línea base para caracterizar el alce y conocer cuál es la abundancia de minerales y elementos químicos, así como conocer el tamaño de grano, forma y geometría de los minerales más abundantes que incluya al oro.

Posteriormente se realizará la recuperación de mercurio en los relaves mineros usando la desorción térmica (retorta grande), la cual consistirá en analizar previamente el contenido de mercurio en los relaves mineros apilados en los depósitos temporales de la operación minera y en las pozas de amalgamación.

**Resultados preliminares**

Según la microsonda electrónica se ha identificado las características físicas del oro libre como tañamos y formas, así como la asociación a otros minerales como la hematita, ilmenita y magnetita principalmente.

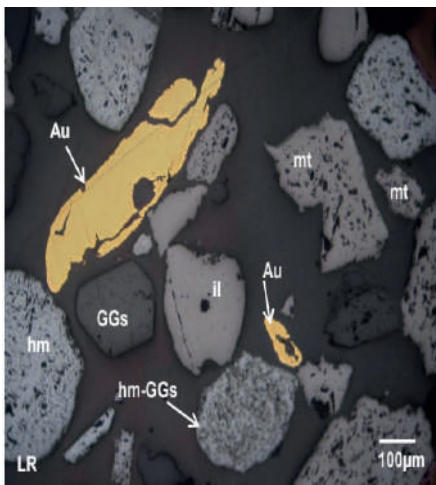


Gráfico 2. Microscopía Óptica de Luz reflejada

Los resultados de análisis de XRF muestran contenidos de óxidos de hierro en un promedio de 50% en una muestra de cabeza del alce, seguidos de óxidos de sílice y otros óxidos en menor abundancia. El XRD identifica tres óxidos de hierro como la hematita, ilmenita y magnetita y el cuarzo como los minerales más abundantes.

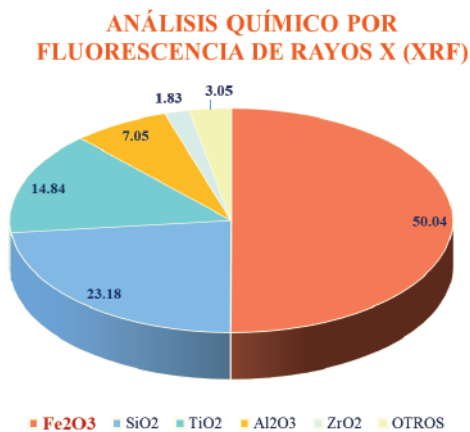


Gráfico 3. Fluorecencia de rayos X

**ANÁLISIS QUÍMICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X (XRD)**

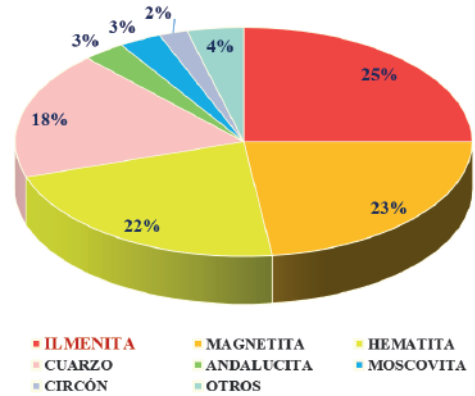


Gráfico 4. Difractometría de rayos X

**Recuperación de Oro por amalgamación**

La recuperación de oro por amalgamación en minería aluvial se estima en un promedio del 50% (información cualitativa realizada a los mineros formales e informales del corredor minero de Madre de Dios). Sin embargo, en los ensayos de balance de masa de mercurio del presente trabajo de investigación se ha identificado pérdidas de oro por encima del 60% (Fuente propia). En la siguiente tabla se muestra la recuperación de oro en una operación minera de un minero formalizado, donde las pérdidas en por uso de mercurio fue del 66.44%, por lo que sólo se recuperó el 33.56% de oro.

