

# Influencia de $\alpha$ -Ciclodextrina en extracción del oro para reducción de accidentes ocupacionales e impactos ambientales

## Influence of $\alpha$ -Cyclodextrin on gold extraction to reduce occupational accidents and environmental impacts

Luis Anthony Zegarra Ruiz<sup>1</sup>, Casimiro Escalante Abanto<sup>2</sup>

Recibido: 03/12/2021 – Aprobado: 31/05/2022 – Publicado: 30/06/2022

### RESUMEN

A la muestra de estudio se aplicó el método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina, luego se determinó la incidencia en la reducción de accidentes ocupacionales e impactos ambientales negativos y se plantearon los problemas ¿ De qué manera la aplicación de  $\alpha$ -ciclodextrina en la extracción de oro en mineral influye en la reducción de accidentes ocupacionales e impactos ambientales negativos?, ¿ En qué medida la realización de la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos, y, calcular el porcentaje de riesgo ocupacional del método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina puede generar accidentes ocupacionales? y ¿ En qué medida la realización de la matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales, y, calcular porcentaje del índice de riesgo ambiental del método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina puede generar impactos ambientales?. El método se basó en artículos científicos Sousa et al. (2018) y Liu et al. (2013), que se modificó para su aplicación en la muestra de estudio, los resultados obtenidos de la extracción de oro presentaron una recuperación máxima de 3.9 % de oro, con un índice de riesgo ambiental y índice de riesgo ocupacional promedio de 2.

**Palabras claves:** minería de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina; aplicación sistemática de la  $\alpha$ -ciclodextrina; accidentes ocupacionales; impactos ambientales negativos; índice de riesgo ocupacional (IRO); índice de riesgo ambiental (IRA).

### ABSTRACT

The gold extraction method with  $\alpha$ -cyclodextrin in the mineral sample was applied to the study sample, then the incidence in the reduction of occupational accidents and negative environmental impacts was determined and the problems were raised.  $\alpha$ -cyclodextrin in the extraction of gold in ore influences the reduction of occupational accidents and negative environmental impacts? To what extent does the realization of the hazard identification and risk assessment matrix, and calculate the percentage of occupational risk of the method of gold extraction with  $\alpha$ -cyclodextrin can lead to occupational accidents? and To what extent can carrying out the matrix for the identification of aspects and evaluation of environmental impacts, and calculating the percentage of the environmental risk index of the gold extraction method with  $\alpha$ -cyclodextrin, can generate environmental impacts?. The method was based on scientific articles Sousa et al. (2018) and Liu et al. (2013), that was modified for its application in the study sample, the results obtained from the gold extraction showed a maximum recovery of 3.9% of gold, with an environmental risk index and average occupational risk index of 2.

**Keywords:** Gold mining with  $\alpha$ -cyclodextrin; systematic application of  $\alpha$ -cyclodextrin; occupational accidents; negative environmental impacts; occupational risk index (IRO); environmental risk index (IRA).

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, EP de Ingeniería Metalúrgica. Lima, Perú.

Autor para correspondencia: [quianthony@gmail.com](mailto:quianthony@gmail.com) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2146-3090>

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, EP de Ingeniería Metalúrgica. Lima, Perú.

Docente de la EPIG. E-mail: [cescalantea@unmsm.edu.pe](mailto:cescalantea@unmsm.edu.pe) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8932-0945>

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de  $\alpha$ -ciclodextrina en la extracción de oro se realizó en “un trozo de aleación de Oro Rojo (58 % en peso de Au y 42 % en peso de Cu y Ag, % en peso Cu>Ag) y un trozo de Aleación de oro amarillo (58 % en peso de Au y 42 % en peso de Cu, Zn y Ag, % en peso Ag>Cu>Zn) materias primas auríferas empleados para explorar un proceso de recuperación de oro a una escala de laboratorio, obteniendo un porcentaje de recuperación de 89 % de rendimiento y 97 % Pureza” (Liu et al., 2013). El procedimiento de “hospedador-huésped muy atractivo para la recuperación de oro en forma de  $\text{KAuBr}_3$ , a partir de materias primas con contenido de oro y haciendo uso de  $\alpha$ -CD, un hidrato de carbono de bajo costo y ambientalmente benigna” (Liu et al., 2013).

Al ser ambientalmente benigna la extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina, se tuvo como propósito la realización de pruebas de extracción de oro en una muestra de mineral de origen peruano con el propósito de extraer oro con  $\alpha$ -ciclodextrina, luego se verificó la implicancia en la reducción de accidentes ocupacionales e impactos ambientales negativos, a través, de la contrastación de las hipótesis.

