

Efecto de la adición de glicina sobre la electro-obtención del oro.

Jesus Martin Galván Lira^{1*}, Francisco Raúl Carrillo Pedroza¹, Ma. de Jesús Soria Aguilar¹, Elsa Nadia Aguilera González²

¹Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, Monclova, Coahuila, México.

²Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila México.

*galvanjesus@uadec.edu.mx

RESUMEN

Los dispositivos utilizados para la extracción de oro presente en soluciones acuosas al usar una corriente eléctrica se les conoce como celdas electrolíticas, compuestas de un recipiente en el que hay una solución que contiene los iones de oro a recuperar; la cantidad y la forma en la que estos se depositan puede variar dependiendo de los componentes de dicho electrolito. Este trabajo pretende ofrecer un análisis del efecto de la adición de glicina en la electro-obtención de oro, mediante la evaluación de la recuperación de oro sobre los electrodos utilizados en función del tipo de electrolito que contenga los iones de oro a recuperar, además, se pretende establecer la viabilidad de la glicina como agente alternativo o complementario en la electro-obtención de estos metales de importancia económica.

PALABRAS CLAVE: oro, glicina, electrodeposición.

INTRODUCCIÓN

La extracción de metales preciosos como el oro es un área crítica de investigación dentro del campo de la metalurgia, sobre todo dada la creciente demanda de procesos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente (Godigamuwa y Okibe, 2023). El uso de la glicina como agente de lixiviación para la extracción de oro ha llamado la atención por su naturaleza no tóxica y su potencial para sustituir a los métodos convencionales basados en el cianuro, que plantean importantes riesgos medioambientales. La glicina, un aminoácido, forma complejos estables con los metales, facilitando su disolución en condiciones alcalinas, lo que la convierte en una opción atractiva para la lixiviación del oro (Oraby et al., 2020).

En la lixiviación del oro, la glicina sirve como agente quelante que favorece la disolución del oro de los minerales, sobre todo en presencia de oxidantes como el peróxido de hidrógeno (Garza-Román et al., 2021). Este proceso se caracteriza por sus condiciones operativas relativamente suaves, como un pH neutro a ligeramente alcalino, y la capacidad de lixiviar selectivamente el oro minimizando la disolución de metales base. Además, el proceso de lixiviación basado en la glicina ha demostrado alcanzar altas recuperaciones de oro, especialmente cuando se combina con otros lixiviantes o potenciadores.

La electro-obtención, que consiste en la deposición electroquímica de metales a partir de una solución, se ve influida por la composición del lixiviado, incluida la presencia de agentes complejantes como la glicina. La adición de glicina altera el entorno electroquímico al estabilizar los iones metálicos en solución, lo que puede afectar a la cinética y la eficiencia de la recuperación de metales. Concretamente, en el contexto de la electro-obtención de oro, la glicina tiene el potencial de mejorar la pureza y la velocidad de deposición del oro (Karahán, 2013). Esto ocurre porque los complejos glicina-oro en el lixiviado pueden facilitar una deposición más uniforme y controlada en la superficie del cátodo.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo que representa las dos metodologías seguidas para la recuperación de oro usando celdas electrolíticas a partir de fuentes cianuradas.

Cianuración

La lixiviación consistió en verter 3 litros de agua purificada a 32 °C en un recipiente para cuatro litros bajo agitación mecánica, ajustar el pH con hidróxido de sodio para mantenerlo sobre 11, relación líquido-sólidos del 60% (con un mineral de concentrado de oro proveniente de un circuito de concentración centrífuga); la solución se ajustó a una molaridad de 0.000603 M de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) marca Fuga Lab al

99.9%. Posterior a medir el pH de la solución se preparó a 0.046 M de cianuro de potasio (KCN) marca Fermont al 99.4% y se dejó bajo agitación mecánica por 24 horas. Al finalizar, se decantó la solución y se diluyó al 50% con solución alcalinizada por hidróxido de sodio la solución resultante fue la que se utilizó para las pruebas de electrodeposición.