	PESO (g)	Peso (TM)	LEYES Au (g Au/TM)	TOTAL DE AU RECUPERADO	RECUPERACIÓN (%)	PÉRDIDA DE Au
MGBDA007-DAI-001	CABEZA	5100	0,0051	9781,9	49,88769	100,00%
	PESO (g) DE DORÉ DE LOS CONCENTRADOS			PESO TOTAL (g)	RECUPERACIÓN CONSIDERANDO EL Au DE LA CABEZA	66,44%
	CONCENTRADO C0 + C1			10,62		
	CONCENTRADO C2			3,8	16,74	33,56%
	CONCENTRADO C3			2,32		

**Recuperación de oro usando métodos gravimétricos y flotación**

El sistema piloto propuesto está conformado por un sistema gravimétrico conformado por un concentrador y una mesa gravimétrica, que clasifican el oro por su tamaño de grano. Los resultados preliminares indican una recuperación de oro por encima del 60%, que está conformado principalmente por oro de tamaño mayor a 150 µm (malla 100). Los resultados preliminares de flotación indican una recuperación de oro por encima del 80%.

**CONCLUSIONES**

La buena comprensión del contenido de minera-

les, abundancia, tamaño y geometría son cruciales para determinar el mejor método o sistema alternativo de beneficio para la recuperación de oro aluvial. La concentración gravimétrica y/o flotación son una buena alternativa para recuperar oro y mercurio de los concentrados de arena aluvial (alce) y relaves mineros dentro de una adecuada gestión de las actividades de la Minería Artesanal de oro y Pequeña Minería en la región de Madre de Dios.

## CONTRIBUCIONES TÉCNICAS Y/O CIENTÍFICAS

Esta investigación es importante porque reducirá el uso de mercurio en la MAPE y buscará alternativas de beneficio para una óptima recuperación de oro. Esto ayudará a reducir la contaminación ambiental que afecta de manera directa al suelo, el agua, la flora y la fauna de nuestra amazonia peruana, y ayudará también a reducir la exposición al mercurio que puede causar graves problemas de salud a los Mineros Artesanales y Pequeños Mineros por su constante exposición a los vapores de mercurio liberados durante el beneficio o el almacenamiento temporal de los relaves mineros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Marcelo M. Veiga, et al; 2020: Gravity concentration in Artisanal Gold Mining. Norman B. Keevil Institute of Mining Engineering, University of British Columbia, Vancouver, BC V6T 1Z4, Canada; [ajgunson@gmail.com](mailto:ajgunson@gmail.com)
- Cesar Fabiano Lobe Jinez, 2018: Concentración gravimétrica y oro libre en los suelos aluviales de inguro (Bellavista, Jaén, Cajamarca), por el método gravimétrico, por una alternativa ambiental. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de Posgrado, Maestría en Ciencias, Gestión Ambiental. Cajamarca, 2018, Perú.
- Marcelo M. Veiga, et al; 2018: An affordable solution for micro-miners in Colombia to process gold ores without mercury. *Journal of Cleaner Production*, volume 205, December 2018, Pages 995-1005.
- Juan Carlos Suca Pari, 2017: Optimización del proceso de flotación para la recuperación de un preconcentrado de oro de minerales sulfurados de la Minera Colibrí, SAC, Caravelí, Arequipa, Perú. Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química.
- Brecht Annicaert, 2013: *Treatment of tailings from artisanal gold mining in Nicaragua*. Master's dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in bioscience engineering: Chemistry and Bioprocestechnology, Universiteit Gent, Faculty of Bioscience Engineering, Academic year 2012 – 2103.
- Vidal Aramburú et al, 2010: Recuperación de oro y mercurio de los relaves del proceso de amalgamación con tecnología limpia. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol.13, N.0 25, 13-19 (2010) UNMSM ISSN: 1561-0888 (impreso)/ 1628-8097 (electrónico)*
- Marc Acosta, et al, 2009: Proceso de tratamiento para la recuperación de oro en el asentamiento minero artesanal de Misky, Perú. *Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals, Universitat Politècnica de Catalunya. Segundo Congreso Internacional sobre geología y minería en la ordenación del territorio y en el desarrollo. Utrillas-2009, P.20 pp 231-242.*