La importancia de proponer un método de extracción de oro del mineral con  $\alpha$ -ciclodextrina a nivel de laboratorio, radica en que se pueda aplicar de manera industrial en la extracción de oro y el proceso de extracción no contamine el medio ambiente y dañe a las personas que lo manipulan. En otras palabras, cumplan los requisitos de la química verde, establecidas por Vargas Afanador & Pimiento (2007).

Para el desarrollo del método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina, partimos de que el oro bajo la forma de la sal de tetrabromuro de oro y potasio reacciona con  $\alpha$ -ciclodextrina de acuerdo con Liu et al. (2013), para formar el tetrabromuro de oro y potasio de la muestra se aplicó el método previo con la finalidad de oxidar el oro y formar tetrabromuro de oro y potasio en solución, para tal fin se usó el procedimiento experimental del artículo científico de Sousa et al. (2018). El cual se modificó para aplicarlo en la muestra del presente trabajo de investigación.

En base a los artículos científicos de Sousa et al. (2018) y Liu et al. (2013). se propuso el procedimiento experimental aplicado a la muestra de mineral que está compuesta de 5000g de mineral proveniente de Perú de las ciudades de (Nasca, Arequipa y Andahuaylas) cuya composición mineralógica mayoritaria fue ganga 33.5 %, calcopirita 32.9 %, piritita 12.1 %, esfalerita 4.5 %, oro 0.002174 %, al cual se le modificó algunos parámetros operativos, basándose en los resultados de las pruebas realizadas a la muestra de mineral.

El diseño de investigación es experimental se elaboró en base al diseño propuesto por Kerlinger (2002, p. 445), para contrastar la hipótesis principal de la presente investigación.

La aplicación sistemática de  $\alpha$ -ciclodextrina en la extracción de oro influye significativamente en la reducción de accidentes ocupacionales e impactos ambientales 3  $\text{KAuBr}_3$ ; Tetrabromuro de oro y potasio, Au: Oro, Cu: Cobre, Ag: Plata, Zn: Cinc

negativos. Hemos usado las técnicas de recolección de datos: análisis de oro por la técnica de ICP-OES (Plasma inductivamente acoplado a detector óptico), IPER (Identificación de peligros y evaluación de riesgos), matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales, índice de riesgo ocupacional, nivel de impacto ambiental, porcentaje de índice de riesgo ocupacional y porcentaje de índice de riesgo ambiental.

Al aplicar dicho diseño en la muestra de estudio se obtuvieron los resultados siguientes: la extracción de oro al aplicar el método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina fueron de 3.7 % a 3.9 % de recuperación ver (Tabla 1); al mismo tiempo de la aplicación del procedimiento experimental se desarrollaron la matriz de identificación de aspectos ambientales se redujeron en un 82 % la probabilidad que se dé un impacto ambiental ver (Tabla 2) y la matriz identificación de peligros y evaluación de riesgos (IPER) donde se determinó el índice de riesgo ocupacional (IRO) reduciéndose en un 92 % la probabilidad de que los peligros se materialicen ver (Tabla 3), con estos resultados se contrasta la hipótesis principal, formulada en los siguientes términos. La aplicación sistemática de  $\alpha$ -ciclodextrina en la extracción de oro influye significativamente en la reducción de accidentes ocupacionales e impactos ambientales negativos, y, nuestras hipótesis específicas; El desarrollo de la matriz de identificación de peligros evaluación de riesgos y la determinación del porcentaje del índice riesgo ocupacional permite determinar la probabilidad en que el método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina puede ocasionar accidentes ocupacionales, y, el desarrollo de la matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales, y, el cálculo del porcentaje del índice de riesgo ambiental permite determinar la probabilidad si el método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina puede ocasionar impactos ambientales.

## II. MÉTODOS

### 2.1 Método de extracción de oro con $\alpha$ -ciclodextrina

#### 2.1.1 Alcance e interferencias

El presente método extrae oro de muestras de mineral, independiente de la concentración de otros metales susceptibles a oxidación que están dentro del mineral por el bromo y como interferencias tiene Los metales susceptibles a oxidación pueden consumir el oxidante bromo y no dejar bromo para que reaccione el oro.

#### 2.1.2 Objetivos del método de extracción de oro con $\alpha$ -ciclodextrina

- Determinar en qué porcentaje la aplicación de  $\alpha$ -ciclodextrina en la extracción de oro en mineral influye en la reducción los accidentes ocupacionales e impactos ambientales negativos.
- Realizar la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos, y, calcular el porcentaje de riesgo ocupacional del método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina.