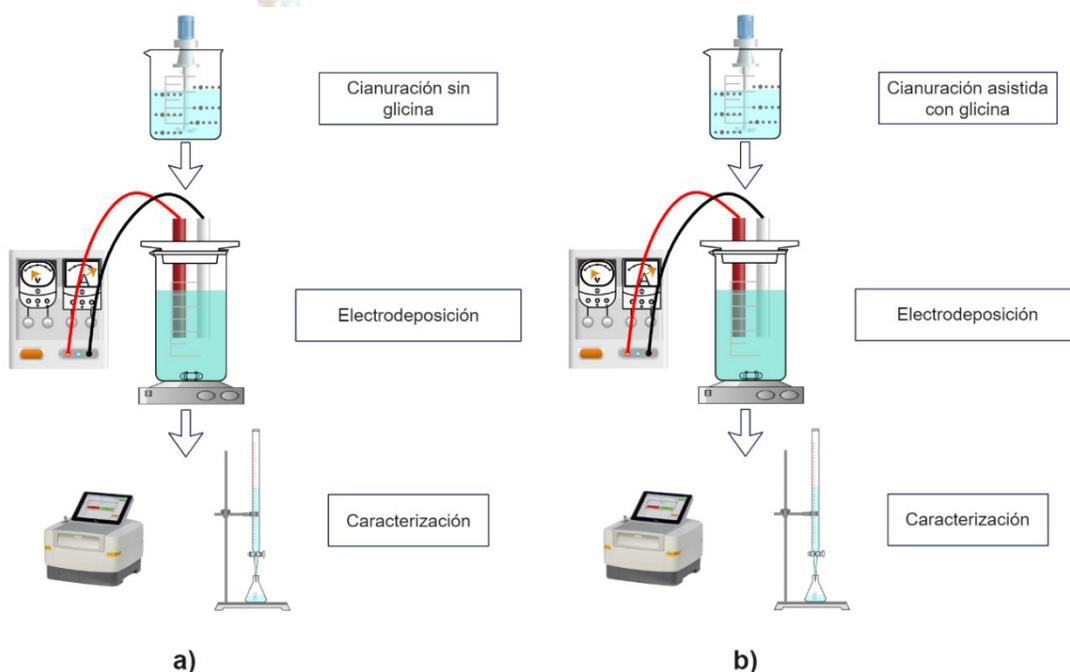


Figura 1. Diagrama de flujo que representa a) el set de experimentos usando cianuración para lixiviar el oro y en b) el set de experimentos usando cianuración asistida de glicina para lixiviar el oro.

Cianuración asistida con glicina

Para la cianuración asistida de glicina se siguió exactamente la misma metodología que para la cianuración, difiriendo únicamente en que la solución, previa a la adición de cianuro, se preparó a una concentración de 0.00847 M de glicina ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) marca J.T. Baker al 98.5%.

Procedimiento para la electro-obtención de oro

En la Tabla 1 se muestran las condiciones y parámetros bajo las cuales se llevaron a cabo los experimentos de electro-obtención de oro.

Tabla 1. Condiciones y parámetros utilizados para las pruebas de electro-obtención a partir de soluciones cianuradas.

Prueba	Electrolito	Cátodo	Ánodo	tiempo (min)	voltaje (v)	Intensidad de corriente (amp)
P1	Solución proveniente de cianuración	Grafito	Plomo	15	10	1
P2	Solución proveniente de cianuración asistida de glicina	Grafito	Plomo	15	10	1

Se vertieron 300 ml de solución cianurada en un vaso de precipitado de borosilicato marca KIMAX KIMBLE No. 14030 bajo agitación magnética constante mediante una parrilla de termoagitación.