- Realizar la matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales, y, calcular el porcentaje del índice de riesgo ambiental del método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina.

### 2.1.3 Procedimiento experimental

#### 2.1.3.1 Reactivos

Bromo en solución: agregar bajo una campana extractora los siguientes reactivos (30 mL Hipoclorito de sodio 5.25 %, 4.4 g bromuro de potasio 99.99 %, 42 mL de ácido clorhídrico 1M y 28 mL de agua tipo 1), hidróxido de potasio PA,  $\alpha$ -ciclodextrina, papel filtro Whatman 42, tiosulfato de sodio PA.

#### 2.1.3.2 Equipos

Chancadora de mandíbula, trituradora de rodillos, agitador magnético con calentamiento, horno de petróleo, capaz de llegar a una temperatura de 1200 °C, balanza Analítica «Sartorius» M-Power AZ-214, 210 g/0.1 mg. Made in USA, refrigerante de bola de borosilicato, sistema de reflujo de borosilicato, balón de destilación de borosilicato, magnetos revestidos de teflón y cronometro.

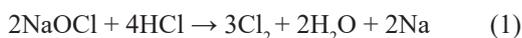
#### 2.1.3.3 Pretratamiento de la muestra

La muestra de mineral es secada a una temperatura de 105 °C en una estufa hasta peso constante, la muestra seca fue triturada y pulverizada con una chancadora, luego con una trituradora.

#### 2.1.3.4 Tratamiento de la muestra

Se pesa entre 10 g a 100 g de muestra pretratada en balanza con 0.0001g de precisión y vertimos al recipiente de destilación, el peso de muestra dependerá de la cantidad de oro que tenga la muestra de mineral. Seguidamente se agrega 100 mL de bromo en solución que se forma de acuerdo con las reacciones químicas (1) y (2) propuestas por (Lumieux, 2014).

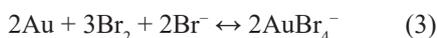
Producción de cloro ( $\text{NaClO}^4$ )



Producción de bromuro



A la muestra que está dentro del balón de destilación. Si se ve la desaparición del color anaranjado, agregar más bromo en solución, manteniendo la proporción inicial y proseguir el procedimiento experimental, luego encendemos el agitador magnético a 95 °C y procedemos a lixiviar la muestra por 6 horas. En este punto el oro de la muestra reacciona con el bromo mediante la reacción química (3) propuesta por (Pesic & Sergent, 2017).



4 NaClO: Hipoclorito de sodio, HCl: Ácido clorhídrico,  $\text{Cl}_2$ : Cloro diatómico,  $\text{H}_2\text{O}$ : Agua, Na<sup>+</sup>: Ión sodio, NaBr: Bromuro de sodio, NaCl: Cloruro de sodio,  $\text{Br}_2$ : Bromo diatómico, Br<sup>-</sup>: Ión bromuro,  $\text{AuBr}_4^-$ : Ión tetrabromuro aurico.

Pasado las 6 horas se realiza vacío conectando una trampa conteniendo tiosulfato de sodio, para neutralizar el exceso de bromo; seguido enfriamos el balón de destilación con la muestra lixiviada, luego filtramos en papel filtro Watman N°42, y regulamos el pH entre 4 y 6 con  $\text{KOH}^5$ , donde se forma la solución soluble de tetrabromuro de oro y potasio mediante la reacción química (4),



“volvemos a filtrar si es que vemos la formación de sólidos, agregamos (1.5 mL, 26.7 mM) de  $\alpha$ -ciclodextrina por cada (1mL, 20mM) de tetrabromuro de oro y potasio, formado y procedemos a filtrar con papel filtro Watman N°42, la solución filtrada se reduce con 300 mg de tiosulfato de sodio, el proceso de reducción produce un precipitado de oro sólido, la solución líquida producto de la reducción vuelve a producir  $\alpha$ -ciclodextrina que se recristaliza para su reutilización” (Liu et al., 2013) (ver Tablas 4 y 5).

## III. RESULTADOS

Ver Tablas 1-4.

## IV. DISCUSIÓN

### 4.1 Uso del $\alpha$ -ciclodextrina

La Tabla 1, mostró un porcentaje de recuperación de oro del mineral con  $\alpha$ -ciclodextrina entre 3.7 % a 3.9 %, la baja recuperación de oro se debe a la concentración de oro en la muestra, el cual se perdió en presencia de otras especies químicas que pertenecen al mineral que superan el 99 %.

### 4.2 Índice de riesgo ambiental y nivel de impacto ambiental

La Tabla 3, mostró un porcentaje de índice de riesgo ambiental de 83 % lo que significa que solo hay un 17% de probabilidad de que se materialice un impacto ambiental al aplicar el método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina.

### 4.3 Índice de riesgo ocupacional y nivel de riesgo ocupacional

La Tabla 5, mostró un porcentaje de índice de riesgo ambiental de 92%, lo que significa que solo hay una probabilidad del 8% de que un determinado peligro se materialice en un accidente ocupacional.

## V. CONCLUSIONES

La aplicación sistemática de la  $\alpha$ -ciclodextrina, en la extracción de oro influye significativamente en la reducción de accidentes ocupacionales e impactos ambientales negativos, de acuerdo a la matriz IPER, se reduce en un 92 %, en base a la matriz de impactos ambientales, se reduce en un 83 % y recupera un porcentaje de oro entre 3.7 % a 3.9 %.

5 KOH: Hidróxido de potasio, OH<sup>-</sup>: Ion hidróxido

**Tabla 1.** Parámetros operativos de pruebas de extracción de oro con α-ciclodextrina

pH (unidades de pH)	Proceso			Masa de oro en la muestra Mineral AZ (mg)	mg Au/L	mg Au	% Recuperación	Determinación de oro por la técnica
	Eliminación de impurezas insolubles	Lavado de filtros de impurezas con agua desionizada (mL)	α-ciclodextrina (g)					
4 a 6	Filtrado de impurezas	100	1.44	0.314	0.465	0.0116	3.7	ICP-OES
4 a 6	Filtrado de impurezas	100	1.44	0.314	0.471	0.0118	3.8	ICP-OES
4 a 6	Filtrado de impurezas	100	1.44	0.314	0.472	0.0118	3.8	ICP-OES
4 a 6	Filtrado de impurezas	100	1.44	0.314	0.468	0.0117	3.7	ICP-OES
4 a 6	Filtrado de impurezas	100	1.44	0.314	0.473	0.0118	3.8	ICP-OES
4 a 6	Filtrado de impurezas	100	1.44	0.314	0.486	0.0122	3.9	ICP-OES
4 a 6	Filtrado de impurezas	100	1.44	0.314	0.481	0.0120	3.8	ICP-OES
4 a 6	Filtrado de impurezas	100	1.44	0.314	0.489	0.0122	3.9	ICP-OES
4 a 6	Filtrado de impurezas	100	1.44	0.314	0.494	0.0124	3.9	ICP-OES

Fuente. Resultados tomados de Zegarra (2021)

Nota 1. La Tabla muestra los parámetros operativos y resultados de las pruebas del método de extracción de oro con α-ciclodextrina a la muestra de estudio.

**Tabla 2.** Matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Evaluación del Riesgo Ambiental					Nivel de Impacto Ambiental
		IM <sup>1</sup>	IS	IPI	IP	IRA	
Emisiones	Contaminación del suelo y aguas	2	1	0	0	3	BAJO
Efuentes con químicos	Contaminación del suelo y aguas	2	1	0	0	3	BAJO
	ADR/RID: No, Contaminante marino: No, IATA: no	--	--	--	--	--	--

Fuente. Resultados obtenidos de la matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales de Zegarra (2021)

Nota 2. La presente Tabla muestra los resultados del nivel de impacto ambiental que tendría, las diferentes etapas de extracción de oro, siguiendo los lineamientos del método de extracción de oro con α-ciclodextrina.

**Tabla 3.** Porcentaje del índice de riesgo ambiental

IRAp	IRAmáx	IRAm	IRAnm
2	12	17	83

Fuente. Resultados obtenidos de porcentaje de riesgo ocupacional de Zegarra (2021)

**Tabla 4.** Matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos

Categoría	Peligro	Evaluación del Riesgo Ocupacional Base							IRO: Índice Riesgo Ocupacional	Nivel de Riesgo
		IE <sup>2</sup>	IF	II	IC	ΣIE+IF+II+IC	IP	IS		
Reactivos químicos	Sustancias químicas	2	3	2	1	8	2	1	2	BAJO
		2	3	2	1	8	2	1	2	BAJO
		2	3	2	1	8	2	1	2	BAJO

Fuente. Resultados obtenidos de la matriz identificación de peligros y evaluación de riesgos de Zegarra (2021)

Nota 3. La Tabla muestra el IRO (Índice de riesgo ocupacional) y el nivel del riesgo al aplicar el método de extracción de oro con α-ciclodextrina.