Antes de cada prueba los electrodos (placas de plomo como ánodo (Pb: 130x22x1 mm) (Mohammadi et al., 2013) y grafito (C: 130x31.5x7 mm) (Ray et al., 2022)) como cátodo fueron lijados usando lijas de carburo de silicio marca Fandeli de granulometría de 60 y 120, se enjuagaron con agua corriente y se secaron hasta remover toda la humedad para posteriormente ser pesados. Los electrodos se introdujeron en el electrolito agitado magnéticamente y se conectaron a la fuente de poder regulada modelo PRL25 Ds304mpor medio de caimanes eléctricos.

Una vez listas las soluciones y montado el equipo (ver Fig. 1), se encendió la fuente de poder con el potencial en 0 y se incrementó hasta llegar a los 10 volts, se tomó el tiempo y se midió la intensidad de corriente haciendo uso del medidor integrado en la misma fuente de poder.

Terminado el tiempo, se retiraron los caimanes de los electrodos fueron secados sobre un vidrio de reloj al aire libre. Los electrodos, una vez secos, se pesaron nuevamente en una balanza analítica y se analizó el cátodo por medio de fluorescencia de rayos X (FRX) marca Malvern Pananalytical modelo Epsilon 1 con una fuente de rayos X de plata; además, se determinó la cantidad de cianuro libre en la solución remanente por medio de valoración usando nitrato de plata y yoduro de potasio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El concentrado de mineral de oro se analizó por la técnica de FRX determinándose que inicialmente este contaba con 140 gramos de oro por tonelada de mineral.

En la Figura 2 se muestran de manera gráfica las recuperaciones de oro producto del proceso electrolítico así como el contenido resultante de cianuro antes y después de cada prueba.

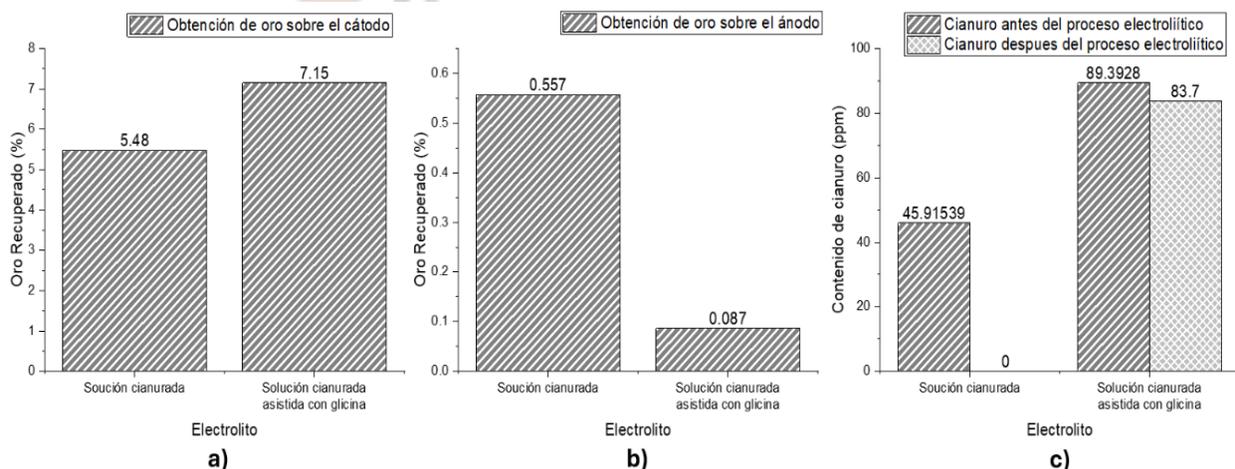


Figura 2. Recuperaciones de oro en a) el cátodo y b) el ánodo al variar el electrolito del cual se extrajeron los iones de oro; en c) se muestra el contenido de cianuro antes y después de los procesos electrolíticos.

Al analizar el inciso a) de la Figura 2 se revela una notable mejora en la recuperación de oro cuando se añade glicina a la solución de cianuro. Concretamente, la recuperación de oro aumentó del 5.48% en el electrolito de cianuro puro al 7.15% en la solución de cianuro asistida con glicina. Este aumento del porcentaje de recuperación demuestra los beneficios potenciales de incorporar glicina al proceso de electrodeposición.

La mayor recuperación en la solución de cianuro asistida con glicina puede atribuirse al papel de la glicina como co-ligando, que probablemente facilita la formación de complejos oro-glicina más estables en solución. Estos complejos pueden mejorar la eficacia de la reducción electroquímica del oro en el cátodo. La formación de estos complejos puede reducir la energía total necesaria para la deposición y mejorar el transporte de masa, lo que conduciría a una mayor recuperación de oro (Guo et al., 2016).

Además, la glicina podría actuar como agente estabilizador del oro en solución, evitando su precipitación prematura y mejorando su disponibilidad para la electrodeposición. Esto sugiere que la adición de glicina no sólo mejora la eficiencia del proceso de deposición de oro, sino que también tiene el potencial de optimizar la utilización de recursos en aplicaciones industriales.

Los resultados mostrados en la Figura 2b son los relacionados a la recuperación del oro en el ánodo muestran una notable diferencia en la recuperación de oro en función del electrolito utilizado. En concreto, la recuperación de oro fue del 0.557% en la solución de cianuro, mientras que descendió significativamente al 0.087% cuando se añadió glicina a la solución de cianuro. Dado que el ánodo de este experimento era de plomo, las tasas de recuperación observadas no reflejan la oxidación del oro a partir del ánodo, sino que sugieren más bien la naturaleza de las reacciones de oxidación que tienen lugar en el propio electrolito (Harsimran et al., 2021). En un sistema de electrodeposición basado en cianuro, el proceso de oxidación primario en el ánodo implica la formación de óxido de plomo (PbO_2) y la oxidación del cianuro a cianato (CNO^-). El oro está presente en la solución como complejo oro-cianuro ($\text{Au}(\text{CN})_2^-$), y los porcentajes de recuperación de oro en el ánodo reflejan la eficacia con la que estos complejos se mantienen en la solución sin perderse ni degradarse (Zhou et al., 2022). La mayor recuperación de oro (0.557%) en la solución de cianuro puro podría indicar un entorno más estable para los complejos de oro en el ánodo, con menos interferencias de reacciones secundarias.

Sin embargo, cuando se añade glicina al electrolito, la recuperación de oro en el ánodo desciende al 0.087%. Esta disminución sugiere que la glicina, aunque estabiliza el complejo de oro en el cátodo para una deposición más eficaz, puede reducir la estabilidad general de los complejos de oro en el ánodo o interferir en el proceso de oxidación del cianuro. La glicina podría estar formando complejos con el plomo o reaccionando con intermediarios en la oxidación del cianuro, lo que podría reducir la eficacia del electrolito para mantener los iones de oro en solución (Broeksma y Dorfling, 2023).

Al comparar estos resultados con la recuperación de oro en el cátodo, se observa una relación inversa. En el cátodo, la solución de cianuro asistida con glicina mostró una mayor recuperación de oro (7.15%) en comparación con la solución de cianuro puro (5.48%). Esto sugiere que mientras la glicina reduce la recuperación aparente de oro en el ánodo, mejora la reducción y deposición de oro en el cátodo.

La reducción de la recuperación de oro en el ánodo, junto con la mejora de la deposición en el cátodo, indica que la glicina optimiza el proceso de electrodeposición al concentrar la actividad de los iones de oro en el cátodo, donde se produce la deposición, en lugar de permitir que el oro se pierda en el ánodo. Esto podría mejorar la eficacia global del sistema al maximizar el oro disponible para la recuperación en el cátodo y minimizar las reacciones secundarias o las pérdidas en el ánodo.

La adición de glicina a la solución de cianuro mejora la recuperación de oro en el cátodo mientras que la minimiza en el ánodo, lo que sugiere que la glicina promueve una deposición de oro más selectiva y eficiente. La presencia de glicina puede influir en el entorno electroquímico de forma que establezca los iones de oro para su reducción en lugar de permitir que se pierdan durante las reacciones anódicas.