**Tabla 5.** Porcentaje del índice de riesgo ocupacional

IROp	IROmáx	IROm	IROnm
2	25	8	92

Fuente. Resultados obtenidos de la matriz identificación de peligros y evaluación de riesgos de Zegarra (2021)

1 IM: Índice de magnitud, IS: Índice de severidad del aspecto ambiental, IPI: Índice de opinión de las partes interesadas, IP: Índice de probabilidad de ocurrencia de un aspecto ambiental, IRAp: Promedio de índices de riesgo ambiental de todas las etapas de un determinado proceso, IRAmáx: Índice de riesgo ambiental máximo de acuerdo a la calificación bajo, medio y alto del siguiente cuadro, el cual fue de 12, IRAm: Porcentaje de que el índice de riesgo ambiental provoque un impacto ambiental, IRAnm: Porcentaje de que el índice de riesgo ambiental no se materialice en un accidente de trabajo.

2 IE: Frecuencia de exposición al peligro, IF: Frecuencia del riesgo, II: Implementación de controles, IC: Capacitación, IP: Probabilidad, IS: Severidad, IROp: Promedio de índices de riesgo ocupacional de todas las etapas de un determinado proceso, IROmáx: Índice de riesgo ocupacional máximo de acuerdo a la calificación bajo, medio y alto del siguiente cuadro, el cual fue de 25, IROm: Porcentaje de que el índice de riesgo ocupacional se materialice en un accidente de trabajo, IROnm: Porcentaje de que el índice de riesgo ocupacional no se materialice en un accidente de trabajo.

La realización de la matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos, y, el cálculo del porcentaje del índice de riesgo ocupacional del método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina muestran una probabilidad de 8 % de que el peligro se materialice en un accidente ocupacional.

La realización de la matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales, y, el cálculo del porcentaje del índice de riesgo ambiental del desarrollo del método de extracción de oro con  $\alpha$ -ciclodextrina muestran una probabilidad de 17 % de que el aspecto ambiental se materialice en un impacto ambiental.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a los ingenieros Nabor y Calderón por facilitarme las instalaciones de su laboratorio para realizar las pruebas del presente artículo científico, así como al asesor de tesis por el apoyo brindado durante todo el proceso de desarrollo del presente artículo científico.

## VII. REFERENCIAS

Kerlinger, F. N. (2002). *Investigación del comportamiento*. Editorial Mc Graw-Hill / Interamericana Editores. [https://www.academia.edu/6753714/Investigacion\\_Del\\_Comportamiento\\_Kerlinger\\_Fred\\_N\\_PDF](https://www.academia.edu/6753714/Investigacion_Del_Comportamiento_Kerlinger_Fred_N_PDF)

Liu, Z., Frasconi, M., Lei, J., Brown, Z. J., Zhu, Z., Cao, D., Iehl, J., Liu, G., Fahrenbach, A. C., Botros, Y. Y., Farha, O. K., Hupp, J. T., Mirkin, C. A., & Stoddart, J. F. (2013). Selective isolation of gold facilitated by second-sphere coordination with  $\alpha$ -cyclodextrin. *Nature Communications* 2013 4:1, 4(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/ncomms2891>

Lumieux, D. . (2014). *Nichromet cyanide-free process for gold extraction* (DUNDEESUSTAINABLE TECHNOLOGIES, Ed.; pp. 1–24). DUNDEESUSTAINABLE TECHNOLOGIES. [www.dundetechnologies.com](http://www.dundetechnologies.com)

Pesic, B., & Sergent, R. H. (2017). Reaction mechanism of gold dissolution with bromine. *Metallurgical and Materials Transactions B* 1993 24:3, 24(3), 419–431. <https://doi.org/10.1007/BF02666424>

Sousa, R., Futuro, A., Fiúza, A., Vila, M. C., & Dinis, M. L. (2018). Bromine leaching as an alternative method for gold dissolution. *Minerals Engineering*, 118, 16–23. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2017.12.019>

Vargas Afanador, C., & Pimiento, R. (2007). Química verde en el siglo XXI; química verde, una química limpia. *Revista Cubana de Química*, XIX(1), 29–32. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543706009>

Zegarra, L. (2021). Influencia de la  $\alpha$ -ciclodextrina en la extracción del oro para reducción de accidentes ocupacionales e impactos ambientales negativos. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.