De acuerdo con el inciso c) de la Figura 2 en la solución de cianuro puro, la concentración de cianuro se redujo completamente durante el proceso de electrodeposición, pasando de 45.91 a 0. Esto indica que el cianuro se consumió o convirtió completamente durante las reacciones electroquímicas. El cianuro es el principal responsable de la formación de complejos con el oro, formando iones $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, que son necesarios para la reducción del oro en el cátodo.

El agotamiento completo del cianuro sugiere que una parte significativa del cianuro sufrió oxidación en el ánodo, donde los iones de cianuro (CN^-) se oxidan a cianato (CNO^-), junto con posibles reacciones secundarias que podrían haber consumido cianuro (Valiūnienė et al., 2023). Esto concuerda con la observación de una mayor recuperación de oro en el ánodo (0.557%), ya que el agotamiento del cianuro indica un entorno oxidativo agresivo, lo que podría provocar una mayor pérdida o degradación de los iones de oro en el ánodo.

En la solución de cianuro asistida con glicina, la concentración de cianuro sólo disminuyó ligeramente de 89.39 a 83.7, lo que indica que la mayor parte del cianuro permaneció en solución incluso después del proceso de electrodeposición. Esto sugiere que la presencia de glicina probablemente alteró las vías de reacción del cianuro, reduciendo su oxidación en el ánodo y preservando la concentración de cianuro (Jacob Schmidt, 2021).

La glicina, actuando como co-ligando, puede haber reducido el grado de oxidación del cianuro estabilizando los complejos oro-cianuro-glicina y disminuyendo la tendencia del cianuro a ser consumido. Esto es coherente con la recuperación mucho menor de oro en el ánodo (0.087%), donde la adición de glicina probablemente suprimió la oxidación de los complejos de oro. La preservación del cianuro en la solución también indica que la glicina probablemente amortiguó o modificó el entorno electroquímico, protegiendo al cianuro de una rápida degradación. La adición de glicina a la solución de cianuro tuvo un profundo efecto tanto en el consumo de cianuro como en la eficiencia global del proceso de electrodeposición del oro. En la solución de cianuro puro, el agotamiento completo del cianuro provocó una menor recuperación de oro en el cátodo y mayores pérdidas en el ánodo. Por el contrario, la solución asistida con glicina conservó el cianuro, lo que condujo a una mayor recuperación de oro en el cátodo y a pérdidas mínimas en el ánodo. Esto pone de manifiesto la doble función de la glicina: estabilizar el electrolito y optimizar el proceso electrolítico, dirigiendo más oro al cátodo para una recuperación eficaz.

CONCLUSIONES

La adición de glicina al electrolito de cianuro aumentó significativamente la recuperación de oro en el cátodo, con una recuperación del 7.15% frente al 5.48% en la solución de cianuro puro. La glicina mejoró la estabilidad de los complejos de oro, facilitando una deposición de oro más eficaz.

A diferencia del cátodo, la recuperación de oro en el ánodo de plomo disminuyó con la glicina. La solución asistida con glicina sólo recuperó un 0.087% de oro, frente al 0.557% de la solución de cianuro puro. Esto indica que la glicina minimiza la pérdida de iones de oro en el ánodo.

La solución de cianuro se agotó por completo tras el proceso de electrodeposición, mientras que la solución asistida con glicina conservó la mayor parte del cianuro (bajando de 89.3928 a 83.7%). La glicina redujo el consumo de cianuro, posiblemente estabilizando los complejos oro-cianuro y limitando las reacciones secundarias en el ánodo.

El uso de glicina en el electrolito mejoró la eficiencia global del proceso electrolítico al aumentar la recuperación de oro en el cátodo y reducir el consumo de cianuro. Esto demuestra que la glicina puede optimizar el entorno electroquímico para una deposición de oro más selectiva con pérdidas mínimas.

AGRADECIMIENTOS

Se expresa el agradecimiento a la Facultad de Metalurgia de la Universidad Autónoma de Coahuila (UADEC) por su invaluable apoyo y recursos proporcionados durante este estudio. También se agradece especialmente a la Facultad de Ciencias Químicas, también de la UADEC, por su asistencia técnica y orientación a lo largo del proyecto. Finalmente, reconocemos al comité organizador de la XXI Reunión de Procesamiento de Minerales por proporcionar la plataforma para presentar y discutir este trabajo.

REFERENCIAS

- Broeksma, C. P., & Dorfling, C. (2023). Evaluating glycine as an alternative lixiviant for copper recovery from waste printed circuit boards. *Waste Management*, 163, 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.030>
- Garza-Román, M. R., Carrillo-Pedroza, F. R., Picazo-Rodríguez, N. G., Soria-Aguilar, M. de J., Almaguer-Guzmán, I., & Chaidez-Félix, J. (2021). Effects of pretreatment and leaching medium on the extraction

- efficiency of Au and Ag from a chalcopyrite leaching by-product. *DYNA (Colombia)*, 88(218), 119–126. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n218.90284>
- Godigamuwa, K., & Okibe, N. (2023). Gold Leaching from Printed Circuit Boards Using a Novel Synergistic Effect of Glycine and Thiosulfate. *Minerals*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/min13101270>
- Guo, J., Guo, X., Wang, S., Zhang, Z., Dong, J., Peng, L., & Ding, W. (2016). Effects of glycine and current density on the mechanism of electrodeposition, composition and properties of Ni-Mn films prepared in ionic liquid. *Applied Surface Science*, 365, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.12.248>
- Harsimran, S., Santosh, K., & Rakesh, K. (2021). OVERVIEW OF CORROSION AND ITS CONTROL: A CRITICAL REVIEW. En *Proceedings on Engineering Sciences* (Vol. 3, Número 1, pp. 13–24). Faculty of Engineering, University of Kragujevac. <https://doi.org/10.24874/PES03.01.002>
- Jacob Schmidt. (2021). *ELECTROLYTIC DESTRUCTION OF CYANIDE ON BARE AND MNO 2 COATED 304 STAINLESS STEEL ELECTRODES*.
- Karahan, I. H. (2013). Effects of pH value of the electrolyte and glycine additive on formation and properties of electrodeposited Zn-Fe coatings. *The Scientific World Journal*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/273953>
- Mohammadi, M., Mohammadi, F., Houlachi, G., & Alfantazi, A. (2013). The role of electrolyte hydrodynamic properties on the performance of lead-based anodes in electrometallurgical processes. *Journal of The Electrochemical Society*, 160(3), E27–E33. <https://doi.org/10.1149/2.058303jes>
- Oraby, E. A., Li, H., & Eksteen, J. J. (2020). An Alkaline Glycine-Based Leach Process of Base and Precious Metals from Powdered Waste Printed Circuit Boards. *Waste and Biomass Valorization*, 11(8), 3897–3909. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00780-0>
- Ray, D. A., Baniasadi, M., Graves, J. E., Greenwood, A., & Farnaud, S. (2022). Thiourea Leaching: An Update on a Sustainable Approach for Gold Recovery from E-waste. En *Journal of Sustainable Metallurgy* (Vol. 8, Número 2, pp. 597–612). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40831-022-00499-8>
- Valiūnienė, A., Virbickas, P., Gabriunaite, I., Margarian, Z., Levinas, R., Janarauskiene, D., & Valincius, G. (2023). Titanium–Platinum Thin Films as a Tool for the Electrooxidation of Cyanide. *Coatings*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/coatings13111821>

Zhou, Q., Zhou, X., Zheng, R., Liu, Z., & Wang, J. (2022). Application of lead oxide electrodes in wastewater treatment: A review. En *Science of the Total Environment* (Vol. 806). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150088>

